



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI DE TIZI OUZOU

FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Option : Sciences du Sol

Thème

**Effets de l'épandage des boues urbaines à l'état brute et
composté sur la biodiversité de la mésofaune
(collembolles et acariens) dans un sol cultivé en agrumes**

Réalisé par :

Mlle ARBAOUI Lynda

et

Mlle HADJ AHMED Houria

Devant le jury composé de :

Présidente : Mme LAOUDI T

MAB FSBSA (UMMTO)

Promotrice : Mme OMOURI O

MAA FSBSA (UMMTO)

Co-promotrice : Mme DJENNOUNE D

MAB FSBSA (UMMTO)

Examinatrice : Mme AMROUCHE L

MAB FSBSA (UMMTO)

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous exprimons nos profonds remerciements à notre promotrice, madame OMOURI O. pour l'intérêt qu'elle a manifesté, pour la confiance et la liberté d'expression qu'elle nous a donné, pour ses conseils et son écoute tout le long de ce travail qu'elle a dirigé de près et de loin.

On tient également à remercier madame DJENNOUNE D. MAB à la FSBSA (UMMTO), pour son aide surtout à l'observation et la détermination et ses encouragements au cours de notre travail.

Nous tenons à remercier Madame LAOUDI T. MAB à la FSBSA d'avoir accepté de présider le jury

Et

Mme AMROUCHE L. pour l'honneur quelle nous a fait pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Notre reconnaissance et nos vifs remerciements vont à madame MEDJDOUB F. Professeur à la FSBSA de l'UMMTO, pour nous avoir ouvrir les portes de son Laboratoire et mis le matériel nécessaire à notre disposition.

A vous aussi Mr RAMDINI R. pour nous avoir consacré un peu de votre temps

Dédicaces

Je dédie ce projet de fin d'étude

À mes chers parents Hacene et Nora, vous restez présents dans mon cœur même après votre départ, ce travail est un témoignage de l'amour, soutien et des valeurs que vous avez toujours incarnés. Votre absence physique est profondément ressentie je sais que vous auriez été fiers de mes accomplissements et mes efforts pour atteindre ce moment, vous avez façonné mon chemin et je vous dédie humblement ce mémoire comme témoignage de gratitude et d'amour.

À mon frère Amine et ma sœur Imane, mes complices de toujours, qui m'ont encouragé et supporté dans les moments les plus dures, cette réussite est aussi la vôtre.

À mon grand-père et ma grand-mère, mon oncle Ilyes et ma tante chabha pour leurs amour et encouragements.

À mes chères cousines, cousins et amies Sabrina, Sara, Mélissa, Ahmed, Moussa et à toute ma famille.

À ma binôme Houria pour son dévouement, son soutien et sa contribution précieuse.

Lynda

Dédicace

Avec l'aide et la protection d'Allah s'est réalisé ce modeste travail

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

*A mon père Farid, mon exemple éternel, mon soutien moral, la source de mes efforts celui
qui s'est toujours sacrifier pour me voir réussir*

A la flamme de mon cœur, source de joie et de bonheur, ma mère Fatma que j'adore.

*Aux personnes dont J'ai bien aimé la présence dans ce jour à mon frère Adem et ma sœur
Malika et ses petits enfants Yasmine, Hanane, Zahra pour leur amour, j'espère que ce
travail vous serve d'exemple*

A toute ma famille pour leurs amours et leurs soutiens tout au long de mon parcours

*A mon cher cousin et ami Kamel qui est toujours à mes côtés quand j'ai besoin de lui, merci
d'être là*

A mes chers amis aimables

*Une spéciale dédicace à ma binôme Lynda et à toute sa famille pour son soutien morale, sa
patience et sa compréhension*

Merci d'être toujours là pour moi.

Houria

Liste des abréviations

MO : Matière organique

mm : Millimètre

STEP : station d'épuration

MES : Matière en suspension

MS : Matière sèche

MV : Matières volatiles

SVI : Sludge Volume Index

ETM : Eléments traces métalliques

CTO : Composés traces organiques

INRA : Institut national de la recherche agronomique

BUB : Boues urbaines brutes

BUC : Boues urbaines compostés

m² : mètre carré

FV : Fraction volatile

ha : hectare

pH : potentiel hydrogène

CE : Conductivité électrique

BEU : Boues d'épuration urbaines

Liste des figures

Figure 1 : Schéma des différents groupes de la biodiversité du sol classés par taille	4
Figure 2 : Les quatre ordres des collemboles	6
Figure 3 : Classification de la classe des collemboles	7
Figure 4 : Des acariens de l'ordre Prostigmata qui sont fréquemment présents dans le sol.....	9
Figure 5 : Classification simplifiée de groupes d'acariens	10
Figure 6 : Image satellitaire de l'exploitation agricole des frères OUMLIL et de la parcelle via (Google Earth, 2021)	20
Figure 7 : Dispositif expérimentale1, épandage printemps	22
Figure 8 : Dispositif expérimentale 2, épandage automne	23
Figure 9 : Les étapes d'échantillonnage avec le quadra	23
Figure 10 : Appareil de Berlèse	24
Figure 11 : Flacons en verre contenant de la faune et l'éthanol à 70°	25
Figure 12 : Une loupe binoculaire G×65	25
Figure 13 : Tubes à essai	25
Figure 14 : Pinceaux.....	25
Figure 15 : Boîtes de pétrie	25
Figure 16 : Ethanol à 70°	25
Figure 17 : Schéma récapitulatif des étapes de l'étude de la méso faune	26
Figure 18 : Collembole	27
Figure 19 : groupe de Collemboles	27
Figure 20 : Acariens (non déterminés)	27
Figure 21 : Variation de la richesse totale en collemboles et en acariens du sol étudié en fonction des doses épandues (6mois après épandage printanier)	28
Figure 22 : Variation de la richesse en collemboles dans le sol en fonction des doses de BUC et BUB (6mois après épandage printanier)	29
Figure 23 : Variation de la richesse en acariens dans le sol en fonction des doses BUB et BUC (6 mois après épandage printanier)	30
Figure 24 : Variation de la richesse totale en collemboles et en acariens dans le sol étudié en fonction des doses épandues (12mois après épandage printanier)	31
Figure 25 : Variation de la richesse en collemboles dans sol en fonction des doses BUC et BUB (12 mois après épandage printanier)	32

Figure 26 : Variation de la richesse en acariens dans sol en fonction de doses de BUC et BUB (12mois après épandage printanier) 33

Figure 27 : Variation de la richesse totale, collemboles et en acariens du sol étudié en fonction des doses épandues (6 mois après épandage automnal) 34

Figure 28 : Variation de la richesse en collemboles dans le sol en fonction des doses de BUC et BUB (6 mois après épandage printanier) 35

Figure 29 : Variation de la richesse en acariens dans le sol en fonction des doses de BUC et BUB (6 mois après épandage printanier) 35

Figure 30 : Variation de la richesse totale, en collemboles et acariens du sol étudié en fonction des doses épandues (12mois après épandage automnal) 36

Figure 31 : Variation de la richesse en collemboles dans le sol en fonction des doses de BUC et BUB (12 mois après épandage automnal) 37

Figure 32 : Variation de la richesse en acariens dans le sol en fonction des doses de BUC et BUB (12mois après épandage printanier 38

Figure 33 : Variation du nombre de collemboles selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (6mois après épandage printanier et automnal) 39

Figure 34 : Variation du nombre d'acariens selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (6mois après épandage printanier et automnal) 40

Figure 35 : Variation de la richesse totale selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (6 mois après épandage printanier et automnal) 41

Figure 36 : Variation du nombre de collemboles selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (12 mois après épandage printanier) 42

Figure 37 : Variation du nombre d'acariens selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (12 mois après épandage printanier et automnal 43

Figure 38 : variation de la richesse totale selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (12 mois après épandage printanier et automnal) 44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Abondance de la mésofaune dans le sol	11
Tableau 2 : Composition des boues d'épuration.....	15
Tableau 3 : Les paramètres de la parcelle.....	21
Tableau 4 : Les caractéristiques physico-chimiques du sol de la parcelle étudiée	21

Table des matières

Introduction générale 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. La faune dans les sols agricoles 3

I.1.1. La microfaune 3

I.1.2. La mésofaune 3

I.1.3. Le macrofaune 4

I.1.4. La mégafaune 4

I.2. La morphologie, classification et morphologie 5

I.2.1. Les collemboles 5

I.2.1.1. Caractéristiques morphologiques 5

I.2.1.3. Classification des collemboles..... 6

I.2.1.4. Régime alimentaire 6

I.2.1.5. Habitat 7

I.2.1.6. Rôle des collemboles dans le sol 8

I.2.2. Les acariens 8

I.2.2.1. Définition 8

I.2.2.2. Caractéristiques morphologiques 8

I.2.2.3. Classification des acariens 9

I.2.2.4. Régime alimentaire 10

I.2.2.5. Habitat..... 10

I.2.2.6. Rôle des acariens dans le sol..... 11

I.3. Abondance et répartition de la mésofaune des sols..... 11

I.3.1. Abondance et diversité des collemboles 12

I.3.2. Abondance et diversité des acariens..... 12

I.3.3. Evolution et biodiversité des collemboles et des acariens selon les saisons 12

I.3.4. Bio indication de la mésofaune 13

I.3.5. Evolution et biodiversité des collemboles et acariens selon les saisons 13

I.2. Valorisation agricole des boues urbaines par compostage	13
I.2.1. Boues résiduaires urbaines	13
I.2.2. Définition et origine des boues urbaines	13
I.2.3. Les différents types de boues	13
I.2.3.1. Les boues de traitement primaire	13
I.2.3.2. Les boues de traitement physico-chimiques	13
I.2.3.3. Les boues mixtes	13
I.2.3.4. Les boues d'aération prolongé	13
I.2.3.5. Les boues de traitements biologiques (boues biologiques ou activés ou boues secondaires)	14
I.2.4. Caractéristiques des boues	14
I.2.4.1 Caractéristiques physico-chimiques	14
I.2.5. Composition des boues	15
I.2.5.1. Les éléments désirables	15
I.2.5.2. Les éléments indésirables	16
I.2.6. La faune dans les boues résiduaires urbaines	16
I.2.6.1. La mésofaune	16
I.2.6.1.1. Les collemboles	17
I.2.6.1.2. Les acariens	17
I.2.7. Valeurs agronomiques des boues urbaines	17
I.2.8. Effets de l'apport des boues urbaines sur la faune du sol	18
I.2.9. Effets de compost des boues sur la faune du sol	18
I.2.9.1. Intérêt de compostage des boues résiduaires urbaines	18
I.2.9.2. La faune dans les composts des boues	18
I.2.9.2.1. La mésofaune (Abondance et type) dans les composts des boues urbaines	18
I.2.9.3. Impact du compost de boues sur la diversité et l'abondance de la faune du sol	19
I.2.9.3.1. Effet sur l'abondance et la diversité de collemboles	19
I.2.9.3.2. Effet sur l'abondance et la diversité des acariens	19

Chapitre II : Matériels et méthodes

Objectif de l'étude

II.1. Matériels	20
II.1.1. Sol, boues urbaines et compost de boues urbaines	20
II.1.2. Le compost	21
II.1.3. Les boues d'épuration urbaines	21
II.2. Méthodologie	21
II.2.1. L'épandage des boues et du compost des boues	22
II.2.2. Echantillonnage des sols	23
II.2.3. Extraction de la mésofaune.....	24
II.2.3.1. Le principe de l'appareil de berlèse.....	24
II.3.1. Observation, tri, isolement et identification	25
II.3.1.1. Matériels utilisés au laboratoire	25
.3.1.2. Principe.....	26
.3.1.3. La détermination des collemboles	27

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Résultats	28
III.1.1. Effets de l'épandage de boues brutes et du compost de boues sur la richesse totale du sol (6 mois après épandage printanier)	28
III.1.2. Variation de la richesse en collemboles des sols sous l'effet de compost de boues et des boues brutes (6 mois après épandage printanier)	29
III.1.3. Variation de la richesse en acariens des sols sous l'effet de compost de boues et des boues brutes (6 mois après épandage printanier)	30
III.1.4. Effets de l'épandage des boues brutes et du compost de boues sur la richesse totale du sol (12 mois après épandage printanier)	31
III.1.5. Variation de la richesse en collemboles des sols sous l'effet de compost des boues et des boues brutes (12 mois après épandage printanier)	32
III.1.6. Variation de la richesse en acariens des sols sous l'effet de compost des boues et des boues brutes (12 mois après épandage printanier)	33
III.1.7. Effets de l'épandage de boues et du compost de boues brutes sur la richesse totale du sol (6mois après épandage automnal)	34

III.1.8. Variation de la richesse en collemboles des sols sous l'effet de compost de boues et des boues brutes (6 mois après épandage automnal)	35
III.1.9. Variation de la richesse en acariens des sols sous l'effet de compost de boues et des boues brutes (6 mois après épandage automnal)	35
III.1.10. Effets de l'épandage des boues brutes et du compost de boues sur la richesse totale du sol (12 mois après épandage automnal)	36
III.1.11. Variation de la richesse en collemboles des sols sous l'effet de compost de boues et des boues brutes (12 mois après épandage automnal)	37
III.1.12. Variation de la richesse en acariens des sols sous l'effet de compost des boues et des boues brutes (12 mois après épandage automnal)	38
III.1.13. Comparaison de la communauté des collemboles entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 6 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB	39
III.1.14. Comparaison de la communauté des acariens entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 6 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB	40
III.1.15. Comparaison de la richesse totale entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 6 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB	41
III.1.16. Comparaison de la communauté des collemboles entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 12 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB	42
III.1.17. Comparaison de la communauté des acariens du sol étudié entre deux périodes d'épandage printanier et automnal après 12 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB	43
III.1.18. Comparaison de la richesse totale entre deux périodes d'épandage printanier et automnal après 12 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB.....	44
III.2. Discussion générale	44
III.2.1. Effets de l'épandage de BUB et BUC sur la richesse total du sol étudié en collemboles et acariens du sol 6 mois après épandage printanier	44
III.2.2. Effets de l'épandage de BUB et BUC sur la richesse total du sol étudié 12 mois après épandage printanier	45
III.2.3. Effets de l'épandage de BUB et BUC sur la mésofaune (Collemboles, acariens) du sol étudié en fonction de différents doses 12 mois après épandage printanier	45
III.1.4. Effet de l'épandage de BUB et BUC sur la diversité de la mésofaune 6 mois après épandage automnal	45
III.1.5. Comparaison de la richesse en sol (collemboles, acariens) en fonction de l'épandage BUB et BUC selon deux périodes, automnal et printanière	45
Conclusion générale	46

Références bibliographiques

Annexes

Introduction générale

Introduction générale

Le sol représente l'épiderme de notre planète (Mathieu, 2010), une ressource essentielle pour l'écosystème terrestre en raison de ses nombreuses fonctions environnementales, ce qui justifie impérativement sa préservation de toute dégradation.

Pour préserver les sols agricoles de la pollution par les eaux usées, le traitement de ces dernières est recommandé. Mais, ce procédé génère des quantités énormes de sous-produit appelé ; boues d'épuration urbaines (BEU), dont l'impact environnemental est très marqué. D'où, un défi environnemental majeur concerne la gestion des boues d'épuration urbaines, dont les quantités croissantes dépassent la capacité des décharges conventionnelles.

Pour résoudre ce problème, leur valorisation agricole par Co compostage est devenue essentielle que leur épandage direct sur sols agricoles. Ce qui diminue les risques environnementaux. Ce processus de compostage, présente en effet des avantages significatifs : il réduit les volumes de déchets, stabilise la matière organique et favorise la minéralisation des nutriments, contribuant ainsi à enrichir les sols agricoles (Alveenga et al., 2015).

Parallèlement, l'agriculture intensive, caractérisée par l'utilisation intensive de pesticides, d'engrais chimiques et en plus par les labours répétés, conduit à la diminution de la richesse en matière organique des sols. De ce fait, le recours aux boues urbaines pour amender les sols agricoles avec un taux estimé à 25% (Ladjal et Abbou, 2016). Or, cette pratique compromet la biodiversité et la vie microbienne du sol, en particulier la diversité de la mésofaune.

Pour préserver la fertilité des sols et restaurer leur fonctionnalité, il faut maintenir et entretenir la vie et la biodiversité dans les sols. La classe des organismes essentiels à la fertilité ou qualité des sols agricoles est la mésofaune, qui peut servir à la fois d'outil diagnostique et de ressource pour améliorer la qualité biologique des sols (Blanchart et al., 2006 ; Lavelle et al., 2006). Parmi les groupes taxonomiques qui sont bénéfiques pour les sols, les collemboles et les acariens étant les plus dominants de la mésofaune des sols, contribuant d'avantages à l'agrégation des micro structuration des sols, aux cycles de nutriments et dans le stockage du carbone, rendant en définitif les sols plus fertiles. D'importants efforts méritent d'être envisagés et à ce niveau pour assurer le bon fonctionnement écosystémique des sols urbaines (Milano,2018)

Donc la valorisation agricole des boues par Co compostage, consiste à diminuer la pollution environnementale, la restauration du statut organique et la vie des sols agricoles.

Notre étude a double objectif ; elle vise à évaluer l'effet des doses de compost de boues et de boues à l'état brute sur la diversité de la mésofaune en particulier les collemboles et les acariens du sol, et aussi celui de la période d'épandage sur cette biodiversité.

Le travail est structuré comme suit : le premier chapitre porte sur une synthèse bibliographique sur la mésofaune dans les sols agricoles et la valorisation agricole des boues d'épuration urbaines à l'état brut et composté. Le second chapitre est consacré à la présentation du site d'étude, matériels et méthodes utilisés. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion. Une conclusion générale relatant les résultats essentiels.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I. La faune dans les sols agricoles

I.1. La faune du sol

La faune de sol ou pédo faune fait référence l'ensemble des organismes vivants effectuant tous leurs cycles de vie dans le sol, tels que : les vers de terre, les collemboles, les acariens, les protozoaires, nématodes ... Cette biodiversité est essentielle pour la santé des sols, car elle contribue à la décomposition de la matière organique, la production et l'entretien de l'humus (Soltner, 1987 ; Duchaufour, 1977).

