N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master académique
En : Sciences de la nature et de la vie
Spécialité : Microbiologie appliquée
Par :

- Selmi Sabrina
- Ferdjani Narimane
- Guenane Inasse

SUJET :

Etude microbiologique *in vitro* de la microflore des lombrics ; évaluation de l'activité de compostage de la matière organique et valorisation de la production de bio-engrais (vermicompost).

Soutenu le : / / 2021,devant le jury composé de :

M[r] Chami B.	MAA	A l'U.Y.F.M	Promoteur
M[r] Ainas M.	MCB	A l'U.Y.F.M	Examinateur.
M[r] Licir M.	MAA	A l'U.Y.F.M	Examinateur.

Année universitaire : 2020-2021

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu dieu le tous puissant de nous avoir donné courage et santé pour achever ce travail.
Un grand remerciement à notre promoteur Mr CHAMI .B. qui nous a confié ce travaille et pour ses valeureux conseils, ses orientations qui ont beaucoup enrichi ce travail et pour sa gentillesse et fraternité

Que nos vifs remerciements aillent à Mr AINES et Mr LICIR qui nous fait l'honneur d'examiner notre travail

Mes sincères remerciements vont également à toute l'équipe du service du laboratoire du département science de la nature et de la vie, pour leur précieuse aide et collaboration.
Et enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué de prés ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

-Mes très chers parents, dont ce travail constitue une légère compensation ; mon amour éternel et ma considération pour tous leurs nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation, et je souhaite qu'ils trouvent ici le résultat de longues années desacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie Que Dieu les protège et les garde en bonne santé.

***À mes deux chers frères** Tedj et Chakib que j'aime.*
***À mes chères sœurs** Amira et Mounia .qui n'ont cessé d'être pour moi desexemples de persévérance, de courage et de générosité.*

***À toute ma famille,** proche ou éloignée et à tous ceux qui m'ont soutenu et qui se tenaient à mes cotés*

***A mes chères collègue** et **mes amies** Hadjer, Radia, Manel et Chahinez ensemble nous avons pu faire et achever ce travail, nous avons partagé d'agréables moments tout au long de notre cursus universitaire.*

SELMI Sabrina

Je dédie cette thèse

A MON TRES CHER PERE MOHAMED

De tous les pères, tu es le meilleur.

Tu as été et tu seras toujours un exemple pour moi par tes qualités humaines, ta persévérance et perfectionnisme.

En témoignage de brut d'années de sacrifices, de sollicitudes, d'encouragement et de prières. Pourriez-vous trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et tous de vos efforts. En ce jour, j'espère réaliser l'un de tes rêves.

Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur

A MA TRES CHERE MERE ZEHOR

Qui était heureuse si elle était avec moi aujourd'hui.

Source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Ta prière et ta Bénédiction m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie.

Tu étais une femme courageuse, et tu m'as appris que, que ce soit le fruit de ce que tu as travaillé pour moi, et j'espère qu'il t'atteindra.

Qu'Allah fasse miséricorde à ton âme.

A MES DEUX SŒURS HASSINA ET AHLEM A MES DEUX Frères SID AHMED et HASSIN

Vous avez été à mes côtés pendant toutes les étapes de ce travail, je vous en suis très reconnaissant.

Aucune dédicace ne peut exprimer la profondeur des sentiments fraternels et d'amour, d'attachement que j'éprouve à votre égard.

A toute ma famille et mes amis

FERDJANI NARIMANE

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents GUENANE Lakhder et maman Bouchiban

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et Longue vie.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout un long de ce projet : mon fiancé Abdelhakim

Et bien sûr A mes frères Rabah et Khalil et Naim, A ma sœur Khadidja.

A toute ma famille, et tous mes amis

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin que ce projet soit possible, je vous tiens merci. Aux personnes qui m'ont toujours aidé et étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant le chemin de mes études supérieures.

GUENANE INASSE

Resumé

Résumé :

Dans le but d'isoler les micro-organismes et les bactéries de la microbiote de tube digestif de ver de terre qui dégradent la matière organique et capable de l'utiliser comme un compost qui favorisent l'alimentation de la plante et qui est considérer comme une source bénéfique ;un échantillon de sol et de ver de terre ont été pris puis la construction d'un vermicomposteur dans le but d'évaluer leur capacité de la décomposition de la matière organique dont le but de produire un bio-engrais.; quatre échantillons ont été choisis (tween 80 ; amidon ; acide citrique ; acide sulfurique) ; l'isolement et la sélection des micro-organismes a été réaliser sur le milieu gélose nutritive ,l'étude des caractères morphologiques ,macroscopiques ,microscopique et biochimiques permet de savoir les caractères générals de ces souche ensuite les quatre isolats sont testé pour leur aptitude à dégrader la matière organique et minérale sur les milieux solides et liquide *in vitro* et de dégrader ; ce suivie est réaliser par lecture direct de l'indice de dégradation ; les résultats ont confirmé que la biodégradations des acides minérale et organiques et la décomposition de matières organiques fait au niveau de la micro biote de vers de terre pour que le sol se transforme en compost riche en minéraux qui a pour but d'être un engrais bénéfique pour les plantes.

Mots clés : microbiote ; vermicompost ; biodégradation.

Abstract:

In order to isolate the microorganism and bacteria from the earthworm digestive tract microbiota which degrade organic matter and able to use it as a compost which promotes the nourishment of the plant and which is considered as a source benificante; a sample of soil and earthworm were taken and then the construction of a vermicomposter in order to assess their capacity for the decomposition of organic matter, the purpose of which was to produce a bio-fertilizer .; four samples were chosen (tween 80; starch; citric acid; sulfiric acid); the isolation and selection of the microorganisms was carried out on the nutrient agar medium, the study of the morphological, macroscopic, microscopic and biochemical characteristics makes it possible to know the general character of these strains then the four isolates are tested for their ability to degrade organic and mineral matter on solid and liquid media in vitro and to degrade; this monitoring is carried out by direct reading of the degradation index; the results confirmed that the biodegradation of mineral and organic acids and the decomposition of organic matter made at the level of the micro earthworm biota so that the soil turns into compost rich in minerals which aims to be a beneficial fertilizer

Key words: microbiote ; vermicompost ; biodegradation.

ملخص :

من أجل عزل الكائنات الحية الدقيقة والبكتيريا من ميكروبيوتا الجهاز الهضمي لديدان الأرض التي تتحلل من المواد العضوية وقادرة على استخدامها كسماد يعزز تغذية النبات والذي يعتبر مصدرًا مفيدًا؛ تم أخذ عينة من التربة ودودة الأرض ومن ثم بناء دودة من أجل تقييم قدرتها على تحلل المواد العضوية، والغرض منها هو إنتاج سماد حيوي. تم اختيار أربع عينات (توين 80، نشا، حامض الستريك، حامض الكبريتيك). تم إجراء عزل واختيار الكائنات الحية الدقيقة على وسط أجار المغذيات ، ودراسة الخصائص المورفولوجية والماكروسكوبية والميكروسكوبية والكيميائية الحيوية تجعل من الممكن معرفة الطابع العام لهذه السلالات ثم يتم اختبار العزلات الأربع لمعرفة قدرتها على التحلل المواد العضوية والمعدنية في الأوساط الصلبة والسائلة في المختبر والقابلة للتحلل ؛ يتم إجراء هذا الرصد من خلال القراءة المباشرة لمؤشر التدهور ؛ أكدت النتائج أن التحلل الأحيائي للأحماض المعدنية والعضوية وتحلل المواد العضوية على مستوى الكائنات الحية الدقيقة لديدان الأرض بحيث تتحول التربة إلى سماد غني بالمعادن والذي يهدف إلى أن يكون سمادًا مفيدًا للنباتات.

الكلمات المفتاحية: نبيت ميكروبي ,السماد الدودي ,التحلل البيولوجي .

sommaire

Sommaire

Remerciement
Dédicaces
Résumé
Sommaire
Liste des Tableaux
Liste des figures
Liste des abréviations
Introduction 2

Partie bibliographique

Chapitre : Généralités.....4
1. Le sol.....4
1.1. Définition..... 4
1.2. Constituants du sol.....4
1.2.1. Les constituants organiques des sols..... 4
1.2.1.1. Evolution de la matière organique du sol..... 5
1.2.1.2. L'humus..... 6
1.2.1.3. Morphologie et évolution des formes d'humus.....6
1.2.1.4. Processus biochimiques de l'humification 9
1.2.1.5. Influence des facteurs du milieu sur l'humification 10
1.2.1.6. Composantes de l'humus.....11
1.2.1.7. Types d'humus..... 12
1.2.1.8. Fonctions de l'humus..... 12
1.2.2. Les constituants minéraux..... 13
1.2.3. Les associations organo-minérales et leur rôle dans la pédogenèse 13
1 .2.4. Le complexe argilo-humique (CAH)..... 14
1.2.4.1. Définition..... 14
1.2.4.2. Propriétés du complexe argilo-humique..... 15
1.2.4.3. Rôles du CAH..... 15
2. La faune du sol..... 16
2.1. La macrofaune..... 16
2.2. Les vers de terre..... 17
2**.2.1.** Biologie des lombriciens..... 17

2.2.2. Physiologie des lombriciens..... 20
2.2.3. La locomotion.....22
2.2.4. Sensibilité.....22
2.2.5. Régénération.....22
2.2.6. Reproduction et longévité.....22
2.2.7. Cycle biologique de vers de terre.....24
2.2.8. Période d'activité.....24
2.2.9. Le lombricompostage.....24
2.3. Interactions vers de terre-sol.....25
2.3.1. Interaction avec matière organique du sol.....25
2.3.2. Interaction avec la microflore du sol..... 26

Partie experimentale

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes.....29
1. Matériel..... 29
1 .1. Présentation de la zone d'étude..... 29
1.1.1. Coordonnées Lambert..... 29
1.1.2. Synthèse climatique..... 30
1.2. Site de prélèvement..... 31
1.2.1. Technique d'échantillonnage des vers de terre 32
1.3. Réactifs chimiques, milieux de cultures et appareillage..... 33
2. Méthodes 34
2.1. Détermination des paramètres physico-chimiques du milieu (sol.....34
2.1.1. Acidité du sol (pH eau).....34
2.1.2. Matière organique (MO).....34
2.1.3. La salinité d'un sol.....34
2.1.4. L'humidité relative (HR).....34
2.2. Méthodes appliquées aux macrofaunes..... 35
2.2.1. Le dispositif expérimental de vermicomposteur (étude *in vivo*)..... 35
2.2.2. Calcul de rendement en compost (RC)..... 37
2.2.3. Détermination des paramètres du compost..... 38
2.3. Méthodes appliquées aux microfaunes..... 41
2.3.1. L'autopsie..... 41
2.3.2. Biopsie 43

2.3.3. Tests d'identification microbiologique.....44
2.3.4. Tests de caractérisation biochimiques 45
2.3.5. Test *in vitro* de l'activité de biodégradation de la matière organique et minérale des souches isolées.....45
2.4. Traitement statistique des données.....47
Chapitre 3 : Résultats et Discussion 49
3.1. Résultats des analyses physico-chimiques de milieu (sol) et (compost)..49
3.1.1. Potentiel hydrogène (pH) 49
3.1.2. Matière organique (MO) 50
3.1.3. Conductivité électrique (CE).....50
3.1.4. Humidité relative (H%) 51
3.2. Extraction et dosage de l'acide humique..... 51
3.2.1. Séparation (AH-acide fulvique AF)..... 51
3.2.2. Calcule de rendement en compost (RC) et en acide humique(RAH)...51
4. Solement et selection des souches différentes..... 52
4.1. Isolement.....52
4.2. Purification des souches capables de l'utiliser le gélose nutritive comme source de carbone et énergie..... 53
4.3. Aspect morphologique des souches isolée 54
4.4. Aspect microscopique..... 55
4.4.1. Observation à l'État frais..... 55
4.4.2. Coloration de Gram..... 56
4.5. Caractéristiques biochimiques..... 57
5. Etude, in vitro, de la cinétique de dégradation de la organique par les souches sélectionnées.....57
5.1. Cinétique de dégradation de l'amidon..... 57
5.2. Cinétique de dégradation des lipides (tween80).....59
5.3. Cinétique de dégradation d'un acide minérale : acide sulfirique..... 60
5.4. Cinétique de dégradation d'un acide organique : acide citrique..... 61
6. Conclusion.....63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
ANNEXES

Liste des figures

Liste de figures

Figure 01 : Aspect et localisation de l'humus dans profile pédologique.....(6)

Figure 02 : Evolution des forms d'humus.....(7)

Figure 03 : Ultra structure du complexe argilo-humique(CAH).....(15)

Figure 04 : Classification phylogénétique des lombrics.....(18)

Figure 05 : Aspect de *Lumbricu* terrestris dans le sol.....(19)

Figure 06: Morphologie de *Lumbricusterrestris*.....(19)

Figure 07 : Structure et histology des vers de terre.....(20)

Figure 08 : Appareil de reproduction des vers de terre.....(23)

Figure 09 : Cycle évolutif des vers de terre.....(24)

Figure 10 : Schéma de vermicompost realizable à la maison.....(25)

Figure 11 : Localisation géographique de la zone d'étude.....(29)

Figure 12 : Site de prélèvement des échantillons de la parcelle étudiée.....(32)

Figure 13 : Technique d'échantillonnage des vers de terre -EricBlanchart- Joséphine Peigné-JeanFrançoisVian.....(33)

Figure14 : Technique d'échantillonnage des vers de terre sur terrain.....(33)

Figure 15 : Etapes de production de compost.....(37)

Figure 16 : La poudre fine de compost récolté.....(39)

Figure 17 : Vue ventral et vue dorsale d'un ver de terre.....(42)

Figure 18 : Etape de l'autopsie de *Lumbricusterrestris*.....(43)

Figure 19 : Procédure de realization l'ensemencement par épuisement de la biopsie.....(43)

Figure 20 : Procédure d'application de technique de diffusion sur disques.....(46)

Figure 21 : Gamme de l'évolution du pH (Pousset1999).....(49)

Figure 22 : Séparation des molécules (AH- AF) après la centrifugation.....(52)

Figure 23 : Aspect macroscopique des souches bactériennes isolées sur (GN).....(53)

Figure 24 : Observation microscopique des souches isolées (G x100). .....(55)

Figure 25 : Coloration de Gram des souches isolées. .....(56)

Figure 26 : Cinétique de la biodégradation de l'amidon des souches testées .....(59)

Figure 27 : Cinétique de la biodégradation de tween 80. .....(60)

Figure 28 : Cinétique de la biodégradation de l'acide sulfurique. .....(61)

Figure 29 : Cinétique de la biodégradation de l'acide citrique. .....(62)

liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I : Relevés pluviométriques de la station de Ben-Chicao (2020/2021).....(30)

Tableau II : Moyennes des températures mensuelles dans la région de Ben-Chicao Médéa (période2011/2021) (Weatherbase, statistiques sur 30 ans).....(31)

Tableau III : représente les valeurs de pH dans le sol et le compost.....(49)

Tableau IV : La masse de matière organique dans le sol et le compost. .....(50)

Tableau V : Les valeurs de la conductivité (CE) dans le sol et le compost. .....(50)

Tableau VI : Valeurs de l'humidité relative du sol et du compost. .....(51)

Tableau VII : Dénombrement des colonies isolées sur un milieu (GN) .....(53)

Tableau VIII : Aspect macroscopique des souches isolées. .....(54)

Tableau IX : Résultats du test de coloration Gram des souches isolées. .....(56)

Tableau X : Caractères biochimiques des souches bactéries isolées. .....(57)

Tableau XI : Valeurs de l'indice de dégradation d'amidon .....(58)

Tableau XII : Valeurs de l'indice de dégradation de Tween 80 .....(59)

Tableau XIII : Valeurs de l'indice de dégradation de l'acide sulfurique. .....(60)

Tableau XIV : Valeurs de l'indice de dégradation de l'acide citrique. .....(61)

Liste d'abreviation

Liste des abréviations et nomenclatures

- CE : conductivité électrique.
- HR : humidité relative.
- MO : matière organique
- M.O.F : matière organique fraîche
- PH : acidité
- H^+ :ions
- CO_2 : dioxyde de carbone
- AH : acides humique
- ISO :'Organisation internationale de normalisation
- GN :gélose nutritive
- RC : rendement de compost
- AF : acide fulvique
- GV : grande ventilation
- CHN :anlyseur carbone hydrogén azote
- Id : indice de dégradation
- DO : densité optique
- d.d.l : degré de liberté
- IC : intervalle de confiance
- HCL : chlorure d'hydrogene
- H_2O : eau
- H_2O_2 :eau oxygene
- CEC : capacité d'échange cationique
- CAH : complexe argilo-humique
- TEX :le rapport carbonne organique extrait /carbonne organique total
- RAH: rendement acide humique
- TSBF : tropical soil biologiy and fertility

Introduction

Introduction :

Les vers de terre représentent jusqu'à 70 % de la biomasse du sol **(Zirbes et *al.*, 2011).** Cinq mille espèces ont déjà été décrites à travers le monde, mais de nombreuses restent à découvrir et principalement dans les zones tropicales **(Brown et *al.*, 2004),** l'activité des vers de terre est tellement diverse qu'il est difficile de séparer un à un les facteurs tant ils sont imbriqués les uns dans les autres.

Les vers de terre jouent un rôle majeur dans la dynamique des nutriments du sol et souvent utilisé dans le processus de vermicompostage dans les pays tropicaux et subtropicaux. Il présente un intérêt pour la valorisation des déchets organiques et participent fortement à la fertilité des sols et à la croissance des plantes à travers les turricules qu'ils produisent (**Hastie et *al.*, 2012).** De nombreux facteurs influencent le développement des lombriciens.

Les conditions pédoclimatiques ont bien entendu une importance majeure : la texture, la profondeur du sol, les caractéristiques physico-chimiques et le climat influencent largement les espèces et leur représentativité les galeries creusées par les vers de terre aident à l'aération et au drainage du sol. Les nutriments des plantes sont libérés par les résidus de récolte après être passés dans les intestins des vers de terre. Les agriculteurs peuvent stimuler les vers de terre en fournissant de grandes quantités de matière organique et en effectuant un travail du sol superficiel

Ils sont considérés comme des ingénieurs de l'écosystème, car ils affectent les propriétés physicochimiques et biologiques et la décomposition de la matière organique du sol, le passage de la matière organique à travers le tractus digestif du ver de terre améliore **la composition microbienne** et la teneur **en élément minéraux** du compost**.**

Cette digestion est réalisée dans leur tube digestif à travers un ensemble des enzymes de leur **microbiote**

- De ce fait, la recherche de l'activité microbienne du microbiote intestinal des vers de terre a fait l'objectif de travail, pour ce faire, plusieurs axes sont visés, à savoir:

- **L'isolement des groupes microbiens à partir du tube digestif des vers.**
- **La production de vermicompost (bio-angrais) *in vivo*.**
- **La mise en évidence de l'activité microbienne des souches isolées sur la décomposition de la matière organique *in vitro*.**

Chapitre 01

Chapitre 01 :

1. Le sol :

1.1. Définition :

Le sol est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques (**Demolon 1966, *in* Prévost, 1990**).

Certaines définitions furent donc très marquées par cette conception. C'est ainsi, par exemple, que Mitscherlich donne la formulation suivante: «Le sol est un mélange de particules solides pulvérisées, d'eau et d'air, qui servent de support aux éléments nutritifs des plantes ».Par la suite la définition se perfectionne encore et les différents auteurs s'efforcent de bien montrer l'individualité du sol qui est considéré comme un corps naturel. Pour Jofee, « le sol est un corps naturel, de constituants organiques et minéraux Le sol est alors c la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques

1.2. Constituants du sol : On distingue traditionnellement :

- les constituants organiques
- les constituants minéraux

1.2.1. Les constituants organiques des sols :

La matière organique du sol est composée d'organismes vivants, de résidus de végétaux et d'animaux et de produits en décomposition. Elle ne représente, en général, que quelques pourcents (**0,5 à 10 %)** de la masse du sol. Sous l'action de l'érosion, du défrichage, des micro-organismes, de l'oxydation naturelle et plus généralement des processus physico-chimiques, la matière organique se transforme en matière minérale **(Blouin et *al.* 2013).**

La matière organique des sols provient de la décomposition des produits d'origine animale et des produits végétaux qui s'accumulent à sa surface: débris de tiges, de

feuilles, mais également de racines pouvant constituer une source de matière organique importante.

