

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf:

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila
Institut des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Thème

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE LA FAUNE DU SOL : CAS DE LA REGION DE MILA

Préparé par :

- ❖ Chehlatt Ahlam
- ❖ Omara Firdaws

Devant le jury :

President : Mr Brahmia Hafid

MCA C.U. Abelhafid Boussouf-Mila

Examineur : Mr Rebbah Chouaib Abdel Raouf

MCB C.U. Abelhafid Boussouf-Mila

Promotrice : Melle Kherief Nacereddine Saliha

MCB C.U. Abelhafid Boussouf-Mila

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu de nous avoir donné la force et la volonté de mener à bien cet humble travail.

*Nous remercions tout particulièrement notre superviseure, **Mlle Kherief Nacereddine**, pour sa patience et pour nous avoir aidés à former la direction du travail et pour ses précieux conseils, ses encouragements et son soutien tout au long de notre travail. Ainsi que les membres du jury **Mr. Rebbah Chouaib Abdel Raouf**, Maître de conférence au Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf 'Mila' et **Mr. Brahmia Hafid**, Maître de conférence au Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf pour avoir accepté de lire et évaluer ce travail.*

Nous remercions vivement nos parents, pour leur amour, leurs conseils, ainsi que leur soutien inconditionnel, moral et économique, qui nous ont permis de mener à bien les études que nous souhaitions.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie cette thèse à mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tous leurs efforts et moyens de me voir réussir dans mes études.

*Mes chères sœurs **Romaïssa** et **Asma** et mon cher frère **Youssef** qui a toujours cru en moi et pour leurs encouragements constants et leur soutien moral;*

Toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire;

*Mon amie **Firdaws**, avec qui j'ai partagé ce travail et cette expérience, ce fut un grand honneur pour moi de traiter avec elle.*

Et à tous mes chers amis sans exception que j'aime et qui font partie intégrante de ma vie

Merci à tous d'être toujours là pour moi...

AHLAM

Dédicaces

Je dédie cette thèse à mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tous leurs efforts et moyens de me voir réussir dans mes études.

*Mon cher frère **Aymen et Ahmed** qui a toujours cru en moi et pour leurs encouragements constants et leur soutien moral;*

Toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire;

*Mon amie **Ahlam**, avec qui j'ai partagé ce travail et cette expérience, ce fut un grand honneur pour moi de traiter avec elle.*

Et à tous mes chers amis sans exception que j'aime et qui font partie intégrante de ma vie

Merci à tous d'être toujours là pour moi...

Firdaws

الملخص

تُعرف التربة بأنها مزيج من المعادن والكائنات الحية والميتة (مادة عضوية) والهواء والماء، وتتفاعل مكونات هذا المزيج مع بعضها البعض بطرق متعددة، مما يجعلها واحدة من أكثر الموارد الطبيعية ديناميكية. ان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو إنشاء قاعدة مرجعية لأي دراسة لاحقة عن الثروة الحيوانية الموجودة في ثلاث أنواع من التربة الزراعية في منطقة ميله. لقد سعينا إلى وصف هذه الثروة، أساسًا من وجهات النظر الهيكلية والوفرة والديناميكية. تستند نتائجنا إلى البيانات التي تم جمعها خلال خمسة أشهر من العام الحالي. بناءً على 09 عينة، تم تحديد 743 فردًا ينتمون إلى 4 فروع : Annélide ، و Mollusques ، و Nématodes ، و Arthropodes. وتشمل هذه 7 فصول مع 12 طلبًا و 15 عائلة مختلفة. يتم تمثيل الديدان النيماتودا و Annelids بواسطة فئة Secernenta و Oligocheta على التوالي بمساهمة قدرها 12.38% و 11.70% من الأفراد المذكورين. وساهمت Arthropodes بنسبة 65.82% ، مجموعة رتبة coléoptères (26.38%) مع هيمنة فصائل Insecta. يتم تقديم الأخير من قبل (9.15%) *Ténébrion meunier* ، (8.21%) *Staphylinus sp* ، *Hanneton commun* (5.25%) و (3.77%) *Pimelia grandis*. ترتيب Hyménoptère بنسبة (20.33%)، مكون من مكونات (14%) و *Babarus sp* (6.33%). فقط فئة Insecta هي الأفضل تمثيلاً بـ 9 أنواع (52.94%) و 430 فردًا. الفئات الأخرى ذات الاشتراكات الأقل.

الكلمات المفتاحية : حيوانات التربة ، الديناميات المكانية والزمانية ، الأراضي الزراعية ، منطقة ميله.

Résumé

Le sol est défini comme un mélange de minéraux, d'organismes vivants et morts (matière organique), d'air et d'eau, et les composants de ce mélange interagissent les uns avec les autres de multiples façons, ce qui fait du sol l'une des ressources naturelles les plus dynamiques. L'objectif principal visé par la présente étude est la constitution d'une base de références pour toute étude ultérieure de la pédafaune de trois types de sol agricoles dans la région de Mila. Nous avons cherché à décrire ces peuplements, essentiellement des points de vue structure, abondance et dynamique. Nos résultats s'appuient sur des données collectées durant cinq mois de l'année en cours. Sur la base de **09** échantillons, **743** individus ont été recensés appartenant à **4** embranchements : Les annélides, les mollusques, les nématodes et les Arthropodes. Ces derniers englobent **7** classes avec **12** ordres et **15** familles différentes. Les Nématodes et les Annélides sont représentés par la classe de Secernenta et Oligocheta respectivement avec une contribution de **12.38%** et **11.70%** des individus recensés. Les Arthropodes ont contribué avec un pourcentage de **65.82%**, en regroupant l'ordre des coléoptères (**26.38%**) avec la dominance des classes d'Insecta. Ces dernières sont présentées par la *Ténébrion meunier* (**9.15%**), *Staphylinus sp* (**8.21%**), *Hanneton commun* (**5.25%**) et *Pimelia grandis* (**3.77%**). L'ordre de Hyménoptère avec un pourcentage de (**20.33%**), composé de *Componotusvagus* (**14%**) et *Babarus sp* (**6.33%**). Seule, la classe des Insecta est la mieux représentée par **9** espèces (**52.94%**) et **430** individus. Les autres classes avec les contributions les plus basses.

Mots clés : faune du sol, dynamique spatio-temporelle, terres agricoles, région de Mila.

Abstract

Soil is defined as a mixture of minerals, living and dead organisms (organic matter), air and water, and the components of this mixture interact with each other in multiple ways, which makes soil one of the most dynamic natural resources. The main objective of this study is to establish and improve a reference base of all posterior study of the pedafauna of the three types of agricultural soil in Mila region. We should describe this population, essentially from the structural, abundance also dynamic points of view. As a results data collected during five months of the current year. On the basis of **09** samples, **743** individuals were identified belonging to **4** branches: Annelids, molluscs, nematodes and Arthropods. These include **7** classes with **12** orders and **15** different families. Nematodes and Annelids are represented by the class of Secernenta and Oligocheta respectively with a contribution of **12.38%** and **11.70%** of the individuals listed. Arthropoda contributed with a percentage of **65.82%**, grouping the order Coleoptera (**26.38%**) with the dominance of the Insecta classes. The latter are presented by the Mealworm (**9.15%**), Staphylinus sp (**8.21%**), Common Chafer (**5.25%**) and Pimelia grandis (**3.77%**). The order of Hymenoptera with a percentage of (**20.33%**), composed of Comptonotusvagus (**14%**) and Babarus sp (**6.33%**). Only the class of Insecta is the best represented by **9** species (**52.94%**) and **430** individuals. The other classes with the lowest contributions.

Keywords : soil fauna, spatio-temporal dynamics, agricultural land, Mila region.