De manière globale, la faune du sol peut être classée en quatre catégories selon la taille des espèces qui la composent : mégafaune, macrofaune, mésofaune et microfaune. Ces organismes sont présents dans la litière et l'humus du sol (Gobât et al., 1998).

I.1.1. La microfaune

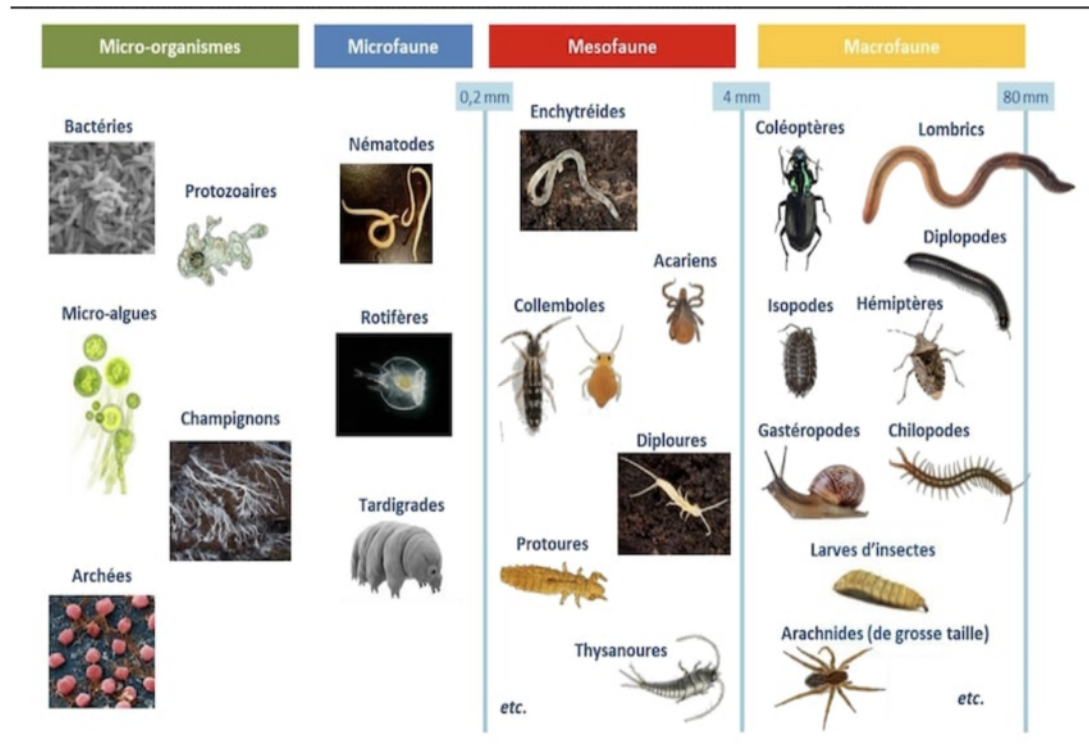
La microfaune est l'ensemble des organismes et animaux de taille microscopique qui vivent dans un milieu défini. Ce terme s'applique aux organismes dont la taille est inférieure à 0,2 mm. La microfaune du sol joue un rôle fondamental dans la formation de l'humus et donc dans la fertilité du sol, mais aussi dans la protection des cultures, la dépollution des sols et de l'eau. Elle est présente pour la plupart des espèces qui la compose dans les premiers centimètres du sol. Sous la surface, on peut trouver dans 1m² de prairies environ 260 millions d'animaux. On trouve les protozoaires, grands consommateurs de bactéries, on peut aussi observer les métazoaires et essentiellement des nématodes intervenant dans les processus de décomposition de la matière organique du sol (Gobât et al., 1998 ; Martins et al., 2015).

I.1.2. La mésofaune

Les organismes de la mésofaune ont une taille allant de 0,2 à 4mm de longueur et de 0,1 à 2 mm de diamètre, cette catégorie d'invertébrés regroupe les acariens, collemboles, les protoures, diploures, les jeunes larves et les macro arthropodes entrent généralement dans cette catégorie (Nadama, 2006). La densité de la mésofaune est comprise entre 10000 et 100000 individus par mètre carré (Gobât et al., 2010).

I.1.3. Le macrofaune

Le macrofaune comprend tous les invertébrés du sol mesurant plus de 2mm, on la repère sans difficultés à l'œil nu par (Blanchart et al., 1979). Les principaux organismes observés dans le macrofaune sont : les vers de terre (Annélides), carabes et vers blancs, termites et fourmis (insectes), diplopedes et chilopodes (Myriapodes), araignées (Arachnides),



isopodes (crustacés), limaces et escargots (mollusques) (Nadama, 2006 ; Machado et al., 2009).

Figure 1 : Schéma des différents groupes de la biodiversité du sol classés par taille

Source : [<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/collemboles-acteurs-vie-sol/>.]

I.1.4. La mégafaune

La mégafaune du sol fait référence aux organismes de grande taille, qui dépassent 80mm de longueur, qui habitent les couches profondes du sol, qu'ils l'utilisent comme abris ou habitat et le modifient par leurs terriers et leurs galeries tels que les taupes, scarabées, campagnols (Swift et al., 1979). Ces créatures jouent un rôle essentiel dans l'écosystème, en favorisant la décomposition de la matière organique améliorant ainsi la structure du sol (Gobât et al., 1998 ; Peres, 2003).

I.2. La morphologie et classification de la mésofaune,

En biologie du sol, les niveaux systématiques constituent la classification couramment utilisée, ils divisent les êtres vivants selon le règne, l'embranchement, la classe, l'ordre, la famille, le genre et l'espèce. Ce classement est basé sur les caractères génétiques et phénotypiques. Une classification plus fonctionnelle peut être utilisée, en liant les organismes à leur milieu aux ressources qu'il propose ; alimentation, habitat, taille, régime alimentaire, position dans le sol, durée de présence dans le sol et adaptations morphologiques (classification de la faune du sol par (Blanchart et al., 1997). La mésofaune joue un rôle intermédiaire entre la macrofaune et la microfaune, le plus souvent composée de trois espèces importantes dans le bio fonctionnement des agrosystèmes ; nématodes, acariens et collemboles (Pelosi, 2008).

I.2.1. Les collemboles

I.2.1.1 Définition

Les collemboles (Hexapodes, arthropodes), sont des petits invertébrés souvent sauteurs, apparus très tôt dans l'évolution du vivant, répartis dans tout le sol et présentent des adaptations morphologiques à la profondeur. Anciennement classés parmi les insectes puis dans les aptérygotes. Ils possèdent 3 paires de pattes (d'où leurs noms d'hexapodes), des organes spécifiques dont le plus visible est la *furca*, une sorte de levier post abdominal permettant le saut. La *furca* est très réduite voire absente chez les espèces les plus caractéristiques des sols profonds. Comme la majorité des acteurs de la faune du sol, les collemboles exercent un effet direct et indirect sur la décomposition de la MO et le recyclage des nutriments (Pichard, 1989).

I.2.1.2. Caractéristiques morphologiques

Comme tous les hexapodes, le corps des collemboles est formé de trois parties ; la tête, le thorax et l'abdomen. La tête porte une paire d'antennes, en général courte et des yeux en nombre réduit ; les pièces buccales, les mandibules et mâchoire sont enfermées dans un vestibule buccal fermé par le labre et la lèvre inférieure. Le thorax porte 3 paires de pattes (Pichard, 1989). On distingue 4 ordres de collemboles différents par leurs morphologies illustrés dans la figure 2 :

- Le Entombryomorphe (corps cylindrique, segmenté avec des appendices longs) ;
- Les Poduromorphes (corps cylindrique, segmenté avec des appendices courts) ;
- Les Symphypléones (corps cylindrique avec des appendices longs) ;

- Les Néelipléones (corps sphérique avec des antennes courtes).



Figure 2 : les quatre ordres des collemboles (Anonyme,2024)

I.2.1.3. Classification des collemboles

Longtemps considérés comme des insectes, selon Thibaud (2003), les collemboles forment aujourd'hui une classe à part entière au sein de sous embranchement des hexapodes comme le montre la (figure 3).

I.2.1.4. Régime alimentaire

D'après Christiansen (1964), cité par Massoud (1971), les collemboles se nourrissent de débris organiques ; feuilles, organes végétaux morts, parenchyme foliaire, algues unicellulaires et spores, grains de pollen et débris et champignons du sol.

En consommant les microorganismes de manière modérée, les collemboles stimulent la croissance de leurs populations, et par voie de conséquence, la minéralisation de la matière organique (Salmon, 2017).

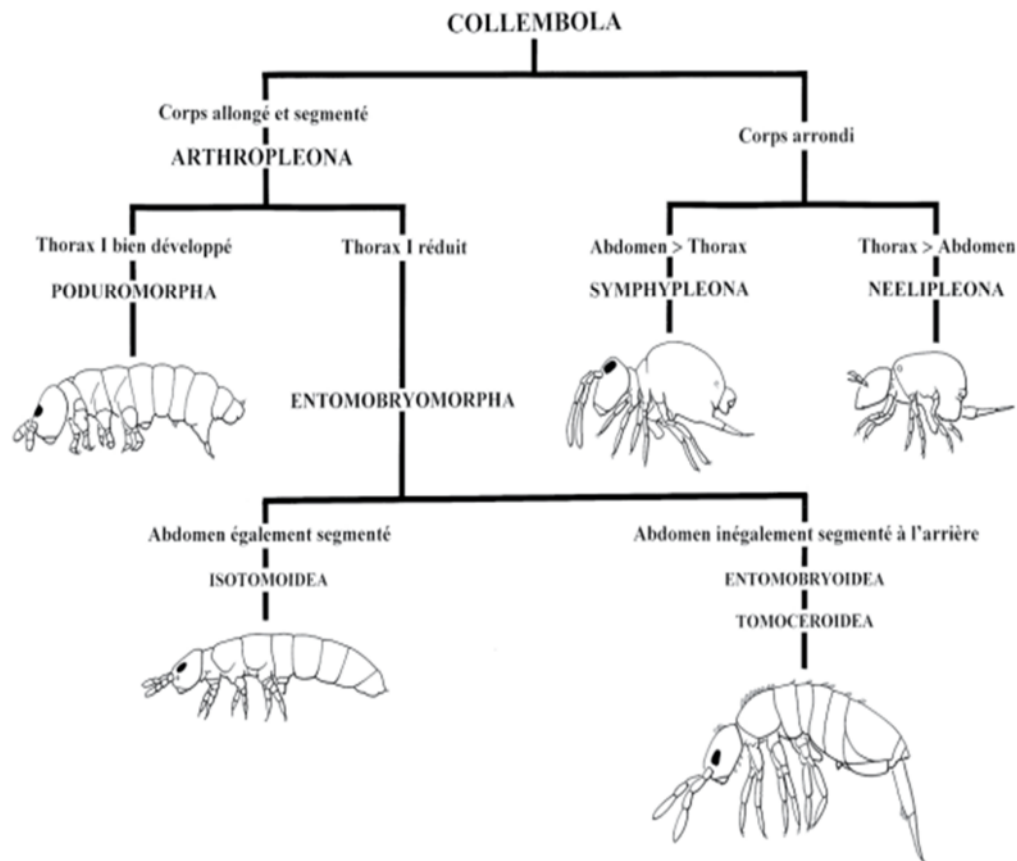


Figure 3 : classification de la classe des collemboles d'après Thibaud (2003)

I.2.1.5. Habitat

Les collemboles ont envahi tous les biotopes terrestres de notre planète. Ils sont présents sous tous les climats et toutes les latitudes. Ils vivent le plus souvent en forêt ; dans la litière, l'humus, les premiers centimètres du sol et dans la végétation. Les collemboles constituent une proportion significative de la biomasse animale (Cassagnau, 1990).

Les espèces des collemboles présentent des adaptations morphologiques et physiologiques à la profondeur et à la fermeture de l'habitat, on peut distinguer les formes suivantes :

- Epiédaphiques, vivant au-dessus du sol, sur la végétation
- Hémiedaphiques, vivant dans la litière et l'humus
- Euédaphiques, vivant dans le sol profond.

I.2.1.6. Rôle des collemboles dans le sol

Les collemboles, comme la plupart des acteurs de la faune du sol, ont un impact direct et indirect sur la dégradation de la matière organique et le recyclage des nutriments (Salmon, 2017).

- Ils contribuent à la fragmentation de la matière végétale morte et à la minéralisation de la matière organique, ainsi qu'à la structuration superficielle du sol.
- Les collemboles contribuent à la formation d'une couche de sol fertile et stable (Horizon OF et OH de l'humus).
- Ils régulent les microorganismes du sol contribuant indirectement au recyclage des nutriments
- Ils stimulent la croissance de leurs populations et par voie de conséquence la minéralisation de la MO.
- Les collemboles peuvent limiter les maladies fongiques chez les végétaux en consommant des champignons phytopathogènes.
- Ils favorisent l'absorption du phosphore par les plantes.

I.2 .2. Les acariens

Les acariens présentent une très grande diversité morphologique, une variation très importante dans la biologie ainsi qu'une très grande spécialisation dans la nutrition et l'alimentation. Ils occupent les milieux les plus variés (Trave, 1972). Ils sont composés de plusieurs sous ordres dont les Gamasida, les Actinedida, les Acaridida et les Oribatida (Krantz, 1978).

I.2.2.1. Définition

Les acariens sont des arthropodes appartenant au sous-embranchement des chélicérates et à la classe des arachnides. Ces microarthropodes, constituent un groupe relativement homogène en termes de morphologie. Ils se caractérisent par un corps comprenant 2 parties et se distinguent des insectes par la présence de 4 paires de pattes et de chélicères (Kreiter et al., 2003).

I.2.2.2. Caractéristiques morphologiques

Les acariens sont des arachnides de taille petite à microscopique de forme extrêmement variée, leur corps est d'une forme globuleuse, il est formé par la fusion du céphalothorax et de l'opisthodome (abdomen), ils portent 4 paires de pattes à l'état adulte et trois paires à l'état larvaire, ils ne possèdent ni antennes ni ailes.



Figure 4 : Des acariens de l'ordre Prostigmata fréquemment présents dans le sol (Anonyme 5, 2010, cité par Walter)

Le céphalothorax (tête +thorax soudé) est formé de deux parties : gnathostome et prosome.

Le gnathostome porte une paire de chélicères qui servent à aspirer les aliments et une paire de pédipalpes qui servent à maintenir les parois.

Le prosome porte une paire de taches oculaires et quatre paires de pattes.

L'opisthosome (abdomen) porte de nombreuses soies, l'anus, et l'appareil génitale (Garcin et al., 2003).

I.2.2.3. Classification des acariens

Selon Scotti (1998), les acariens ne sont pas des insectes, ils sont appelés mites dans les pays anglo-saxon, ils appartiennent à l'embranchement des chélicérates (Walter et Proctor, 1999). Ils font partie de la classe des arachnides, ils ont une taille très réduite, dépassant rarement le millimètre de longueur. Ces arthropodes ont colonisé l'ensemble des milieux terrestres et aquatiques. Certains ordres, familles se retrouvent notamment sur les plantes, certains étant des phytophages tandis que d'autres sont des prédateurs d'acariens, ayant un rôle important dans le contrôle biologique de divers arthropodes (Garcin et al., 2003). La figure 5, montre une classification simplifiée des acariens :

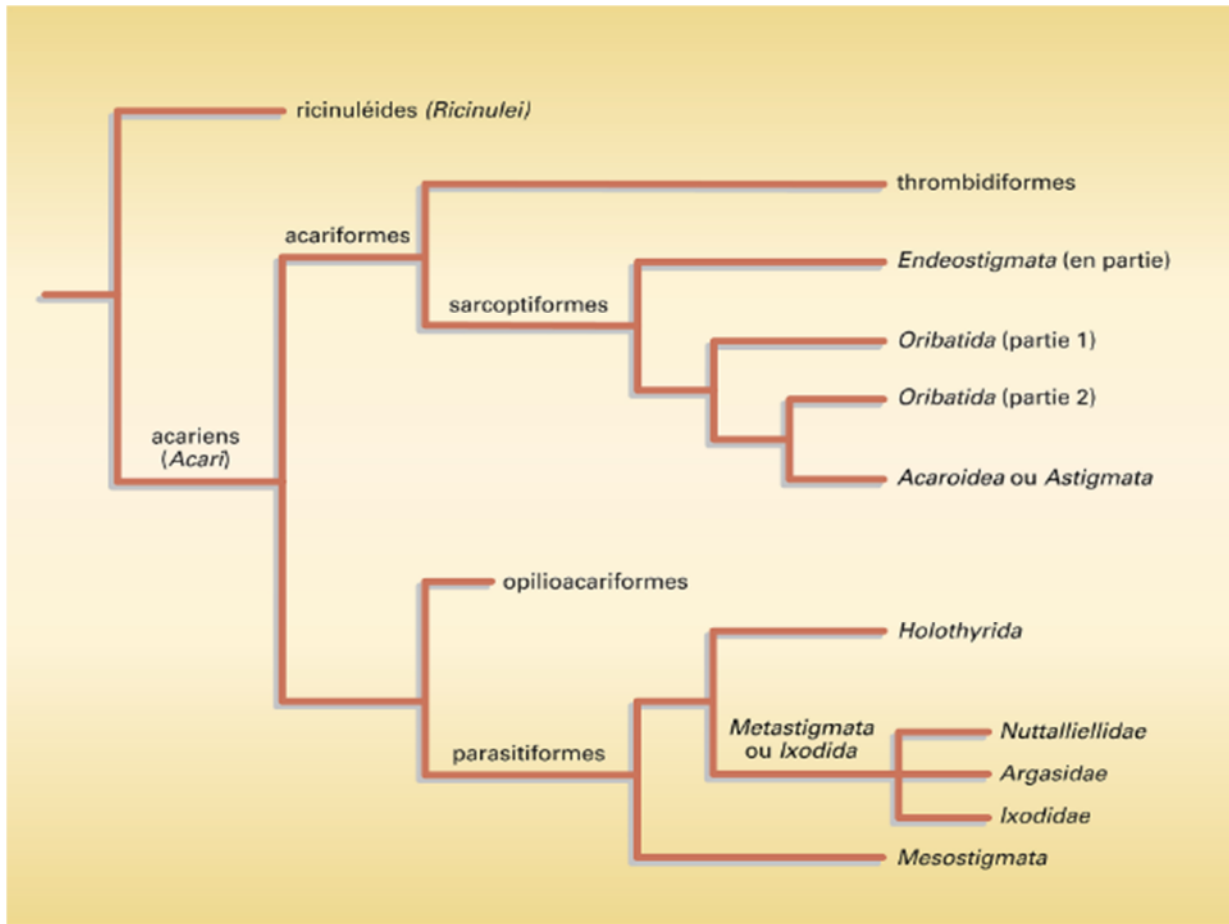


Figure 5 : classification simplifiée de groupes d'acariens (encyclopaedia universalis France, Anonyme 2024)

I.2.2.4. Régime alimentaire

D'après Gachelin et Connat., (2001), Les acariens sont des animaux invisibles à l'œil nu, qui peuvent avoir un mode de vie différent d'une espèce à une autre, selon les espèces, le mode d'alimentation diffère, la plupart se nourrissent de matières mortes diverses (saprophages), surtout végétales (phytosaprophages), et d'excréments (coprophages). Ils participent donc très activement aux différentes étapes de décomposition des matières organiques du sol.