La décomposition s'effectue par voie biologique, les micro-organismes: bactéries et les champignons attaquent les substances hydrocarbonées (cellulose) qui constituent des matières énergétiques et également les protéines ou matières azotées, qui peuvent être décomposées en acides aminés puis en ammoniaque.

Les matières carbonées sont souvent éliminées à l'état de gaz carbonique. L'ammoniaque est oxydée en nitrate qui sert à l'alimentation des plantes, ou est parfois réintégrée dans les microorganismes, ou éliminée dans les eaux de drainage. Cette production de gaz carbonique, de nitrates ou d'autres composés minéraux, phosphates, sulfates, à partir de la matière organique en décomposition, s'appelle la minéralisation.
Cette minéralisation est un processus essentiel pour la vie des plantes supérieures; elle règle le cycle de la vie végétale et animale sur terre **(Clément et Jean., 2011).**

1.2.1.1. Evolution de la matière organique du sol :

La matière première de l'humus ainsi défini est la matière organique fraîche (M.O.F.), végétale ou animale, qui est incorporée périodiquement au sol, soit naturellement (cas des litières de feuilles ou rameaux morts en forêt), soit artificiellement (sols cultivés : engrais verts, résidus de récolte, fumier). Cette M.O.F. subit une double transformation : la minéralisation et l'humification. La fraction la plus labile (instable) se minéralise assez rapidement en libérant des composés minéraux solubles (ammoniacaux, nitrates, phosphates, sulfates) ou gazeux (dioxyde de carbone ou CO_2), dont une grande partie est réorganisée par l'activité microbienne et faunique, ce qui produit des biomolécules microbiennes. Ces dernières s'associent avec certains résidus plus ou moins transformés émanant de la M.O.F. pour donner naissance aux divers constituants de l'humus (processus d'humification). Ces constituants contractent des liaisons avec certains composés minéraux, oxydes métalliques et argiles, avec lesquels ils forment des agrégats organo-minéraux qui constituent les matériaux des structures des sols (horizons organiques). L'humus ainsi produit se minéralise à son tour, mais beaucoup plus lentement que la M.O.F. Grâce à ce double processus de minéralisation, la matière organique ne s'accumule pas dans le sol : sa teneur augmente dans un sol vierge colonisé par

la végétation jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse entre les apports et la destruction de cette matière organique. Le stock organique contenu dans le sol varie considérablement suivant la vitesse de son renouvellement (*turnover*) : il est faible si le renouvellement est rapide (forte activité biologique), élevé dans le cas contraire (faible activité biologique) **(Blouin et *al.* 2013)**.

1.2.1.2. L'humus :

Couche supérieure du sol créée et entretenue par la décomposition de la matière organique, essentiellement par l'action combinée des animaux, des bactéries et des champignons du sol. L'humus est une matière souple et aérée, qui absorbe et retient bien l'eau, de pH variable selon que la matière organique est liée ou non à des minéraux, d'aspect foncé (brunâtre à noir), à odeur caractéristique, variant selon qu'il s'agit d'un humus forestier, de prairie, ou de sol cultivé **(Clément et Jean., 2011)**.



Fig 01 : Aspect et localisation de l'humus dans profile pédologique.

1.2.1.3. Morphologie et évolution des formes d'humus :

Les formes d'humus répondent à une acception large du mot humus : elles englobent l'ensemble des horizons de surface contenant de la matière organique **(fig 02)**. Conditionnées surtout par l'activité biologique du milieu interne, elles sont étroitement liées à la composition des litières et aux conditions du milieu externe. Les auteurs ont distingué trois types fondamentaux d'humus qui se forment en milieu aéré : – **le mull, le moder** et **le mor** – et deux pour les milieux hydromorphes – **la tourbe** et **l'anmoor**. Dans ces derniers milieux, gorgés d'eau plus ou moins

temporairement (souvent en liaison avec la présence d'une nappe phréatique), les processus d'humification sont conditionnés par des phases d'anaérobiose.

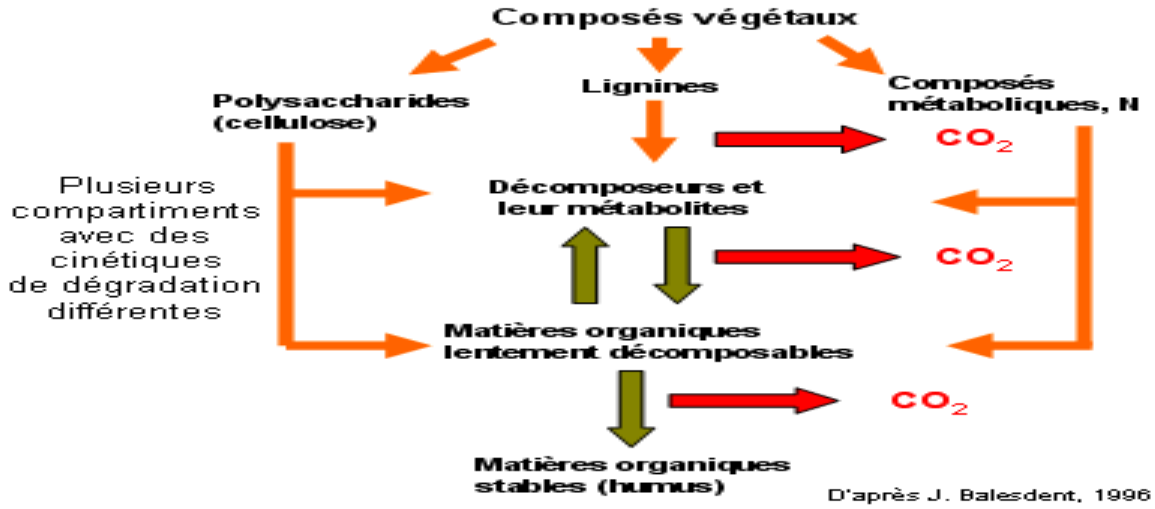


Fig 02 : Evolution des formes d'humus**.**

- **<u>Types d'humus en milieu aéré :</u>**

a. Les mull :

Sont des formes d'humus qui sont liées à une forte activité de la faune et des micro-organismes du sol. Leurs principales caractéristiques se définissent ainsi : décomposition rapide des litières, incorporation partielle des débris végétaux au sein d'un horizon mixte organo-minéral où se forment également des agrégats « argilo-humiques » (horizon A_1 ou Ah, à structure en grumeaux formés par les lombrics anéciques, c'est-à-dire se nourrissant de feuilles). Le mull de référence, décrit par de nombreux auteurs, est le mull *eutrophe actif,* formé en conditions favorables à l'activité biologique et sur un matériau d'origine contenant de l'argile et du calcium en quantité suffisante, mais sans excès. Il est caractérisé aussi par sa richesse en azote (C/N 10 à 15 en A_1). Les autres formes de mull ont une morphologie analogue, mais offrent toutefois des différences notables : mull *carbonaté,* épais et contenant du carbonate de calcium actif ; mull *acide,* peu épais, formé sur matériau pauvre en calcium, mais contenant du fer libre ; mull *andique*, épais et foncé, à structure fine, formé sur cendres ou roches volcaniques ; enfin, mull *chernozemique* de la forêt-steppe en climat continental, dont les horizons Ah, de couleur gris foncé ou noire, sont exceptionnellement épais.

Les mull formé en aérobiose, présentant une pédofaune riche en particulier en vers de terre et en macroarthropodes (diplopodes, cloportes) assurant une incorporation rapide de la litière. Les mulls, généralement riches en éléments nutritifs et présentant une forte capacité d'échange cationique, constituent des humus très fertiles.

b.Mor :

Humus très acide (pH 3,5 à 4,5) caractérisé par une accumulation de matière organique due à une faible activité biologique.

c.Moder :

Humus généralement acide, intermédiaire entre le mull et le mor. De couleur noire ou grise, il est caractérisé par une minéralisation lente, une structure lâche et fibreuse.

d.Leonardite :

Argile shisteuse, riche en acides humiques et fulviques. Trouve son origine dans la dégradation chimique et biologique des résidus de plantes et d'animaux ainsi que des activités synthétiques des micro-organismes.

- **Types d'humus en milieu mal aéré (hydromorphe)**

Dans ce type de milieu, l'humification diffère de celle qui caractérise les milieux aérés en raison du ralentissement de l'activité microbienne (notamment celle qui préside à la décomposition de la matière organique fraîche), soit temporairement (anmoor), soit de façon permanente

a.Anmoor :

L'anmoor est un humus hydromorphe, formé dans des stations à nappe permanente dont les oscillations assurent néanmoins (notamment en été) des phases d'aération. La décomposition de la matière organique est certes ralentie, mais l'humification, favorisée par les alternances de saturation par l'eau et de dessiccation relative, est encore bonne : il s'ensuit la formation d'un horizon A_1 très foncé, brun ou noir, riche en matière organique, assez bien incorporé sur une profondeur de 20 à 40 cm ; cet horizon offre en général une structure massive et une consistance plastique et collante. Il en existe des variétés acides et des variétés neutres, lorsque les eaux de la nappe sont bien minéralisées.

b.Tourbe :

Les tourbes caractérisent les milieux à anaérobiose presque permanente; elles peuvent atteindre des épaisseurs de plusieurs mètres d'une matière organique faiblement transformée par des fermentations anaérobiques, sauvegardant certains éléments originels de la plante, tels que la lignine. La matière première joue un grand rôle dans le type de tourbe formé : en montagne, dans les cuvettes mal drainées, où se rassemblent les eaux pluviales, il s'agit des débris de mousses (sphaignes), qui donnent des tourbes très acides, très pauvres en azote et en impuretés minérales (tourbières hautes, dites aussi « supra-aquatiques »). Cette tourbe a été souvent exploitée et fournit un combustible médiocre. Dans les plaines alluviales, alimentées par une nappe phréatique d'eau bien minéralisée, la tourbe se forme aux dépens d'une végétation de graminées ou de cypéracées ; elle n'est pas acide et elle est beaucoup plus riche en azote et en cendres (tourbe basse, dite aussi infra-aquatique).

1.2.1.4. Processus biochimiques de l'humification :

On distingue deux voies distinctes de l'humification : la néoformation et l'héritage, ou transformation ménagée **(Clément et Jean., 2011).**

a. La néoformation :

La néoformation résulte d'une décomposition rapide de la matière organique originelle, libérant des constituants simples (souvent solubles) servant à l'édification de macromolécules nouvelles : d'une part, des composés humiques stricto sensu (en particulier AH) ; d'autre part, des biomolécules microbiennes, non extractibles, désignées souvent par l'expression humines microbiennes (**fig.2**). La néoformation des acides humiques (AH) est donnée ici en exemple. Ces AH sont constitués de parties condensées (noyaux ou *building-blocks*), de nature aromatique ou alkyl-aromatique, qui résultent de l'oxydation et de la condensation, par l'action des polyphénols-oxydases secrétées par la microflore, des composés phénoliques issus de la décomposition des lignines et des tannins associés à certaines mélanines d'origine microbienne. Les chaînes aliphatiques, qui relient entre eux ces noyaux, sont de deux types : les unes, biomolécules d'origine microbienne, décroissent au cours de l'humification, alors que les autres, de type « alcane », sont plus résistantes et subsistent, d'après Schnitzer et Schulten, au sein des humus les plus évolués. Ces chaînes sont reliées aux argiles par l'intermédiaire des cations et oxyhydroxydes, et

forment un réseau qui emprisonne les biomolécules les plus encombrantes et non extractibles (polysaccharides, lipides hydrophobes et protéines), les protégeant ainsi de la biodégradation microbienne. Lorsque l'humification progresse, les acides humiques, soumis à des contrastes pédoclimatiques, évoluent par polymérisation progressive des noyaux et diminution concomitante des chaînes latérales. Leur aromaticité s'accroît alors. Parmi les molécules ainsi néoformées, les lipides hydrophobes, particulièrement résistants, s'associent étroitement aux argiles et confèrent aux agrégats une forte

b. L'héritage ou la transformation ménagée :

L'héritage, ou la transformation ménagée, est une décomposition lente et incomplète des composés constitutifs des membranes (celluloses, lignine, tannins, cutine, subérine, cires) qui subissent une transformation directe, la plus grande partie de ces composés restant insolubles. Il offre un aspect différent selon qu'il s'agit d'un mor (ou moder) ou, au contraire, d'un mull eutrophie riche en calcium.

1.2.1.5. Influence des facteurs du milieu sur l'humification :

Trois facteurs dépendant du milieu jouent un rôle important :

La végétation, qui fournit des litières plus ou moins facilement décomposables, les conditions climatiques et, enfin, la nature et la composition du matériau d'origine (milieu minéral). En fait, il existe entre ces facteurs un lien plus ou moins étroit.

La végétation fournit la matière première des composants de la matière organique du sol par les litières (et aussi par les racines mortes) auxquelles elle donne naissance de façon régulière ou saisonnière. Or, ces litières se décomposent et s'humifient à un rythme très variable suivant leur composition et, en particulier, leur richesse en azote : les litières de certaines espèces feuillues (aulne, frêne, tilleul) sont très rapidement biodégradées, alors que celles des espèces résineuses (pin, épicéa) et des bruyères, qui sont pauvres en azote et libèrent des composés antimicrobiens (**Berthelin et *al.*, 1994**), évoluent très lentement et forment souvent à la surface du sol un feutrage plus ou moins épais (A_o des mor ou moder). Les litières de feuillus sociaux (chêne, hêtre) ont une composition intermédiaire et fabriquent des formes d'humus très variables suivant la composition du milieu minéral. Lorsqu'il existe un tapis herbacé bien développé, celui-ci contribue puissamment à l'humification,

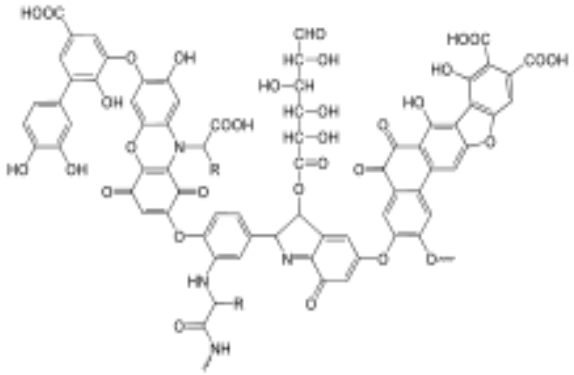
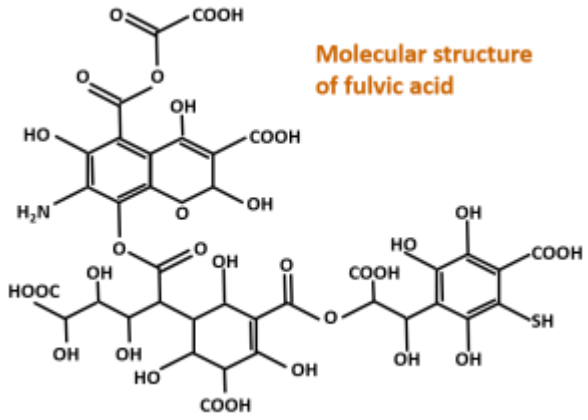
notamment dans le domaine de la forêt-steppe, grâce à son enracinement puissant qui alimente un cycle du carbone souterrain très efficace (rôle de la rhizosphère).

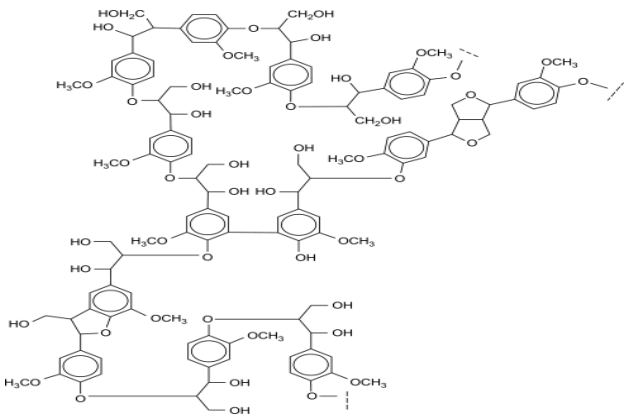
Lorsqu'on considère les grands ensembles bioclimatiques, tels que ceux qui caractérisent les zones climatiques de la Russie ou des plaines centrales du Canada, on constate que la végétation et le climat agissent parallèlement sur l'humification : la forêt résineuse boréale engendre des mor acides ou des moder ; la forêt mixte et la forêt feuillue, des moder ou des mull acides ; la forêt-steppe, des mull chernozemiques très épais et de couleur foncée. Cependant, dans les zones climatiques où domine la forêt feuillue, on observe des différences importantes en

1.2.1.6. Composantes de l'humus :

Les substances humiques et fulviques sont les principaux composants organiques des lignites, du sol et de la tourbe (**Schéma desous**).

Schéma :

Composantes	**Structure moléculaire**
a. Acides humiques : Les acides humiques sont produits par la biodégradation de la matière organique résultant en un mélange d'acides contenant du phénolate et des groupes carboxyle, qui donne à l'eau de certaines rivières une coloration jaune brun en même temps qu'une acidité pouvant aller jusqu'à pH 4.	
b. Les acides fulviques : sont des acides humiques avec une teneur en oxygène plus élevée et un poids moléculaire plus faible. Il existe un certain nombre d'exemples indiquant le potentiel de ces substances à améliorer la tolérance au stress abiotique chez les plantes, comme le montre la figure suivante **(Van Oosteen, 2017).**	

c. l'humine : Substance brune noirâtre provenant de la décomposition de débris végétaux et/ou animaux dans le sol et qui contribue à sa fertilité **(Giono,1943)**	

1.2.1.7. Types d'humus : On distingue 2types de l'humus :

- **Humus acide/brut** :
  Accumulation à la surface du sol minéral de matériaux organiques légèrement décomposés et à réaction acide (**Métro 1975**).

- **Humus doux** :
  Type d'humus qui provient de la décomposition complète des substances organiques, généralement saturé en base et à minéralisation rapide (**Villen. 1974**).

1.2.1.8. Fonctions de l'humus :

Dans les sols agricoles, c'est surtout la matière organique transformée (humus au sens strict) qui joue le rôle fondamental : d'abord elle assure la structure en agrégats, donc l'aération du sol, et favorise une économie favorable de l'eau et de l'air ; elle rend ainsi perméables les sols à granulométrie déséquilibrée (sols argileux ou limoneux, souvent tassés, dits battants) ; inversement, elle augmente la capacité de rétention de l'eau dans les sols qui sont au contraire trop perméables ou dépourvus d'éléments fins (sables) **(Clément et Jean., 2011)**.

Sur le plan chimique, grâce à la formation du complexe argilo-humique, l'humus constitue la partie essentielle du complexe absorbant et retient les engrais ou les amendements minéraux (par exemple à base de potassium, calcium, magnésium) incorporés au sol. Enfin, sur le plan physiologique, il stimule l'absorption, par les racines, du phosphore et de l'azote. Dans les sols agricoles, surtout ceux qui sont caractérisés par une granulométrie mal équilibrée, le maintien d'un taux humique

constant, par l'usage des engrais verts et l'incorporation d'amendements organiques, est nécessaire au maintien de la fertilité.

Dans les sols forestiers, l'humus exerce également ces mêmes fonctions, mais il joue aussi un rôle important dans la nutrition des plantes, en particulier la nutrition azotée : il constitue un intermédiaire entre le système radiculaire de la plante et la litière qui tombe annuellement sur le sol ; il stocke provisoirement les réserves d'azote, tant celles qui proviennent de la litière que celles qui résultent de la fixation biologique de l'azote atmosphérique, et les restitue aux plantes de façon progressive sous la forme minérale (ammoniacale ou nitrique, cette dernière forme l'emportant sur la première dans les milieux les plus actifs).

Lorsque la minéralisation de l'azote se fait régulièrement, ce qui est le cas des mulls peu acides et bien aérés, la nutrition azotée est bien assurée **(Clément et Jean., 2011).**

1.2.2. Les constituants minéraux :

On trouve dans les sols une variété assez grande de constituants minéraux ; mais dès le départ, il est essentiel de faire une distinction fondamentale entre les constituants dits «primaires» Ou «hérités» qui proviennent intacts ou, en tout cas, peu modifiés de la roche dont est issu le sol, et les constituants - secondaires » formés dans le sol par transformation d'un minéral préexistant ou bien par synthèse après destruction complète des minéraux primaires.