Sommaire



Liste des abréviations

Al⁺³ : Aluminium.

AR : Abondance relative.

C° : Degré Celsius.

CE : Conductivité électrique.

Ca⁺² : Calcium.

Cm : Centimètre.

Cm² : Centimètre carré.

e.g : Exemple.

E : Est.

FO : Fréquence d'occurrence.

g : gramme.

H⁺ : Hydronium.

ha : Hectare.

ind : Nombre d'individu.

K : Kelven.

K⁺ : Potassium.

Kg : Kilogramme.

Km : Kilomètre.

Km² : Kilomètre carré.

Mg⁺² : Magnésium.

Ma : Millions d'années.

MEA : Millenium Ecosystème Assesement.

min : minut.

m : Mètre.

m² : Mètre carré.

ml : Millilitre.

mm : Millimètre.

m/s : Mètre par seconde.

mS/ cm : Millisiemens par centimètre.

μ : Micron.

μm : Micron Mètre.

Na⁺² : Sodium.

N° : Nombre.

N : Nord.

% : Pourcent.

P : Précipitation.

pH : Potentiel hydrogène.

Q₂ : Le quotient pluviothermique d'Emberger.

SE : Service Ecosystémique.

St : Station.

T : Température.

m (C°) : Température minimum.

M (C°) : Température maximum.

USDA : United States Département Of Agriculture.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Localisation et descriptions des stations d'étude	47
02	Echelle de pH des sols	64
03	Echelle de salure en fonction de la CE	66
04	Variation spatio-temporelle du nombre d'individus des différents taxons rencontrés dans les sites d'études	68
05	Liste globale des espèces recensées dans les différentes stations d'étude	74
06	La fréquence d'occurrence (FO%) de la faune du sol dans les stations d'études	77
07	Liste des photographies des principaux taxons rencontrés dans la zone d'étude	80

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Les différentes phases du sol	06
02	Coupe de sol montrant la structure	07
03	Schéma conceptuel positionnant le sol comme un capital naturel générant des services écosystémiques en réponse à des besoins humains	11
04	Triangle textural du sol USDA	13
05	Classification des types des structures des sols	14
06	Concept de la qualité des sols utilisant des indicateurs en relation avec les fonctions du sol	18
07	Taille des organismes du sol	21
08	Protozoaire	22
09	Nématode	23
10	Collembole	24
11	Acarien	24
12	Coléoptère	26
13	Les Fourmis	27
14	Un Diptère	28
15	Mollusque	30
16	Les principaux groupes d'organismes selon leur taille et leur principal rôle fonctionnel	33
17	Situation géographique de la Wilaya de Mila	37
18	Evolutions mensuelles des températures minimales, maximales et ordinaires dans la région de Mila (2010-2019)	39
19	Evolutions mensuelles des températures minimales et maximales du sol dans la région de Mila (2010-2019)	40
20	Une courbe montrant la variation du taux de vent mensuel dans la région de Mila (2010-2019)	41
21	Une courbe montrant la variation mensuelle de l'humidité dans la région de Mila (2010-2019)	42
22	Variation moyenne mensuelle des précipitations dans la région de Mila (2010-2019)	43
23	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la région de Mila (2010-2019)	44
24	Climagramme pluviométrique d'Emberger de la région de Mila (2010-2019)	45

25	Photo original des stations d'études (S1 : Station de Baba Rabah ; S2 : Station de Machttat El-Kribssa ; S3 : Station de Tarei Baynan)	48
26	Photo original de piège Barber	50
27	Photo original de piège quadrat	51
28	Photo original de l'appareil de Ber lèse	52
29	La loupe binoculaire pour voir les faunes après l'appareil de Ber lèse	52
30	Mortier et pilon	53
31	Tamis	53
32	Protocole expérimental	53
33	Poids de l'échantillon	54
34	Photo original de la lecture du pH	54
35	Photo original de l'agitation du sol	55
36	Photo original de la mesure de la conductivité électrique	55
37	Préparation de prélèvement dans l'étuve	57
38	Variation spatio-temporelle des valeurs de pH dans les trois sites d'étude	63
39	Variation spatio-temporelle des valeurs de la conductivité électrique dans les trois stations d'étude	65
40	Variation spatio-temporelle des valeurs de l'humidité dans les trois stations	67
41	Variation spatio-temporelle de la densité des taxons rencontrés durant les campagnes de prélèvement	69
42	Contribution de la faune dans la composition d'une terre agricole dépourvue d'engrais chimiques	71
43	Contribution de la faune dans la composition d'une terre agricole riche en engrais chimiques	72
44	Contribution de la faune dans la composition d'une terre agricole riche en fertilisations organiques	73
45	La richesse totale et moyenne de la faune du sol	75
46	Variation des indices de diversité de shannon et d'équitabilité	79

Table des Matières

Remerciements.....	/
Dédicaces.....	/
ملخص.....	/
Résumé.....	/
Abstract.....	/
Liste des abréviations.....	/
Liste des tableaux.....	/
Liste des figures.....	/
Introduction.....	01

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralité sur le sol.....	03
I.1.1. La définition du sol.....	03
I.1.2. Les diverses phases du sol.....	03
I.1.2.1. La phase liquide.....	03
I.1.2.2. La phase solide.....	04
I.1.2.3. La phase gazeuse.....	05
I.1.3. Les horizons du sol.....	06
I.1.4. Les types du sol.....	07
I.1.4.1. Le sol argileux.....	07
I.1.4.2. Le sol limoneux.....	08

I.1.4.3. Le sol sablonneux.....	08
I.1.5. Fonctions du sol.....	08
I.1.6. Les services éco systémiques rendu par les sols.....	09
I.1.6.1. Les services d'approvisionnement.....	09
I.1.6.2. Les services de régulation.....	10
I.1.6.3. Les services culturels.....	10
I.1.6.4. Les services de support.....	10
I.1.7. La qualité du sol.....	11
I.1.8. Les indicateurs de la qualité du sol.....	12
I.1.8.1. Les indicateurs physiques.....	12
I.1.8.1.1. La texture.....	12
I.1.8.1.2. La structure.....	14
I.1.8.1.3. La porosité.....	15
I.1.8.2. Les indicateurs chimiques.....	16
I.1.8.2.1. Le pH.....	16
I.1.8.2.2. La capacité d'échange cationique.....	16
I.1.8.2.3. L'humidité.....	17
I.1.8.3. Les indicateurs biologiques.....	17
I.1.9. Impact de l'agriculture sur la qualité des sols.....	18
I.2. Principales espèces de la faune impliquées dans la dynamique fonctionnelle du sol.	20
I.2.1. Les classifications de la faune du sol.....	20

I.2.1.1. Les classifications morphométriques.....	20
I.2.1.1.1. La microfaune.....	21
I.2.1.1.1.1. Les Protozoaires.....	22
I.2.1.1.1.2. Les Nématodes.....	22
I.2.1.1.2. La mésofaune.....	23
I.2.1.1.2.1. Les Collemboles.....	23
I.2.1.1.2.2. Les Acariens.....	24
I.2.1.1.3. La macrofaune.....	25
I.2.1.1.3.1. Les Insectes.....	25
I.2.1.1.3.2. Les Myriapodes.....	28
I.2.1.1.3.3. Les Crustacés.....	28
I.2.1.1.4. La mégafaune.....	29
I.2.1.1.4.1. Annélides.....	29
I.2.1.1.4.2. Les Gastéropodes.....	30
I.2.1.2. Les classifications écomorphologiques.....	31
I.2.1.3. Les classifications fonctionnelles.....	32
I.2.2. Les effets de la faune sur la qualité du sol.....	33
I.2.2.1. Les effets physiques.....	33
I.2.2.1.1. Le macrobrassage.....	33
I.2.2.1.2. Le microbrassage.....	34
I.2.2.1.3. La formation de galerie.....	34