I.2.2.5. Habitat

Les acariens du sol se trouvent généralement dans les premiers centimètres du sol, là où la MO est abondante et les conditions sont favorables à leur activité. Ils sont toujours associés aux débris végétaux en décomposition (feuilles mortes). Dans les écosystèmes forestiers, les acariens du sol sont abondants dans la litière des forêts (Coleman et al., 2004).

Les sols riches en MO comme les sols forestiers et les sols agricoles amendés, sont des habitats privilégiés pour les acariens du sol, en raison de la disponibilité en nutriments.

I.2.2.6. Rôle des acariens dans le sol

Les acariens jouent un rôle important dans le fonctionnement écologique des sols. D'une manière générale, les microarthropodes sont reconnus pour leur activité de fragmentation, de décomposition (Santos et Whitford, 1984 ; Lavelle et Spain, 1991 ; Coleman et al., 2004 et Bardet, 2005) et de minéralisation de la matière organique (Tian et al., 1998). Ces organismes favorisent le recyclage et l'immobilisation des éléments minéraux du sol (Whitford et Parker, 1989). Ceux qui vivent dans la litière, assurent également la régulation de la microfaune et de la microflore du sol (Whitford et Parker, 1989).

I.3. Abondance et répartition de la mésofaune des sols

La mésofaune représente une biomasse faible, elle semble intervenir d'avantages dans les flux des nutriments, les champignons dont ils se nourrissent sont d'importants accumulateurs d'éléments comme l'azote, phosphore ou encore le calcium (Trave et al., 1996). D'une autre part, l'application des boues peut avoir un effet indirect sur le compartiment biologique en stimulant les populations d'invertébrés c'est-à-dire un effet bénéfique sur l'augmentation de la biomasse, abondance des collemboles (Andrés, 1999 ; Bruce et al., 1999 ; Cole et al., 2001) des nématodes et acariens (Koehler, 1999).

Le tableau 1 représente l'abondance de la mésofaune dans le sol :

Tableau 1 : Abondance de la mésofaune dans le sol

	Invertébrés	Abondance
Mésofaune	Acariens Collemboles Protoures Enchytréides	10000 à 100000 individus/mètre carré

I.3.1. Abondance et diversité des collemboles

Les collemboles occupent une place importante dans le sol en raison de leur abondance et donc leur capacité d'impacter le fonctionnement d'un écosystème en entier. Ils présentent une grande diversité de formes et vivent dans différents habitats, ils varient par leur taille et leur apparence. Plus de 8000 espèces décrits à ce jour (Salmon, 2017).

I.3.2. Abondance et diversité des acariens

L'apport de nutriments qui accompagne des boues d'épurations favorise les invertébrés et l'abondance des acariens (Koehler, 1999). D'autres résultats ont montré que parallèlement à cette augmentation de biomasse, on observait des changements dans la structure de la communauté qui se traduisent par une diminution de la diversité spécifique et fonctionnelle (Banerjee et al., 1997).

I.3.3. Evolution de la mésofaune (collemboles, acariens) en fonction des saisons

Les acariens et les collemboles ont à peu près le même cycle évolutif, leurs effectifs sont plus importants en zone clôturée qu'en zone pâturée. Ils peuvent atteindre des valeurs maximales au printemps en mois d'avril 700 individus/m², les valeurs basses ont été enregistrées surtout dans les saisons chaudes et sèches et au mois de mars (Abcielier, 1978). La présence des collemboles et les acariens pendant la période hivernale est importante, l'abondance des collemboles est plus élevée que celle des acariens et peuvent atteindre 2416 individus/m² alors que les acariens peuvent atteindre 1344 individus/m² (Boubrit, 2014).

I.3.4. Bioindication de la mésofaune

La mésofaune peut servir d'indicateur de l'effet d'un amendement ligneux sur la dynamique de la minéralisation et de l'humification de la matière ligneuse dans le sol. L'activité de la mésofaune peut refléter la quantité et la qualité des champignons croissant sur les matières ligneuses (Miller, 1984 ; Laroche, 1993). La présence d'une mésofaune fongivore abondante permet la remise en circuit de l'azote et sa mise en disponibilité pour les plantes. Aussi favorisent la participation d'autres chaînes trophiques au sein des processus de minéralisation et d'humification de la matière organique ligneuse (Laroche et al., 1993).

I.2. Valorisation agricole des boues urbaines par compostage

I.2.1. Boues résiduaires urbaines

Les boues résiduaires urbaines, résultat des processus d'assainissement des eaux usées en milieu urbain, constituent un mélange complexe de matières organiques, matières inorganiques et de microorganismes. Leur gestion efficace est cruciale pour minimiser les risques environnementaux et sanitaires tout en explorant les possibilités de valorisation des ressources (Ouazani, 2006).

I.2.2. Définition et origine des boues urbaines

Les boues urbaines sont des résidus de traitement provenant de station d'épuration des eaux d'égout communaux et résidus de curage de fosse septique, en général, tout résidu de traitement d'eau. Le terme boues de STEP des eaux usées signifie des différentes matières issues des processus d'épuration, divers déchets sont à prendre en compte : déchets flottants entraînés par les eaux, sable ...etc. (Ouazani, 2009). Elles sont composées d'eau et de matières solides, séparées par des procédés naturels ou artificiels de divers types d'eau qui les contiennent (Ademe, 2001) et le terme « Urbaines » des effluents traitant dans la STEP, c'est-à-dire des eaux usées d'origine domestique (Pemin, 2003).

I.2.3. Les différents types de boues

Selon l'origine, on pourra distinguer les types de boues suivantes :

I.2.3.1. Les boues de traitement primaires

Produites par simple décantation d'un résidu insoluble, des matières en suspension (MES) contenues dans les eaux usées (Ademe, 1999).

I.2.3.2. Les boues de traitements physico-chimiques (boues secondaires)

Issues de l'agglomération des matières organiques particulaires ou colloïdales contenues dans les eaux (Ademe, 1999).

I.2.3.3. Les boues mixtes

C'est le mélange des boues biologiques et des boues primaires.

I.2.3.4. Les boues d'aération prolongée : ces boues existent au niveau des STEP sans décantation primaire.

I.2.3.5. Les boues de traitement biologique (boues biologiques ou activées ou boues secondaires)

Ce sont des boues issues d'un bassin aéré ou d'une cuve anaérobie (Murillo, 2004), elles sont constituées de bactéries résiduelles qui consomment les substances organiques contenues dans les eaux usées et elles les assimilent (Ademe, 1999). La plupart des méthodes utilisent des microorganismes anaérobies facultatifs qui ont un métabolisme aérobie en présence d'oxygène et anaérobie en absence d'oxygène et ils utilisent le carbone comme source d'énergie. Ces traitements sont essentiellement destinés aux eaux usées chargées en matières organiques (Ademe, 1999).

1.2.4. Caractéristiques des boues

Une boue est représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser :

I.2.4.1. Caractéristiques physico-chimiques : Il s'agit des caractéristiques générales de la partie solide et la partie liquide d'une boue.

- ✚ **Matière sèche (MS) et siccité (S) :** C'est le paramètre principal de la définition de filière, il est facile à mesurer, il est exprimé en g/l, rapporté à la masse totale de la fraction massique(S) qui permet de connaître la quantité de boues à traiter quel que soit le niveau de concentration dans la filière à traiter (Kormanik.,1972).
- ✚ **Matière en suspension MES :** Si les MS sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, les phases clarifiées ne présentent pas la même dynamique où la procédure de mesure de MES par filtration sur membrane est plus appropriée.
- ✚ **Fraction volatile FV (en % de MS) :** c'est le rapport des matières volatiles MV (en g/l) sur les MS en (g/l). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération ...). (Dudkowski, 2000).
- ✚ **Indice de boues SVI (Sludge Volume Index) :** Il caractérise l'aptitude à la décantation, et donc ultérieurement à l'épaississement puis à la déshydratation d'une boue issue d'un traitement biologique ; il est à relier indirectement aux MS et MV (Amadou, 2007).

I.2.5. Composition des boues

La composition des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année, type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Werther et Ogada, 1999). Les boues contiennent des nutriments qui servent d'amendement organique ou calcique pour améliorer les propriétés physico-chimiques du sol (Dudkowski, 2001). Le tableau 2 regroupe certains constituants :

Tableau 2 : Composition des boues d'épuration

Composés	Pourcentage (%)
MS (matière sèche)	2 à 95 selon la siccité
MO (matière organique)	50 à 70
Azote	3 à 9
Phosphore	4 à 6
Potassium	<1
Magnésium	<1
Chaux	4 à 8
Carbone organique total/Azote total	5 à 12

I.2.5.1. Les éléments désirables

Les éléments désirables des boues peuvent inclure leur capacité à fertiliser les sols, à améliorer la structure, parmi ces éléments on trouve :

➤ **La matière organique**

Les boues contiennent de la matière organique plus qu'un fumier, leurs concentrations en MO peut varier de 30 à 80%, des lipides 6 à 19% de la MO, des polysaccharides, des protéines et des acides aminés jusqu'à 33% (Ademe, 2001).

➤ **Les éléments minéraux**

Silice, alumine, carbonates, et phosphates constituent les éléments les plus couramment rencontrés. Les carbonates et phosphates ont leur importance pour préciser la qualité agricole d'une boue épandue (Tauzin et Juste, 1986).

I.2.5.2. Les éléments indésirables

Parmi ces éléments, on distingue les éléments traces métalliques, les composés traces organiques et les microorganismes pathogènes :

➤ **Les éléments traces métalliques (ETM)**

Les ETM sont des constituants indésirables des boues résiduaires (Baize et al., 2006), leur présence dans les boues, génère une inquiétude pour le processus d'épandage sur les sols destinés à produire des aliments. Les boues concentrent entre 70 et 90% des ETM des eaux usées (Terce, 2001.). Ces derniers viennent des rejets industriels, des rejets domestiques (utilisation des solvants, détergents, peintures).

➤ **Composés traces organiques (CTO)**

Dans les boues, une avalanche de polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényle ...) peuvent se retrouver en faibles concentrations (Lerez et al., 2001), ces CTO se dégradent dans les sols à des vitesses variables, ils n'ont pas un effet cumulatif mais aux mêmes bases que les ETM les CTO peuvent à fortes doses devenir toxiques pour les microorganismes responsables de fertilité des sols (Amir, 2005).

➤ **Les microorganismes pathogènes**

Les boues résiduaires contiennent des milliards de microorganismes vivants (virus, bactéries, protozoaires, champignons) qui jouent un rôle essentiel dans le processus d'épuration, cette infime partie est pathogène, elles proviennent en majorité des excréments humains et animales (Sahstrom et al., 2004). Les éléments parasitaires présentent une résistance plus élevée dans ces milieux, pour cela les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (Garrec et al., 2003).

I.2.6. La faune dans les boues résiduaires urbaines

I.2.6.1. La mésofaune

L'apport de la matière organique par l'application des boues peut avoir un effet sur le compartiment faune, en particulier la mésofaune du sol, en stimulant les populations microbienne et d'invertébrés (nématodes ; collemboles ; acariens) et celle de protozoaires dont le rôle est dans le fonctionnement du sol. Les boues ont un effet bénéfique sur la biomasse et sur son activité (Mitchell et al., 1978, Robert 1996). D'une manière générale, l'application des boues d'épuration favorise les invertébrés et l'abondance des collemboles (André, 1999., Bruce et al., 1999., Cole et al., 2001).

I.2.6.1.1. Les collemboles

Les collemboles sont en abondance spécifique dans les boues résiduaire car ces milieux sont humides et riches en matières organiques. Ils favorisent leur développement, raison pour laquelle, ils sont souvent indicateurs de la qualité écologique des sols (Banerjee et al., 1997 ; Khan et Scullion, 2002).

Les collemboles peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs notamment la composition des boues telles que : la concentration en ETM, leurs contenus en éléments nutritifs qui peuvent favoriser leurs croissance (Stevenson et al.,1984).

On a longtemps considéré les déchets organiques, tel que boues résiduaire des stations d'épuration comme bénéfiques sur les communautés des collemboles, dès 1990, l'exemple de *Folsmia Fimetera* (collembola) a été utilisé pour tester les effets toxiques dans les boues d'épuration espèce considérée en tant marqueur ecotoxicologique (John Wiley, 1998).

I.2.6.1.2. Les acariens

Les acariens sont extrêmement variés (Andréa, 2006) dans des environnements humides et riches en MO. Ils peuvent jouer un rôle dans la décomposition des CTO présents dans les boues comme ils peuvent être des agents pathogènes potentiels. La diversité des acariens peut varier au dépend de la composition des boues, conditions environnementales et la gestion des sites d'épandage. Les boues peuvent contenir des substances nocives ou perturber l'équilibre écologique du sol et avoir des effets négatifs sur la diversité des acariens (Santos et Whitford, 1981 ; seastdt, 1984 ; Lavelle et Spain, 1991).

I.2.7. Valeurs agronomiques des boues urbaines

Les boues d'épuration peuvent avoir une valeur agronomique en tant qu'amendement organique, Elles sont riches en MO parfois en calcium ainsi qu'en certains éléments fertilisants (Ademe, 1999). Les déchets urbains sont potentiellement intéressants pour améliorer les propriétés des sols (Krell, 2004). Les boues agissent comme un catalyseur de la biologie du sol et non pas seulement comme un engrais au sens strict du terme. Il y a une dizaine d'années, c'était surtout la valeur fertilisante azotée et phosphatée des boues résiduaire qui motivait leur utilisation. La teneur en azote et en phosphore représente 3 à 7% de la matière sèche (MS) (Jaroz, 1985).

I.2.8. Effets de l'apport des boues urbaines sur la faune du sol

L'apport de la matière organique par l'application des boues peut avoir un effet sur le compartiment faune, en particulier la mésofaune du sol en stimulant les populations microbiennes et les invertébrés ; nématodes ; collemboles ; acariens ; protozoaire qui ont un rôle dans le fonctionnement du sol. Ces boues ont un effet bénéfique sur la biomasse et son activité (Mitchell et al, 1998 ; Robert, 1996 ; Stamatiadis et al., 1999 ; Kunito et al., 2001).

D'une manière générale l'application des boues d'épuration favorise les invertébrés et l'abondance des collemboles (Andrés, 1999 ; Bruce et al, 1999 ; Cole et al, 2001).

I.2.9. Effets de compost des boues sur la faune du sol

I.2.9.1. Intérêt de compostage des boues résiduaire urbaines

La valorisation agricole des boues résiduaire peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques (C, N, P...). Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges (Lambkin et al., 2004). Les composts des boues présentent un intérêt agronomique sans impact environnemental significatif, selon l'INRA 19.

I.2.9.2. La faune dans les composts des boues

La faune du sol est un élément essentiel pour la santé du sol, elle redistribue la MO de la surface à la profondeur par les microorganismes (Mbau et al., 2015).

Les vers de terre désignée sous le nom d'ingénieurs des écosystèmes peuvent favoriser l'agrégation des sols en mélangeant la MO (Domene, 2016).

Les collemboles dans les écosystèmes souterrains peuvent renforcer l'activité microbienne, accélérer le taux de décomposition de la MO, augmenter la minéralisation des nutriments (J-M et al., 2017).

Le compost des boues à augmenter l'activité microbienne du sol, nombre significatif des bactéries et de champignons a été obtenu après l'amendement du compost (Erana et al., 2019).

I.2.9.2.1. La mésofaune (abondance et type) dans les composts des boues urbaines

L'épandage de compost des boues peut avoir un impact sur la mésofaune qui comprend des organismes tels que les collemboles, les acariens ; cela peut augmenter leur abondance en fournissant des nutriments et en améliorant la structure du sol. Leurs richesses en nutriments

tels que l'azote, phosphore, potassium, peut stimuler la croissance des microorganismes du sol et fournir une source de nourriture pour la mésofaune et donc favoriser leur abondance (Gobât et al., 1998).

I.2.9.3. Impact du compost de boues sur la diversité et l'abondance de la faune du sol

Le compost de boues peut avoir des effets positifs sur la diversité et l'abondance de la faune du sol en fournissant des nutriments, en améliorant la structure du sol et en favorisant des conditions propices à l'activité biologique. Il est également important de noter que les collemboles et les acariens sont des groupes d'invertébrés du sol qui sont sensible à divers facteurs environnementaux (Domene, 2016).

I.2.9.3.1. Effet sur l'abondance et la diversité des collemboles

L'application de compost de boues peut avoir des effets variables sur l'abondance et la diversité des collemboles dans le sol, d'une part, le compost de boues peut fournir des nutriments supplémentaires, ce qui peut favoriser une augmentation de l'abondance des collemboles en stimulant leur croissance et leur reproduction (Andrés, 1999 ; Bruce et al., 1999 ; Cole et al., 2001).