1.2.3. Les associations organo-minérales et leur rôle dans la pédogenèse :

Les associations organo-minérales agissent sur la pédogenèse de façon différente – voire opposée – selon qu'il se forme des complexes mobiles à petites molécules (cas des mor et des moder) ou, au contraire, des composés insolubles à grosses molécules, qui s'associent aux argiles en formant les agrégats argilo-humiques constitutifs des « structures » dites construites (cas des mull).

En ce qui concerne les mull, l'exemple caractéristique du mull eutrophe actif, étudié par de nombreux auteurs, sera présenté ici de façon détaillée. En effet, celui-ci est considéré comme la forme d'humus de référence, à laquelle les autres formes de mull peuvent être comparées. Les lombrics anéciques jouent un rôle essentiel dans l'édification des structures construites, au sein desquelles l'humine héritée (**tissu**

végétal, fig. 3) et les biomolécules microbiennes sont bien représentées, ces dernières jouant efficacement le rôle de ciment. Selon des travaux effectués dans les années 1980 et 1990, ces structures sont composées, c'est-à-dire qu'elles présentent deux niveaux : les acides humiques et les gels microbiens qui leur sont associés cimentent les argiles entre elles et forment ainsi les microagrégats (diamètre inférieur ou égal à 50 µm) qui, à leur tour, sont rassemblés au sein d'unités structurales plus grosses, les macroagrégats (diamètre supérieur ou égal à 250 µm). Selon Greenland et Hayes, « les polysaccharides en chaînes et les hyphes mycéliens pénètrent au sein des pores accessibles qui subsistent entre les microagrégats et les relient entre eux » (**figure 3**). En fait, les biomolécules qui cimentent les macroagrégats sont différentes de celles qui édifient les microagrégats. Les premières sont des polysaccharides et des protéines (**Chenu et *al.*, 1994**) qui subissent un renouvellement rapide de sorte que les macroagrégats s'édifient et se détruisent périodiquement. Les protéines qu'ils renferment constituent la source principale de l'azote dit « minéralisable »

1 .2.4.Le complexe argilo-humique (CAH):

1.2.4.1. Définition :

Est une structure formée d'argile et d'humus. L'humus est la fraction "stable" de la matière organique du sol, c'est-à-dire qu'elle est peu sujette à la minéralisation, mais participe davantage à la structuration du sol. Les particules d'argiles et d'humus étant tous deux chargés négativement, ils retiennent les cations (Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Na^{+} ...), éléments essentiels à la plante. Des échanges de cations ont lieu entre le complexe argilo-humique et la solution du sol, ce qu'on appelle la capacité d'échange cationique (CEC). Plus elle est élevée, moins les cations seront lessivés : ils seront donc plus accessibles aux plantes. Ces aspects sont développés dans la partie fertilité chimique.
Mais comment deux structures chargées négativement, alors qu'elles devraient se repousser, peuvent-elle être si étroitement liées ? Par l'intermédiaire de ponts cationiques chargés positivement et de « colles biologiques » :
Le calcium a une action stabilisatrice. Il s'intercale entre l'humus et les feuillets des argiles, formant des ponts calciques très résistants et aérant la structure du sol.
Le magnésium forme lui aussi des ponts cationiques mais avec une action de resserrement de la structure.
Des ponts constitués d'hydroxydes de fer peuvent également se mettre en place, mais ils sont moins solides que les ponts calciques.

Enfin, l'activité biologique a un rôle fondamental. La présence de molécules organiques permet d'"enrober" les complexes, ce qui les stabilise en présence d'eau. Parmi ces substances, la glomaline, produite par certains champignons. Ces aspects sont développés dans la partie fertilité biologique **(Boulaine, 1989).**

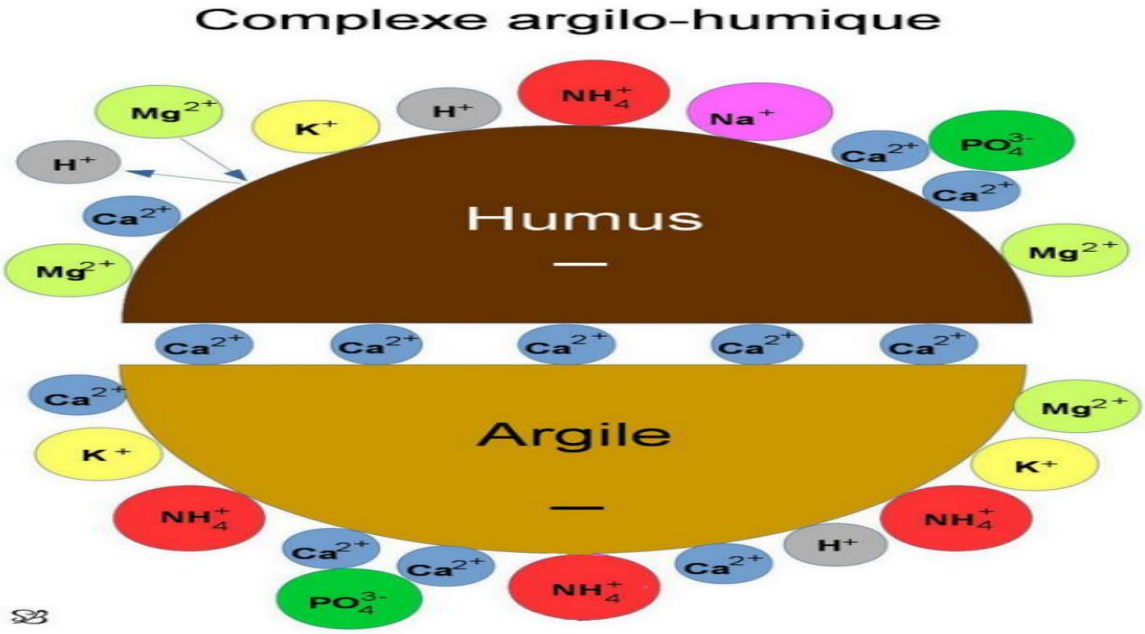


Fig 03 : Ultrastructure du complexe argilo-humique (CAH).

1.2.4.2. Propriétés du complexe argilo-humique :

Le complexe argilo-humique est capable de fixer, en raison de sa charge négative, les ions positifs. Aussi, ces ions ne sont pas emportés par les eaux de ruissellement.

L'agile favorise l'humification et ralentit la minéralisation d'humus, ce dernier protéger l'argile et maintien la stabilité structurale du sol (**Huber et Schaub, 2011**). La qualité d'un sol et l'efficacité d'un engrais dépendent donc, en grande partie, de l'état du complexe argilo-humique.

1.2.4.3. Rôles du CAH :

D'après **Soltner (2005),** quand il est stable, le CAH procure au sol des propriétés toutes favorables à sa fertilité :

la floculation des colloïdes, argileux et humiques favorise une structure aérée et un stockage hydrique suffisant ; la liaison argile-humus freine la minéralisation de la matière organique humifiée, donc la perte de matière organique susceptible de se lier à l'argile ;

Le complexe argilo-humique (CAH), aussi appelé “complexe adsorbant”, est l’ensemble des forces qui retiennent les cations échangeables (Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Na^{+}…) sur la surface des constituants minéraux et organiques des sols. Ces cations peuvent s’échanger avec la solution du sol et les plantes et constituent le réservoir de fertilité chimique du sol, c’est ce qu’on appelle la capacité d’échange cationique (INRA, 2013). Les argiles se lient à l’humus. L’agrégat qui en résulte est appelé complexe argilo-humique (CAH).

- Le complexe argilo- humique d’un sol est saturé quand tous les ions H+ sont remplacés par des cations échangeables tels que Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Na^{+} ; le taux de saturation est plus ou moins élevé selon que le complexe est plus ou moins saturé en cation échangeable (**UNIFA, 2005**).
- Le complexe argilo-humique est capable de fixer, en raison de sa charge négative, les ions positifs. Aussi, ces ions ne sont pas emportés par les eaux de ruissellement.

L’agile favorise l’humification et ralentit la minéralisation d’humus, ce dernier protéger l’argile et maintien la stabilité structurale du sol (Huber et Schaub, 2011).

- La qualité d’un sol et l’efficacité d’un engrais dépendent donc, en grande partie, de l’état du complexe argilo-humique.
- D’après **Soltner (2005),** quand il est stable, le CAH procure au sol des propriétés toutes favorables à sa fertilité.

Le complexe absorbant joue un rôle tampon fondamental pour le maintien d’un pH stable dans les sols.

2. La faune du sol :

La faune du sol, que l’on répartit habituellement en fonction de la taille des organismes qui la composent en trois groupes distincts, **micro-, méso-** et **macrofaune.**

Un hectare de sol abrite environ deux tonnes (02 t/ha) de ces organismes vivants, (**Dubreuil, 2000**).

Il y a environ 20 000 à 40 000 espèces de bactéries par gramme du sol et il existe 105 à 106 espèces microbiennes (**Tiedje, 1995**).

2.1. La macrofaune :

La macrofaune correspond aux organismes ayant une taille comprise entre 4 et 80mm (**Bachelier, 1978**). Comprenant un très grand nombre de taxons, elle joue un rôle clé dans la régulation des propriétés physiques des sols et de la biodiversité des organismes plus petits comme la microflore, la microfaune et la mésofaune (**Lavelle et Spain, 2001**). Ainsi, la faune du sol participe à la décomposition de la matière organique et à la biodisponibilité des nutriments pour les plantes et les micro-organismes du sol. Elle joue également un rôle dans la création et la conservation de la structure du sol (**Mayeux et Savane, 1996**).

C'est donc une source de biodiversité importante qu'il convient de préserver car ces organismes ont des rôles essentiels pour le maintien du la qualité de sol, que l'on peut définir comme l'aptitude à fournir un certain nombre de biens et de services éco-systémiques utiles pour les sociétés humaines (**Daily et *al.*, 1997; Wall, 2004**).

2.2. Les vers de terre :

Les vers de terre sont des organismes essentiels aux écosystèmes terrestres. Ils brassent la matière organique et minérale, aèrent le sol et favorisent le recyclage des nutriments (azote, phosphore, calcium…) utilisés par la végétation. Ils contribuent également à enfouir le carbone en profondeur dans les sols, jouant ainsi un rôle de puits de carbone. Ce petit monde souterrain reste pourtant peu connu et les données scientifiques sont éparpillées dans le monde. Une équipe de 141 chercheurs s'est attelée à rassembler les informations disponibles pour dresser une cartographie de la diversité et de la biomasse des vers de terre (**Blouin et *al.* 2013**).

Les vers de terre, aussi appelés « **lombriciens** » représentent une composante majeure de la macrofaune du sol dans la plupart des écosystèmes terrestres.

2.2.1. Biologie des lombriciens :

a. Taxonomie :

Le lombric commun, ver de terre commun ou ver de rosée *(Lumbricus terrestris)*, est une espèce de vers de terre annélides de la famille des Lumbricidae.

- **Phylum** - Annelida
- **Classe** - Clitellata
- **Sous-classe** - Oligochaeta (Oligochètes)
- **Ordre** - Haplotaxida
- **Sous-ordre** - Lumbricina
- **Superfamille** -Lumbricoidea
- **Famille** - Lumbricidae

- **Genre** - *Lumbricus* (Lombric)
- **Espèce** - *terrestris*

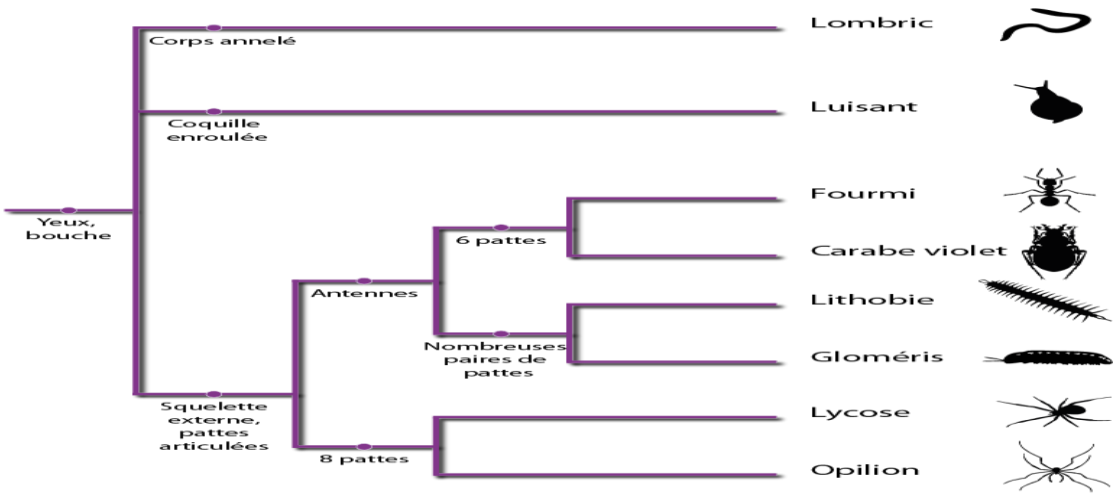


Fig 04 : Classification phylogénétique des lombrics.

b. Description :

Les différents vers de terre se différencient par leur taille (de 10 à 30 cm), leur couleur (rosé à marron), leur mobilité et leur longévité (de 2 à 15 ans) mais aussi par leur alimentation. Selon leur nourriture, les vers se retrouvent à différents endroits dans le sol.

En réalité l'appellation ver de terre regroupe trois catégories distinctes. Les vers de surface, comme le ver du fumier (*Eisenia foetida*) qui est rouge tigré de gris ou de jaune. Ces vers, appelés « épigés », sont petits et fins (5 à 10 cm) et vivent dans la litière à la surface du sol. Les vers anéciques (pouvant atteindre jusqu'à un mètre), comme le lombric terrestre (*Lumbricus terrestris*), sortent quant à eux de la terre pour chercher de la nourriture et l'enfouir dans le sol, grâce à leurs grandes galeries verticales, laissant derrière eux des tortillons caractéristiques : les turricules. Les vers « endogés » creusent quant à eux des galeries horizontales dans les profondeurs du sol. On rencontre à ces profondeurs *Aporrectodea caliginosa* par exemple (**Blouin et *al.* 2013**).

Dépourvus de pattes, les vers de terre sont composés d'anneaux successifs leur permettant de se déplacer.



Fig 05 : Aspect de *Lumbricus* terrestris dans le sol.

c. Morphologie :

Le lombric avale de la terre en creusant ses galerie il la rejette a la surface du sol par l'anus sous forme de tortillons caractéristique pendant la traversée du tube digestif, les débris d'origine animale ou végétale, les protozoaires, les algues microscopique, les bactéries, sont digères **(villeneuve et Desire, 1965).**

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 protubéra te *(Clitellum)* chez les adultes permet de les distinguer des juvéniles. Cette bague, les puberculum pore mâle sont impliqués dans la reproduction.

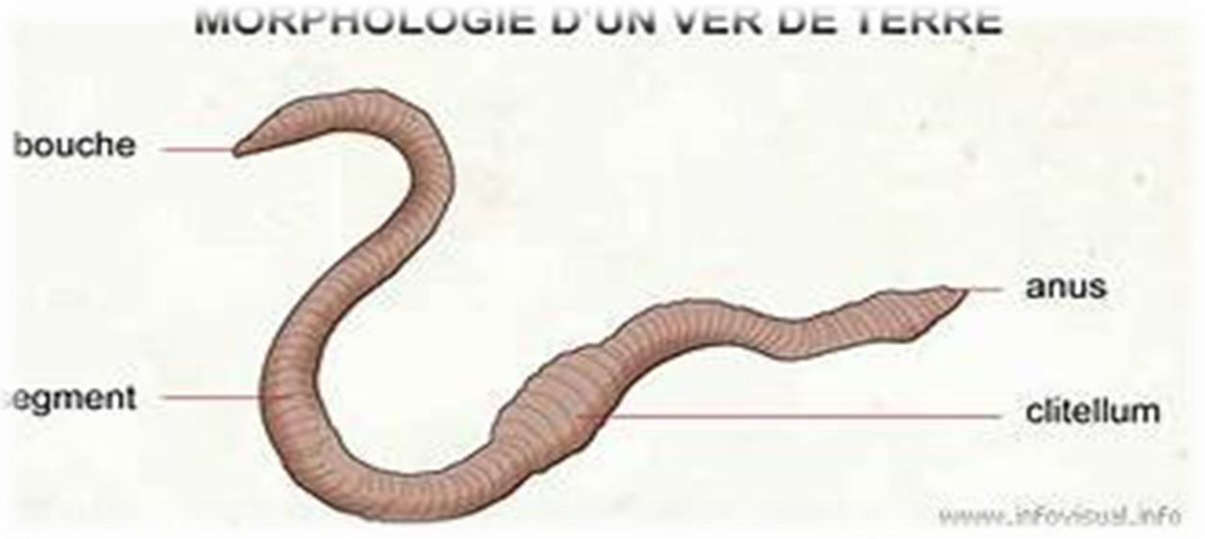


Fig 06 : Morphologie de *Lumbricus terrestris*.

2.2.2. Physiologie des lombriciens :

a. Anatomie :

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 **(Fig 07).**

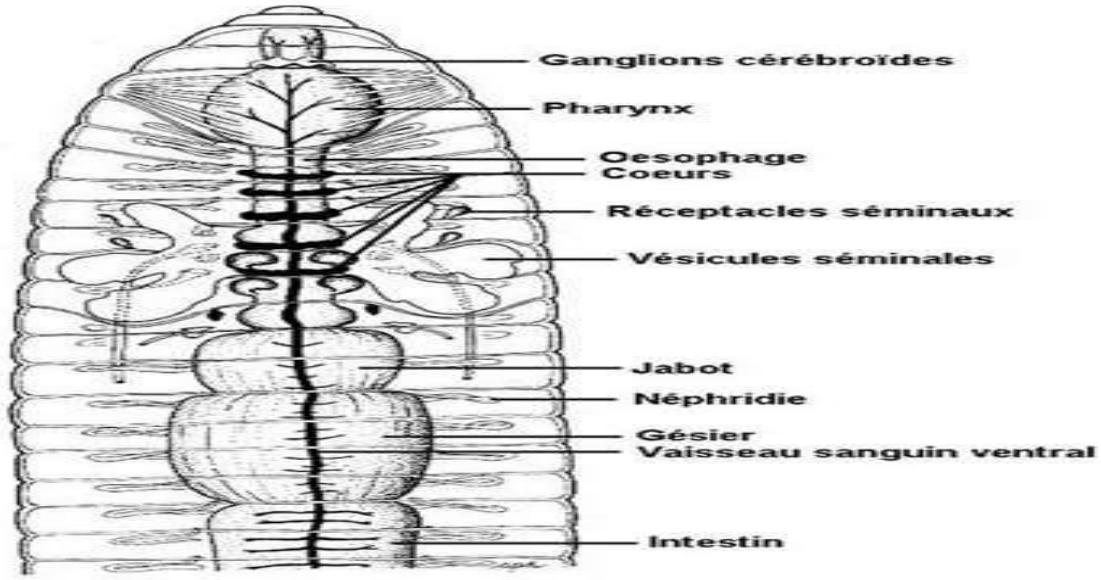


Fig 07: Structure et histologie des vers de terre.

b. Nutrition :

Ils se nourrissent de matières organiques en décomposition ou de terre mélangée à de la matière organique du printemps à l'automne. Les matières ingurgitées sont broyées en particules fines grâce à leur système digestif. Les vers de terre remplissent plusieurs fonctions : ils améliorent l'aération, la structure et la stabilité du sol et permettent une meilleure disponibilité des nutriments répartis dans les différentes couches du sol.

Ils sont la proie de nombreux animaux comme les carabes, les hérissons, les merles ou encore les taupes mais aussi les poules (**Blouin et *al.* 2013**).

c. Respiration :

Le lombric 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 a la surface seulement a la nuit venus comme le lombric.