I.2.2.1.4. La fragmentation.....	34
I.2.2.1.5. La formation d'agrégats.....	34
I.2.2.2. Les effets chimiques.....	35
I.2.2.3. Les effets biologiques.....	35

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

II.1. Présentation générale de la Wilaya de Mila.....	37
II.1.1. Situation géographique.....	37
II.1.2. Relief.....	38
II.1.3. La végétation dans la Wilaya de Mila.....	38
II.1.4. Les données climatiques.....	38
II.1.4.1. Synthèse climatique.....	43
II.1.4.1.1. Le diagramme ombrothermique.....	43
II.1.4.1.2. Le climagramme d'Emberger.....	44

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Choix et localisation des sites de prélèvement.....	47
III.2. Matériel et méthodes.....	48
III.2.1. Matériel utilisé sur le terrain.....	48
III.2.2. Matériel utilisé au laboratoire.....	49
III.3. L'analyse de la faune du sol.....	49
III.3.1. Prélèvement par les pièges Barber.....	49
III.3.2. Prélèvement par les pièges quadrat.....	50

III.3.3. Prélèvement par l'appareil de Ber lèse.....	51
III.4. Les analyses des sols.....	52
III. 4.1. pH.....	54
III.4.2. Conductivité électrique (CE).....	55
III.4.3. Humidité.....	56
III.5. Analyse par les indices écologiques.....	57
III.5.1. Indices écologiques de composition.....	57
III.5.1.1. Abondance relative (AR).....	58
III.5.1.2. Fréquence d'occurrence (FO%).....	58
III.5.1.3. Richesse totale (S).....	59
III.5.1.4. Richesse moyenne (Sm).....	59
III.5.2. Indices écologiques de structure.....	59
III.5.2.1. Indice de Shannon-Weaver (H').....	60
III.5.2.2. Indice de diversité maximale (H'max).....	60
III.5.2.3. Indice d'équitabilité.....	60

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. Résultats des analyses pédologiques.....	63
IV.1.1. La mesure du pH.....	63
IV.1.2. La conductivité électrique (ms / cm).....	64
IV.1.3. L'humidité du sol.....	66
IV.2. Analyse biologique.....	67

IV.2.1. Densité de la faune du sol dans les sites d'étude.....	67
IV.2.2. Abondance relative de la faune des sols étudiés.....	70
IV.2.3. La fréquence d'occurrence (FO%).....	73
IV.2.4. La richesse spécifique totale (S) et la richesse spécifique moyenne (Sm).....	74
IV.2.5. Composition et diversité globale de la zone d'étude.....	75
IV.2.6. Les indices écologiques.....	79
Conclusion générale.....	/
Références bibliographiques.....	/
Annexes.....	/

Introduction



Introduction

Le sol fait partie intégrante de l'écosystème car il abrite des tonnes d'organismes vivants, elle est la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable (**Demelon, 1952**). Il contient des composés minéraux et organiques dont l'existence et l'état actuel résultent de l'évolution au cours du temps d'un matériau parental (organique ou minéral) sous l'action combinée de facteurs climatiques et de l'activité biologique (**Jabiol, 1995**).

Le sol comprend de très nombreux êtres vivants (microflore, micro-, méso- et macrofaune), dont l'activité est en lien plus ou moins directe avec leur "fonctionnement" en général et certaines de leurs propriétés agronomiques en particulier (**Itab, 2002**).

Il est non seulement un lieu d'activité, mais également un réservoir d'espèces (**Jocteur, 2001**). Effectivement, l'abondance et la diversité, élevée ou faible, de la pédofaune peuvent refléter les différences de fonctionnement du sol, en fonction de la sensibilité des invertébrés vis-à-vis des caractéristiques du milieu et indique l'équilibre ou le déséquilibre des écosystèmes (**Ponge, 2000**). Dans les écosystèmes cultivés, ces organismes jouent un rôle très important dans le maintien de la fertilité des sols. Cependant, leurs populations sont largement influencées par les pratiques culturales adoptées (**Lavelle et al., 1991**).

L'objectif principal de cette étude, est évaluer le dynamique spatio-temporelle de la biodiversité de la pédofaune, particulièrement la Mésofaune et la Macrofaune dans trois type de sol dans la région de Mila toute on essaiera de comprendre la relation entre l'utilisation des produits chimique dans les pratiques agricoles et son effet sur la diversité faunistique du sol.

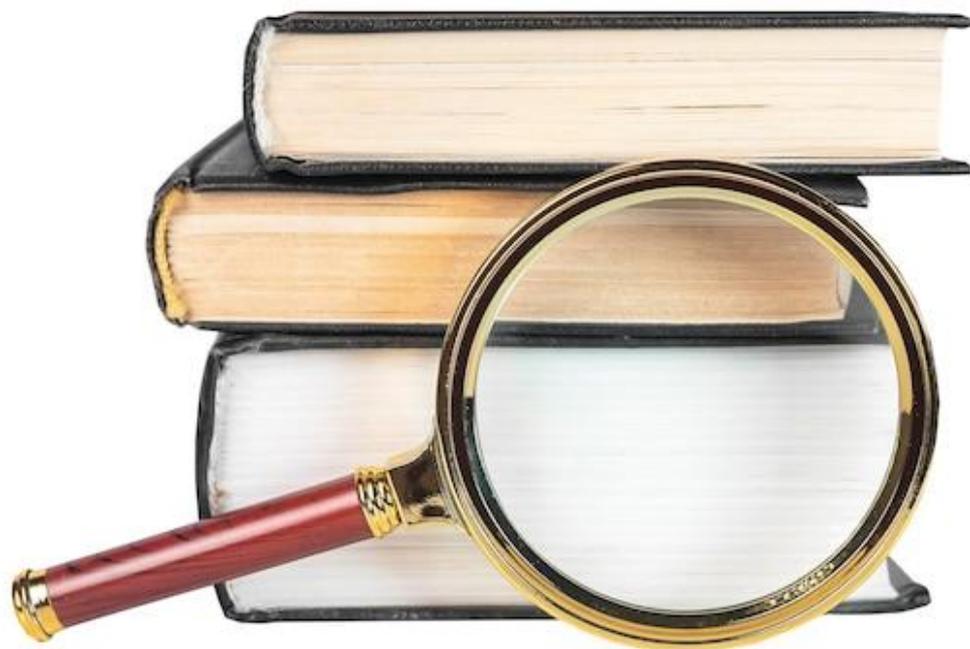
Dans ce contexte, Le premier chapitre de ce travail sera consacré à une synthèse bibliographique, qui représente un ensemble d'informations générales sur le sol et son rôle en donnant connaissance au pédofaune.

Le deuxième chapitre, aborde la présentation du milieu d'échantillonnage, en donnant un aperçu sur sa situation géographique et sa climatologie.

Ainsi le troisième chapitre, présente une description des protocoles expérimentaux utilisés, lors du prélèvement jusqu'à la fin de la préparation du matériel d'échantillonnage et les différents mesures réalisés in situ et au laboratoire.

Enfin le quatrième chapitre, sera consacré aux résultats avec leur discussion et on termine par une conclusion.

Chapitre I :
Synthèse
Bibliographique



I.1. Généralité sur le sol

I.1.1. La définition du sol

Le sol est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres (**Legros, 2007**). Elle est en constante évolution sous l'influence de divers facteurs tels que le climat, la topographie, la végétation et l'action humaine (**Kabir, 2012**), constitue un système dynamique et hétérogène (**Edlor, 2007**), composé principalement d'une partie minérale qui forme le squelette du sol, d'une partie organique morte très importante comprenant des cadavres, et d'une partie organique vivante de tous les règnes représentés (**Lauren, 1991**).