Cependant, d'autre part, certains composts de boues peuvent également contenir des contaminants potentiels tels que les métaux lourds ou des substances toxiques, ce qui peut entraîner une diminution de l'abondance des collemboles ou dans changements dans leur composition spécifique affectant ainsi la diversité (Banerjee et al., 1997).

I.2.9.3.2. Effet sur l'abondance et la diversité des acariens

L'épandage de compost des boues peut influencer la diversité des acariens, des arthropodes essentiels pour les écosystèmes du sol. L'ajout de boues peut modifier la composition chimique et biologique du sol, ce qui peut affecter la diversité des acariens en modifiant leur habitat et en influençant les interactions entre les espèces (Koehler, 1999).

Chapitre II

Matériels et méthodes

Le présent travail a pour objectif d'étudier l'effet de l'utilisation des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées de Boukhalfa à l'état brut et composté, sur la diversité biologique du sol : étude comparative de leur épandage en automne et au printemps sur les communautés de collemboles et d'acariens.

II.1. Matériels

II.1.1. Sol, boues urbaines et compost de boues urbaines

Le sol étudié provient d'une parcelle cultivée en agrumes appartenant à l'exploitation agricole des frères OUMLIL à Boukhalfa, localisée selon Google Earth (figure 6).



Figure 6 : Image satellitaire de l'exploitation agricole des frères OUMLIL et de la parcelle via (Google Earth, 2021)

Les paramètres et les caractéristiques de la parcelle sont regroupés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3 : Les paramètres de la parcelle étudiée

Paramètres	Données
Cordonnées Lambert	Latitude : 36°42'53"N
	Longitude : 03°10'22,4"E
	Altitude : 48m
Topographie	Plat
Spéculations agricoles	Agrumes (agrumicole) avec culture intercalaire (chou vert et chou-fleur en été, fève en hiver ou avoine)

Tableau 4 : Les caractéristiques physico-chimiques du sol de la parcelle étudiée

Type de sol	Alluvial
Texture	Sableuse
Matière organique	Faible (< 1,2%).
pH	Légèrement alcalin (> 7,5)

II .1.2. Le compost

Le compost épandu sur la parcelle est préparé à partir des boues d'épuration de la STEP de Boukhalfa, de co-produits oléicoles et du fumier de bovins. Le compost est fabriqué et caractérisé préalablement par madame Omouri (caractéristiques physiques, chimiques et phytotoxicité) dans le cadre de travaux de recherche.

II .1.3. Les boues d'épuration urbaines

Les boues sont de type secondaire, séchées à l'air libre, issues de la STEP de Boukhalfa et caractérisées par madame Omouri dans le cadre de travail de recherche.

II .2. Méthodologie

L'essai expérimental a été mené en plein vergers d'agrumes. Le dispositif est de type blocs aléatoires complet, avec 4 blocs, chaque bloc est divisé en 5 micro-parcelles, chacune d'une superficie de 25m² (5m×5m) et délimitée par 4 orangers.

Différentes doses de compost de boues urbaines ont été épandues au niveau des micro-parcelles sur une profondeur de 15cm. Les doses épandues sur 15m² sont de 0,25, 50 et 75t/ha pour les

BUC. Une dose de boue urbaine brute (BUB) de 30t/ha a été aussi apportée pour comparer par rapport au compost. L'épandage est effectué manuellement sur 16 micro-parcelles de 15m² de superficie chacune, à raison de 4 répétitions pour chaque dose des deux amendements organiques apportés. Quatre micro-parcelles sans apport étaient considérées comme témoins (D0 = 0t/ha).

Le type de dispositif choisis et en bloc aléatoire complet. Un dispositif expérimental en automne (figure 7) et un autre au printemps (figure 8).

II.2.1 L'épandage des boues et du compost des boues

Après avoir choisi les dispositifs, l'épandage des boues et du compost de boues a été réalisé manuellement, est enfouie sur une profondeur de 15 cm environ en deux périodes, au printemps et automne.

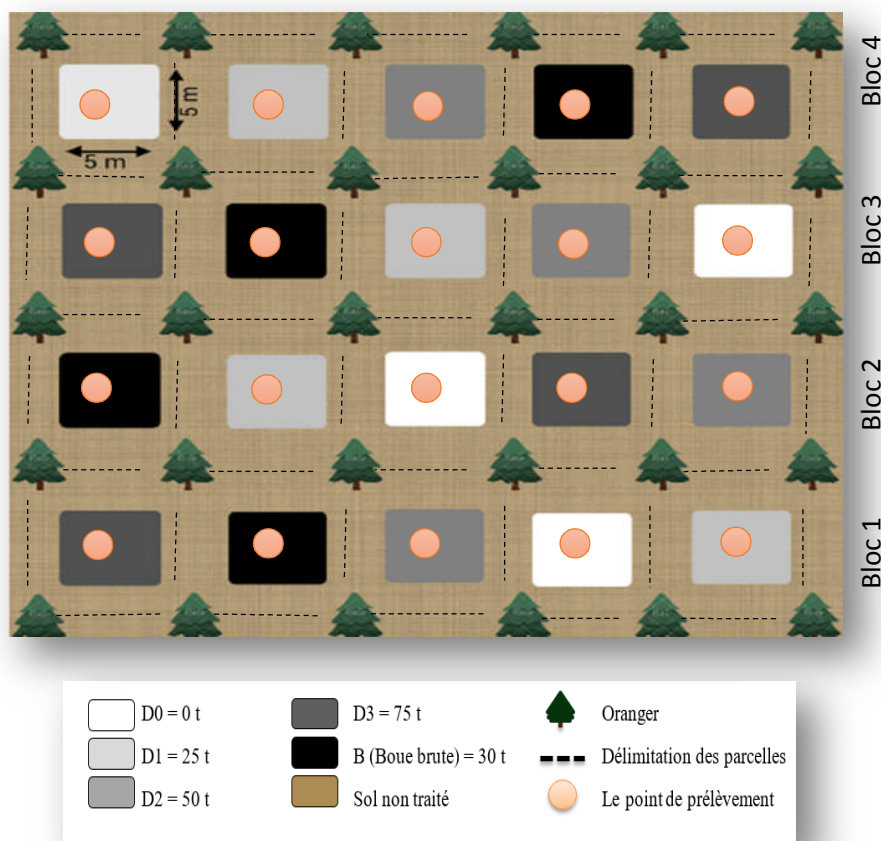


Figure 7 : Schéma du dispositif expérimentale 1 (épandage au printemps)

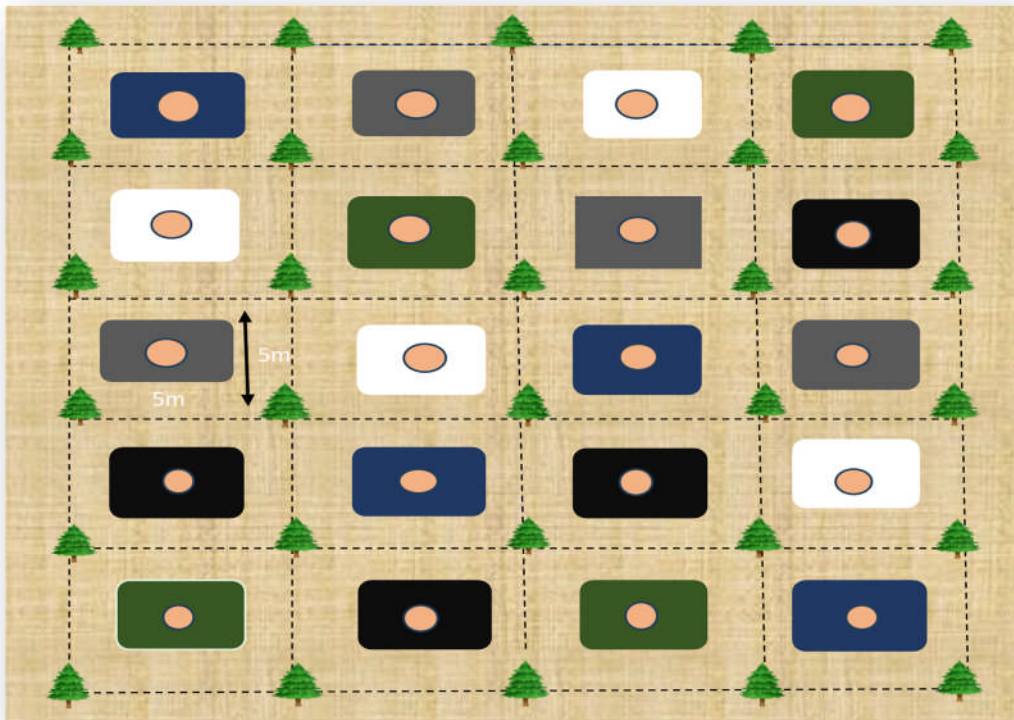


Figure 8 : Schéma du dispositif expérimental 2 (Epannage en automne)

II .2.2 Echantillonnage des sols

L'échantillonnage des sols a été effectué en 2 périodes : la première était à l'automne 6 mois et le deuxième 12 mois après épannage printemps par la méthode utilisant le quadra.

Le prélèvement est limité uniquement à l'horizon de surface sur une profondeur de 0-15cm. Les points de prélèvement des échantillons se situent au centre de chaque micro-parcelle, nous avons ramassé les échantillons du sol en émiettant les mottes manuellement, chaque échantillon est mis dans un sac étiqueté (figure 9).



Figure 9 : les étapes d'échantillonnage avec le quadra

II .2.3. Extraction de la mésofaune

L'extraction de la mésofaune a été effectuée en utilisant l'appareil de Berlèse (figure 10)

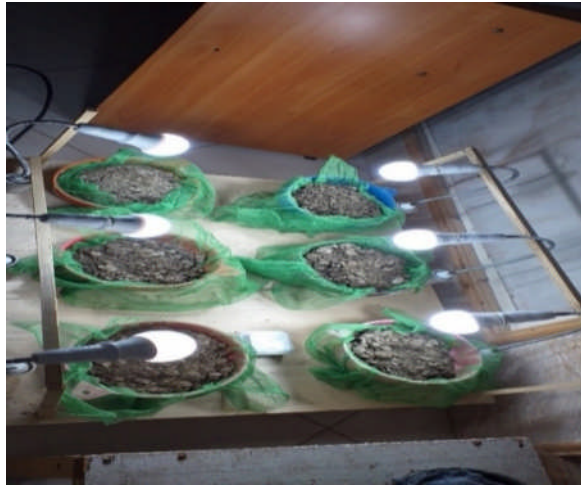


Figure 10 : appareil de Berlèse

II.2.3.1. Le principe de l'appareil de Berlèse

L'utilisation de l'appareil de Berlèse permet l'extraction des êtres vivants présents dans les échantillons du sol, son principe de fonctionnement est simple :

L'échantillon du sol est placé sur un tamis au fond d'un entonnoir, une lampe chauffante est positionnée au-dessus de l'échantillon, l'éclairement de la lampe et la chaleur dégagée par celle-ci font fuir les collemboles, acariens, insectes, etc. Ils traversent le tamis et glissent le long de l'entonnoir pour tomber dans un récipient de collecte placé en dessous rempli d'alcool à 70° pour conserver la mésofaune de la dégradation et permettre leur observation sous une loupe binoculaire.

II .3.2. Observation, tri, isolement et identification

II .3.2.1. Matériels utilisés au laboratoire

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisés le matériel suivant



Figure 11 : flacons contenant de l'éthanol à 70°



Figure 12 : loupe binoculaire G×65



Figure 13 : tubes en plastique



Figure 14 : Pinceaux

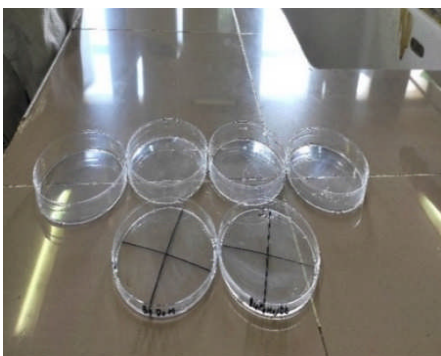


Figure 15 : boîtes de pétrie



figure 16: Alcool à 60°

II .3.2.2 Principe

Les individus extraits d'un échantillon sont mis dans une boîte de pétrie divisée en quatre parties pour dénombrer, faire le tri et séparer les collemboles et les acariens des autres groupes faunistiques. Le tri s'effectue sous loupe binoculaire ($G \times 65$) et la récupération des individus à l'aide d'un pinceau puis sont conservés dans des petits tubes à essai en plastique. Les étapes essentielles sont récapitulées par la figure 17 :



1 : prélèvement du sol



2 : extraction de la mésofaune



3 : Observation



4 : Le tri et l'isolement des collemboles et des acariens

Figure 17 : Schéma récapitulatif des étapes d'étude de la mésofaune du sol (photos originales)

II.3.2.3. La détermination des collemboles

Elle est réalisée par l'utilisation des clés de détermination proposée par McDonald Woods Chicago Botanic Garden.



Figure 18 : Collembole

Ordre : Entomobryomorpe ; Entomobryidae

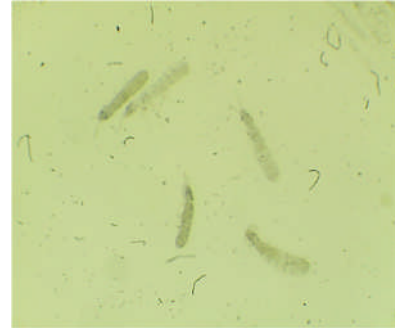


Figure 19 : Groupe de Collemboles

Ordre : Entomobryomorpe ; Isotomidae

Les figures ci-dessous montrent les acariens (non déterminés) observés dans les différents échantillons.



Figure 20 : Acariens (non déterminés), (photos originales)

Chapitre III

Résultats et discussions

III. Résultats et discussions

III.1.1. Effets de l'épandage de boues et du compost de boues sur la richesse totale du sol étudié 6 mois après épandage printanier

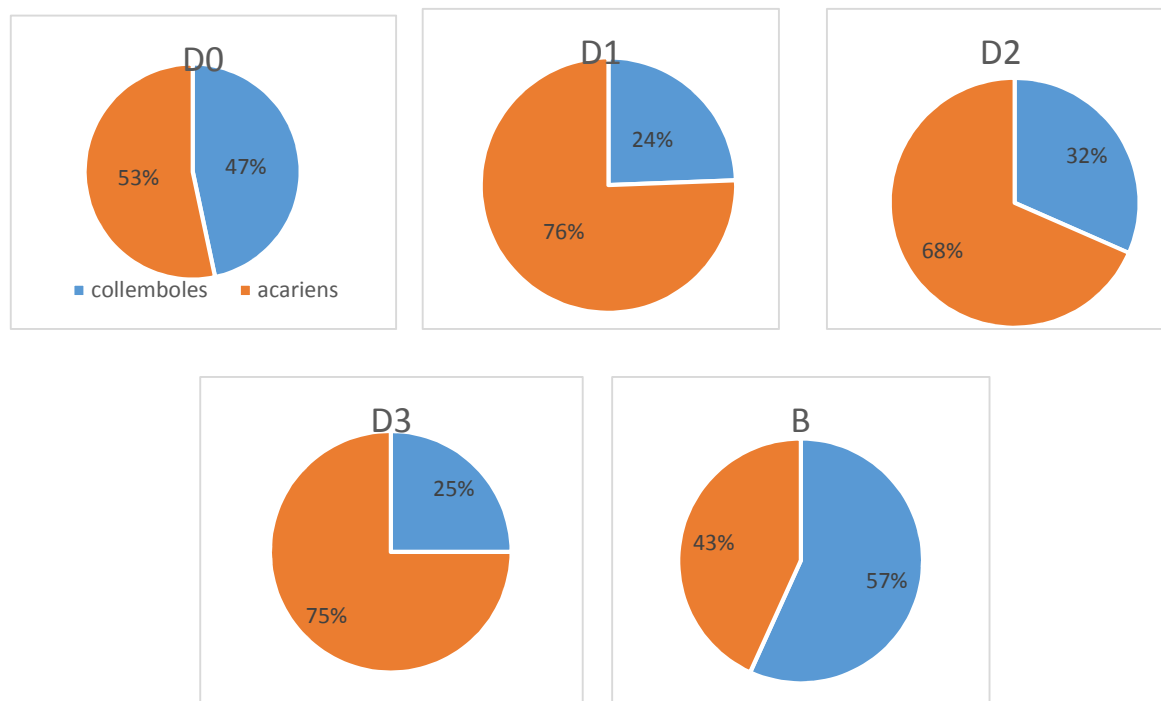


Figure 21 : Variation de la richesse totale, des collemboles et des acariens du sol étudié en fonction des doses épandues 6 mois après épandage printanier

Les diagrammes suivants représentent la variation de la richesse totale en collemboles et acariens, en fonction des doses de compost des boues et boues brutes, 6 mois après épandage printanier (figure 21).

Nous remarquons que les sols non amendés (D0), sont caractérisés par un taux moyen d'acariens de 53% et celui de collemboles de 47%. Le nombre d'acariens a augmenté dans les sols amendés avec D1 (25t/ha) de compost de boues de 74,19% (496ind/m²), contrairement au nombre de collemboles qui indique une légère augmentation de 30% (160ind/m²). En ce qui concerne les sols amendés avec D2 (50t/ha), le nombre d'acariens a augmenté de 69,23% (416ind/m²), par contre, le nombre de collemboles a augmenté de 46% (192ind/m²). De même, pour les sols amendés avec D3 (75t/ha), le nombre d'acariens a augmenté de 33,33% (192ind/m²), par contre, celui des collemboles a diminué de 42,85% (64ind/m²).

Dans les sols amendés avec la dose B (30t/ha) de boues brutes, le nombre moyen de collemboles a augmenté de 56,25% (256ind/m²) et celui des acariens de 34,35% comparativement à celui des sols non amendés (D0).