Si un verre et sorti de terre et exposé à la lumière solaire, il essaiera de se protéger du desséchement qui entraine la mort par des sécrétions d'un mucus protecteur.

d. Circulation sanguine :

Sur toute sa longueur, le vaisseau dorsal est contractile ainsi que les anses latérales encore cœurs latéraux .dans ce vaisseau dorsal le sang circule d'arrière en avant et les anses contractiles propulsent le sang vers le vaisseau ventral, non contractile, ou le sang chemine d'avant en arrière. De l'hémoglobine dissoute dans le plasma colore le sang en rouge .la cavité générale du lombric contient un liquide incolore, riche en globules blancs **(Villeneuve et Desire, ,1965).**

e. Odeur et pigmentation :

L'odeur des lombriciens est généralement assez discrète, mais chez certaines espèces des vers de terre exemple Eisenia foetida, elle devient relativement forte et désagréable. Les vers de terre se protègent aussi du rayonnement U.V mortel grâce à la pigmentation, surtout ceux qui vivent en surface .par ailleurs, les vers bruns rouge, bleuâtre ou verdâtre ont de plus grands chances de survivre à la lumière du jour que leurs congénères a peau pale.

La coloration est en rapport étroit avec leur écologie. Ainsi le genre *Lombricus* rebellus vit sous le feuilles on brun rouge comme les feuilles en automne

f. L'excrétion :

L'excrétion s'effectué chez les vers de terre par tout un ensemble de néphridies. Les vers de terre excrètent à la fois de l'ammoniaque et de l'urée. L'azote est aussi rejeté dans le mucus que sécrète l'épiderme (**Bachelier, 1978**).

2.2.3. La locomotion :

Sur le sol le lombric se déplace par reptation. Son corps se contracte grâce aux muscles longitudinaux .les soies permettent au lombric de prendre appui sur le sol ; elles méritent donc bien le nom de soies locomotrices .le mucus sécrété par la peau facilite le glissement du ver. Dans le sol il creuse des galeries dont le diamètre et égal à celui de son corps.

L'extrémité antérieure se gonfle, devient dure, et peut ainsi pénétrer dans la terre humide.

Le ver avale également de la terre. Nous verrons plus loin qu'il y trouve ses aliments aussi les verres de terre contribuent dans des proportions considérables a l'aération du sol le lombric peut être considère comme un animal utile **(Villeneuve et Desire, 1965)**

2.2.4. 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 intérieur du corps. des filets nerveux les relient a la chaine nerveuse **(Villeneuve et Desire, ,1965).**

2.2.5. Régénération :

Le lombric possède un pouvoir de régénération assez poussé, il est capable, en effet de régénérer la partie antérieure ou la partie postérieure de son corps après section de ce dernier en deux parties **(Villeneuve et Desire, ,1965).**

2.2.6. Reproduction et longévité :

Les vers de terre sont hermaphrodites, l'autofécondation a été rarement observée. Les vers de terre se reproduis en mieux au printemps et en automne, si les conditions de température et d'humidité dans le sol sont favorables (**Herger, 2003 ; Vigot et CluzeauL, 2014).**

L'accouplement des vers se fait de nuit à la surface des sols (**Bachelier, 1978 et Herger, 2003)**. La maturité sexuelle des individus se caractérise par l'épaississement de la peau dans la partie antérieure (clitellum) ; la présence d'un mucus collant et spécial ; des poils clip protègent les côtés du ventre rapprochés et des gamètes qui se produisent dans les ouvertures reproductrices mâles (**Herger, 2003).** Les organes reproducteurs mâles sont sur les segments 9, 10, 11, 12 et 15 qui portent l'orifice (**Fig 08**). Les organes reproducteurs femelles sont sur les segments 13 et 14 qui portent l'orifice.

Les segments 32. 37 forment la gangue muqueuse ; les gonopores des 2 lombrics ne sont pas face à quelque chose de marquant. Les spermatozoïdes migrent le long de l'animal pour arriver dans les Réceptacles séminaux (spermathèque). Quand ils sont accouplés, les 2 lombrics sont au stade sexuel mâle ; Dans certains cas, il y a accolement du gonopore mâle sur les réceptacles séminaux. Ensuite on passe. La phase de maturation des organes génitaux femelles. Il y a fabrication de la gangue muqueuse au niveau du clitellum puis l'animal recule pour atteindre le segment 9 (spermathèque) où il y aura fécondation externe, les spermatozoïdes d'un lombric sont déposés sur les organes génitaux femelles de l'autre lombric puis il y a formation d'un cocon **(Gauer, 2007).**

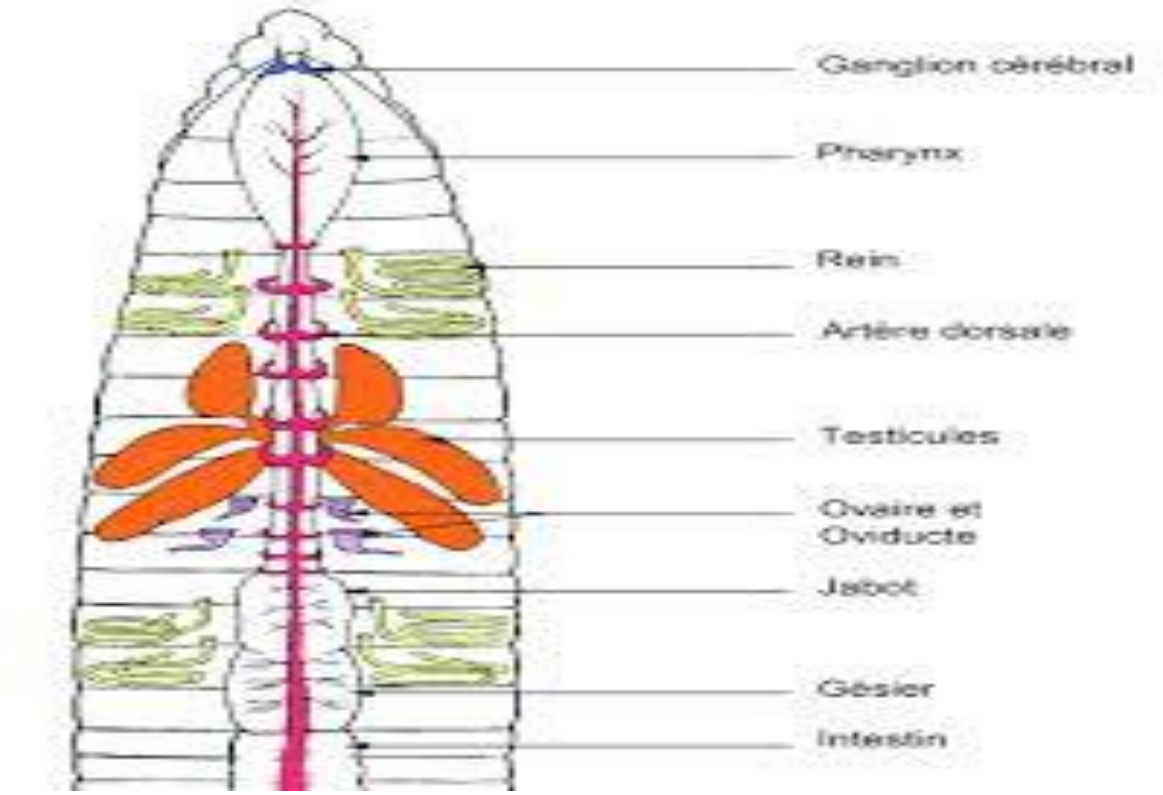


Fig 08 : Appareil de reproduction des vers de terre.

2.2 .7. Cycle biologique de vers de terre :

La durée des quatre étapes fondamentales du cycle de vie des lombriciens (cocon, juvénile, sub–adulte et adulte), ainsi que la fécondité et la survie de vers dépendent fortement de l'espèce considérée mais aussi des conditions du milieu (**Celine, 2008**).

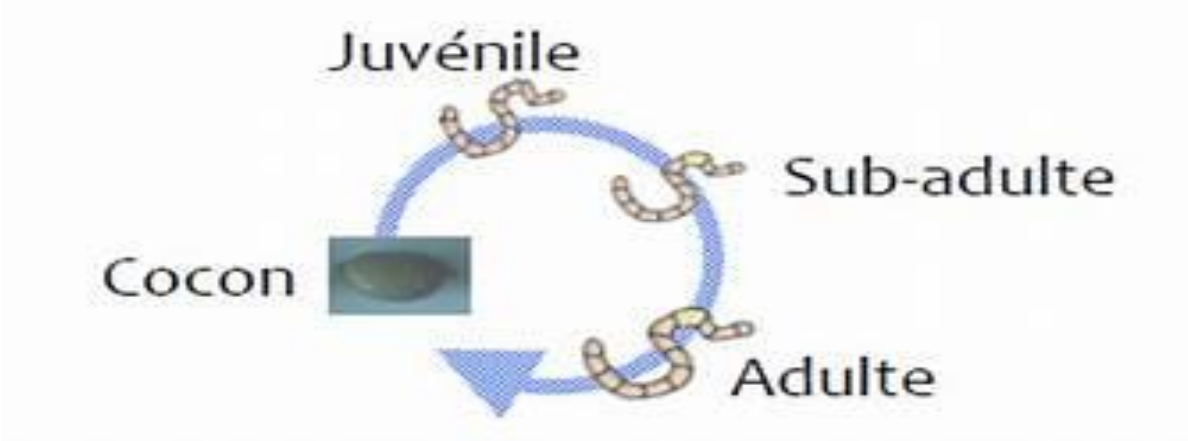


Fig 09 : Cycle évolutif des vers de terre.

2.2.8. Période d'activité :

Les vers de terre sont principalement actifs en sortie d'hiver/début de printemps et en automne. Le sol doit être suffisamment humide et à une température d'environ 10°C (optimum de 12°C).

Lorsque les conditions ne sont pas favorables (sol trop sec en été ou trop froid en hiver), les vers de terre Anéciques et Endogés deviennent inactifs : ils s'enroulent dans une boule de mucus en mettant leur métabolisme au ralenti. Pour certaines espèces (Tête noire), cette période d'inactivité est gérée par des hormones : ils sont inactifs de juin à septembre.

2.2.9. Le lombricompostage :

Cette méthode consiste à produire du compost à l'aide de vers, soit des vers rouges, *Eisenia foetida*, soit notre lombric, *Lumbricus terrestris*. Ils mangent de la matière végétale en décomposition et rejettent ensuite les déchets en petits turicules qui enrichissent le sol (voir dans le tableau ci-dessus). Ils peuvent absorber et rejeter chaque jour l'équivalent de leur propre poids. On obtient du compost (lombricompost) après deux ou trois mois.

Les vers sont très prolifiques. Une incubation de trois semaines permet à chaque cocon de donner dix à vingt petits**.** Les petits vers atteignent leur maturité vers trois mois.

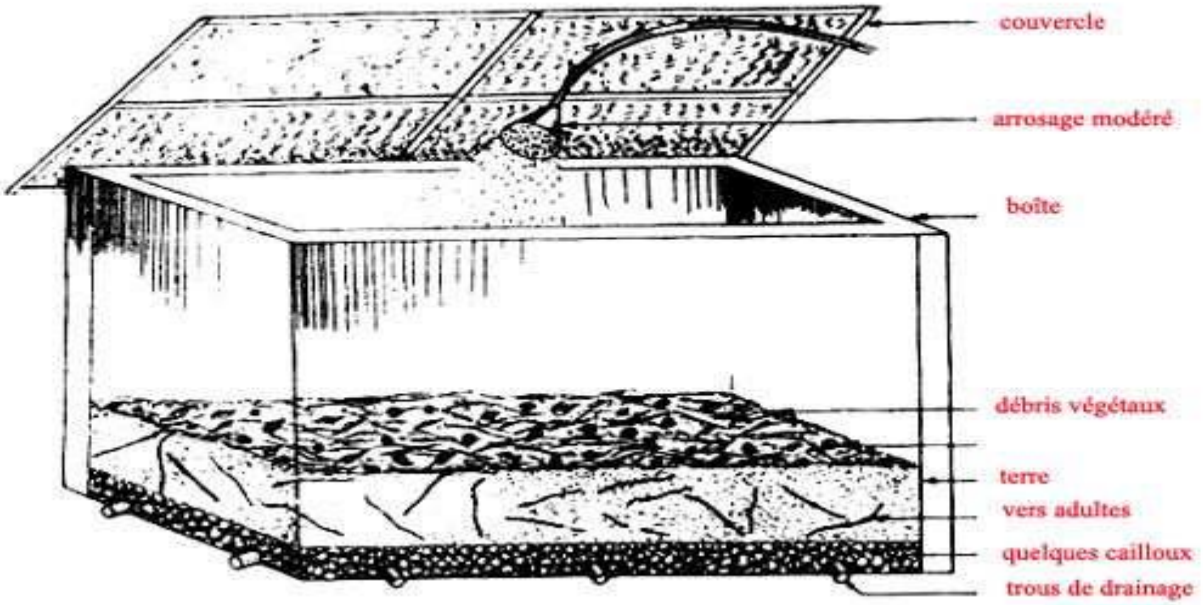


Fig 10: Schéma de vermicompost réalisable à la maison. .K

2.3. Interactions vers de terre-sol :

2.3.1. Interaction avec matière organique du sol :

Le terme « matières organiques du sol » regroupe l'ensemble des constituants organiques, morts ou vivants, d'origine animale, végétale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol.

Les vers de terre jouent des rôles très importants dans la dégradation et le recyclage des matières organiques. Suivant leur catégorie écologique, les vers de terre se nourrissent soit des matières organiques fraîches (cas des épigés) soit de la matière organique stable ou humus (cas des endogés) soit des matières organiques fraîches et de l'humus à la fois (cas des anéciques). Dans le tube digestif des vers, les matières organiques sont soumises à des traitements divers : mécanique, chimique et enzymatique.

Lors du transit intestinal, la sécrétion de mucus ainsi que l'apport d'une certaine quantité d'eau stimulent les activités microbiennes. Grâce à ces substances, les bactéries qui ont été en dormance se réveillent et vont décomposer les matières

organiques ingérées. Ce mécanisme libère des éléments nutritifs sous forme des ions minéraux solubles qui sont assimilables par les végétaux.

Ces éléments passent dans le sol à travers les rejets des vers de terre. **(Ragarigona, 2016)**

D'après **Blanchart (2006)** il existe bien une interaction entre vers de terre et matière organique : la matière organique est un ressource trophique des vers de terre, agit sur le développement des individus et des populations et les vers de terre affectent la dynamique de la matière organique.

Ce dernier a montré que la croissance des vers de terre est rapide dans un sol riche en matière organique « en Carbone », et elle est particulièrement lente dans un sol pauvre en Carbone. Dans ce cas la mortalité des individus est relativement élevée.

Le passage de la matière organique à travers le tractus digestif du ver de terre améliore la composition microbienne et la teneur en élément minéraux de lombricompost **(Byambas, 2017).**

2.3.2. Interaction avec la microflore du sol :

Le sol est souvent considéré comme une mosaïque de micro habitats pour les communautés bactériennes **(Monrozier et *al.*, 1993),** et dont la structure est fortement influencée par les propriétés physico-chimiques du sol (**Navel, 2011**).

La microflore du sol est formée de bactéries (Archaebactéries et Eubactéries), de champignons (levures et moisissures), d'algues et de protozoaires (**Noumeur, 2008**).

Les vers modifient la microflore du milieu, tant du point de vue quantitatif que du point de vue qualitatif. Il semble bien que les vers détruisent les algues qu'ils ingèrent, contrecarrent le développement des champignons, diminuent le nombre des azotobacters et favorisent d'une manière hautement significative les actinomycètes. Des relations

symbiotiques entre les actinomycètes, les azotobacters et les autres bactéries dominent à l'intérieur et à l'extérieur des vers. De nombreuses bactéries sont détruites par les vers comme étant apparemment détruites par la sécrétion pharyngale de *Lumbricus terrestris*. A l'opposé, certaines bactéries sont favorisées, comme par exemple les bactéries hétérotrophes synthétisant la vitamine B 12, car cette vitamine est plus abondante dans les rejets que dans le sol (**Bachelier, 1963).**

L'impact des vers de terre sur l'activité microbienne peut être expliqué par la

métaphore de « la belle au bois dormante ». Les vers de terre sont capables de produire un ensemble de métabolites et autres substances actives, qui vont être bénéfiques à l'activité des micro-organismes, lors de leur passage dans le tube digestif du vers de terre. Au cours de ce processus, du mucus intestinal chargé en eau et en carbone soluble (le baiser) est produit par le vers de terre (le prince) et va permettre le réveil de certaines bactéries (les belles au bois dormant).

Ainsi, pendant et après le passage dans le tube digestif des vers de terre, les bactéries seront fortement actives. La forte activité des bactéries va permettre la décomposition des formes stables de matière organique du sol pour lesquelles les vers de terre ne possèdent pas les enzymes adéquates (**Puga, 2012**).

La composition de la microflore du tube digestif des vers varie enfin avec les espèces et le degré de décomposition des matières organiques ingérées (**Bachelier, 1963)**.

Il y'a une interaction complexe entre les vers de terre et la microflore. La plupart des espèces des micro-organismes qui se produisent dans le tube digestif des vers de terre sont les mêmes que ceux dans les sols ou les vers de terre vivent.

L'intestin des vers de terre fournit un environnement propice à l'éveil et à la multiplication de certaines espèces de micro-organismes et défavorable pour d'autres (**Ulrike, 2009**).

Chapitre 02

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes.

1. Matériel :

1 .1. Présentation de la zone d'étude:

Nos prélèvements sont réalisés auprès de la station expérimentale ITAF de Ben-Chicao á localisé dans la Wilaya de Médéa. Plusieurs raisons ont déterminé le choix du Ben-Chicao comme lieu d'étude. Localisé sur le front de la zone montagneuse subhumide, il a déjà été l'objet de nombreuses études. Plusieurs d'entre elles, dans le domaine des sciences agrobiologique. La parcelle du prélèvement et s'étend à gauche de la RN°1 et comprend les environs de la ville de Ben-Chicao (**Fig 11)**

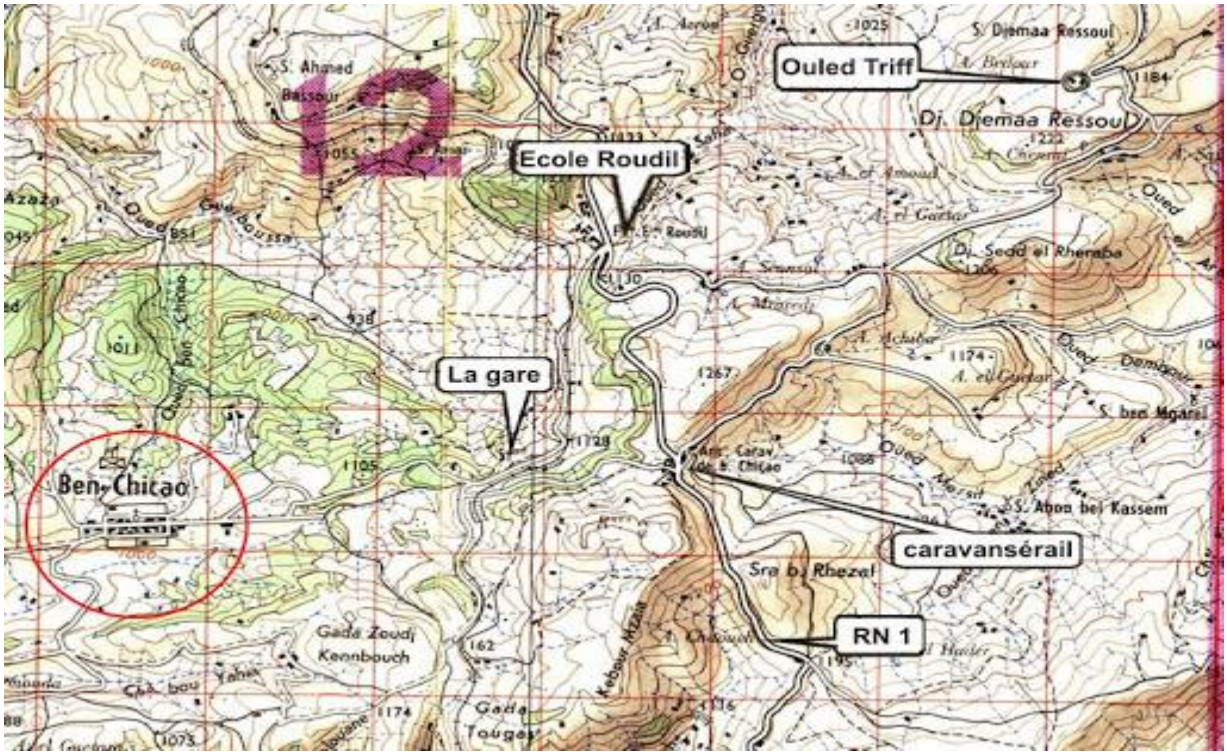


Fig 11 : Localisation géographique de la zone d'étude.