Pour l'écologie, le sol est le foyer et la composante d'un écosystème qui est le produit et la source d'un grand nombre de processus et de réactions chimiques, biochimiques et biologiques (**Mouffok, 2003**). C'est un milieu biologique hétérogène au sein d'un horizon d'épaisseur variable dans lequel, il existe une activité intense des plantes, des animaux et des bactéries qui, par leurs actions, permettent d'atteindre un équilibre bon pour le sol (**Deprince, 2003**). L'activité de ces assemblages est influencée par divers facteurs (température, pH, profondeur du sol, humidité, présence de matière organique et inorganique) (**Arpin et al., 1980**). Cette origine mixte du sol constitue une caractéristique originale et essentielle qui permet d'expliquer la plupart de ses caractéristiques (**Lacoste et Salanone; 2001**).

I.1.2. Les diverses phases du sol

Selon **Buttler (1992)**, un volume de sol est constitué d'éléments solides, liquides et gazeux. Ils sont traversés par des flux d'énergie et de matière dont la régulation est en grande partie assurée par les communautés vivantes qui les colonisent (**Djigal, 2003**).

I.1.2.1. La phase liquide

Cette phase est représentée par l'eau du sol dans laquelle se trouvent toujours des substances dissoutes appelée la solution du sol (**Hillal, 1988**). La solution du sol ou l'eau du sol contient des ions minéraux et des petites molécules organiques variant dans sa composition et sa mobilité et même sa fixation sur les particules solides. Cette solution remplit partiellement ou totalement les pores du sol (**Morel, 1996**). La composition de la solution du sol varie selon celle du sol mais également en fonction du climat, des apports

Anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire...) et de l'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...) (**Duchaufour, 2001**).

Cette phase est caractérisée par une variabilité temporelle et spatiale, dont l'eau peut être présente dans les sols sous forme de solide, de vapeur et dans sa forme habituelle à l'état liquide. Plus que sa dynamique globale de phénomènes externes au sol, que l'on peut distinguer selon qu'ils constituent des apports (pluie, sources, etc) ou des pertes (évaporation, alimentation souterraine) (**Musy et Soutter; 1991**).

Selon **Rolland (1988)**, la présence de l'eau dans le sol est une importance fondamentale pour les raisons diverses à savoir :

- L'eau est l'élément essentiel pour la fertilité de sol, car leur présence rend possible des réactions chimiques entre divers constituants du sol, et la naissance des néoformations des molécules soit minérale soit organique ;
- L'eau constitue l'unique solvant dans le sol et elle est l'unique transporteur de substance divers. Seul le mouvement de l'eau cause la translocation des substances tant dissoutes qu'en suspension.

I.1.2.2. La phase solide

Se sont les minéraux primaires et secondaires et la matière organique d'origine végétale ou animale en état de décomposition plus ou moins avancée (**Benfardia et Chenine; 2014**).

D'après (**Atlas et al., 1992**) on distingue deux fractions dans le sol :

- **Fraction minérale** : se sont les éléments minéraux, ou « constituants mécaniques », qui proviennent essentiellement de l'altération mécanique et chimique de la roche mère. Ils se présentent sous la forme de pierres, de graviers, de sables grossiers ou fins, de limons, d'argiles, de calcaire ou encore d'oxyde de fer. Cette fraction minérale est très dominante sur le plan quantitatif (de **80 à 99%** en masse) et relativement stable en composition (**Mustin, 1987**) ;

- **Fraction organique** : cette fraction du sol est constituée à plus de **80%** de matière organique morte (résidus de plantes et d'animaux en état de décomposition naturelle) (**Quénéa, 2004**). On trouve aussi des organismes vivants, telles que les bactéries dont beaucoup d'actinomycètes, des champignons et une microfaune formée de protozoaires, nématodes, insectes, vers de terre (**Flogeac, 2004**).

I.1.2.3. La phase gazeuse

La phase gazeuse, constitue 'l'air' du sol, est aussi nommé « l'atmosphère du sol », dont la composition est assez différente de celle de l'air atmosphérique, avec lequel il existe de nombreux échanges (**Soltner, 2005**). Dans un sol non saturé une partie des vides de l'ensemble des minéraux est remplis par des gaz essentiellement de l'air. Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent dans l'atmosphère du sol sont : l'azote (**78 à 80%**) ; l'oxygène (**18 à 20%**); et le dioxyde de carbone (**0,2 à 3%**) (**Sahnoune, 2014**). Ces gaz proviennent d'échanges avec l'atmosphère, de réactions chimiques au sein du sol et de l'activité métabolique des organismes du sol (**Anonyme, 2010**).

L'atmosphère du sol est contrôlée par deux gaz à l'état libre ou dissous : l'oxygène qui conditionne la respiration des racines et des organismes et qui intervient dans des réactions d'oxydation, et le dioxyde de carbone qui est essentiel aux organismes autotrophes pour leur synthèse organique (**Chamayou et Legros; 1989**).

L'air du sol contient en général les mêmes substances que l'air atmosphérique mais sa composition peut être très différente en raison, en particulier, de l'activité biologique (**Soulas et al., 1983**).

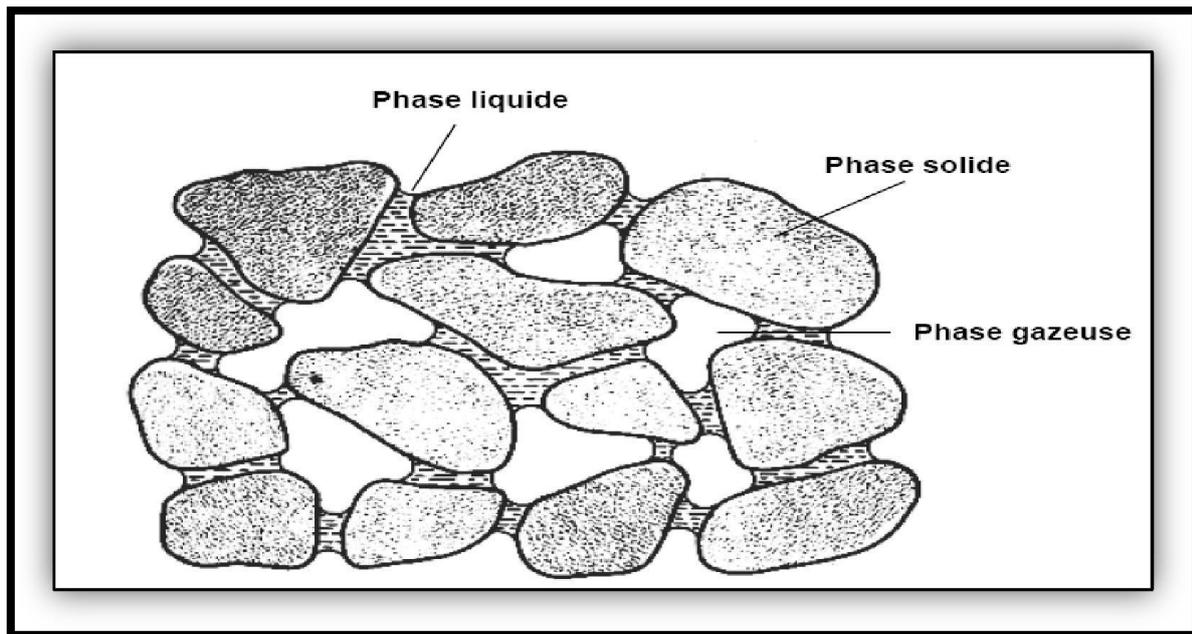


Figure 01 : Les différentes phases du sol (Mermoud, 2006).