III.1.2. Variation de la richesse en collemboles du sol étudié sous l'effet de compost des boues 6 mois après épandage printanier

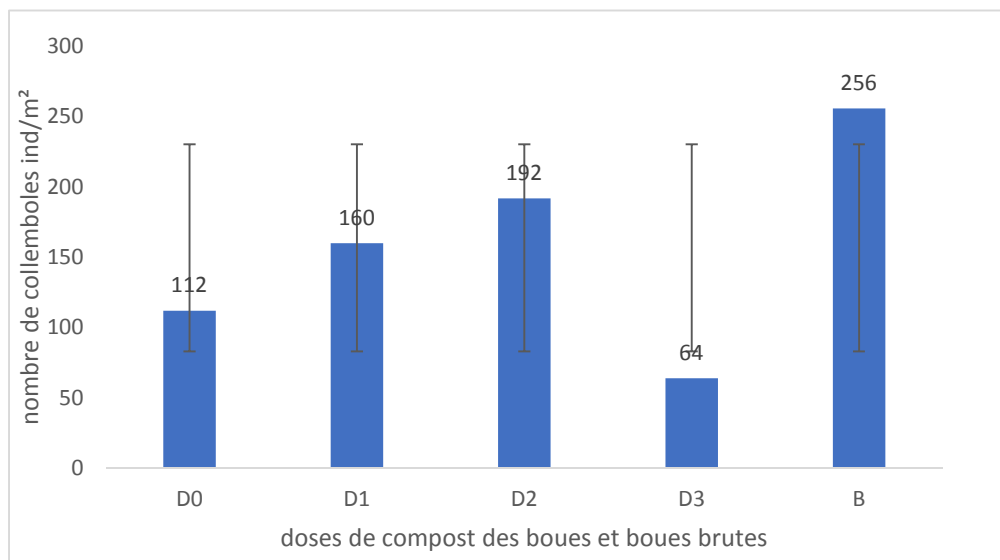


Figure 22 : Variation du nombre de collemboles du sol étudié en fonction des doses de BUC et BUB 6 mois après épandage printanier

Le nombre de collemboles dans le sol étudié varie en fonction des différentes doses de compost de boues (D0, D1, D2, D3) et de boues brutes épandues. La figure 22 montre que le nombre de collemboles a augmenté de D0 (112ind/m²) au sol amendé par la D1 de compost de boues (160ind/m²) de 30% et au D2 (192ind/m²) de 42%, et une diminution au D3 (75t/ha) de 75%. La communauté des collemboles dans les sols ayant reçus cette dose a diminué (64ind/m²). Les sols ayant reçu des boues à l'état brute B avec une dose de 30t/ha, représentent le nombre le plus élevé de collemboles comparativement aux témoins, avec un pourcentage d'augmentation de 56,25%.

III.1.3. Variation de la richesse en acariens du sol étudié sous l'effet de compost des boues et des boues 6 mois après épandage printanier

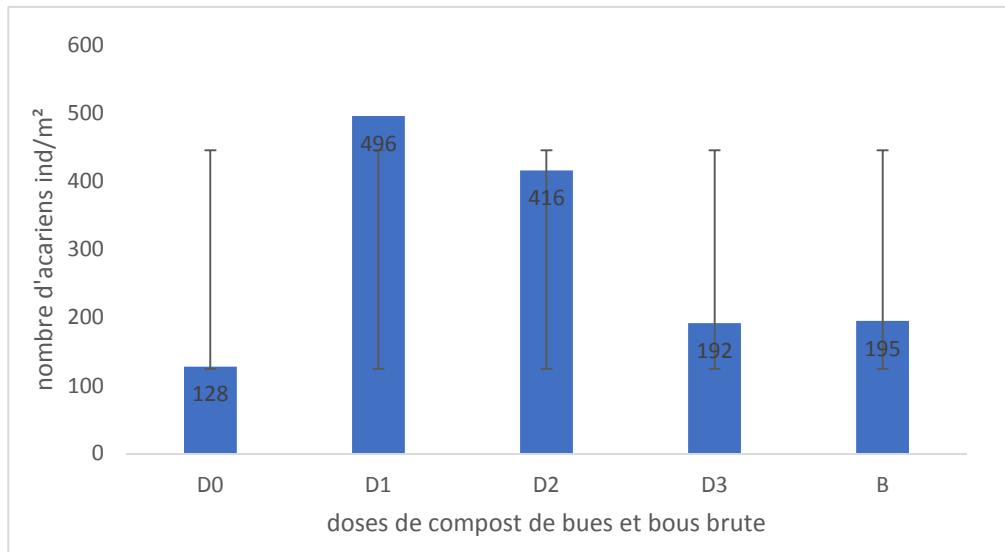


Figure 23 : Variation du nombre des acariens du sol étudié en fonction des doses de BUC et BUB 6 mois après épandage printanier

La figure 23 représente la distribution et l'abondance des acariens dans les sols étudiés en fonction des doses de compost des boues et de boue brute 6 mois après épandage printanier. Les sols non amendés (D0), sont caractérisés par un nombre moyen d'acariens de 128ind/m² avec un taux de 53%. Nous remarquons que le nombre d'acariens augmente considérablement en sol amendé par D1 de compost de boues (25t/ha) de 74,19% (496ind/m²) et au D2 (50t/ha) (416ind/m²) de 69,23% comparativement à celui des sols non amendés (D0).

Le nombre moyen d'acariens a augmenté de D0 au D3, avec un pourcentage modéré de 33,33% (192ind/m²), de même, pour les sols amendés avec la dose de boues (B), le nombre d'acariens a augmenté par rapport à celui de la dose D0 avec un pourcentage de 34,35% (195ind/m²).

III.1.4. Effet de l'épandage de boues brutes et de compost de boue sur la richesse totale du sol étudié 12 mois après épandage printanier

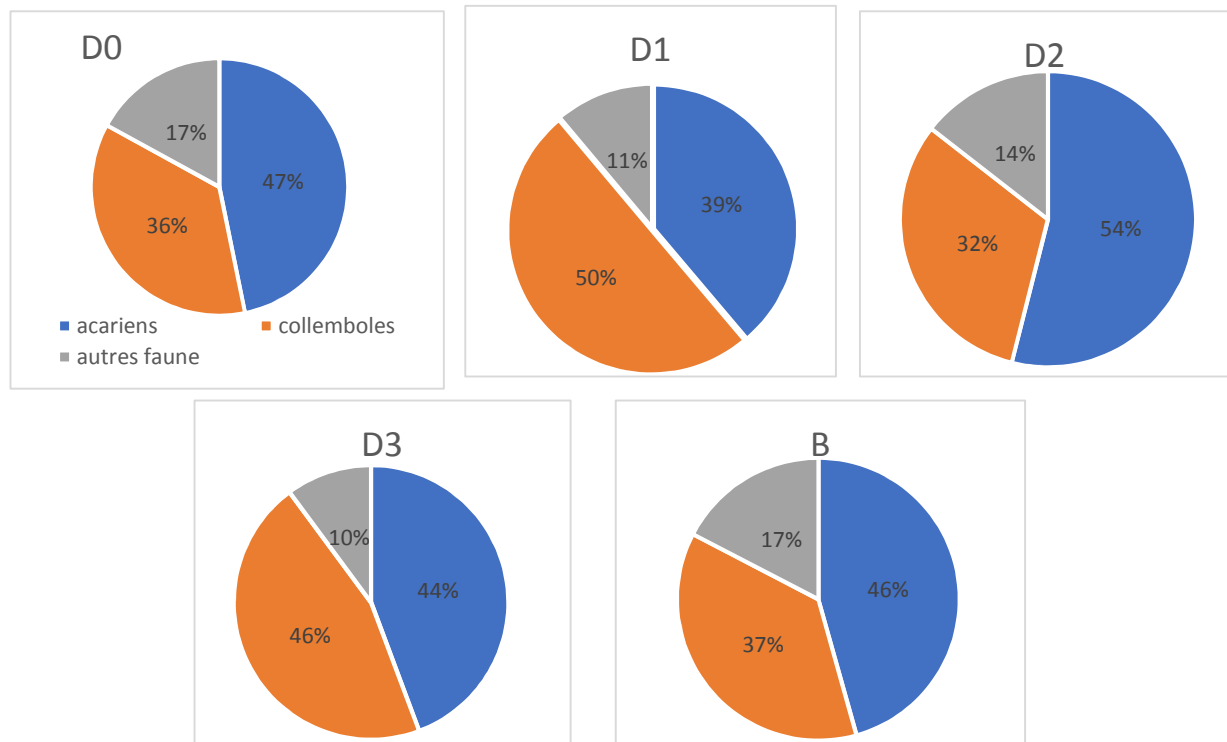


Figure 24 : Variation de la richesse totale, des collembolans et des acaridians du sol étudié en fonction des doses épandues 12 mois après épandage printanier

Le dénombrement de la richesse totale du sol non épandu révèle un totale de 2008ind/m² réparti en 3 groupes faunistiques : les collembolans occupent 36% par 1088ind/m², les acaridians 47% par 1408ind/m², autres faune 17% par 512ind/m².

Ce diagramme nous indique une nette domination des collembolans dans les sols amendés par D1 de compost de boue (25t/ha) avec 50% du total (1156ind/m²), suivi par acaridians avec 39% (896ind/m²) qui diminue dans les sols non amendés D0 contrairement aux collembolans et la macrofaune avec 11% (256ind/m²). À la dose des sols amendés par D2 de compost de boue (50t/ha) nous avons observé une augmentation de tous les groupes faunistiques, les acaridians représentent 54% (2624ind/m²), les collembolans 32% (1536ind/m²) suivi par l'autre faune 14%(704ind/m²). dans les sols amendés par D3 de compost de boue (75t/ha) nous avons observés que les collembolans est le groupe le plus important qui représentent 46% (2304ind/m²) puis les acaridians 44% par 2240ind/m² et la macrofaune présente la plus petite partie occupant 10% par 512ind/m², tandis que dans les sols amendés par les boues brute (30t/ha) les nombres faunistiques sont restés stable par rapport aux sols non épandus, les collembolans par 1344ind/m²

occupant 37%, les acariens 1088ind/m² la plus grande partie (46%) suivi de l'autre faune 17% par 512ind/m².

III.1.5. Variation de la richesse en collemboles du sol étudié sous l'effet de compost des boues et des boues brutes 12 mois après épandage printanier

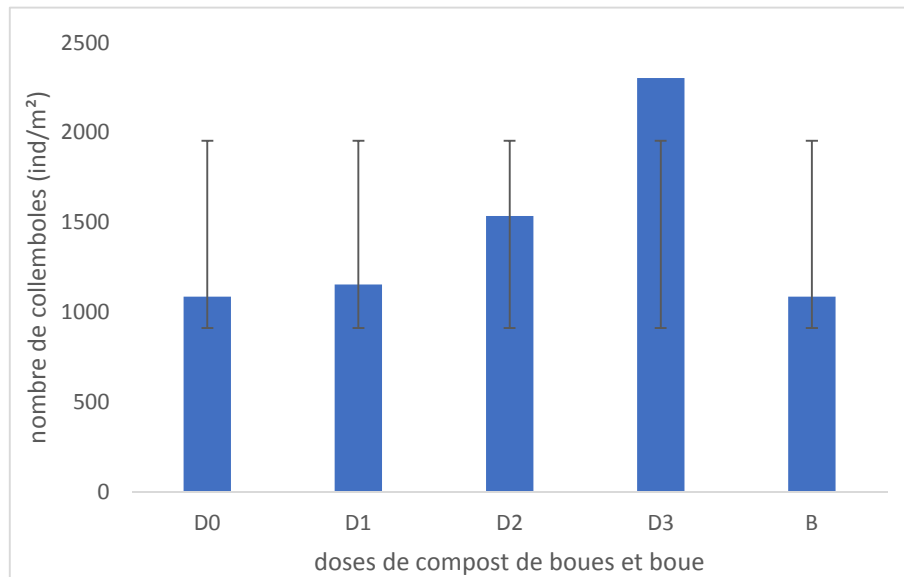


Figure 25 : Variation du nombre des collemboles en fonction des doses de BUC et BUB 12mois après épandage printanier

L'abondance de la communauté des collemboles dans un sol épandu avec le compost de boues et de boue brute varie en fonction des doses d'épandage. Dans les sols non amendés D0 le nombre de collemboles est 1088ind/m², on a observé une augmentation du nombre de collemboles à mesure que la dose augmente, de D0 au sol amendé par le compost de boues D1(25t/ha) le nombre augmente de 6% (1156ind/m²) et au sol amendé avec D2 (1536ind/m²) de 29,16% et au D3 (2304ind/m²) de 53%.

Nous avons remarqué que le nombre de collemboles est le même pour la dose D0 et le sol amendé par B avec 1088 collemboles dans chaque dose occupant un pourcentage de 15% pour chacun.

III.1.6. Variation de la richesse du sol étudié en acariens sous l'effet de compost des boues et des boues brutes 12 mois après épandage printanier

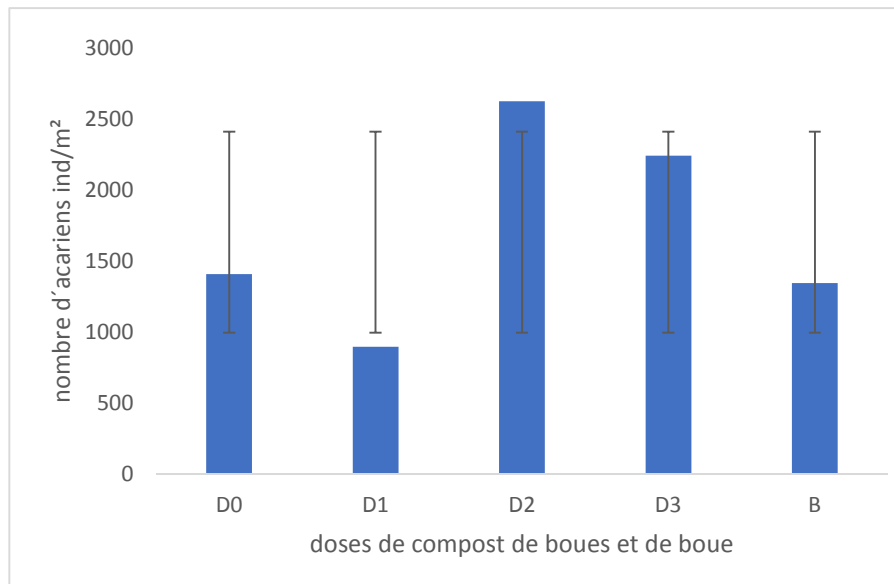


Figure 26 : variation du nombre des acariens du sol étudié en fonction des doses de BUC et BUB 12mois après épandage printanier

Un totale de 1408 ind/m² d'acariens a été enregistré dans le sol non amendé avec le compost des boues et boue brute (D0), la distribution des acariens varie de D0 au sol amendé par le compost de boue D1 (25t/ha) où nous avons observé une diminution de 57,14% (896ind/m²) et vers le sol amendé par le compost de boues D2 (50t/ha) le nombre d'acariens a augmenté par 47% (2624ind/m²) ont été enregistrés ainsi que vers le sol amendé par D3 (75t/ha) de 37,14% (2240ind/m²) , par contre au sol amendé par la dose B (30t/ha) nous avons observé une légère diminution de 5% (1344ind/m²).

III.1.7. Effets de l'épandage de boues brutes et du compost de boues sur la richesse totale du sol étudié 6 mois après épandage automnal

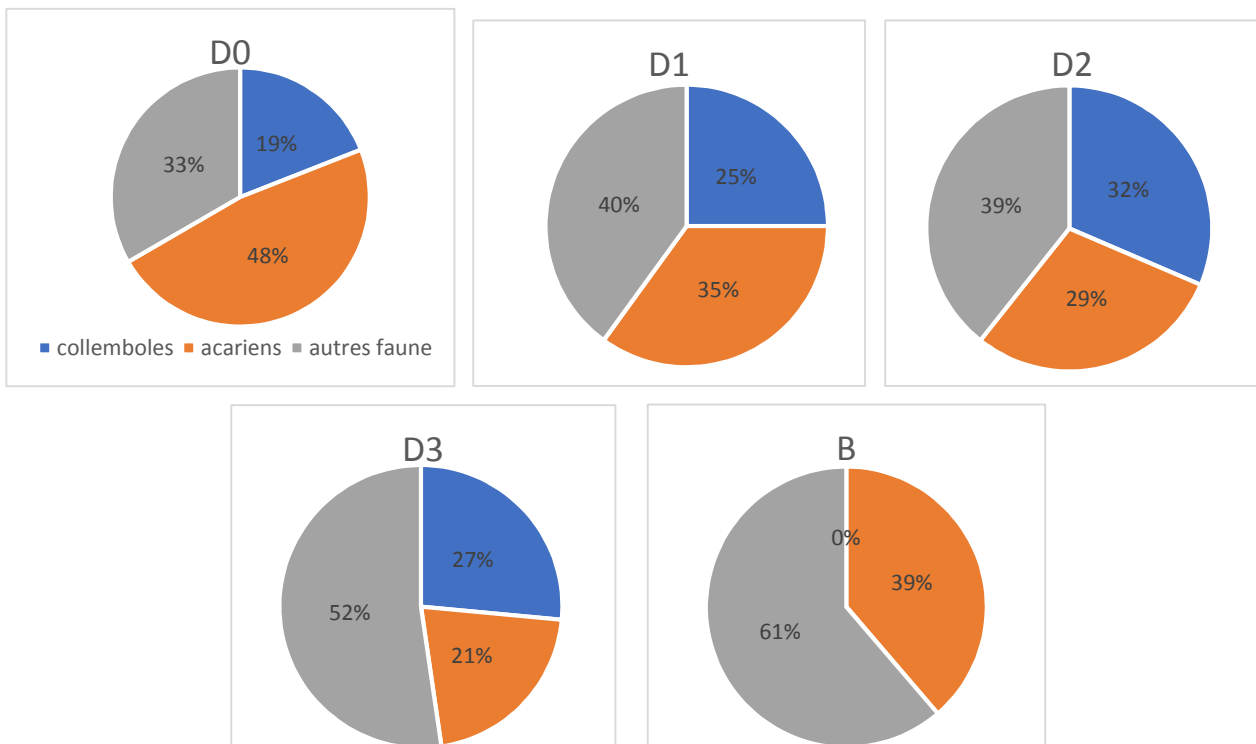


Figure 27 : Variation de la richesse totale, des collemboles et des acariens du sol étudié en fonction des doses épandues 6 mois après épandage automnal

Ce diagramme illustre la variation de la richesse totale du sol en fonction des doses de boues et de compost de boues, observée six mois après l'épandage automnal. Au sol non amendé par le compost de boues D0, la faune représente 64% (224 individus/m²), suivie par les collemboles à 36% (128 individus/m²), tandis qu'il n'y a pas d'acariens dans cette dose. Dans le sol amendé par le compost de boues D1 (25t/ha), nous avons observé l'apparition du groupe d'acariens à 47% (448 individus/m²), alors que les collemboles sont absents. Nous constatons également une augmentation de la faune par 53% (512 individus/m²). Une augmentation de la faune dans le sol amendé avec le compost de boues D2 (50t/ha) par 63% et le nombre d'acariens a diminué 368ind/m² d'un pourcentage 47% et absence de collemboles. Dans le sol amendé avec le compost de boues D3 (75t/ha), nous avons observé une augmentation significative avec l'apparition des trois groupes faunistiques : les collemboles représentent 27% (640ind/m²), les acariens 21% (368ind/m²), autres faunes 52% (1264ind/m²) la plus abondante.