1.1.1. Coordonnées Lambert :

. **Longitude** : X= 2°23´16 ˝E (E : Est) ;

. **Latitude** : Y= 35°54´31˝ N (N : Nord) ;

. **Altitude** : Z= 1187 m.

1.1.2. Synthèse climatique :

Pour estimer rapidement l'influence des principaux éléments, divers paramètres sont proposés. Les plus utilisés sont: la pluviométrie et la température. Ces deux facteurs résument le bioclimat d'une station donnée: précipitations (mm) - températures maximales et minimales (°C).

a) Les précipitations : D'après le **Tableau I**, on remarque que les valeurs des moyennes mensuelles de la pluviométrie indiquent un maximum de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 06 mm, par contre le mois le plus humide est Novembre avec 83 mm. La répartition mensuelle des pluies laisse apparaître une répartition irrégulière de celles-ci. En effet, 283 mm sont enregistrées, au cours de l'automne, 270 mm, en hiver.

Tableau I : Relevés pluviométriques de la station de Ben-Chicao (2020/2021).

Mois	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**T**
Précipitations (mm)	102	91	77	70	44	23	6	11	33	70	83	97	**712**
Nombre de jours avec précipitations	10	11	11	9	9	4	2	2	5	7	10	11	**96**

b) Les températures :

La température est un élément très important, pour le développement et la croissance des espèces végétales **(Ozenda, 1982).** Pour **Ramade (1994),** celle-ci est un facteur limitant, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne la répartition des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère. Les conditions thermiques sont d'une grande importance pour les fonctions vitales, car elles conditionnent la respiration et la photosynthèse (**Decourt, 2001).**

La zone de Ben-Chicao est caractérisée par un climat chaud tempéré. En été les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. La classification de

Köppen est de type Csa. La température moyenne est de 14.4 °C et la moyenne des précipitations annuelles dépasse 700 mm[9]

Le **tableau II** montre la répartition des températures moyennes mensuelles en (C°) relevées au niveau de la région de Médéa.

Tableau II : Moyennes des températures mensuelles dans la région de Ben-Chicao Médéa (période2011/2021) (Weatherbase, statistiques sur 30 ans).

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Année
Température minimale moyenne (°C)	4	4	5	8	11	15	19	19	16	12	7	5	**11**
Température moyenne (°C)	7	8	10	12	16	21	25	25	21	16	12	8	**15**
Température maximale moyenne	13	14	15	18	22	27	32	32	28	22	17	13	**21**

.

1.2. Site de prélèvement :

Notre échantillon a été prélevé dans un sol brun, peu lessivé. Il provient d'une parcelle de la station expérimentale (de Benchicao) de Médéa, qui se situe à la partie Nord de la région de Titteri **(Fig 12).**

- **Fiche parcellaire**

Les principales caractéristiques de la parcelle d'échantillonnage sont reportées dans la fiche parcellaire.

- **lieu de prélèvement** : station expérimentale (Benchicao-Médéa) ;
- **code de la parcelle** : B ;
- **date de prélèvement** : 24-01-2021;
- **surface de la parcelle** : 01 m²;
- **nombre d'unités** : 01 seule (homogène) ;
- **profondeur** : 10 cm ;

•**critère d'unité** :

Couleur : brune ;

Texture : homogène ;

Charge caillouteuse : petite-homogène ;

• **Structure du sol** : polyédrique ;

• **Matière organique :** (fumure naturelle)



Fig 12 : Site de prélèvement des échantillons de la parcelle étudiée (24-01-2021).

1.2.1. Technique d'échantillonnage des vers de terre :

Le choix de la méthode d'échantillonnage des vers de terre dépend des objectifs recherchés et de la localisation géographique.

Dans les régions tempérées la présence de vers de terre anéciques et de galeries connectées à la surface du sol nécessite l'utilisation d'un irritant (moutarde ou formol).

Dans les régions tropicales on effectue simplement un tri manuel identique à celui réalisé pour l'échantillonnage de la macrofaune totale du sol (méthode TSBF, décrite dans la partie macrofaune du sol).

L'étude des communautés lombriciennes nécessite un minimum de 3 répétitions de $1m^2$ par parcelle (espacées de 6m minimum), en identifiant une zone représentative du milieu. Les prélèvements doivent être réalisés lors de la période d'activité des lombriciens : en sortie d'hiver – début de printemps et en automne. Les prélèvements ne sont pas réalisables sur sols gelés et en cas de fortes températures et de fort ensoleillement. Cette méthode fait l'objet d'une **norme ISO (23611-1)**.

Après avoir dégagé la surface du sol, 3 arrosages successifs (espacés de 15 min) avec l'eau. Entre chaque arrosage les vers de terre remontant à la surface du sol sont prélevés (schéma ci-dessous).

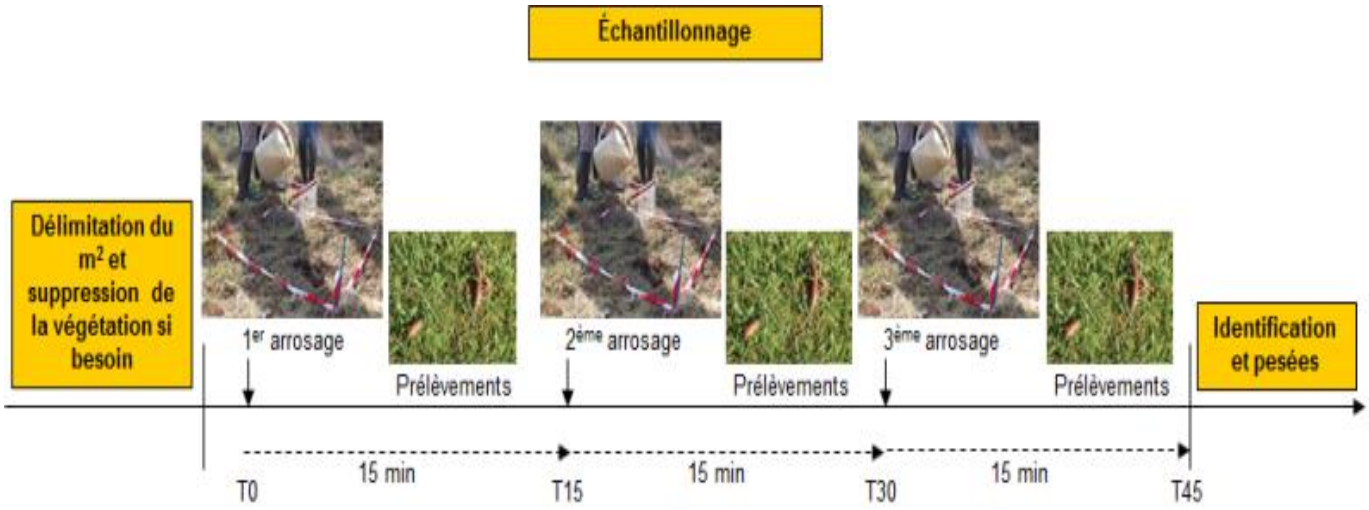


Fig 13 : Technique d'échantillonnage des vers de terre - Eric Blanchart - Joséphine Peigné -Jean-François Vian.

Tous les vers de terre collectés sont comptés (abondance totale) et peuvent être pesées (dans notre prélèvement le nombre de vers trouvées= 24). La pesée par catégorie écologique permet de déterminer la densité des vers de terre dans le sol (la biomasse de vers de terre collectées= 10 g) **(Fig 14).**



Fig 14 : Technique d'échantillonnage des vers de terre sur terrain (24-01-2021).

1.3. Réactifs chimiques, milieux de cultures et appareillage :

- **Réactifs chimiques :** eau de robinet, eau distillée stérile, eau physiologie, acétone, eau oxygéné, alcool 90%, violet de gentiane, lugol, fuchsine, **(Annexe 1).**
- **milieux de cultures** : Gélose nutritive (GN) **(Annexe 2).**

- **Appareillage** : plaque chauffante, Balance de précision, Etuve, Agitateur magnétique chauffant, Réfrigérateur, Spectrophotomètre, Microscope optique **(Annexe 3).**

2. Méthodes :

2.1. Détermination des paramètres physico-chimiques du milieu (sol) :

2.1.1. Acidité du sol (pH eau):

Le pH eau du sol ou l'acidité actuelle est une expression de la concentration en ions hydrogènes (H^+) d'un liquide surnageant dans un bécher, après agitation d'une certaine quantité de sol dans de l'eau distillée, à une température de 25°C.

Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité (alcalinité) est exprimé par le pH, qui constitue le test le plus sensible des modifications survenant dans l'évolution d'un sol **(Calvet et *al.*, 2003).** Le pH eau de sol est mesuré directement par le pH mètre électrique.

2.1.2. Matière organique (MO):

Nous avons déterminé la proportion de matière organique directement par la méthode directe de la brulure sous une température de 100°C durant 24h .

2.1.3. La salinité d'un sol:

La conductivité électrique (CE) traduit la concentration saline totale de la solution préparée (extrait de pâte saturée ou solution sol/eau = 1/5). Elle est directement proportionnelle à la somme des ions à une certaine limite de concentration.

Elle est exprimée en dS/m relative à 25°C. La conductivité électrique spécifique est déterminée selon la norme internationale ISO (Numéro de référence ISO : 11265).

2.1.4. L'humidité relative (HR) :

Le besoin de déterminer la quantité d'eau contenue dans le sol et d'évaluer les états énergétiques de celle-ci se manifeste dans beaucoup d'études de sol. Cette information est indispensable pour la compréhension du comportement chimique et hydrologique des sols et de l'effet sur la croissance des plantes (**Calvet et *al.*, 2003**)

L'humidité relative est déterminée par le rapport de l'eau contenue dans un échantillon du sol au poids du même échantillon après dessiccation à 60°C pendant 24 h.

HR (%) = Me*100/Ms

Avec: Hp : humidité pondérale ; Me : poids d'eau contenu dans un échantillon de sol (gr) ; Ms : poids de l'échantillon sec (gr).

2.2-Méthodes appliquées aux macrofaunes:

2.2.1.Le dispositif expérimental de vermicomposteur (étude *in vivo*) :

a. Chois de l'emplacement : Le meilleur endroit pour le mettre se trouve dans une pièce avec une température et un taux d'humidité constants, on évite de le mettre près du radiateur, du four, de l'air conditionné ou des bouches d'aération. Même si les bacs à lombrics ne produisent généralement pas beaucoup d'odeurs. La température idéale se situe entre 12 et 24 degrés C.

b. Préparation des bacs à lombric : Ce sont des récipients tout prêts pour le vermicompost, chaque récipient peut porter d'environ 10 litres. On assurant qu'il est opaque pour que la lumière n'y pénètre pas.

c. Percez des trous d'aération : On peut utiliser une perceuse pour y faire des trous d'environ 2 mm dans le bas et dans le couvercle.

d. Posez le récipient sur des blocs : Procurez-vous deux parpaings, deux blocs de bois de 10 x 10 cm ou quelque chose de similaire pour tenir le récipient au-dessus du sol. Posez une grande feuille de plastique sur la surface où vous voulez poser le bac. Installez les blocs sur la feuille plastique et posez le bac dessus.

e. Préparez un substrat avec du papier : Les vers ont besoin d'un substrat qui reste humide, c'est pourquoi le papier journal et le carton seront l'idéal. Arrachez le papier journal et les déchets des légumes pour obtenir des bandes de 2 cm de long. Arrachez le carton pour en faire des bandes de la même longueur. Préparez-en suffisamment pour remplir le récipient.

f. Trempez le papier d'eau. Les vers ont besoin d'humidité pour survivre et respirer, c'est pourquoi il est important que le substrat soit bien humide avant d'y mettre les vers. Trempez-le après avoir déchiré les bandes ou vaporisez-le d'eau une fois dans le récipient. Assurez-vous que tout le papier est bien mouillé.

g. Mettez le substrat dans le bac : Une fois que le papier a bien absorbé l'eau, étalez-le sur le fond du récipient.

h. Mettez une poignée de terre sur le dessus. Puisque les vers vivent dans la terre à l'état sauvage, ils vont se sentir plus à l'aise dans votre vermicompost si vous y ajoutez de la terre. Sortez l'équivalent d'une pelle du jardin ou achetez de la terre en jardinerie.

La terre est nécessaire, car elle contient de petits graviers qui aident les vers à mieux digérer leurs aliments.

i. Mettez une couche de déchets organiques : Gardez une quantité de déchets organiques que vous étalez sur le dessus de la couche de terre 650 g de déchets. Cette quantité devrait suffire pour 24 vers. Utilisez de préférence des pelures, des écorces, des trognons, des feuilles et des graines récupérés sur vos fruits et légumes. Vous pouvez aussi y ajouter des coquilles d'œufs écrasées.

j. Fermez le couvercle : Les vers vont se reproduire dans le bac superficiel avant de fermer le couvercle. Les bacs doivent être contrôlés toutes les semaines pour vérifier la quantité de substrat qu'il reste et que l'humidité et la température soient suffisantes pour l'activité des vers.

K. Récupération : Le compost pourrait être prêt après trois mois on récupère-le doucement **(Fig 15).**

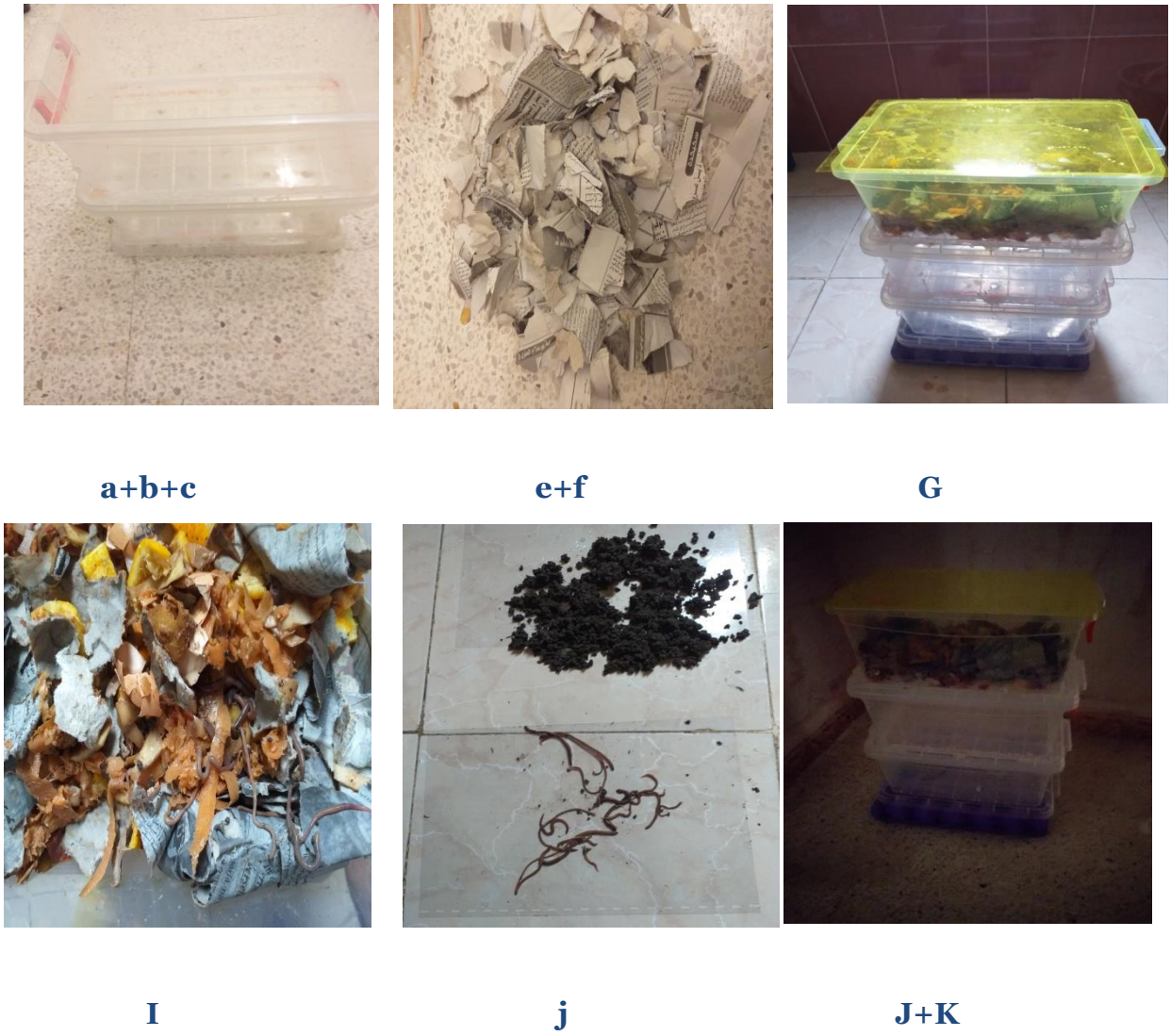


Fig 15 : Etapes de production de compost.

2.2.2. : Calcul de rendement en compost (RC) :

Le calcul de rendement permet de déterminer l'efficacité d'une productibilité chez les vers. Dans cette étude le rendement est le rapport entre la quantité de compost-obtenus (en g) et la masse de la matière organique brute (en gramme).

$$\mathbf{R\,C\ (g/g)} = \frac{\textbf{quantité de compost obtenus}}{\textbf{masse de matière organique primaire}}$$

2.2.3. Détermination des paramètres du compost :

a. Paramètres physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques du vermicompost obtenus : L'acidité (pH), le taux de matière organique, la salinité et l'humidité relative ont été déterminés de la même manière que le sol.

b. Paramètres chimiques :

- **Extraction et dosage de l'acide humique :**

- **Extraction :**

Cette méthode a été adoptee d'après **Lichtfouse (1998)** pour un traitement des résultats en %.

Cette analyse va nous permettre de comparer la proportion de carbone contenue dans les acides fulviques (AF) et les acides humiques (AH) (carbone organique extrait) à celle de l'humine (carbone organique non extrait).

Le TEX est le rapport du carbone organique extrait (AF et AH) au carbone organique total.

La séparation des AF et AH peut se faire par la suite. Cette méthode a pour but, dans le liquide issu de l'extraction alcaline de séparer les composés peu humifiés acidosolubles (acides fulviques jaunâtres de faible poids moléculaire) des composés plus humifiés acido-insolubles (acides humiques brunâtres, de poids moléculaire supérieur). Par l'abaissement du pH à des valeurs très basses, on provoque la précipitation des AH, que l'on peut récupérer par centrifugation, alors que les AF restent en solution.

Mode opératoire :

L'analyse a été faite sur un échantillon sec sous forme d'une poudre fine (**Fig 16**) de compost récolté après 3mois dans le vermicomposteur



Fig 16 : La poudre fine de compost récolté.

L'extraction de la matière organique a été faite selon les étapes suivantes :

1. Placer la prise d'essai dans un pot à centrifuger de 250 ml.

2. Ajouter 200 ml de NaOH 0.001N et bien fermer le bouchon.

3. Passer ensuite les échantillons au bain à ultrasons pendant 15 minutes à température ambiante. (3 fois)

4. Ajuster le pH à 10 à l'aide de NaOH (5 ml de NaOH dans 45ml d'eau).

5. Mettre les échantillons 1h à la branleuse.

6. Equilibrer les pots

7. Centrifuger les tubes à 6'000 t/min durant 15 minutes. Avec le réglage suivant de la centrifugeuse :

8. Récupérer délicatement le surnageant en le siphonnant à l'aide du système d'aspiration et le transvaser dans un bécher ou erlenmeyer de grand volume (au moins 1l).

9. Recommencer les étapes 2 à 8 sur le culot, jusqu'à l'obtention d'un surnageant limpide, incolore ou jaune très pâle selon les sols, mais au maximum 5x en ajoutant

chaque fois le surnageant aux extraits précédents. (Agitez vigoureusement à la main avant et après les ultasons et si nécessaire le décoller à l'aide d'une spatule)

10. Filtrer tout le surnageant obtenu sur un filtre GF9 à l'aide du système de filtration millipore.
11. Conserver tout le surnageant pour la séparation des AF/AH.
12. Le culot au final contient les humines, le récupérer à l'aide d'H2O dans un bécher de 250 ml préalablement annoté et pesé. Laisser sécher le contenu du bécher à l'air libre sous une hotte de ventilation réservée et vidée de tout autre matériel au préalable et mise sous grande ventilation (GV).