I.1.3. Les horizons du sol

L'horizon est défini comme une « couche » de sol, c'est-à-dire un volume considéré comme homogène, ses dimensions horizontales sont d'une dizaine de mètres à un kilomètre, et ses dimensions verticales sont de l'ordre du cm au mètre (Girard *et al.*, 2005) et qui diffère selon, la composition, la couleur, la porosité, la texture, la racine et d'autres formes d'activité biologique (Leeuwen et Chery; 2001). L'ensemble des horizons successifs sur une même tranche de sol est appelé le profil (Maignien, 1969). Alors que leurs caractéristiques physiques, chimiques, morphologiques et biologiques peuvent varier fortement entre deux horizons adjacents (Bliefert et Perraud; 2001).

Les horizons sont le résultat de la morphogenèse et selon, leurs caractéristiques, peuvent être divisés en quatre grands groupes de la surface à la profondeur du sol (Hubert, 2009).

- ❖ **L'horizon A** est un horizon majeur occupant la partie supérieure du profil (0-30 cm) et présentant une quantité importante de matière organique et une faible quantité en argile, fer et aluminium. Cette matière organique provient des plantes en phase de décomposition ;
- ❖ **L'horizon S** situé au-dessous de A (50-90 cm) est le lieu d'altération des minéraux primaires, de libération d'oxyhydroxydes de fer, de décarbonatation....etc ;

- ❖ L'horizon **B** est situé au-dessous de **S** (**90-150 cm**), il est caractérisé par des teneurs en argile, fer et humus plus élevées que les horizons **A**, **S** et **C**. Cet enrichissement peut être du soit à des transformations des minéraux préexistants, soit à des apports illuviaux. La matière organique présente dans cet horizon est plus âgée et provient de l'horizon supérieur (**A**). Elle est adsorbée sur les argiles et les oxydes de fer et d'aluminium ;
- ❖ Enfin l'horizon **C** situé au-dessous de **B** (en dessous de **150 cm**) est un horizon minéral avec une faible teneur en matière organique (**Baize et Jabiol; 1995**).

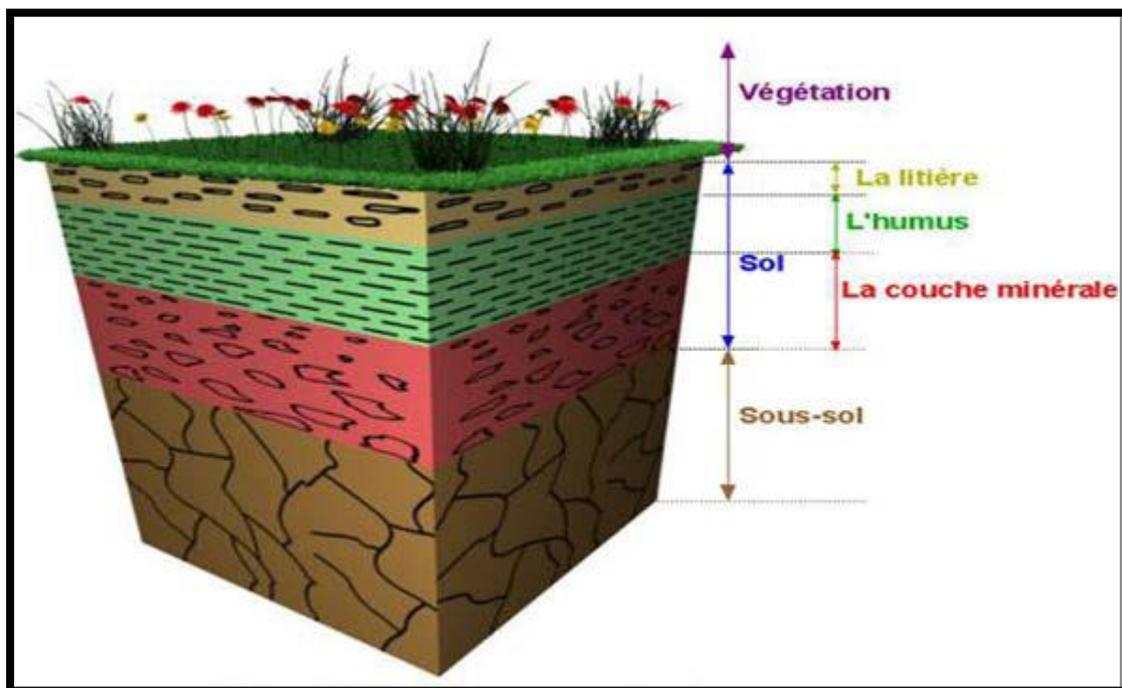


Figure 02 : Coupe de sol montrant la structure (Morel, 1989).

I.1.4. Les types du sol

I.1.4.1. Le sol argileux

Sol chimiquement riche, mais à pauvres propriétés physiques et difficile à travailler milieu imperméable et mal aéré, formant obstacle à la pénétration des racines. L'argile peut stocker de très importantes quantités d'eau, mais l'assèchement des horizons argileux provoque des retraits et des fentes, pour cette raison les horizons très argileux sont difficiles à travailler.

Leur activité biologique est fortement pénalisée par la saturation en eau (horizons gorgés d'eau). La fraction granulométrique de l'argile correspond à une gamme des particules dont le diamètre varie de *1 à 5µm* (Kholadi, 2009).

I.1.4.2. Le sol limoneux

Sol formés de sables fins et de limons. On dit de ces sols qu'ils sont «battants». C'est-à-dire qu'ils ont tendances à former une croûte en surface sous l'effet des pluies et des arrosages, ce qui le rend imperméables à l'eau et à l'air. Ils se colmatent aussi très facilement, ce qui a pour effet d'asphyxier les racines des végétaux et les organismes vivant du sol (Montréal, 2004).

I.1.4.3. Le sol sablonneux

C'est un sol de couleur claire et ne se compacte pas. Elle est non propice à cultiver mais utile pour remblayer (terrasse, fondations). Cette terre est facile à travailler, les mauvaises herbes aisées à déloger (Beauchamp, 2002).

I.1.5. Fonctions du sol

Le concept de «fonctions du sol» est étroitement lié au concept de «qualité du sol», c'est-à-dire «la capacité du sol à soutenir la productivité biologique, à maintenir la qualité de l'environnement et à améliorer la santé des plantes, des animaux et des humains» (Doran et al., 1994). Alors que le sol est un système écologique qui possède de multiples rôles. C'est un support pour les êtres vivants, un réservoir de matière organique et minérale, un régulateur des échanges et des flux dans l'écosystème, un lieu de transformation de la matière organique et un système épurateur de substances toxiques (Ruellan et Poss; 2008).

Selon Inra (2015), les fonctions principales du sol sont :

- ❖ **Production agricole** : il se trouve être une source d'éléments nutritifs tels que le carbone, l'azote, le phosphore, le fer, pour le bon développement des plantes, qui sont eux même une source de nourriture pour les animaux et les hommes ;
- ❖ **Stockage du carbone** : il constitue un réservoir de carbone, ce qui lui confère le pouvoir de régulateur des gaz à effet de serre ;
- ❖ **Réservoir d'eau** : pour les plantes, les nappes phréatiques et les cours d'eau ;
- ❖ **Patrimoine** : géologique, paysager et archéologique ;

- ❖ **Activités non agricoles** : habitat, infrastructures, et industries ;
- ❖ **Biodiversité** : le sol loge divers organismes vivants tels que les microorganismes, pouvant atteindre **109** par gramme ;
- ❖ **Matières premières** : graviers, sables, pierres, briques, métaux usuels et précieux...;
- ❖ **Filtre** : Le sol dégrade à travers ses microorganismes les produits épandus, solides ou liquides, minéraux ou organiques, d'origines industrielle, urbaine, agricole (lisiers, boues...).