Dans le sol amendé par le compost de boues brutes B nous avons remarqué l'absence des collemboles et une diminution de la l'autre faune (304ind/m²) et des acariens (192ind/m²).

III.1.8. Variation de la richesse en collemboles du sol étudié sous l'effet de compost des boues et des boues brutes 6 mois après épandage automnal

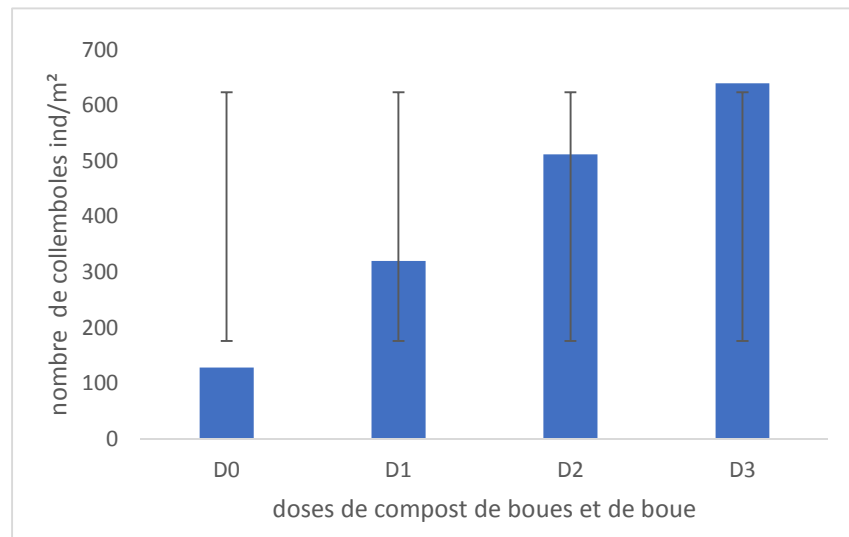


Figure 28 : Variation du nombre des collemboles dans le sol étudié en fonction des doses de BUC et BUB 6 mois après épandage automnal

La figure 28 montre une variation de collemboles dans le sol épandu avec le compost des boues et de boues brutes en fonction des doses d'épandage. Cette communauté a eu une augmentation de sol non amendé D0 (128ind/m²) vers le sol amendé par le compost de boues D1 (25t/ha) de 60% (320ind/m²) et au D2 (50t/ha) de 75% (512ind/m²) et vers D3(75t/ha) de 80% (640ind/m²). Dans le sol amendé par les boues brutes B nous remarquons une absence totale des collemboles.

III.1.9. Variation de la richesse en acariens du sol étudié sous l'effet de compost des boues et des boues brutes 6 mois après épandage automnal

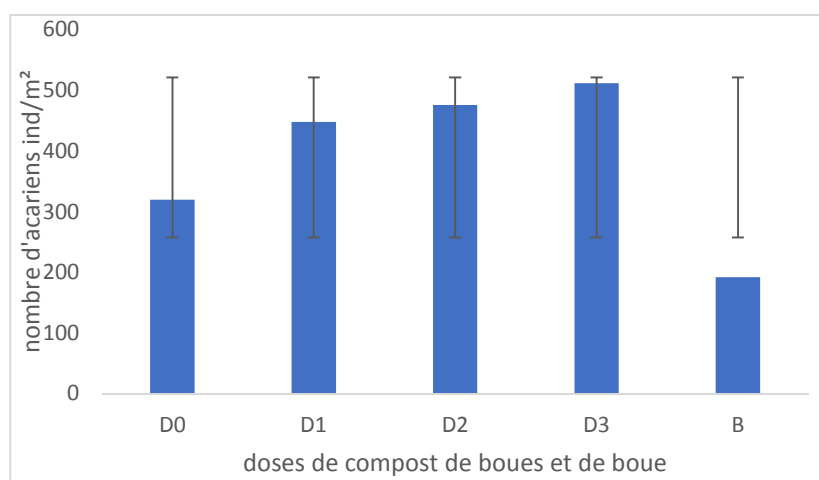


Figure 29 : Variation du nombre des acariens en fonction des doses de BUC et BUB 6 mois après épandage automnal

La figure 29 montre la distribution des acariens dans le sol en fonction des BUC et BUB 6 mois après épandage automnal. Un nombre de 320ind/m² d'acariens ont été observés dans le sol non amendé. Nous remarquons que le nombre augmente dans le sol amendé par une dose de compost des boues D1 (25t/ha) (448ind/m²) 28,57% au D2 (50t/ha) 476ind/m² 32,77% et à D3(75t/ha) 38%, le nombre augmente jusqu'à 512ind/m² 67% par contre dans le sol amendé par dose B le nombre d'acariens diminue c'est à dire l'épandage de compost de boues est plus bénéfique que l'épandage de boues.

III.1.10. Effets de l'épandage de boues brutes et du compost de boues sur la richesse totale du sol 12 mois après épandage automnal

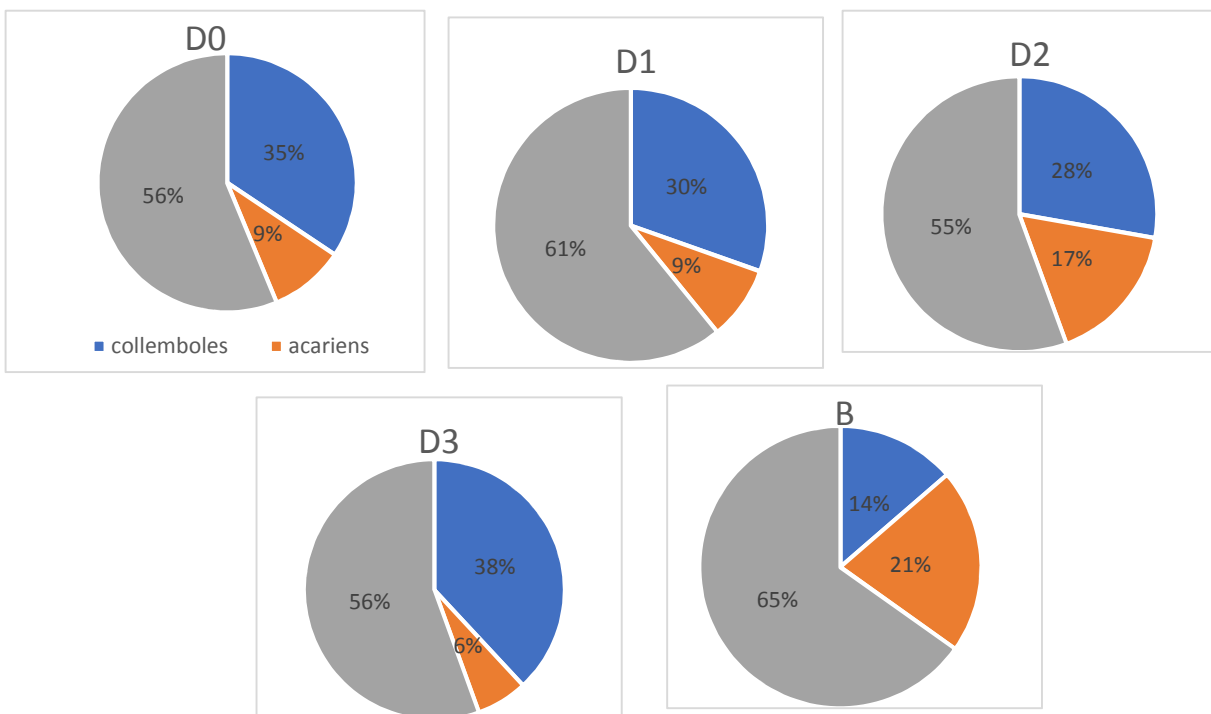


Figure 30 : Variation de la richesse totale, des collemboles et des acariens du sol étudié en fonction des doses épandues 12 mois après épandage automnal

La figure 30 montre la distribution de la richesse totale du sol qui varie en fonction des BUC et BUB après un prélèvement de 12 mois. Nous remarquons que les sols non amendés (D0) sont caractérisés par un taux moyen de 1536ind/m², les autres individus de la faune occupent 56% (864ind/m²) suivi par les collemboles 35% (528ind/m²) et avec un faible pourcentage d'acariens 9% (144ind/m²). dans les sols amendés par la dose D1 de compost de boues (25t/ha) on a observés une diminution de tous les individus 448ind/m² pour les autres groupes faunistiques

qui représente un pourcentage de 61% et 224ind/m² pour les collemboles par 30% et 9% pour les acariens avec 64ind/m², dans les sols amendés par D2 de BUC (50t/ha) une augmentation de tous les groupes 55% de la faune (800ind/m²) suivi par les collemboles de 28% (400ind/m²) et la petite partie pour les acariens de 17%(240ind/m²).

A la dose D3(75t/ha) nous remarquons une diminution de tous les individus, 560ind/m² pour l'autre faune qui représente 56% et 384ind/m² pour les collemboles qui représente 38% et 6% pour les acariens par 64ind/m²

A la dose de boues (30t/ha) le nombre de collemboles a diminué encore 144ind/m² ont été enregistré occupant 14% du total par contre le nombre d'acariens et l'autre faune a augmenté 224ind/m² par un pourcentage de 21% et 688ind/m² par 65%.

III.1.11. Variation de la richesse des collemboles du sol étudié sous l'effet de compost des boues et des boues brutes 12 mois après épandage automnal

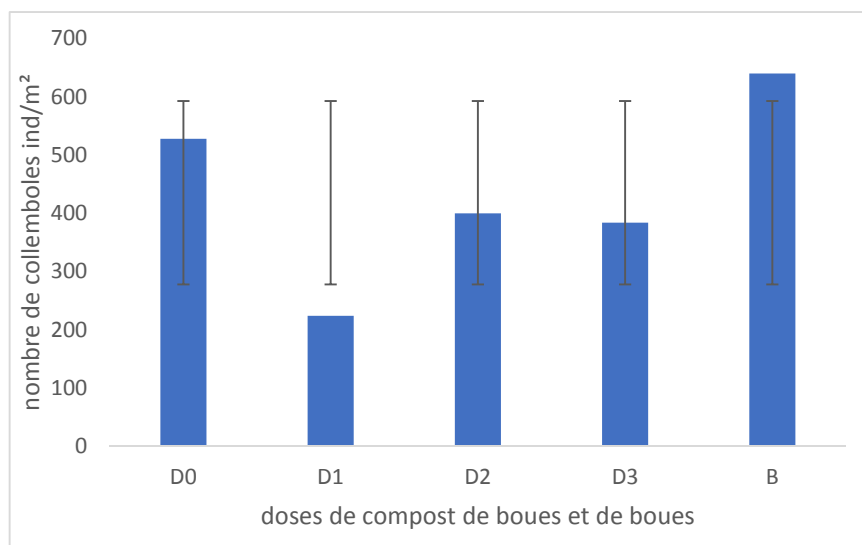


Figure 31 : Variation du nombre des collemboles dans le sol étudié en fonction des doses de BUC et BUB 12 mois après épandage automnal

Le nombre de collemboles dans le sol étudié varie en fonction de différentes doses de compost de boues (D0, D1, D2, D3) et de boues brutes épandues, la figure 31 a montré que le nombre de collemboles a diminué de sol non amendé D0 de 528ind/m² vers le sol amendé par D1 de compost de boues (25t/ha) de 58% (224ind/m²) et au D2 (50t/ha) de 32% (400ind/m²) et vers la dose D3 (75t/ha) de 27,27% (384ind/m²), par contre le sol amendé par les boues brutes B (30t/ha) a légèrement augmenté de 17,5% (640ind/m²).

III.1.12. Variation de la richesse en acariens du sol étudié sous l'effet de compost des boues et des boues brutes 12 mois après épandage automnal

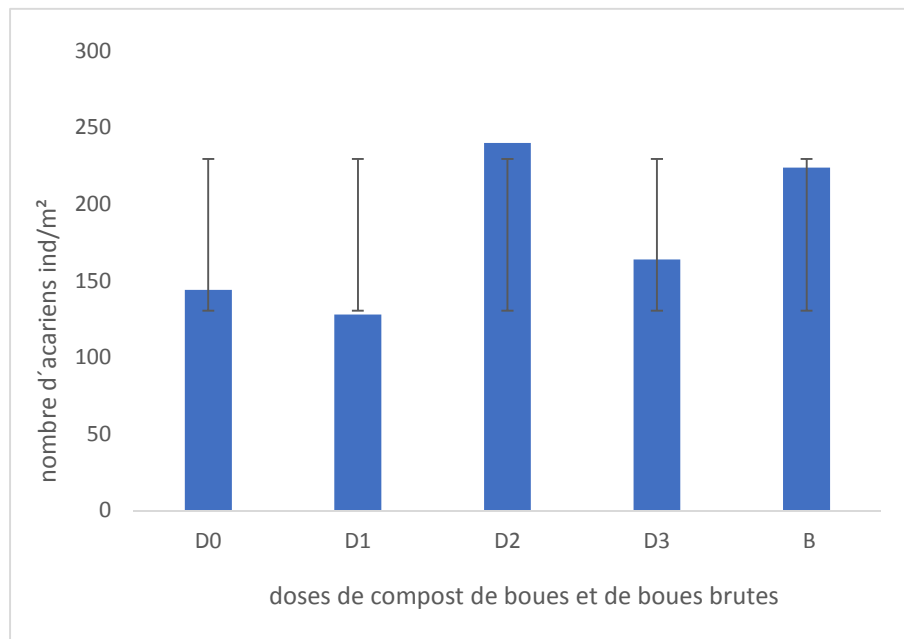


Figure 32 : Variation du nombre des acariens dans le sol étudié en fonction des doses de BUC et BUB 12 mois après épandage automnal

Les résultats de paramètre richesse en acariens (figure 32) d'un sol étudié 12 mois après épandage automnal de BUC et BUB à raison de plusieurs doses, le nombre d'acariens a diminué de sol non amendé D0(144ind/m²) vers le sol amendé par D1 de compost de boues (25t/ha) de 12,5% (128ind/m²), par contre ils ont augmenté au D2(50t/ha) de 40% (240ind/m²), le nombre a encore diminuer à la dose D3(75t/ha) de 12,1% (164ind/m²).

Nous remarquons que le nombre d'acariens est abondant dans le sol amendé par les boues brutes B avec une augmentation de 35,7% (224ind/m²).

III.1.13. Comparaison de la communauté des collemboles dans le sol étudié entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 6 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB

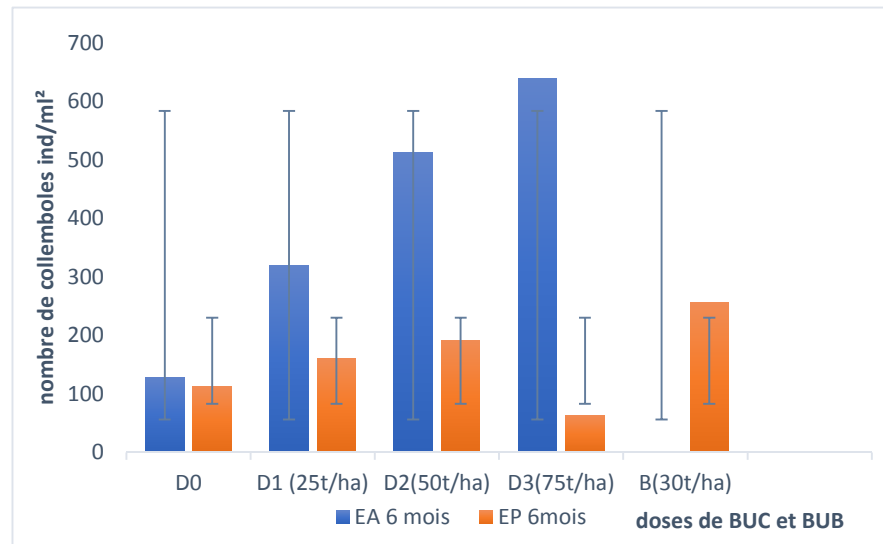


Figure 33 : variation du nombre de collemboles dans le sol étudié selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes 6 mois après épandage printanier et automnal

Les données de la figure 33 montrent des variations marquées du nombre de collemboles en fonction des différentes doses d'épandage. Dans le sol non amendé on observe 128 ind/m² tandis qu'au printemps ce nombre a diminué légèrement à 112 ind/m² indiquant une réduction de 16 individus. Pour le sol amendé par une dose D1 de compost de boues (25t/ha) le nombre de collemboles a diminué de 320 ind/m² en automne à 160 ind/m² au printemps montrant une diminution significative de 160 ind/m². À la dose D2 le nombre de collemboles diminue également de 512 ind/m² en automne à 192 ind/m² au printemps, soit une réduction de 320 ind/m². La dose D3 présente la plus grande variation, avec 640 ind/m² en automne contre seulement 64 ind/m² au printemps, ce qui représente une diminution excessive de 576 ind/m².

En ce qui concerne la dose de boue brute, aucun collembole n'est détecté en automne, alors qu'au printemps, leur nombre monte à 256 ind/m².