13. Pser le contenu sec du bécher

14. Récupérer l'erlenmeyer contenant tous les AF/AH dissous.

15. Amener à pH 1.5 avec de l'HCl 1N ou 2N. Couvrir l'erlenmeyer avec du parafilm et laisser reposer une nuit en chambre froide à 4 C.

- **Purification (Séparation des AF et AH) :**

1. Mettre le surnageant contenant les AF et les AH dissous dans MAX 2 tubes à centrifuger de 250 ml.

2. Centrifuger à 6000 t/min durant 15 minutes. Réglage de la centrifugeuse : idem que pour la 1ère extraction. (3 fois)

3. Récupérer le surnageant (AF) en le transvasant délicatement dans un récipient type erlenmeyer ou bécher de 2 litres
4. Répéter les étapes 1 à 3 toujours dans les même pots afin de centrifuger tout le volume de surnageant AF/AH. S'il ne reste pas assez de liquide pour la dernière centrifugation, utiliser le surnageant récupérer précédemment (au point 3) contenant les AF.
5. Laver le culot (AH) avec 200 ml d'HCl 0.1N, Décoller et re-suspendre le culot à l'aide d'une spatule, puis agiter à la main durant quelques minutes et passer aux ultrasons 2 minutes.
6. Centrifuger à nouveau à 6000 t/min durant 15 minutes, toujours avec la même programmation de la centrifugeuse.
7. Récupérer le surnageant et l'ajouter aux extraits d'AF précédents.

8. Le surnageant contient les AF dissous. A priori, on ne le conserve pas puisque qu'on obtiendra leur quantité par déduction dans les calculs.

9. Récupérer le culot contenant les AH à l'aide d'un minimum d'eau désio et le transvaser dans un bécher de 250 ml. Laisser sécher le contenu du bécher à l'air libre sous une hotte ventilée réservée et vidée de tout autre matériel au préalable.

10. Doser le culot au CHN pour obtenir le C total (ou au Rock-Eval pour le Corg et le Cmin).

11. Conservation

Le culot est séché dans l'étuve à 45 c° pendant 24h.

c. paramètres microbiologiques (Contrôle de la diversité microbienne) :

Après solubilisation d'1g de compost dans l'eau distillée sterile on peut faire d'un nouveau ensemencement sur un milieu nutritif (GN) a pour but de contrôler la qualité des colonies qui correspond les divers micro-organismes existant dans le vermicompost.

2.3-Méthodes appliquées aux microfaunes:

2.3.1. L'autopsie :

Le ver de terre (*Lumbricus terrestris*) fait partie des Annélides oligochètes (c'est-à-dire garni de soies peu nombreuses) , la taille des vers dépend de leur espèce dans notre région elle est de 5 à 10 cm.

Un ver de terre présente 4 zones distinctes anatomiquement :

- La zone qui va de la bouche (le prostomium) au début de clitellum.
- La zone du clitellum.
- La zone « abdominale » du ver qui contient surtout l'intestin.
- La zone anale.

Notre intérêt est la zone abdominale qui comporte l'intestin du tout la microbiote ; Cette partie du ver correspond au développement de la zone intestinale donc zone d'absorption. Sa structure est la même dans tous les segments jusqu' à la queue du ver (**Fig 17**).

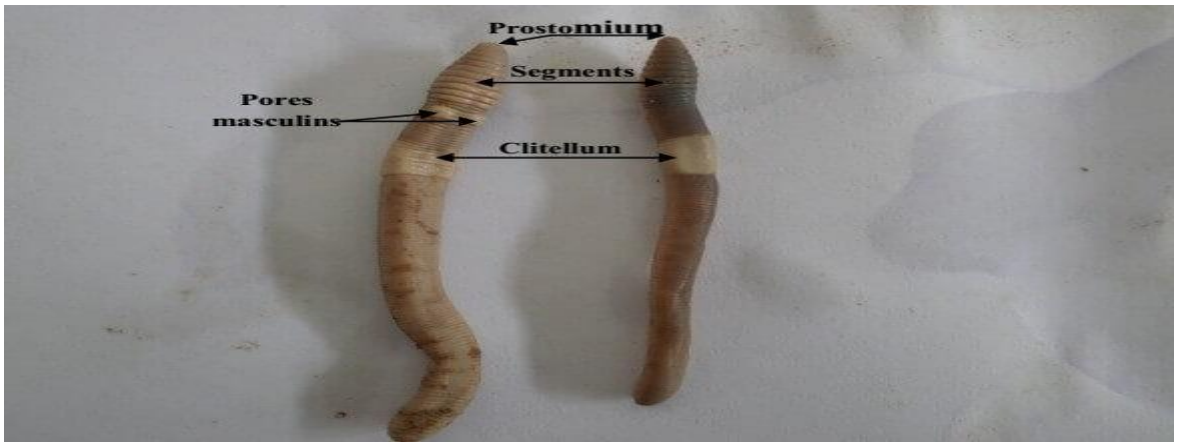


Fig 17 : Vue ventrale et vue dorsale d'un ver de terre

Après fixation du corps de vers de terre lavé préalablement par (l'eau javellisée puis l'eau distillé) sur une plaque de polyester stériles, cet dernier est traité par l'acétone au niveau de porstomium (**Fig 17**) pour bloquer les érections du corps, et à l'aide d'une lame chirurgicale on peut faire une dissection du corps entre les segments et le clitellum **(Fig 18).**



a-Trempage dans eau + eau de javel



b-Lavage par eau distillée





c-Fixation **d-Dissection**

Fig 18 : Etape de l'autopsie de *Lumbricus terrestris*.

2.3.2. Biopsie :

Après avoir obtenu l'échantillon « la biopsie de l'intestin », à l'aide d'un écouvillon l'ensemencement a été fait par épuisement sur un milieu d'agar nutritif (**GN**) a pour objectif d'isoler des micro-organismes et d'obtenir des colonies distinctes après incubation pendant à 28c° durant 24h.

L'ensemencement par épuisement permet de séparer des bactéries d'une ou de plusieurs espèces. La forme, la couleur et la texture des colonies sont des caractéristiques des espèces bactériennes que nous pouvons étudier après avoir utilisé cette technique (**Fig 19**)

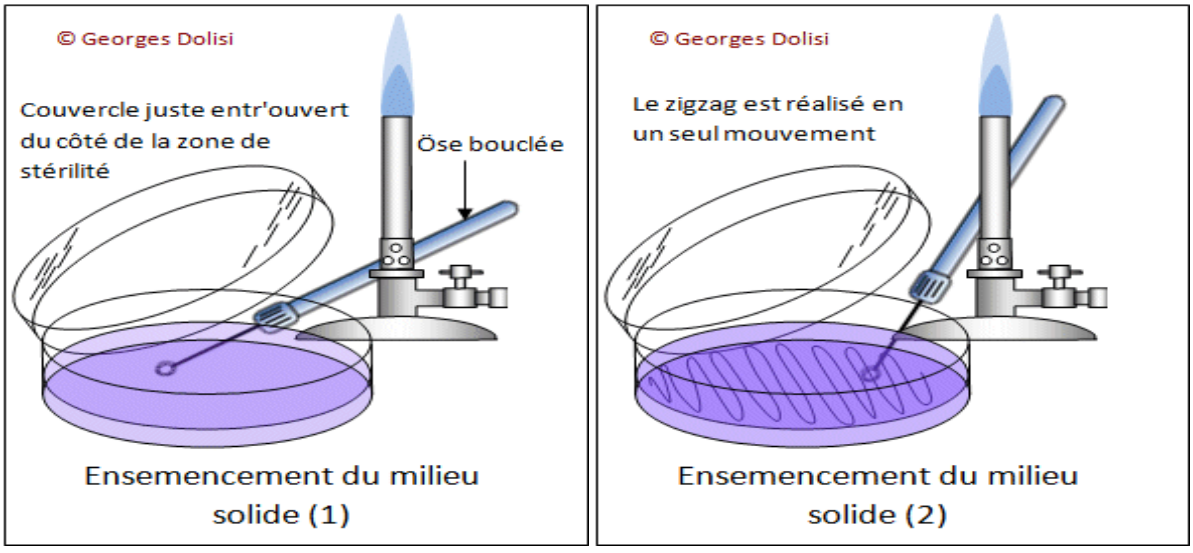


Fig 19 : Procédure de réalisation l'ensemencement par épuisement de la biopsie.

Après incubation, la boite mère représente 4 espèces distinctes selon les critères morphologiques, on prend une colonie à partir de chaque une des 4 souches isolées (3 fois) a pour but de les purifier dans des boites de Pétri contenant la GN. Toutes les manipulations ont été effectuées dans des conditions strictement stériles.

2.3.3. Tests d'identification microbiologique :

Les examens a pour but distinguer les 4 souches sélectionnés :

a. Examen macroscopique (aspect morphologique) :

L'observation de l'aspect macroscopique des colonies isolées permet d'effectuer une première caractérisation avec une orientation possible des résultats au cours de l'identification d'après **(Joffin et Layeal, 2001)**, les éléments d'identifications macroscopiques sont :

- **la tailles des colonies :** par la mesure du diamètre : petit ; moyenne ou grande
- **la pigmentation :** couleur des colonies.
- **l'élévation :** bossue, convexe, plane.
- **l'opacité :** opaque, translucides, transparente.
- **aspect :** lisse, rugueuse, sèche.

b. Examen microscopique :

b1.Examen à l'état frais : On rajoute à une goutte de l'éosine aqueuse diluée (à la place de l'eau distillée) disposé sur lame une à deux colonies, bien mélangé, couvre par lamelle, puis observation au microscope optique à objectif x100 avec huile d'immersion.

b2.Coloration de Gram : Une goutte d'eau distillée stérile va disposer sur lame et mélanger avec une colonie isolée, déplacer la lame sur la flamme jusqu'à devient sèche (blanchâtre), inonder avec le violet de gentiane (pendant 1 minute) puis rinçage par l'eau, l'ajoute de lugol (1 min) puis rinçage, décoloration par l'alcool (10 second) puis rinçage, coloration avec le fuchsine (1 min) puis rinçage, séchage du lame par papier buvard puis observation on microscope optique (objectif x 100 avec huile d'immersion).

2.3.4. Tests de caractérisation biochimiques :

a. Test de catalase : Une goutte de l'eau oxygéné (H_2O_2) disposé sur lame mélanger avec une à deux colonies prélevé.

2.3.5. Test *in vitro* de l'activité de biodégradation de la matière organique et minérale des souches isolées :

a. But :

Tester l'efficacité des souches isolées a dégradé la matière organique et minérale:

Cette étude pratique soit sur milieu solide ou en milieu liquide, mais la plus économique est celle sur milieu solide, qui permet de tester plusieurs souches bactériennes en même temps.

Parmi les méthodes qui existent en microbiologie, la méthode de diffusion étant la plus utilisée a été choisie.

b. Détermination l'indice de dégradation (Id) :

b.1. Préparation de la suspension bactérienne : Les inoculums bactériens ont été produits. Les bactéries sélectionnées , ont été cultivées dans des milieux solides, les cellules bactériennes ont été ensuite concentrées par centrifugation, agitées trois fois durant 30 secondes dans une solution physiologique stérile et mises en suspension dans 500 mL d'eau physiologique stérile .

b.2.Quantité d'inoculum utilisé:

Nous avons utilisé une concentration homogène d'inoculum pour chaque bactérie, en utilisant une numération spectrophotométrique directe la densité optique des suspensions sur un spectrophotomètre (D.O = 0,5/ 625nm) pour l'obtention de 0,5 Mc Farland standard correspondant à une concentration bactérienne de 10^6 UFC/ml.

c. Application de la technique des disques :

A l'aide d'une pince stérile, on place les disques préalablement inoculés dans la suspension bactérienne sur les boites de pétri. On refait l'opération en 3 répétitions.

Les boites de Pétri sont incubées dans l'étuve à 30°C pendant 24h pour toutes les souches testées.

On place les disques préalablement inoculés dans la suspension de chaque bactérie sur les boites de pétri à l'aide d'une pince stérile. **(Fig 20).**

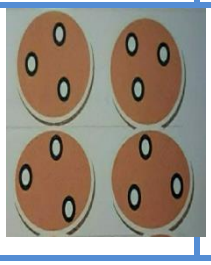
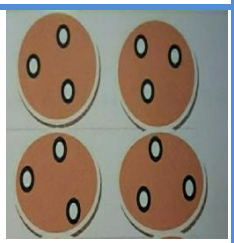
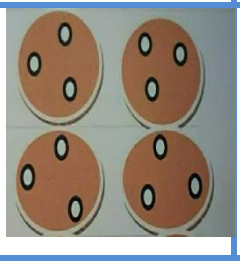
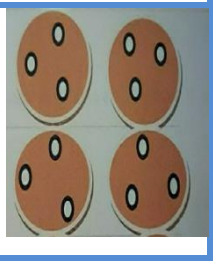
Souche	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
Enrobage des disques dans les suspensions bactériennes				
Application des disques sur les milieux organiques				

Fig 20 : Procédure d'application de technique de diffusion sur disques.

d. Lecture :

Elle consiste à mesurer les diamètres des zones de décomposition à l'aide d'une règle graduée, la formation d'un halo clair autour des disques est considérée comme indicateur de l'activité enzymatique bactérienne. L'indice de dégradation (Id) est déterminé en utilisant la formule suivante:

$$Id\% = \frac{\textbf{\textit{Diamètre halo (mm)}} - \textbf{\textit{Diamètre disque(mm)}}}{\textbf{\textit{Diamètre disque (mm)}}} \textbf{\textit{X}}100$$

e. Milieux organiques sélectionnés

e.1. Glucides : Milieu d'amidon (Marchal, et Bourdon, 1973) :

Les souches sont ensemencées sur milieu gélose nutritif contenat 0,4 g d'amidon mélangé avec 400 ml d'eau distillée et 9,5 g gélose nutritif. Après 14 jours d'incubation à 30 C° l'hydrolyse de l'amidon est mise en évidence par l'absence de coloration autour des colonies.

e.2. Lipides : Milieu tween 80 (ester d'acide gras) (Sierra, 2002) :

La dégradation du tween 80 se manifeste par une auréole opaque autour des colonies. Les souches sont ensemencées sur milieu gélose nutritif contenant 0,4 g de tween 80 mélangé avec 400 ml d'eau distillée et 9,5 géloses nutritives.

e.3.Acide minérale : Milieu d'acide sulfurique (Tridot, 2021):

Nous ajoutons 1ml d'acide sulfurique a la gélose nutritive déjà préparer dans un milieu liquide on ajoute 1ml d'acide sulfirique 0.01N dans chaque tube. Les tubes sont bien fermé et incubé dans l'étuve à 28 degré pendant 14 jours pour.

e.4. Acide organique : Milieu d'acide citrique :

L'acide citrique est un triacide carboxylique de formule $C_6H_8O_7$. Joue un rôle central dans le métabolisme de tous les organismes vivants. Il est un intermédiaire du métabolisme des organismes aérobies. A la gélose nutritive dans un milieu liquide on ajoute 1ml d'acide citrique 0.01N dans chaque tube. Les tubes sont bien fermés et incubé dans l'étuve à 28 degré pendant 14 jours. La lecture des résultats consiste à la mesure du pH à l'aide d'un pH mètre on mesure quotidiennement.

2.4. Traitement statistique des données :

Pour chaque série d'analyses, sont calculés la moyenne $\overline{(x)}$ **,** l'erreur standard **(ε)**, l'intervalle de confiance (**IC**), la variance (**s^2), et** le degré de liberté **d.d.l**. . La comparaison des moyennes s'applique par le "**test de Student**" test qui nous permet de comparer entre l'activité microbienne de décomposer la matière organique et minérale.

Chapitre 03

Chapitre 03 : Résultats et Discussion :

3.1. Analyses physico-chimiques du sol et du compost :

3.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH) :

D'après nos résultats représentés dans le tableau III, on note que le pH est neutre, la valeur moyenne est de 7.6 dans le sol, cette a été diminué dans le compost (7.31)

Tableau III : représente les valeurs de pH dans le sol et le compost

Fraction	**sol**	**Compost**
pH	7.60	7.31

Pour définir le type de pH nous avons utilisé la gamme de l'évolution du pH, représentée dans la figure suivante :

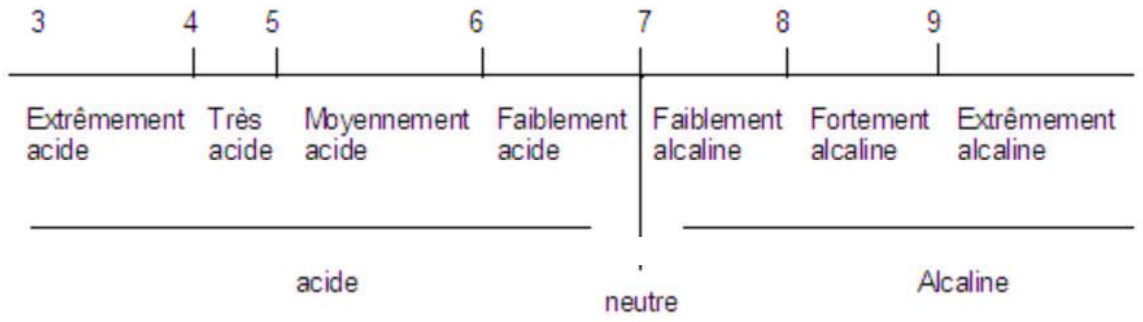


Fig 21 : Gamme de l'évolution du pH

Dans ce cas on parle de pH préférable pour les vers de terres, **Edwards et Bohlen (1996)** dit que les vers de terres préfèrent un pH de l'ordre de (4,2 à 8).

Les valeurs de pH ont baissé des valeurs de pH = 7.60 à des pH aux alentours de la valeur 7.30 Certainement, c'est le résultat de la décomposition de la matière organique et la libération des acides humiques ; ce qui agit sur le changement de pH **(Satchell, 1967, Edward et Bohlen, 1996).**

3.1.2. La matière organique (MO) :

Selon les résultats représentés dans le tableau suivant on peut dire que le compost est plus riche en matière organique (6.66%) que le sol qui est pauvre en matière organique (0.73%).

Tableau IV: La masse de matière organique dans le sol et le compost.

Fraction	**Sol**	**compost**
Masse initiale (g)	40	40
Masse finale (g)	39.707	37.336
Matière organique (g)	0.293	2.664
Matière organique (%)	0.73	6.66

3.1.3 .Conductivité électrique (CE) :

La valeur de la C E est directement liée à la salinité **(Hirai et *al*, 1986).** Nous constatons d'après les valeurs trouvés, que la conductivité électrique (CE) augmente dans le compost par rapport au sol, ce qui signifie que le compost des vers est plus riche en sels minéraux, il représente les excrétions et les déchets du tube digestif des vers, la valeur de 2.11 Sm/cm correspond 2.11/0.35 : 6 fois plus important que dans le sol.

Tableau V : Les valeurs de la conductivité (CE) dans le sol et le compost.

Fraction	**Sol**	**compost**
C E (Sm/cm)	0.35	2.11

3.1.4. L'humidité relative (HR%) :

Le taux d'humidité est très important pour la survie des vers de terre, selon **Morin (2000)**, la respiration chez les lombrics est maintenu par l'assimilation de l'O_2 dans l'eau, c'est pour cette raison que les vers doivent toujours maintenir leur peau humide. La diminution du taux d'humidité dans le vermicompost peut être due à la consommation de l'eau par les vers.

Tableau VI : Valeurs de l'humidité relative du sol et du compost.