Ces différents acteurs sont de taille très variable, depuis la microfaune jusqu'à la macrofaune, et chacun présente un domaine fonctionnel, c'est-à-dire un champ d'action, dans l'espace et le temps (**Lavelle, 2001**). Le sol est donc un milieu très complexe où les différents organismes sont relativement interdépendants (**Mathieu, 2004**).

I.1.6. Les services écosystémiques rendus par les sols

Plusieurs fonctions du sol fournissent une grande variété de services écosystémiques, définis comme des bénéfices délivrés par les écosystèmes aux sociétés humaines (**Daily et al., 1997**). Le type de service rendu par le sol et l'intensité avec laquelle ils sont rendus dépendent en cascade des propriétés spécifiques à chaque sol, de processus pédologiques qui pilotent l'émergence de ces propriétés et finalement de facteurs de pédogénèse qui conditionnent ces processus (**Targulian et Krasilnikov; 2007**).

Selon **Mea (2005)**, propose une classification des **SE** en quatre catégories : services d'approvisionnement (*e.g.* nourriture, eau, bois de construction, fibres textiles), services de régulation (*e.g.* régulation du climat, épuration de l'eau), services de support (*e.g.* cycle des éléments nutritifs, formation des sols), services culturels (*e.g.* bienfaits esthétiques, spirituels, récréatifs).

I.1.6.1. Les services d'approvisionnement

Les services d'approvisionnement regroupent l'ensemble des productions issues des sols (**Dominati et al., 2010**) :

- Produits destinés à l'alimentation humaine, mais aussi aux animaux d'élevage ;
- Bois issus des forêts à vocation énergétique ou pour le bâtiment ;
- Fibre destinée à la production de textiles (coton, lin,... etc) ;

- Matériau brut extrait des sols pour servir de support horticole (tourbe, argile) ou pour servir de matériaux de construction (bauge, brique en terre) ;
- Ressource génétique issue de la biodiversité interne au sol qui fournit notamment des produits biochimiques et pharmaceutiques.

I.1.6.2. Les services de régulation

Les services de régulation dérivent à la fois des caractéristiques propres des sols et de leur position particulière à l'interface des autres grands compartiments de la planète terre (biosphère, lithosphère, hydrosphère). Le sol joue un rôle essentiel de régulation, en quantité et en qualité, des transferts d'eau entre l'atmosphère, les nappes souterraines et les cours d'eau et il assure une fonction de réserve en eau pour les plantes et les organismes du sol (**Dorfigler et Gascuel; 2014**).

I.1.6.3. Les services culturels

Les sols sont souvent indirects par les fonctions et services qu'ils rendent aux sociétés, et la représentation explicite des sols dans les représentations culturelles est récente. Elle a été réalisée sous l'influence des travaux scientifiques qui, ont défini le sol comme un objet naturel spécifique (**Senthikumar et al., 2014**).

I.1.6.4. Les services de support

Ces services regroupent l'ensemble des fonctions nécessaires pour la production des autres services: c'est-à-dire le cycle de l'eau, le cycle des nutriments, la production primaire et la formation des sols. Ils mettent en jeu l'aptitude des sols à assurer les services attendus par l'humanité.

La production des sols implique des transformations des propriétés physiques, chimiques et biologiques du matériel initial et permet, progressivement, l'extension latérale et verticale des sols. Les ordres de grandeur de cette formation sont faibles : de l'ordre de **0,04 à 0,08** millimètre par an (moins d'un centimètre par siècle) (**Walter et al., 2015**).

L'ensemble des services identifiés montrent que le sol est un élément vital pour le fonctionnement global des écosystèmes et des sociétés humaines. L'autre point important qui ressort de ces travaux est le lien fort qui existe entre la composante biologique du sol et les services écosystémiques, puisque l'ensemble des processus dépend fortement des organismes habitants dans le sol (**Barrios, 2007 ; Brussaard et al., 2007**).

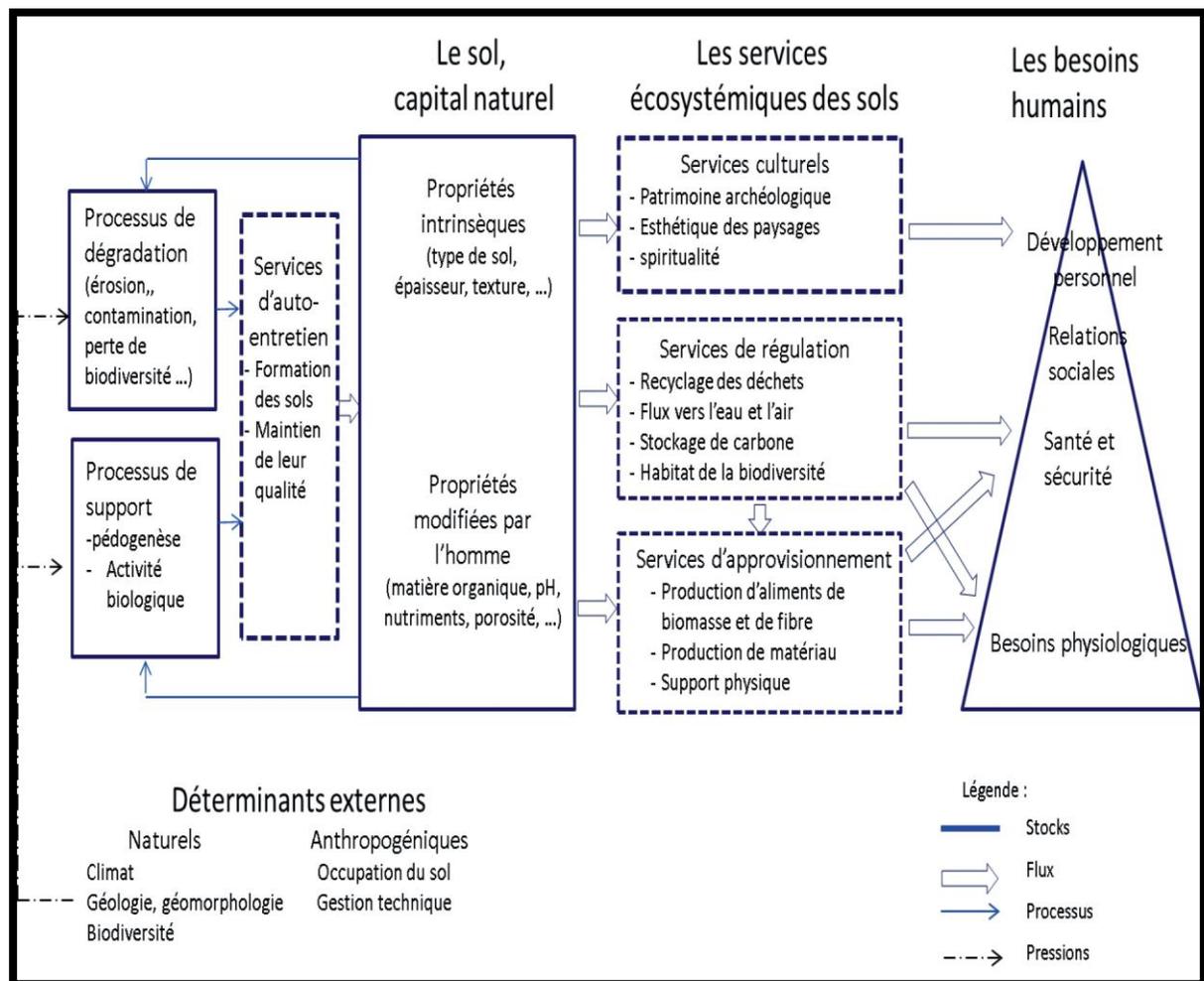


Figure 03 : Schéma conceptuel positionnant le sol comme un capital naturel générant des services écosystémiques en réponse à des besoins humains (Dominati et al., 2010).