III.1.14. Comparaison de la communauté des acariens dans le sol étudié entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 6 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB

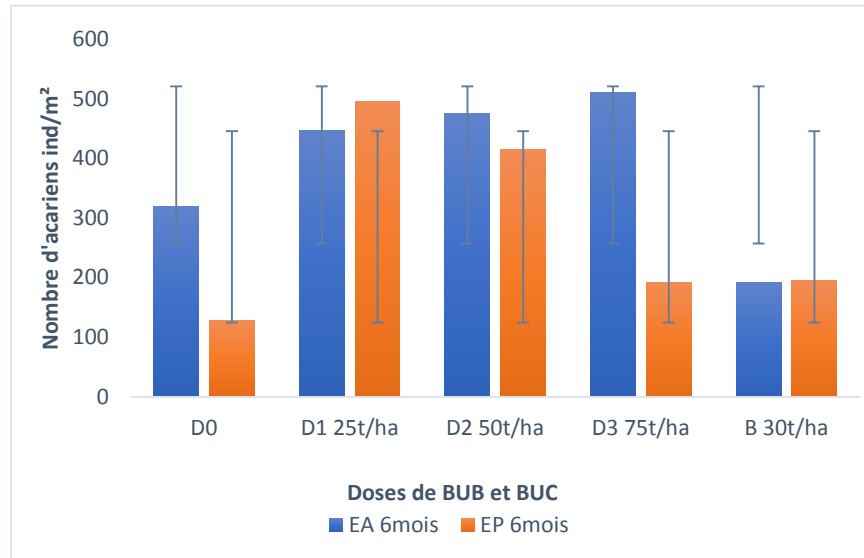


Figure 34 : variation du nombre d'acariens dans le sol étudié selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (6 mois après épandage printanier et automnal)

Les résultats montrent que le nombre d'acariens varie significativement en fonction des doses appliquées. À la dose D0 (aucun épandage) le nombre moyen est de 320ind/m², tandis qu'au printemps ce nombre a diminué à 128ind/m², montrant une réduction notable de 192ind/m². En revanche, pour le sol amendé par la dose D1 de compost de boues (25t/ha) le nombre d'acariens a augmenté de 448ind/m² en automne à 496ind/m² au printemps (48ind/m²). Pour la dose D2 il y a une diminution de 476ind/m² en automne à 416ind/m² au printemps, soit une réduction de 60ind/m². La dose D3 a montré la plus grande variation, avec 512ind/m² en automne contre seulement 192ind/m² au printemps, ce qui représente une baisse significative de 320ind/m².

En ce qui concerne le sol amendé par les boues brutes B, elle a présenté une stabilité relative avec 192ind/m² en automne et 195ind/m² au printemps montrant une légère augmentation de 3ind/m².

III.1.15. Comparaison de la richesse totale dans le sol étudié entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 6 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB

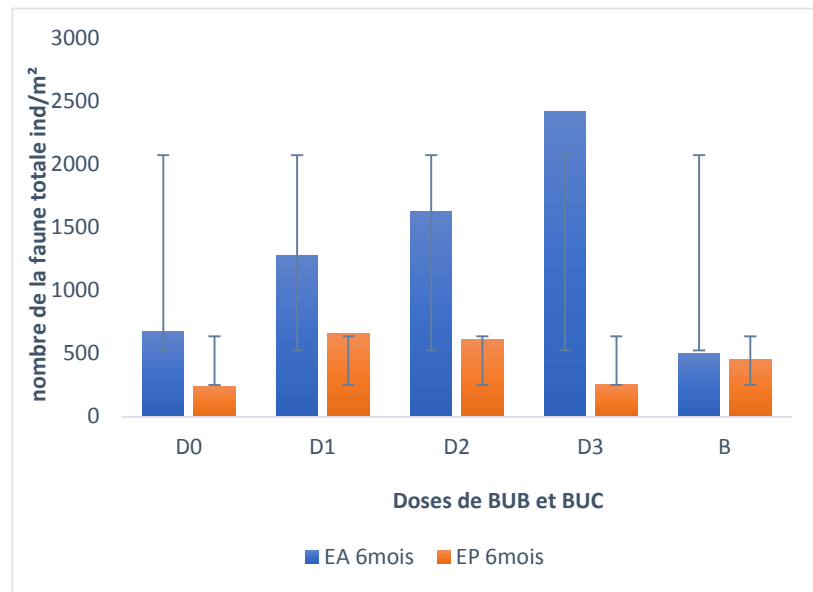


Figure 35 : Variation de la richesse totale du sol étudié selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes 6 mois après épandage printanier et automnal

La figure 35 montre une comparaison de la richesse totale du sol en deux périodes (automne et printemps) en fonction des doses d'épandage BUC et BUB. Pour le sol non amendé D0, la densité la plus élevée est de 672ind/m² en automne, comparé à 240ind/m² au printemps. Pour le sol amendé par la dose D1 de compost de boues (25t/ha) le nombre de la faune est extrêmement élevé en automne représenté par 1280ind/m² contrairement au printemps (656ind/m²). Le nombre de la faune a augmenté à D2(50t/ha) 1628ind/m² en automne et a diminué au printemps (608ind/m²) et à D3 (75t/ha) on a observé une augmentation en automne (2416ind/m²) et une diminution au printemps (256ind/m²). Dans le sol amendé par les boues brutes B (30t/ha) le nombre d'individus est similaire avec 496ind/m² en automne et 451ind/m² au printemps.

III.1.16. Comparaison de la communauté des collemboles du sol étudié entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 12 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB

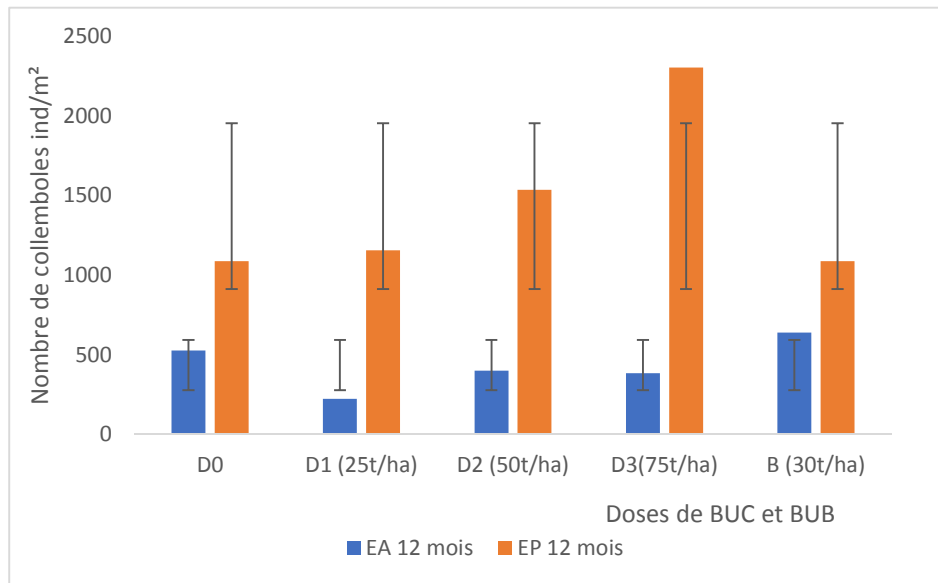


Figure 36 : variation du nombre de collemboles du sol étudié selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (12 mois après épandage printanier et automnal)

En automne, les résultats montrent que le nombre d'individus de collemboles varie significativement en fonction des doses d'épandage. Dans le sol non amendé D0 le nombre moyen est 528ind/m² tandis qu'au printemps ce nombre a augmenté à 1088ind/m². Pour le sol amendé par la dose D1 de compost de boues (25 t/ha) il y a 224ind/m² en automne comparés à 1156ind/m² au printemps. À la dose D2 (50 t/ha) on a observé un nombre de 400ind/m² en automne contre 1536ind/m² au printemps. Le sol amendé par la dose D3 de compost de boues (75 t/ha) a montré 384ind/m² en automne qui ont montés à 2304ind/m² au printemps. Enfin, pour le sol amendé par des boues B (30 t/ha) on a observé 640ind/m² en automne et 1088ind/m² au printemps.

III.1.17. Comparaison de la communauté des acariens du sol étudié entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 12 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB

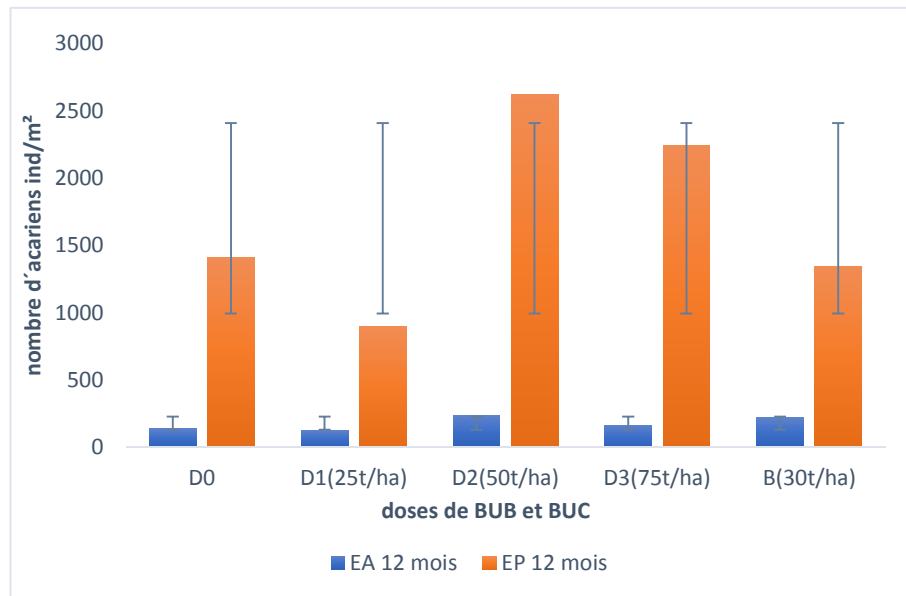


Figure 37 : variation du nombre d'acariens du sol étudié selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (12 mois après épandage printanier et automnal)

Les résultats indiquent que le nombre d'acariens varie en fonction des doses d'épandage. Dans le sol non amendé D0, on a observé 144ind/m², avec une diminution en automne à 128 ind/m² et une augmentation significative au printemps à 1408 ind/m². Pour le sol amendé par la dose D1 de compost de boues (25 t/ha), le nombre d'acariens reste similaire pour les deux périodes avec 128 ind/m² en automne et 896 ind/m² au printemps. À la dose D2 (50 t/ha), le nombre atteint son maximum à 2624 ind/m² au printemps, tandis qu'en automne il a diminué à 240ind/m². La dose D3 (75 t/ha) montre 164 ind/m² en automne et une augmentation notable à 2240 ind/m² au printemps. Pour la dose B (30 t/ha), le nombre d'acariens est plus élevé au printemps avec 1344 ind/m², contrairement à l'automne où il est de 224 ind/m².

III.1.18. Comparaison de la richesse totale du sol étudié entre deux périodes d'épandage (printanier et automnal) après 12 mois sous l'effet des doses de BUC et BUB

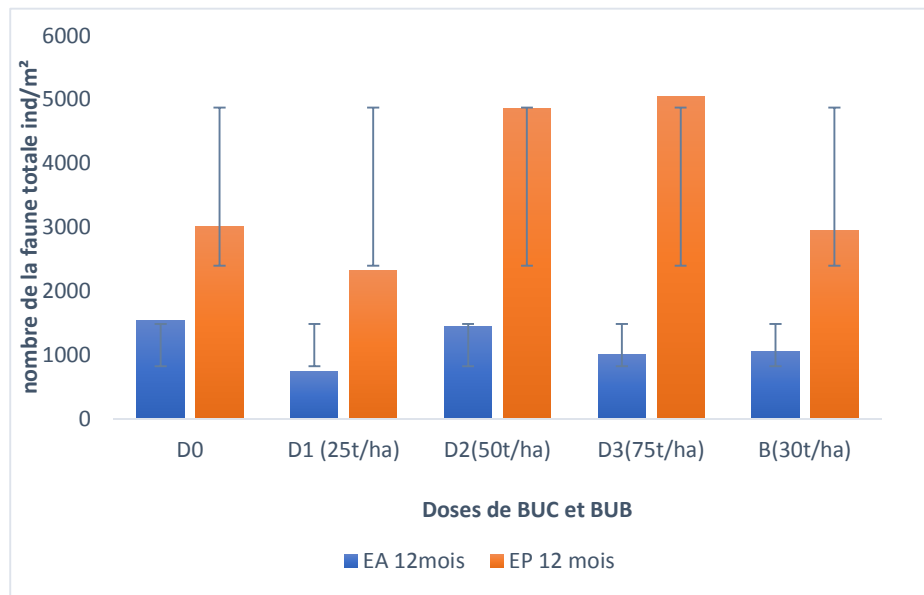


Figure 38 : variation de la richesse totale du sol étudié selon les doses d'épandage lors de deux périodes différentes (12mois après épandage printanier et automnal)

La figure 38 montre une comparaison de la richesse totale du sol entre 2 périodes d'épandage (automnal et printanier), dans le sol non amendé dose D0 nous avons observés le nombre le plus élevé en printemps avec 3008ind/m² suivi par l'automne avec 1536ind/m² soit une diminution de 49%, à la dose D1(25t/ha) le nombre diminue de 2317ind/m² en printemps à 736ind/m² en automne, à la dose D2 (50t/ha) le nombre d'individus a augmenté au printemps au 4864ind/m²et à l'automne 1440ind/m².A la dose D3 la richesse totale passe de 5056ind/m²en printemps à 1008ind/m²en automne. Enfin dans le sol amendé par des boues B (30t/ha) la richesse totale a diminué de 2944ind/m² en printemps à 1056ind/m².

III.2. Discussion générale

III.2.1. Effets de l'épandage de BUB et BUC sur la richesse totale du sol étudié en collemboles et acariens du sol 6 mois après épandage printanier

Les données présentées dans les figures 21, 22 et 23 montrent que les sols ayant reçus des boues compostées avec une doses de (25t/ha) et (50t/ha) représentent le nombre le plus élevé des acariens comparativement aux témoins avec un pourcentage d'augmentation de 74,16%, des résultats similaires ont été auparavant noté par de nombreux auteurs concernant la richesse biologique que le compost produit par les boues est assez riche en substances chimiques constituant un excellent produit d'amendement des sols qui permettent à la fois d'améliorer la

biodisponibilité des acariens (Gnon et Guy, 2011). Par contre le nombre de collemboles représente la partie la plus importante dans les sols ayant reçus les boues à l'état brute (30t/ha) avec un pourcentage moyen d'augmentation (56,25%) (Ademe 2001, Amir 2005) ont confirmé que les boues contiennent autant de matière organique peut varier de 30 à 80% qui est assimilée à la biodisponibilité des espèces collemboles.

III.2.2. Effets de l'épandage de BUB et BUC sur la richesse total du sol étudié 12 mois après épandage printanier

Les données présentées par la figure 24 illustrent l'effet de BUB et BUC en fonction des doses épandues sur la richesse totale du sol, nos résultats indiquent que l'épandage de compost des boues à la dose (75t/ha) est plus bénéfique pour l'abondance et la diversité de la faune, une autre étude a été réalisé par Mulaji (2011) a confirmé que la saison qui va d'octobre jusqu'à avril a un effet sur l'augmentation et l'activité de la biomasse des organismes du sol.

II.2.3. Effets de l'épandage de BUB et BUC sur la mésofaune (collemboles, acariens) du sol étudié en fonction de différentes doses 6mois après épandage printanier

L'épandage de compost de boues sur les sols est plus bénéfique pour les communautés collemboles et acariens au dépend de la période de prélèvement après l'épandage printanier en fonction des doses (50t/ha) pour les acariens et (75t/ha) pour les collemboles, En effet, Abciellier (1978), a observé une augmentation précoce du nombre de collemboles et d'acariens dès le début du printemps, pouvant atteindre jusqu'à 700ind/m².

III.2.4. Effet de l'épandage de BUB et BUC sur la diversité de la mésofaune 6 mois après épandage automnal

L'abondance et la diversité des populations collemboles et acariens ont été rencontrés avec un pourcentage très élevé dans les sols ayant reçus la dose D3 (75t/ha). André 1999 a confirmé que l'application de boues peut fournir des nutriments qui peuvent favoriser l'augmentation et l'abondance de ses acteurs et leur reproduction.

III.2.5. Comparaison de la richesse en sol (collemboles, acariens) en fonction de l'épandage BUB et BUC selon deux périodes, automnal et printanière

L'abondance de la mésofaune a été marqué au printemps que la saison automnale après un prélèvement de 6 mois, par contre une prédominance de ces populations a été marqué dans la saison automnal après un prélèvement de 12 mois, cette variation peut être due aux facteurs inhibiteurs biotiques où abiotiques non étudiés.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les résultats obtenus à partir de ce présent travail expérimental en réponse à l'effet d'épandage des boues compostées et brutes sur la richesse du sol en collemboles et acariens, en fonction de différentes doses a mis en évidence :

6 mois après épandage printanier, l'abondance est marquée par les collemboles dans les sols ayant reçus les boues à l'état brut (30t/ha) par rapport aux sols non amendés, avec un pourcentage d'augmentation 56,25%.

Les résultats ont aussi montré que l'application du compost (D2) (25t/ha) favorise l'abondance et la diversité des acariens (496ind/m²) avec un pourcentage de 74,19%.

A partir des résultats obtenus, l'abondance des collemboles est la plus dominante en première position suivi par les acariens et en dernier autre faune non déterminée.

Les résultats de l'épandage printanier après 12 mois ont montré que :

L'apport de la dose D3 (75t/ha) est plus bénéfique pour la communauté des collemboles, par contre la population des acariens a été marquée dans les sols ayant reçus la dose 2 (50t/ha).

Comparativement aux résultats obtenus au printemps nous remarquons une prédominance d'autres organismes du sol occupant 65% dans les boues en première position suivi par les collemboles et acariens

Une prédominance des espèces collemboles et acariens ont été marqués dans les sols ayant reçu les boues (30t/ha).