Fraction	**Sol**	**compost**
Masse initiale (g)	100	20.02
Masse finale (g)	82.10	18.47
HR (%)	**17.9**	**6.39**

3.2. Extraction et dosage de l'acide humique (AH) :

3.2.1. Séparation (AH- acide fulvique (AF)) :

Nous avons obtenu de mélange non homogène un culot précipité au fond de tube et un liquide marron flotte d'en haut et pou, la séparation a été faite on vidange le liquide très soigneusement en fin d'évité la promiscuité avec le culot **(figure 22).**

3.2.2. Calcul de rendement en compost (RC) et en acide humique (RAH) :

Après la séparation des molécules :

- **le rendement en compost a été de :** $RC = \frac{40\ g}{670\ g} \text{x } 100 = \mathbf{5.97\%}$
- **Le rendement en acide humique été :**
- Par rapport au compost produit : $RAH = \frac{13.64\ g}{40\ g} \text{x } 100 = \mathbf{34.1\%}$
- Par rapport à la matière organique initiale : $RAH = \frac{13.64\ g}{670\ g} \text{x } 100 = \mathbf{2.03\%}$

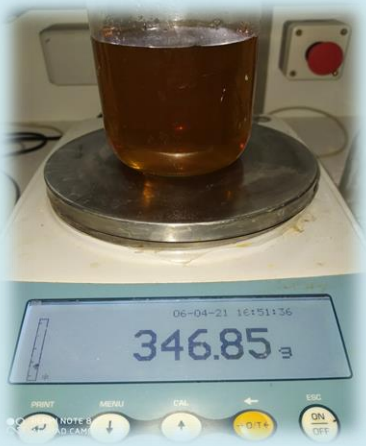
Mélange après centrifugation	AF **: acide fulvique**	AH **: acide humique**
		
360.49 g	**346.85 g**	**13.64 g**

Fig 22 : Séparation des molécules (AH- AF) après la centrifugation.

4 .Isolement et sélection des souches microbiennes :

4.1. Isolement :

Dans chaque tour d'enrichissement, les prélèvements sont effectués, puis ensemencé sur le milieu gélose nutritive solide et incubés en 30c° pendant 48h (2 boîtes pour Chaque repiquage).

D'après les résultats représentés dans le tableau VII, le nombre des boîtes qui présentent une croissance microbienne à augmenter de 2/2durant le repiquage avec un nombre de Colonies égale à 4. Cela peut être dû à une adaptation des micro-organismes avec les composants de milieu.

Les colonies obtenues ayant une bonne croissance sur milieu GN sont isolées et purifiées en se basant sur les critères morphologiques et biochimiques.

Tableau VII : Dénombrement des colonies isolées sur un milieu (GN).

Souches	Nombre de boîtes (Repiquage)	Nombre de boîtes qui présentent une croissance microbienne	Période d'incubation
Souche 1	2	2	48 H
Souche 2	2	2	48 H
Souche 3	2	2	48 H
Souche 4	2	2	48 H

4.2. Purification des souches capables de l'utiliser le gélose nutritive comme source de carbone et énergie :

La culture finale sur milieu gélose nutritive est repiquée en série des boîtes et ensemencé sur le milieu G. Les colonies présentent une bonne croissance sont repiquées sur le milieu GN deux fois, et les boîtes sont incubées à 30c° pendant 24h. L'aspect macroscopique des souches isolées est représenté sur la **figure 23**.



Souche: **S(1)**



Souche: **s(2)**



Souche: **S(3)**



Souche :**s(4)**

Fig 23 : Aspect macroscopique des souches bactériennes isolées sur (GN).

4.3. Aspect morphologique des souches isolées :

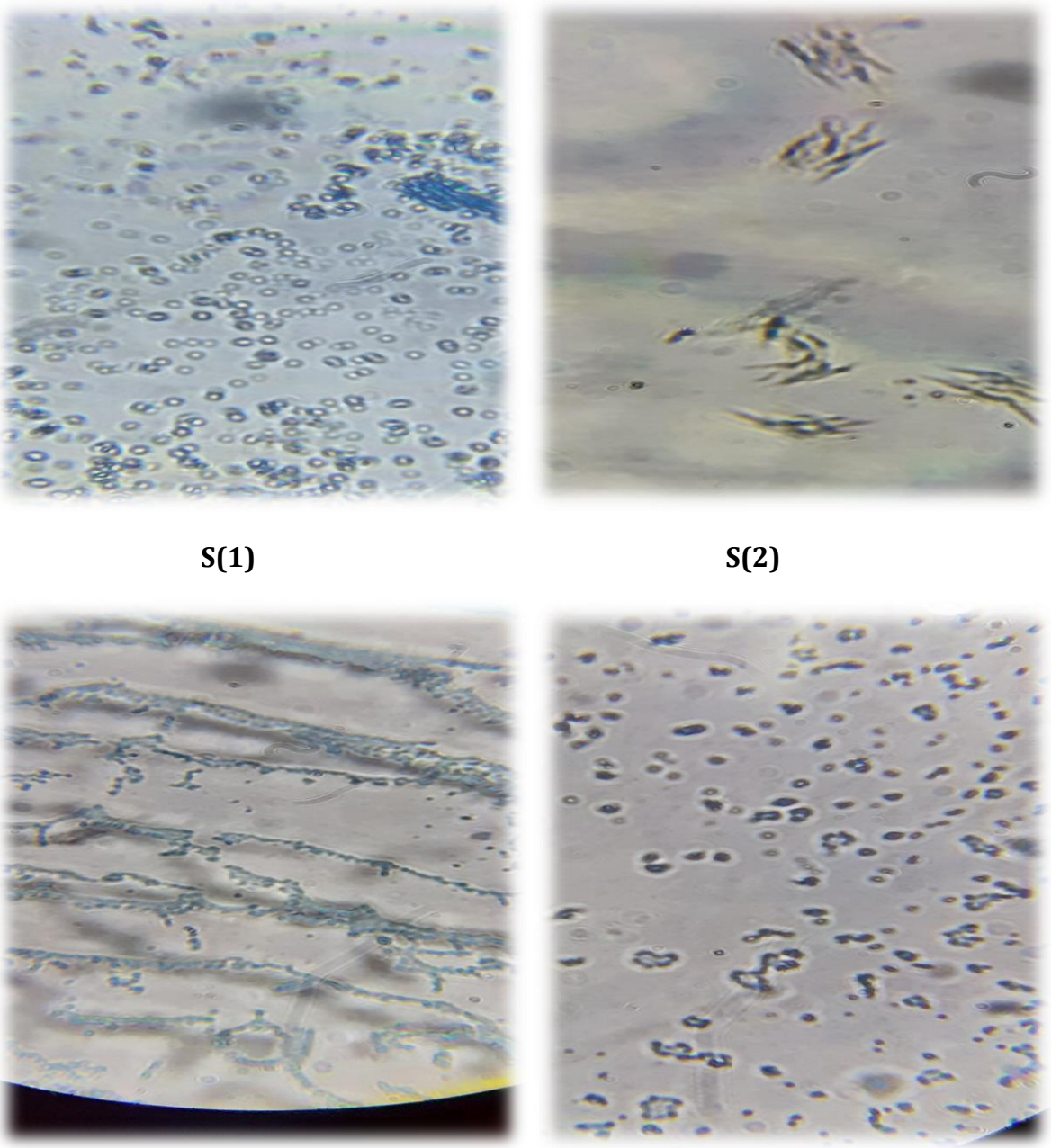
La description morphologiques des souches bactériennes isolées et purifies sur milieu GN, est représentées dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Aspect macroscopique des souches isolées.

Caractères morphologiques	Germes isolés (souches)			
	S1	**S2**	**S3**	**S4**
La Forme	diplocoques	Cocci en amas	Cocci en chaine	Coccibacille
Le relief	bombé	bombé	bombé	bombé
Le contour	A bord régulier	A bord régulier	A bord régulier	A bord régulier
Le diamètre	1 à 2 mm	1 à 2 mm	1 à 2 mm	1 à 2 mm
La taille	Petites colonies	Petites coloies	Petites colonies	Petites colonies
L'aspect	punctiforme	rhizoïde	rhizoïde	circulaire
La couleur	Blanche	blanche	blanche	blanche
élévation	convexe	convexe	élevé	Élevée
bord	régulier	régulier	régulier	régulier
consistance	crémeuse	crémeuse	crémeuse	crémeuse
opacité	Translicide	translucide	translucide	translucide

4.4. Aspect microscopique :

4.4.1. Observation à l'état frais : Les résultats de l'aspect microscopique à l'état frais sont représentés dans la **figure 24**.



S(1) **S(2)**

S(3) **S(4)**

Fig 24 : Observation microscopique des souches isolées (G x100).

4.4.2. Coloration de Gram :

Coloration de Gram : Le type de Gram des bactéries isolées est présenté dans la figure 25 et le tableau IX.

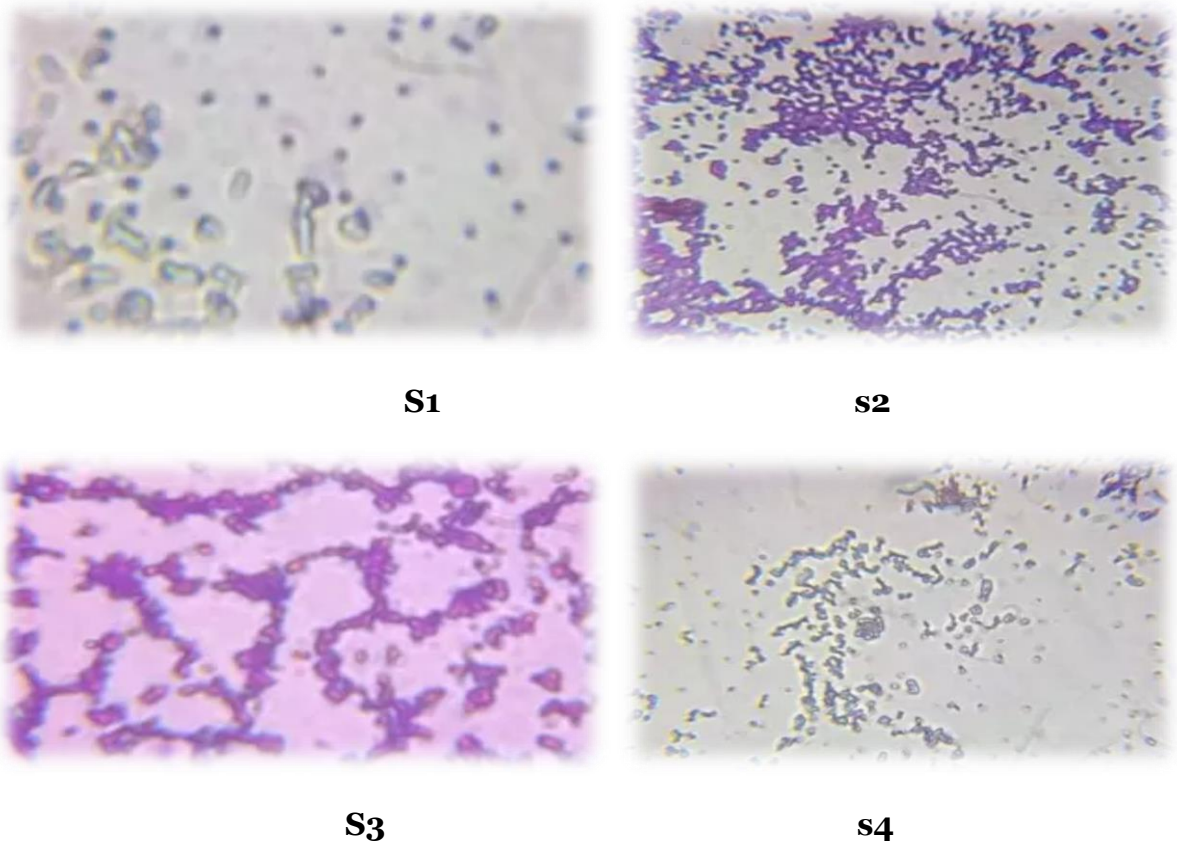


Fig 25 : Coloration de Gram des souches isolées.

Tableau IX : Résultats du test de coloration Gram des souches isolées.

Test	**Germes**			
	S1	**S2**	**S3**	**S4**
Coloration de Gram	Positive (+)	Positive (+)	Positive(+)	Positive(+)
Mobilité	Immobile	Immobile	Immobile	Immobile

4.5. Caractéristiques biochimiques :

Les caractères biochimiques des souches sont répertoriés dans le tableau X.

Tableau X : Caractères biochimiques des souches bactéries isolées.

Test biochimiques	**S 1**	**S 2**	**S 3**	**S 4**
Catalase	negative	negative	negative	negative

5. Etude *in vitro*, de la cinétique de dégradation de la matière organique par les souches sélectionnées :

Dès leur application, les matières organiques sont soumises à des processus de dégradation abiotique (physico-chimiques) ou biotique (biologiques). Les processus de dégradation abiotique plus courants sont l'hydrolyse, l'oxydation, la réduction, la décarboxylation, l'isomérisation et la photodégradation et la thermodégradation.

La biodégradation des matières organiques peut être aérobie ou anaérobie et conduit à la production de métabolites jusqu'à la minéralisation (**Coli et *al.*1988**). La représentation des cinétiques de dégradation des matières organique *in vitro* est généralement fondée sur une loi de décroissance exponentielle avec un pas de temps journalier, où le temps est une propriété déterminée en laboratoire en conditions standardisées et au champ dans le cadre de la procédure d'homologation des matières organiques. La dégradation s'accompagne de l'apparition de métabolites, avec changement de la structure chimique, ce qui provoque des modifications de leur nature et de leur comportement par rapport á celui de la molécule mère. Les réactions de dégradation sont sensibles à différents paramètres environnementaux et dépendent de la structure chimique des matières organiques.

5.1. Cinétique de dégradation de l'amidon :

L'observation quotidienne direct, et sous la loupe binoculaire réalisées sur la zone de contact entre les colonies bactériennes (disques) et le milieu (amidon) sur boîtes de Pétri, montrent que ces souches bactériennes ne rassemblent pas des halos de solubilisation autour des disques. Pourtant que l'amidon (**Hagedorn, 1976),** la chitine

et l'acide humique constituent des substrats sélectifs pour isoler les actinomycètes rares **(Cho et *al*.1994).**

Le milieu Amidon-Caséine est utilisé par de nombreux auteurs pour l'isolement de *Streptomyces* à partir des sols arides (**Hagedorn, 1976**). Le milieu Amidon-Caséine est considéré un milieu de choix permettant un bon développement du mycélium aérien et est considéré comme étant le milieu le plus approprié pour la sélection et la croissance des actinomycètes **(Kister et *al*.1964).** Selon **Jignasha et *al* (2007)**, la croissance de *Streptomyces clavuligerus* est faible sur milieu ISP5 par comparaison au milieu amidon.

L'intestin moyen (mésentéron) est, comme chez la plupart des inscetes, un lieu important de la digestion, caractérisé par l'existence des cspèces d'actinomycètes et des protozoaires flagellés (endobiontes : nierobiote interne) assurant la sécrétion que se ferait la dégradation de la cellulose, des hémiccllulоses et d'autres polysaccharides comme l'amidon **(Bignell, 2000**).

Tableau XI : Valeurs de l'indice de dégradation d'amidon.

Temps de lecture	**Indice de dégradation d'Amidon : Id (%)**			
	Souches			
	Souche 1	Souche 2	Souche 3	Souche 4
1J	**30.84**	**29.69**	**27.92**	**33.37**
3J	**41.56**	**40.56**	**41.89**	**40.43**
5J	**55.68**	**49.1**	**42.53**	**46.51**

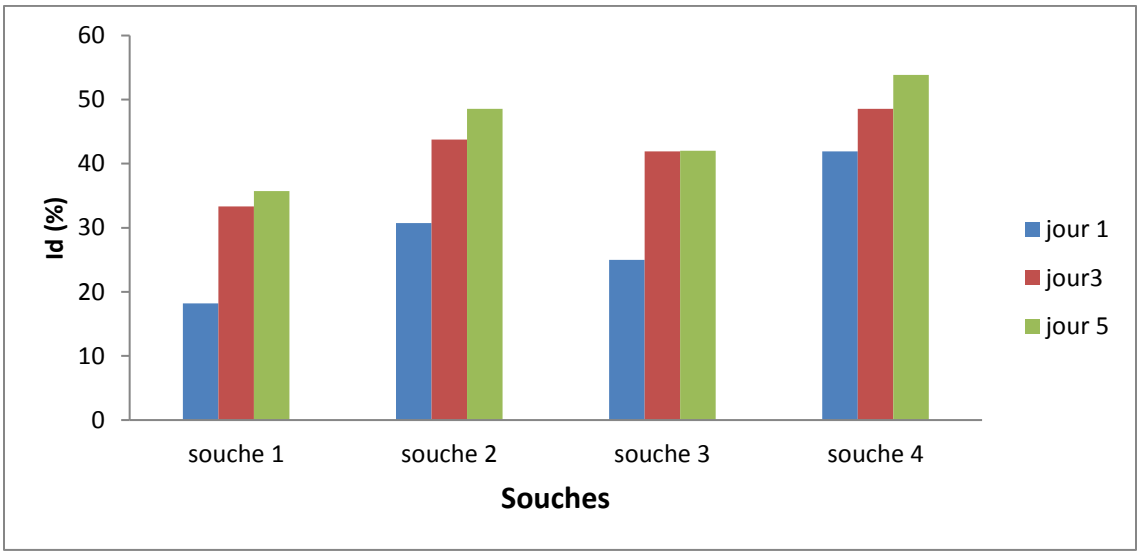


Fig 26 : Cinétique de la bio dégradation de l'amidon des souches testées

5.2. Cinétique de dégradation des lipides (tween80) :

Les enzymes hydrolytiques sont utilisés comme des molécules clés dans le phénomène de compétition développé par les micro-organismes producteurs vis-à-vis de la flore de l'écosystème qu'ils occupent **(Beneduzi et *al.*2000).**

Dans ce travail, les 4 souches sélectionnées montrent une activité importante de dégradation de la matière organique de type lipidique en développant sur milieu Tween 80 des zones jaune-orange.

Tableau XII : Valeurs de l'indice de dégradation de Tween 80.

Temps de lecture	**Indice de dégradation de Tween 80 : Id (%)**			
	Souches			
	Souche 1	Souche 2	Souche 3	Souche 4
1J	**38.48**	**74.17**	**42.46**	**45.25**
3J	**60.53**	**77.24**	**47.11**	**51.82**
5J	**66.37**	**76.94**	**57.32**	**54.3**

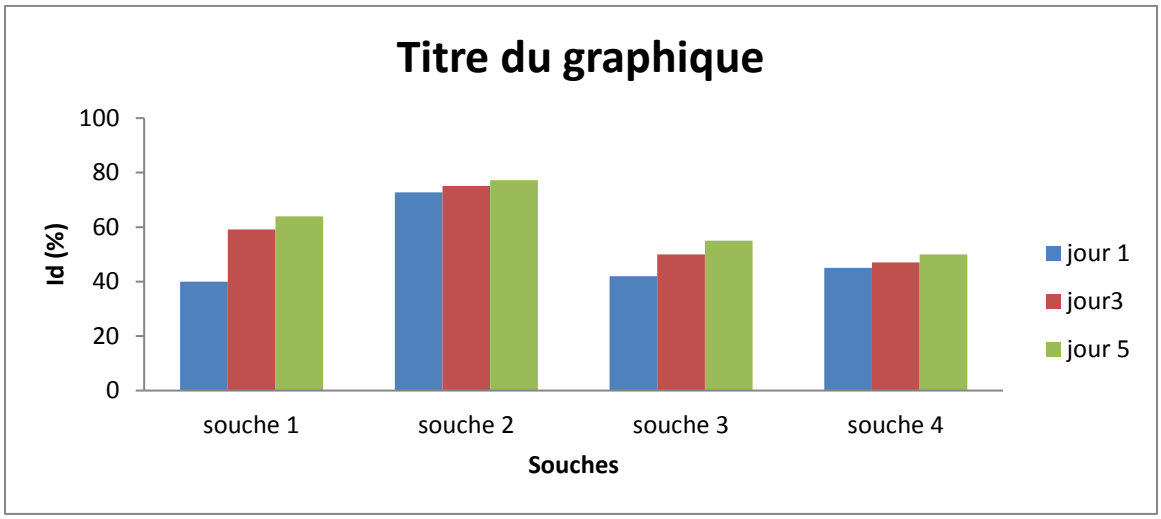


Fig 27 : Cinétique de la biodégradation de tween 80.

5.3. Cinétique de dégradation d'un acide minérale : acide sulfurique :

L'acide sulfurique est le plus fort des acides simples.

Dans ce travail, les 4 souches sélectionnées montrent une activité importante de dégradation de la matière minérale

Tableau XIII : Valeurs de l'indice de dégradation de l'acide sulfurique.