I.1.7. La qualité du sol

La qualité du sol soit définie comme étant « la capacité du sol à fonctionner dans un écosystème donné (naturel ou géré) et pour une utilisation donnée, à supporter une production végétale et animale, à contribuer à un environnement de qualité et favoriser la qualité des plantes, des animaux et des humains » (Karlen et al., 1997).

La qualité du sol est étroitement liée à sa capacité à fonctionner suite à l'équilibre entre les composantes et propriétés physiques (*ex*: la porosité du sol) et chimiques (*ex*: éléments nutritifs) constituant le biotope, et leurs nombreuses interactions avec la composante 'vivante' (la faune du sol) constituant la biocénose (Nahrath, 2000).

Par conséquent, l'intégration des processus biologiques, physiques et chimiques, et de leurs interactions, dans un modèle général du fonctionnement des écosystèmes terrestres, apparaît absolument indispensable pour définir correctement la qualité des sols (**Pankhurst et al., 1997 ; Gros, 2002**).

L'évaluation de cette qualité peut être réalisée par de simples observations ou des mesures qualitatives très complexes (**Mausbach et Tugel; 1997**). De plus, à travers l'étude des Communautés vivantes, les organismes du sol ont l'avantage d'intégrer l'ensemble des perturbations (apports de matériaux, mélange d'horizons, tassement) et stress environnementaux (température, teneur en eau ou en éléments nutritifs) permettant de renseigner sur l'état global de fonctionnement du sol (**Griffiths, 2013**).

I.1.8. Les indicateurs de la qualité du sol

Les indicateurs qui permettent d'évaluer les qualités d'un sol sont ses diverses propriétés (**Usda, 1996**). Il y a trois types d'indicateurs sont distingués (dans la qualité de sols): les indicateurs physiques, les indicateurs chimiques et les indicateurs biologiques. Ces derniers ont long temps été négligés mais sont aujourd'hui mieux pris en compte (**Ranjard, 2016**).

I.1.8.1. Les indicateurs physiques

I.1.8.1.1. La texture

La texture du sol est une propriété stable, elle conditionne directement la structure et donc la porosité et le régime hydrique du sol (**Aragno et al., 2003**).

Halitim (1988), expliqua que la texture est un des facteurs déterminants et même limitant de la fertilité ; elle influence les propriétés physiques et hydriques (structure, perméabilité, résistance à l'érosion économie en eau et en air, ect ...) ainsi que chimiques (capacités des échanges ioniques ; anioniques et cationiques....) des sols.

Selon **Drout (2010)**, beaucoup de propriétés physiques des sols peuvent être reliées de façon empirique à leur granulométrie. La granulométrie est la répartition de l'ensemble des particules du sol en classes de tailles allant des pierres et cailloux de diamètre supérieur à **2 cm** aux particules argileuses qui font moins de **2 microns** (**Chaude et al., 1999**).

D'après **Sellami (2013)**, les résultats de l'analyse granulométrique, par la représentation graphique en coordonnées tri linéaires, appelée triangle de texture, obtenues en portant sur chaque côté les valeurs en % des argiles ($0-2 U$), des limons ($2-50 U$), et des sables ($50 U$ à $2 mm$), on a :

- **Les sols argileux** (*plus de 25% d'argile*) sont lourds, Par conséquent, il faut développer une grande énergie pour les travailler, sol chimiquement riches à mauvaises propriétés physiques et milieu imperméable et asphyxiant ;
- **Les sols limoneux** (*plus de 45% de limons*) sont battants, pauvres en humus et d'une stabilité médiocre, la quantité de colloïdes minéraux est souvent Insuffisante ;
- **Les sols sableux** (*plus de 55% de sables*) sont légers, faciles à travailler «manquant de cohésion, à réserve d'eau faible, et pauvre en éléments nutritifs.

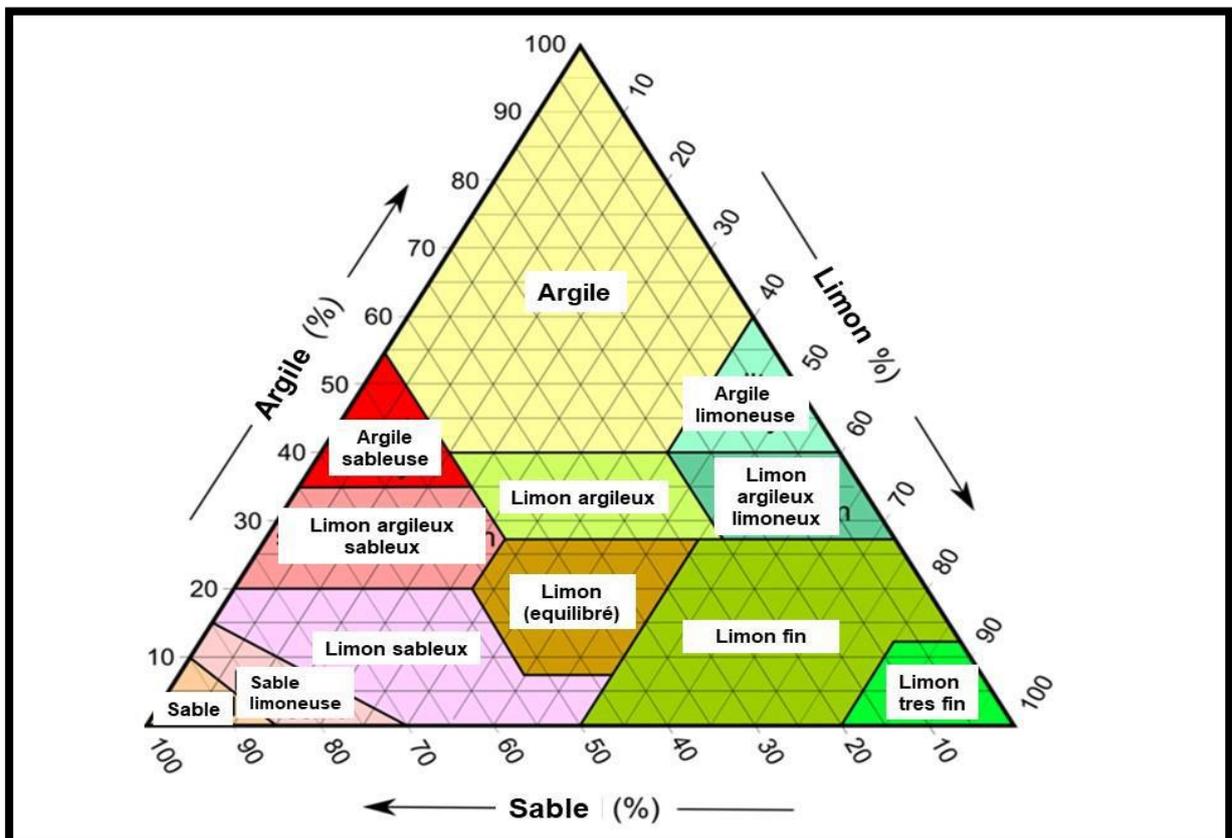


Figure 04 : triangle textural du sol USDA (United States Department of Agriculture) (**Steven Vanek et Steven Fonte; 2020**).

I.1.8.1.2. La structure

La structure d'un sol est l'assemblage des différents constituants physiques du sol à un moment donné (Pasquier, 2010). La structure du sol est déterminée par l'organisation des agrégats des éléments minéraux et organiques, qui donnent lieu à la matrice poreuse du sol (Carrillo-avila, 1995).