Les résultats obtenus entre deux périodes d'épandage printanier et automnal indiquent que la saison automnale est plus adéquate pour la diversité des deux populations collemboles et acariens après 6 mois d'épandage comparativement à la période de prélèvement 12 mois après épandage.

L'étude menée dans le cadre de valorisation agricole de compost de boues d'épuration urbaines ont permis d'évaluer l'impact des doses et des périodes d'application des BUC sur la diversité des collemboles et des acariens à court terme. Pour mieux suivre l'évolution de ces classes de mésofaune, il est souhaitable de mener des essais à long terme et sur des sites expérimentaux ou les vergers ne sont pas amendés avec d'autres types d'amendements (chimiques ou organiques et non traités avec les produits phytosanitaires).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abcielier.G,1978. La faune des sols, son écologie et son action. Tech,30,391.
2. ADEME (1999). Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, ADEME Edition, Paris, 159p.
3. ADEME,2001. Déchets organiques. Essai agronomique de plein champ d'un compost des déchets verts (résultats 8ème année d'expérimentation). Paris, France
4. Amadou H.,2007 Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine. Thèse de doctorat, université Louis Pasteur p :170.
5. Andrés H, M 2006. La biodiversité dans les sols en région wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique 2006 sur l'état de l'environnement wallonne. Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren,44p.
6. Andréa O. Balandreau J (1999) Biodiversity and soil functioning from black box to can of worms Apple soil Ecol.13 :105-108.
7. Baize D., Courbe C., SUGO., Schwartz C., Terce M., Bipo A., Sterckman T. et Ciesielski H., 2006 Epannage de boues dépurées urbaines sur les terres agricoles : impact sur la composition en éléments en traces des sols et des graines de blé tendre. Courrier de l'environnement de l'INRA n°53 :35-61.
8. Banerjee M.R., Burton D L et Depoe S.1997 Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics-agriculture-Ecosystems and environnement,66 :241-249.
9. Blanchart E., Lavelle P., Braudeau E., LeBessonais Y et Valentin C 1997. Regulation of soil structure by geophageous earth worm activities in humide savannas of Cote d'Ivoiresoil-biology and biochemistry,29 :431-439.
10. Bruce L.J., Mecracken D.I., Foster G. N et Aitken M. N (1999) The effects of sewage sludge on grassland euedaphic and hemiedaphic collembolan populations. Pedo biologia ,43 :209-220.
11. Boubrit.Anissa. (2015). Variation saisonnière de l'abondance de la mésofaune sous une culture de pomme de terre : cas des sols de Boukhalfa, Doctoral dissertation, université Mouloud Mammeri.
12. Cassagnau P.,1990. Des hexapodes vieux de 400 millions d'années : les collemboles biologie et évolution ;2. Biogéographie et écologie. Rév-année biologique 29(1) :1-69.
13. Cole L.J., M. Mecracken D.I., Foster G.N et Aitken M.N (2001) using collembola to access the risks of applying metal-rich sewage sludge to agricultural land in western Scotland-agriculture, Ecosystems and environnement, 83 :177-189.
14. COLEMAN DC., Crossley DA., HEDRIX PF., 2004.Fundamentals of soil ecology 2nd Edition. Academic press.USA : Elsevier science & Technology books, 408p.
15. Christiansen, K.A.1964.Bionomies of collembola. Annual review of entomoly,9 :147-178.
16. Domene ; X. (2016). A critical analysis of meso and macrofauna effects following biochar supplementation. In biochar application : essentiel soil microbial ecology.
17. Duchaufour P.1997 Pédologie, Tome 1 : pédogénèse et classification. Masson, Paris,477p.
18. Dudkowski A, 2000 a : L'épandage agricole des boues de station d'épuration d'eau urbaines courrier de l'environnement de l'INRA. Octobre200, pp 134-135.
19. Erana, F.G., Tenkegna, T.A & Asfaw, S.L. (2019). Effects of agro industrial wastes composts on soil health and union yields improvements : Study at field condition. International journal of recycling of organic waste in agriculture,8.
20. Gabriel Gachelin., 2001, Acariens, histoire des sciences, Université Paris -Denis-Diderot, ancien chef de service à l'institut Pasteur.

21. Garrec N., Picard-Bounoud, F et Pourcher, A.M., 2003. Occurrence of listeria spand *L.monocytogenes* in sewage sludge used for land application : effect of dewatering liming an starage intank on survival of lesteria species. *FEMS Immunol.Med.Microbiol*-35(3) :275-280.
22. Garcin M., Guichau S., Kreiter S,2003 Les acariens phytophages et auxiliaires en légumières 95-101.
23. Gobât J.M., Aragna, M. Matthew Y.W.,2010. Le sol vivant -bases de pédologie, biologie des sols. Troisième édition revue et augmentée. Presses polytechniques et universitaires romandes,519pp.
24. Gobât J.M., Aragno M et Matthew (1998) Le sol vivant-base de pédologie, biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes, 519p.
25. Harkat Hafsa., 2017. Impact des changements climatiques sur les acariens des sols *Acari-oribatida*. HAP://Locophast : 8080/xnlui/handle/123456789/2298.
26. INRA. (Institut national de la recherche agronomique. 2003.Fiche pédagogique des insectes ravageurs d'olivier. Paris 19-20p.
27. Jardé E (2002) composition organique de boues résiduaires de station d'épuration Lorraines, caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation, Université Henri Poincaré-Nancy
28. Jean-Louis Connat.,2001 Biologie animale cellulaire et moléculaire, Université de Bourgogne.
29. Jaroz J. (1985) Le traitement des boues des stations d'épuration, centre de formation.
30. John Wiley (1998) Méthode d'essai biologique servant à mesurer la survie de collemboles exposés à des contaminants dans le sol *Folmosia Fimetaria*.
31. Khan, M., Scullion, J. (2002). Effects of metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) enrichment of sewage sludge on soil micro-organisms and their activities, *Applied soil ecology*,20,p 145-155.
32. Koehler H. (1999) Predatory mites. *Agriculture, Ecosystems and Environnement*, 74 :395-410.
33. Kormanik, R.A,1972 : Estimating solids production for sludge hulding water & sewage works, p 72-74.
34. Krantz.G.W., 1978. Animal of acarology ,2nd Edition oregon state university Book stores, Inc. Corvallis 509p.
35. Krell F.T.2004 Parataxonomy vs taxonomy in biodiversity studies pit falls and applicability of : morphospecies sasting- biodiversity and conservation.
36. Kreiter S., Tixier M.S., Bonafos R., Auger P., Guichou S., Cheval B., Bourgois T., Laporte M., Gaumette S., 2003. Les acariens ravageurs et auxiliaires des plantes.Formation continue, journée Formation-Information : 160p.
37. Kunito, T. Saeki k., Goto S., Hayoski H., Oyaizu H., Matsumoto S, (2001). Capper and zinc fractions affecting microorganisms in long-term Sludge amended soils, *Bioresource Technology*, 79, 135-146p.
38. Ladjal, F. et Abbou, S. 2016. Perspectives de valorisation agricole et énergétique de boues issues des STEP en Algérie. Journée d'étude Ministère des Ressources en Eau. Alger 03 février 2016
39. Lavelle P, Spain A (1991) soil ecology. Kliwer , Dordrecht ,The netherlands.

40. Larochelle, L., Page, F., Beauchamp, C., Lemieux, G. « rôle de la mésofaune dans la dynamique de transformation de la matière ligneuse appliquée au sol » Ed. G1K7P4 QUEBEC, Canada N°80, (1993).
41. Lambkin D., Norticli S., White T., 2004. The importance of precision in sampling sludges, biowastes and treated soils in regulatory framework trends in analytical chemistry, 23,10-11.
42. Machado., Benedito H., 2009. Clinical and experimental pharmacology and physiology, volume 36, Issue 12, p 1186-1187.
43. Martins F., Costa M., Galhano C.I.C., 2015. On the way for a new bionematicide. Agriculture and Food journal on international scientific publications volume 3, pp : 130-137p.
44. Mathieu C, 2010. Analyses physiques des sols : Méthodes choisies. Edition, technique & documentation. 275p.
45. Massoud Z., 1971- contribution à la connaissance morphologique et systématique des collembolés Neelidae. Revue Ecol.Biol. Sol.8 :195-198p
46. Mbau, S.K., Karanja, N., Ayuke, F. (2015). Short-term influence of compost application on maize yield, soil macrofauna diversity and abundance in nutrient deficient soils of Karamoja country, Kenya. Plant and soil, 387(1-2).
47. Milano, 2018. Effets de la mosaïque paysagère proche, de l'histoire et des pratiques de gestion locale sur les communautés taxonomiques et fonctionnelles des collembolés du sol des parcs urbains méditerranéens : le cas de Naples (Italie) et Montpellier (France). Sciences agricoles. Université Paul Valéry. Montpellier .
48. Mitchell, 1978. Effects of different sewage sludges on some chemical and biological characteristics of soil. Journal of environmental quality, 7, p 5591-5598.
49. Miller J.R et Strickler K.S., 1984. Finding and accepting host plants dans Bell W.J et Cardé R.T., Chemical ecology of insects, Chapman and Hall, London 127-157p.
50. Murillo M, 2004 : Bacterial pathogene incidences in sludge from swedish sewage treatment plants. Water research, 38,1989-1994, 2004.
51. Nadama., 2006 – Influence de trois modes de gestion des sols sur le profit de la macrofaune du sol en parcelles cotonnières paysannes au nord Cameroun, 8^{ème} promotion F.A.S.A 66p. U.F.R sciences de la vie et de l'environnement 266p.
52. Ouazani R., 2009. Les boues de station d'épurations. Cours master 1, Ing de manage et Assaini., université Cadi Ayad, FSSM, 26p.
53. Pelosi C., 2008. Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre.
54. Pemin C, (2003). Epanchage de boues d'épuration en milieu sylvo- pastoral. Etude des effets in situ.
55. Pérès G. 2003. Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et macro-bio porosité dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol. Thèse de Doctorat à l'université de Rennes 1.
56. Robert, M. 1996. Le sol : Interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson Paris, pp 244.
57. Sahstrom et al, 2004 : Bacterial pathogene incidences in sludge from swedish sewage treatment plants. Water research, 38, 1989-1994.
58. Salmone.S 2017. Encyclopédie de l'environnement. Récupéré sur les collembolés, acteurs de vie de sol : <https://www.encyclopédie-environnement.org/vivant/collembolés-acteurs-vie-sol/>.
59. Santos P. Whitford W (1981). The effects of microarthropodes on litter decomposition in a desert ecosystem, col 62 : 654-663

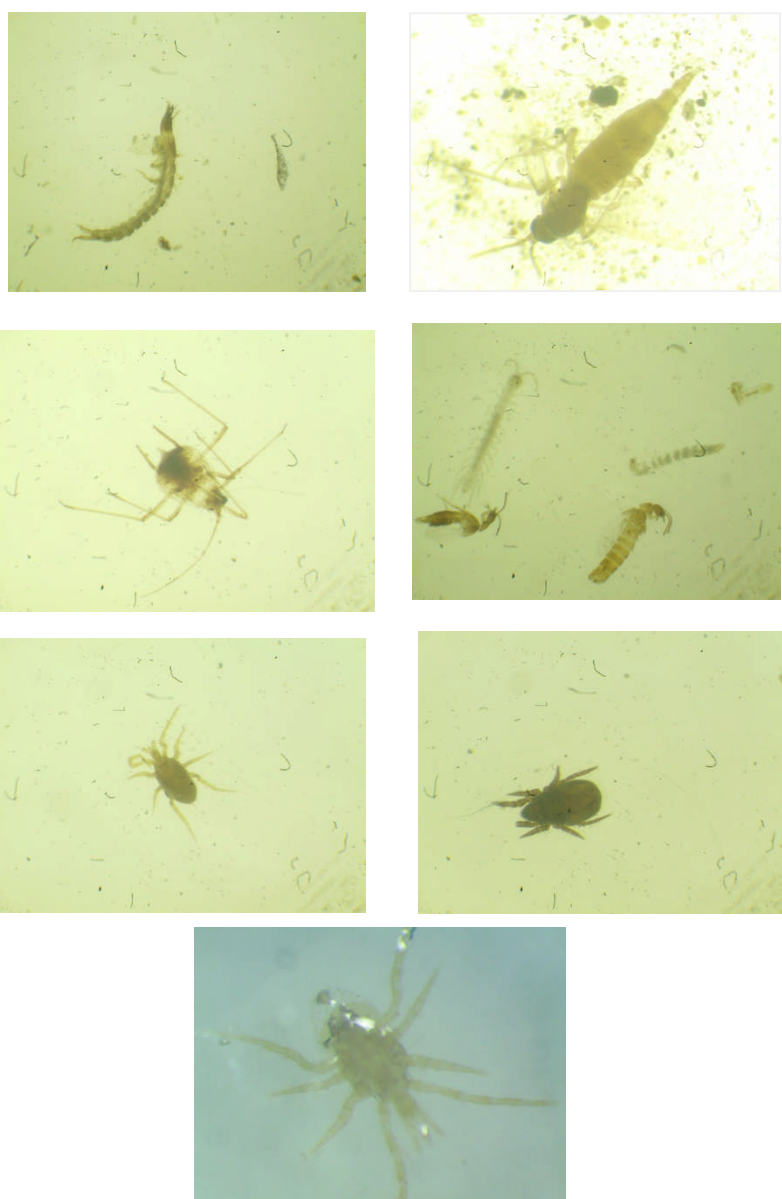
60. Scotti G., Mont J.M, 1997. Analyses physiques de grains : blé tendre et blé dur. In : Godon et Loisel, Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed. Tec & Doc Lavoisier. Paris., 188p.
 61. Soltner D., 1987. Les bases de la production végétale. TOME 1 : Le sol, 15eme édition. 465p.
 62. Stamatiadis S., Doran, J.W., Kettler T, (1999). Field and laboratory evaluation of soil quality changes resulting from injection of liquid sewage sludges. *Applied soil Ecology*, 12p.
 63. Stevenson, Parkinson et Mitchell M.J (1984). Effects of the sewage sludge on decomposition processes in soils. *Pedologia* 26 :263-272p.
 64. Seastedt T.R., (1984). The role of microarthropodes in decomposition and mineralization processes. *Annual entomology*, (29) : 25-46.
 65. Swift M.J. Heal OW, Anderson JM 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Barkley : univ. Calif. Press.509pp.
 66. Tauzin Juste C., (1986), effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisante sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport de contrat 4084/ ministre de l'environnement. P :158.
 67. Terce M, 2001. Les impacts du recyclage des boues de station d'épuration. INRA-ME & S.75338 Paris.
 68. Tian G, Adejuyigbe CO, ADeoye G.O, Kang BT (1998). Role of soil microarthropods in leaf decomposition and release under various land-use practices in the humid tropics. *Pedologia* 42 :33-42.
 69. Ting YANG, Hua-jun HUANG, Fa-ying LAI, 2017 : Pollution hazards of heavy metals in sewage sludge from four wastewater treatment plants in Nanchang, China School of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045
 70. Travé J., André H.M. Taberly G et Bernini F, 1996. Les acariens Oribates, AGAR et SIALF édition, Wavre, Belgique,110p.
 71. Walter, D.E., Proctor, H.C (1999) : Mites : Ecology, Evolution and Behaviour. CABI publishing, Walling ford.322pp.
 72. Werther J, Ogada, 1999 : Sewage sludge « Progress in Energy and combustion ».
- Whitford W.G et Parker L.W (1989). Contributions of soil fauna to decomposition and mineralisation processus in semi-arid and ecosystems. *Arid soil research and rehabilitation*, 3 :199-215

ANNEXES

Annexe 1 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de la STEP de Boukhalfa (Bouzidi et Hachemi 2020)

MO moyenne	Matière minérale	MS	Taux de Calcaire moyen	CE	pH
52,46	48,90	92,45	14,17	1,94	6

Annexe 2 : Diversité de la faune du sol observé



Annexe 2 : Figure : La faune du sol observée à la loupe binoculaire G×65

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de l'épandage de boues résiduaires urbaines brutes et compostées à différentes doses (D0) pour le sol non amendé et les doses D1(25t/ha), D2 (50t/ha), D3(75t/ha) pour le compost et B(30t/ha), ainsi que l'influence de la période d'épandage, sur la biodiversité de la mésofaune, notamment les collemboles et les acariens dans un sol cultivé en agrumes de la région de Boukhalfa. Les boues urbaines sont de plus en plus utilisées comme amendements organiques dans l'agriculture pour leur potentiel en nutriments et en matière organique. Cependant, leur impact sur la biodiversité du sol, en particulier sur les microarthropodes comme les collemboles et les acariens qui jouent un rôle crucial dans les processus de décomposition et la structuration du sol.

L'échantillonnage du sol a été réalisé par la méthode de quadra et l'extraction de la mésofaune a été réalisée par l'appareil de berlèse.

Les résultats obtenus sur l'abondance et la diversité de la mésofaune a été marqué sous l'effet des doses D2 et D3 du compost de boues dans les deux périodes d'épandage au dépend des périodes de prélèvement.

Mots clés : Boues urbaines, compost de boues urbaines, valorisation agricole, biodiversité, mésofaune, collemboles, acariens.

Abstract

The goal of this work is to evaluate the effect of spreading raw and composted urban sewage sludge at different rates (D0) for the unamended soil and rates D1 (25t/ha), D2 (50t/ha), D3(75t/ha) for the compost and B(30t/ha), as well as the influence of the spreading period on the biodiversity of the mesofauna, in particular springtails and mites in a soil cultivated with citrus fruits in the Boukhalfa region. Urban sludge is increasingly used as an organic soil improver in agriculture for its potential nutrient and organic matter content. However, their impact on soil biodiversity, particularly on microarthropods such as springtails and mites that play a crucial role in decomposition processes and soil structuring.

The soil was sampled using the quadra method and the mesofauna was extracted using the berlèse apparatus.

The results obtained on the abundance and diversity of the mesofauna were marked under the effect of D2 and D3 doses of sludge compost in the two application periods, depending on the sampling periods.

Keywords: Urban mud, urban mud compost, agricultural valorisation, biodiversity, mesofauna, collemboles, molluscs.