TPS	**Jour 01**				**Jour 14**			
Souches	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Id (%)	3.82	3.28	3.71	3.78	4.48	4.18	4.44	4.01

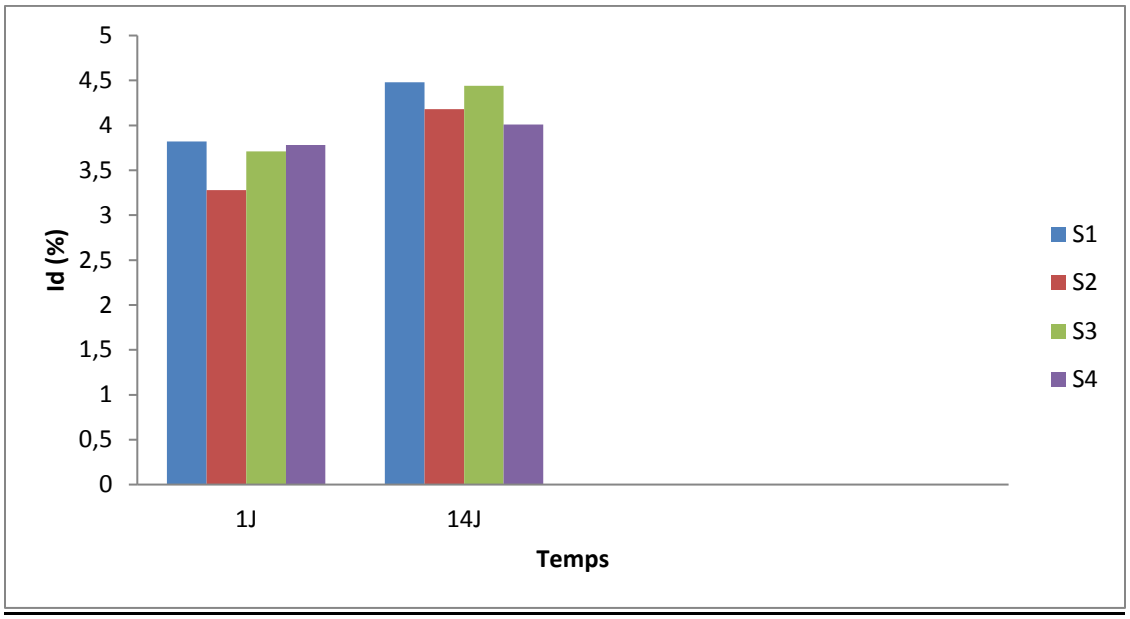


Fig 28 : Cinétique de la biodégradation de l'acide sulfurique.

5.4. Cinétique de biodégradation d'acide organique:acide citrique :

L'acide citrique joue un rôle central dans le métabolisme de tous les organismes vivants. Il est un intermédiaire du métabolisme des organismes

Dans ce travail, les 4 souches sélectionnées montrent une activité importante de dégradation de la matière organique

Tableau XIV : Valeurs de l'indice de dégradation de l'acide citrique.

TPS	**Jour 01**				**Jour 14**			
Souches	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Id (%)	4.69	4.68	4.69	4.65	4.77	4.87	4.8	4.73

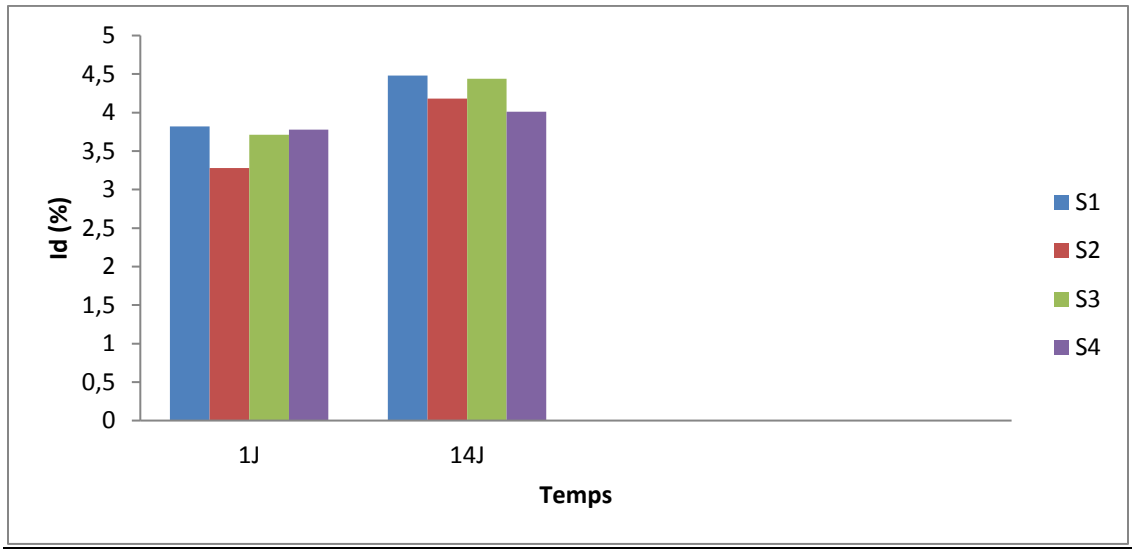


Fig 29 : Cinétique de la biodégradation de l'acide citrique.

Conclusion

Conclusion :

Les matières organiques sur les surfaces agricoles ou plus généralement sur tout type de sol, sont plus ou moins rapidement dégradées. La dégradation biologique, catalysée par les micro-organismes telluriques ou de la faune terrestre, représente un thème très sollicité par les chercheurs, en raison de son avantage économique important par rapport aux procédés physico-chimiques classiques, souvent plus complexe dans leur réalisation et souvent onéreux.

L'agriculture intensive, qui s'est développée ces dernières décennies, a entraîné des problèmes de l'environnement :

a) -l'appauvrissement des sols et la pollution des nappes phréatiques par les nitrates lessivés est devenue une préoccupation pour les pouvoirs publics.

b)- l'introduction de molécules toxiques rémanentes dans les sols, comme celles continues dans les herbicides et les engrais est également un facteur de pollution important.

c)- l'érosion de certains sols peu structurés, est devenue très critique et contribue à un appauvrissement parfois irréversible de ces sols.

Ce travail avait pour objectif d'utilisation agro-écologique de micro-organismes isolés à partir du tube digestif de vers de terre. L'application d'inoculum doit participer à une amélioration des pratiques agronomiques : augmentation en qualité et en quantité (rapport C/N) de la production (complexe argilo-humique CAH), diminution des coûts et des risques de pollution.

D’après les résultats obtenus, on peut conclure que le type et la quantité de la matière organique ingéré par les vers de terre affectent la composition qualitative de la communauté microbienne intestinale lombricienne et quantitativement le rendement en vermicompost.

Références bibliographique

Références bibliographiques:

- **Bachelier G., 1963**. La vie animale dans le sol ; article ; 279p. Paris.
- **Bachelier G., 1978.** La faune des sols, son écologie et son action. IDT n° **38,** ORSTOM,
- **Beneduzi D, Amatrop. C. G., 2000**-. Les herbicides. Agro écologie.cirad fr/2007/docs 1015714804, P.1.
- **Bignell DE , 2000-** Introduction to symbiosis In: Termites: evolution, sociality. symbioses, ecology (Eds: Abe T, Bignell D, IHigashi M). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 189-208.
- **Blanchart E., Chenu C., Dangerfield M., Fragaso C., Grimaldi M., Ingram J.et Monrozier L.J., 1998.** The interaction of soil biota and soil structure under global change.Global Change Biology. **Vol. 4:** 703–712.
- **Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., et al. (2013).** A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services: Earthworm impact on ecosystem services. Eur. J. Soil Sci. *64*, 161–182.
- **Byambas P., Lemtiri A., Hornick J. L., Ndong T. B., Francis, F.** 2017. Rôles et caractéristiques morphologiques du ver de terre Eudrilus eugeniae (synthèse bibliographique). Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 21(2), 160-170.
- *C***alvet R. (2003) -** Le sol, propriétés et fonction, Tome I : Constitution et structure
- **Céline Pelosi. (2008).** Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre Lumbricus terrestris au champ. Contribution à l'étude de l'impact des systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. Sciences de la Terre.AgroParisTech, Francais.
- **Charles Darwin** : *La formation de la terre végétale par l'action des vers de terre*. Traduit de l'anglais par Aurélien Berra. Schweizerbart, Stuttgart 1882.
- **Cho. S. H., C. W. Hwang, H. K. Chuang et C. S. Yang. 1994**- A new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. J. Appl. Microbiol. Biotech. 22: 561- 563.

- **Claude et Lydia Bourguignon***Le sol la terre et les champs - Pour retrouver une agriculture saine* éditions du Sang de la Terre, 2008
- **Clément Mathieu et Jean Lozet**, *Dictionnaire encyclopédique de science du sol*, Lavoisier, 2011, 733 p. (lire en ligne [archive])
- **Coli, Beyer E.C., Goodenough D. A., Paul D. L., 1988-** The connexins : a family of related gap junction proteins .In : Gap junctions, ed., E. L.Hertzberg and R. G. Johnson, New York : Alan R. Liss, 167-175.
- **D. L. Rowell : *Bodenkunde***. *Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen*. Springer, Berlin. 1997. (ISBN 3540618252)
- **D. Schroeder, W. E. H. Blum** : *Bodenkunde in Stichworten*. (Hirts Stichwortbücher) Borntraeger, Berlin/Stuttgart. 1992. (ISBN 344303103X)
- **Daily, G. C., Alexander, S. et Ehrlich, P. R. (1997).** Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. Issues in Ecology 2, 1-18.
- **Decourt N. (2001) –** La forêt dans le monde. Edition l'Harmattan, 192 p.
- **Duchaufour Philippe**, *Introduction à la science du sol* 6e édition Dunod, 2001
- **Edwards C. A., Bohlen P.J.1996**. Biology and Ecology of Earthworms.
- environnementales. Thèse de Doc. Etat. Université Mentouri. 230 p.
- **Hagedorn C, 1976-I**nfluences of soil activity on Streptomyces population inhabiting forest soils. Appl Environ Microbiol 32: 868- 375.
- **Henin Stephane, Monnier Geneviève, Gras Raymond,** *Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*, Masson, Paris 1969
- **J. P. Legros,** *Les Grands Sols du Monde*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 2007. 574 p.
- **Jean Boulaine,** *Histoire des pédologues et de la science des sols*, Inra, 1989, 297 p., voir sur Google Books [archive]
- **Jean-Michel Gobat, Michel Aragno et Willy Matthey**, *Le sol vivant : Bases de pédologie - Biologie des sols*, Lausanne, PPUR, coll. « Ingénierie de l'environnement », 2010, 3e éd., 817 p. (ISBN 978-2-88074-718-3, lire en ligne [archive])
- **Jignasha, T. T.et S. P. Singh. 2007**-Secretion of an alkaline proteuse from a salttolerant and alkaliphilic, Streptomyces clavuligerus strain Mit-1. Braz. J. Microbiol., 38: 766-772.

- **Küster E.et S. T. Williams. 1964-** Selection of media for isolation of streptomycetes. Nature, London. 202: 928.
- **Lavelle P. et Spain A., 2001.** Soil Ecology, Kluwer Scientific Publications, ISBN 0-7923-7123-2, Amsterdam, the Netherlands.
- **Marcel Jamagne,** *Grands paysages pédologiques de France*, Éditions Quae, 2011, 535 p. (lire en ligne [archive])
- **Ménard, O. (2005)**. Les ouvriers du sol et les pratiques agricoles de conservation. In *Colloque en Agroenvironnement : «des outils d'intervention à notre échelle». Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec* (p. 6).
- **Monrozier L. J., Guez P., Chalamet A., Bardin R., Martins J., Gaudet J. P. 1993.** Distribution of microorganisms and fate of xenobiotic molecules in unsaturated soil environments. Science of the total environment, 136(1-2), 121-133
- **Navel A. 2011**. Distribution, spéciation impact et transfert du cuivre dans un sol sous vigne: rôle de la structuration spatiale et du statut organique (Doctoral dissertation, Université de Grenoble)
- **Noumeur S. R. 2008**. Biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote telleurique de la région de Hamla (Batna). Thèse de magister, université Mentouri canstantine, 74p.
- **Oliver & Boyd, Edinburgh 1971** Fitzpatrick Ewart Adsil, *Pedology*
- **Ouahrani G., 2003.** Lombritechniques appliquées aux évaluations et aux solutions
- **ozenda P. (1982) -** Les végétaux dans la biosphère, Doin, Paris, 430 p.
- Paris, 391p.
- paris. 517 p.
- phénomène aux interfaces. Ed. France Agricole, 456 p.
- **Philippe Duchaufour,** *Introduction à la science du sol: sol, végétation, environnement*, Dunod, 2001.
- **Puga F. R. 2012**. Effet du ver de terre Aporrectodea caliginosa sur la croissance des plantes, leur développement et leur résistance aux pathogènes : réponse physiologique et moléculaire de la plante à l'émission de molécules-signal (Doctoral dissertation, Paris Est).

- **R. Calvet** *Le sol, propriétés et fonctions*, Collection La France agricole, 2003
- **Ragarijaona S. N., 2016**. Effets de l'interaction entre ver de terre et latière organique sur la disponibilité du phosphore et à la production de biomasse de riz, cas du spm ferrallitique de Lazaona-antananarivo, Mémoire en vue de l'obtention du certificat d'aptitude pédagogique de l'école normale (CAPEN), 121p.
- ***R*amade F. (1994) -** Elément d'écologie : Ecologie fondamentale.Ed. Ediscience,
- **Rattan Lal (en)**, *Encyclopedia of Soil Science*, CRC Press, 2017, 2804 p.
- **Saltini Antonio, Storia delle scienze agrarie, 4 voll., Bologna 1984-**89, (ISBN 88-206-2412-5), (ISBN 88-206-2413-3), (ISBN 88-206-2414-1),
- **Siteweb** :https://agriculture-de-conservation.com/L-importance-de-la-biodiversite-du.html
- **Site web :**https://forum.mikroscopia.com/topic/17385-ver-de-terre-lombric-histologie/
- **Site web :**https://fr.wikipedia.org/wiki/Lumbricina
- **Site web :**https://mediakiosque.univ-pau.fr/video/4142-dissection-du-ver-de-terre-par-jean-philippe-colin/
- **Siteweb :**https://www.vaderstad.com/fr/savoir-faire/bases-agronomiques/laissez-travailler-la-nature/vers-de-terre/
- **Siteweb :**https://www2.ulb.ac.be/cours/acohen/res/Verde_terre.eWeb/co/sequence_video.html#segment_fv6DjvgnS0j86paug7xD0i1
- **Soltner D., 1992.** Phytotechnie générale : les bases de la production végétale. Tome 1 : le Sol etson amélioration. Tome 2 : Climat, Météorologie, Pédologie, Bioclimatologie. Série Agronomie.
- **Soltner D., 2005.** Aujourd'hui les composts pour un autre jardinage, Edition Scienco et

thechnique Agricoles, p.10.

- **Tiedje, J. M. (1995).** Approaches to the comprehensive evaluation of Prokaryote diversity of a habitat. In: Allsop, D., Colwell, R. R. et Hawksworth, D. L. (eds), Microbial diversity and ecosystem function. UNEP/CAB International, Wallingford, U.K., pp. 73-82.
- **Ulrike J. 2009**. Etude des interactions entre la plante arabidopsis thaliana (L.) Heyntt et le ver de terre Aporrectodea caliginasa (savigny : application à la

phytoremédiation de l'arensic et de l'antimoine. Thèse de doctorat. Ecole doctorale sciences et ingénierie. Paris. 208p.

Annexes

Annexe 1 :

1.: Réactifs Chimiques :

Réactifs chimiques :

- Eau de robinet.
- Eau distillée stérile.
- Eau physiologie.
- acétone.
- Eau oxygéné.
- Alcool 90%.
- Violet de gentiane.
- Lugol.
- Fuchsine.
- NaOH0.001.
- HCl 1N ou 2N.
- Eau javellisée.
- Eosine aqueuse diluée.

Annexe 2 :

Milieux de cultures :

Gélose nutritive (GN) :

- Pepton 10,0 g
- Glucose 40,0 g
- Agar1 5,0 g
- Eau distillée….qsp 1L

pH=5,6

milieu Tween 80 :

- tween80……0.4g
- eau distillée……400 ml
- gélose nutritive…9.5g

Milieu d'amidon :

- amidon……0.4 g
- eau distillée……400 ml
- gélose nutritif….9.5 g

Acide sulfurique:

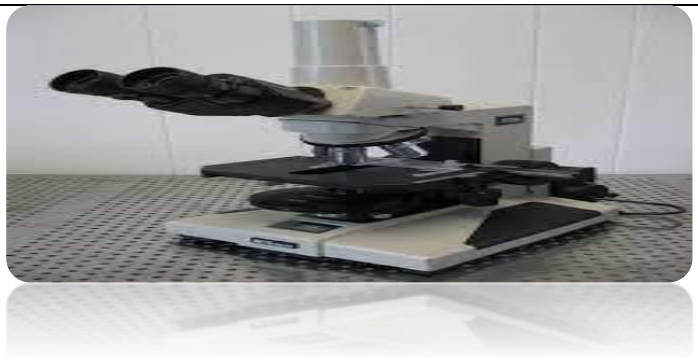
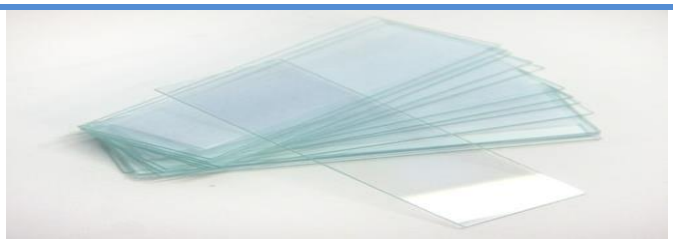
- acide sulfirique 0.01N…1ml
- Gélose nutritive….0.5g
- eau distillée……1ml

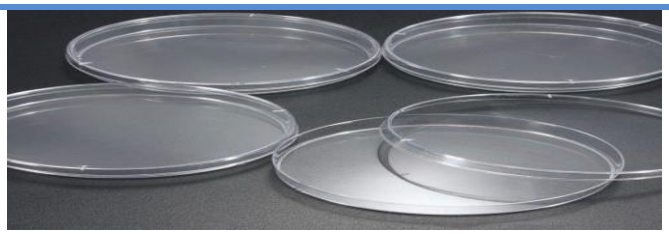
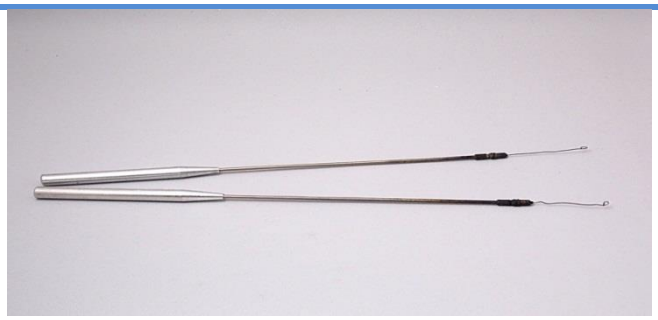
Acide citrique :

- acide citrique 0.01 N …..1ml
- Gélose nutritive…0.5g
- eau distillée……1ml

Annexe 3 :

Instruments	Utilisation	Type d'appareillage
1. Bec Bunsen	Pour assurer une stérilisation instantanée	
2 . bain marie	Pour la transfusion des milieux de cultures	
3. Autoclave	Stérilisation à la vapeur	
4.Réfrigérateur	Conservation des souches et des réactifs	

5. Microscope optique	Observation des souches	
6. Pipette pasteur et en plastique	Pour l'inoculation et l'ensemencement Coloration de gram	 
7. Micropipette	Pour une prise plus précise	
8. Bécher à différentes volumes	Contenir les solutions et les suspensions	
9. Lame et lamelle	Faciliter l'observation microscopique	

10. Tube à essaie	Préparation des dillutions et suspension bactériennes	
11. Boites de Pétrie	Mise en culture dans des milieux nutritifs, spécifiques	
12. Lance de platine	Encemencement des colonies bactériennes	
13. Porte tubes	Porte les tubes à essaie	
14. Balance	Pour préciser le poids	

15. Tubes à centrifuger	Portés dans la centrifugeuse	
16. Centrifugeuse	Pour la séparation des solutions	
17. Agitateur	Pour l'agitation des solutions	