La structure résulte de processus biologiques, chimiques et physiques. Elle est donc une propriété variable temporellement et spatialement, et peut changer avec la teneur en eau ou d'autres paramètres (Oades, 1993).

Selon Koller (2004), il existe divers types de structures: structure élémentaire ou particulaire, structure fragmentaire et structure massive ou compacte :

- ❖ La structure particulaire, dans laquelle les éléments sont peu reliés entre eux mais seulement juxtaposés ;
- ❖ La structure fragmentaire, ou les éléments structuraux sont bien individualisés ;
- ❖ La structure continue, la terre forme une masse compacte sans fissurations nettes (Prevost, 2006).

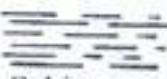
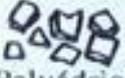
Classes	Continue	Fragmentaire			Particulaire
Types		Philliteuse	Anguleuse	Arrondie	
Groupes	 Ciment	 Squameuse	 Prismatique	 Massive	 Cendreuse
	 Grès	 Schisteuse	 Columnnaire	 Nuciforme	 Sableuse
	 Poudingue	 Laminaire	 Cubique	 Grumeleuse	 Graveleuse
			 Polyédrique		

Figure 05 : Classification des types des structures des sols (Prevost, 2006).

La stabilité structurale d'un sol exprime la plus ou moins grande cohésion d'assemblage des particules dans les agrégats (**Robert, 1996**).

D'après **Michel et al. (1995)**, et selon leur taille, les structures agrégées se divisent en quatre types, reflétant des propriétés physiques ou chimiques différentes :

- ❖ **Micro agrégats de 2 à 20 μm** , très stables de matière organique fortement aromatique liée aux argiles et aux limons fins, et de polysaccharides bactériens.
- ❖ **Micro agrégats de 20 à 250 μm** , contenant des limons grossiers et des sables, agrégés par des polysaccharides bactériens.
- ❖ **Macro agrégat de 250 à 2000 μm** , formés des précédents et de sables grossiers reliés par des polysaccharides des cellules bactériennes et du mycélium.
- ❖ **Macro agrégats supérieur à 2000 μm** , composés des précédents associés à des particules de matière organique libre, des racines et du mycélium, ces dernières consolidant le tout.

La structure du sol n'est pas nécessairement permanente, elle peut se modifier en fonction des circonstances (pluie, vent, tassement par les engins et le piétinement par les animaux...). Ainsi la stabilité de la structure représente la capacité d'un sol à conserver l'arrangement de sa phase solide et de sa porosité quand il est exposé à des stress (**Kay, 1990**).

I.1.8.1.3. La porosité

La porosité d'un sol est une grandeur physique qui exprime le rapport entre le volume occupé par ses pores et son volume total (**Calvet, 2003**). Selon la taille des pores, elle se subdivise en macroporosité (**vide > 50 μm**), peuvent être remplis par l'eau de gravité rapidement drainée et souvent colonisé par les racines moyennes), en méso porosité ou porosité capillaire, constituée des vides de **0.2 à 50 μm** retenant l'eau utile aux plantes, et en microporosité, dont des vides inférieures à **0,2 μm** retiennent l'eau inutilisable (**Gisi et al., 1997**).

La porosité représente aussi un paramètre physique très important car elle conditionne l'aération ainsi que la capacité de rétention d'eau d'un sol qui est en partie liée à la porosité (**Akroum et Boukhers; 2007**). Ces vides de sol qui définissent la porosité n'ont pas qu'une seule origine. Ils se créent soit par suite de transformation des constituants organiques et minéraux du sol, soit par suite de réarrangements et apparition d'organisations nouvelles dans le sol.

Selon Gallali (2004), en fonction de leur origine, on peut distinguer les porosités suivantes :

- ❖ **La porosité d'altération** : elle se développe à l'intérieur et à la surface des minéraux des roches ;
- ❖ **La porosité structurale** : correspondant aux vides entre agrégats ;
- ❖ **La porosité texturale** : elle résulte de l'entassement des particules comme dans un tas de sol.

I.1.8.2. Les indicateurs chimiques

I.1.8.2.1. Le pH

Le pH est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H^+ . Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (Mirsal, 2004). Par ses interactions avec de nombreux processus chimiques et biologiques, le pH conditionne et reflète la disponibilité des éléments dans le sol (Boruta et al., 2016). En effet, il est une expression des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol (porosité pour l'eau et pour l'air), à l'activité microbienne (humification et minéralisation de la matière organique) et à la disponibilité des éléments majeurs ou des oligoéléments (Colinet et al., 2005). Il s'exprime selon une échelle de 0 à 14. Les valeurs faibles indiquent une acidité alors que les valeurs supérieures à 7 correspondent à un caractère basique (Baize, 2000). Une solution neutre a un pH de 7 et elle sera qualifiée de basique s'il est supérieur à cette valeur. Cependant, le pH d'un sol variera seulement entre 3,5 et 9 selon le type de sol. Le pH d'un sol permet de donner une appréciation de l'acidité d'un sol (Crémer et al., 2008).

I.1.8.2.2. La capacité d'échange cationique (CEC)

La Capacité d'échange de cations d'un sol est la somme de cations qu'il est capable de fixer (Combeau et al., 1970). Autrement dit, c'est la somme des charges négatives du sol disponible pour la fixation des ions H^+ et Al^{+3} ainsi que les cations basiques Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ et K^+ . La CEC dépend donc de la nature des colloïdes présentant un nombre variable et spécifique de sites négatifs et, bien sûr, du pH du sol (Gobat et al., 2010).

Tous les sols renferment des minéraux argileux et matière organique qui possèdent généralement des charges de surface électriques négatives. Ces charges négatives attirent les cations chargés positivement et évitent leur lessivage (Brady et Raymond Weil; 1996).

Se dit parfois : capacité totale d'échange ; pouvoir d'échange de cations ; ou capacité d'adsorption de cations. Elle s'exprime en milliéquivalents par **100 g** de sol ou de toute autre substance absorbante, comme l'argile. L'analyse chimique du sol a pour but d'évaluer son niveau de fertilité minérale pour une culture végétale donnée (**Zaid, 2006**).

I.1.8.2.3. L'humidité

L'eau rencontrée dans le sol est enrichie en ions et en molécules minérales et organiques. Elle joue un rôle supplémentaire en mettant en avant sa capacité de transport et son action dans les processus de solubilisation et d'insolubilisation (**Dajoz, 2000**). Et dans tous les phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui se produisent dans le sol. Elle pourra entrer en compétition avec les molécules organiques pour l'adsorption sur les matériaux solides, entraînant une baisse de l'adsorption des polluants lorsque le taux d'humidité du sol augmente (**Sayyad et al., 2010**).

La vie sans air dans le sol est possible puisqu'il existe des êtres anaérobies. Par contre, cette vie exigera la présence de l'eau pour assurer le développement optimum de l'espèce du microbe considéré et varie aussi avec la nature des sols (**Karabi, 2010**).

I.1.8.3. Les indicateurs biologiques

La biologie des sols fait référence à l'abondance, la diversité et l'activité des organismes vivants qui participent au fonctionnement du sol (**Chaussod, 1995**), tels que : les bactéries, les champignons, les algues, ainsi qu'une faune très variée allant des protozoaires aux mammifères. Tous ces organismes font partie intégrante du système sol et participent par leurs activités à la formation et à l'évolution des sols (**Jayanthi et al., 2016**).

Les travaux de **Naeem et al. (1994)**, montrent que la diminution de la biodiversité d'un écosystème engendre la réduction de certains processus écologiques. Ils précisent que les écosystèmes les plus diversifiés sont aussi les plus productifs.

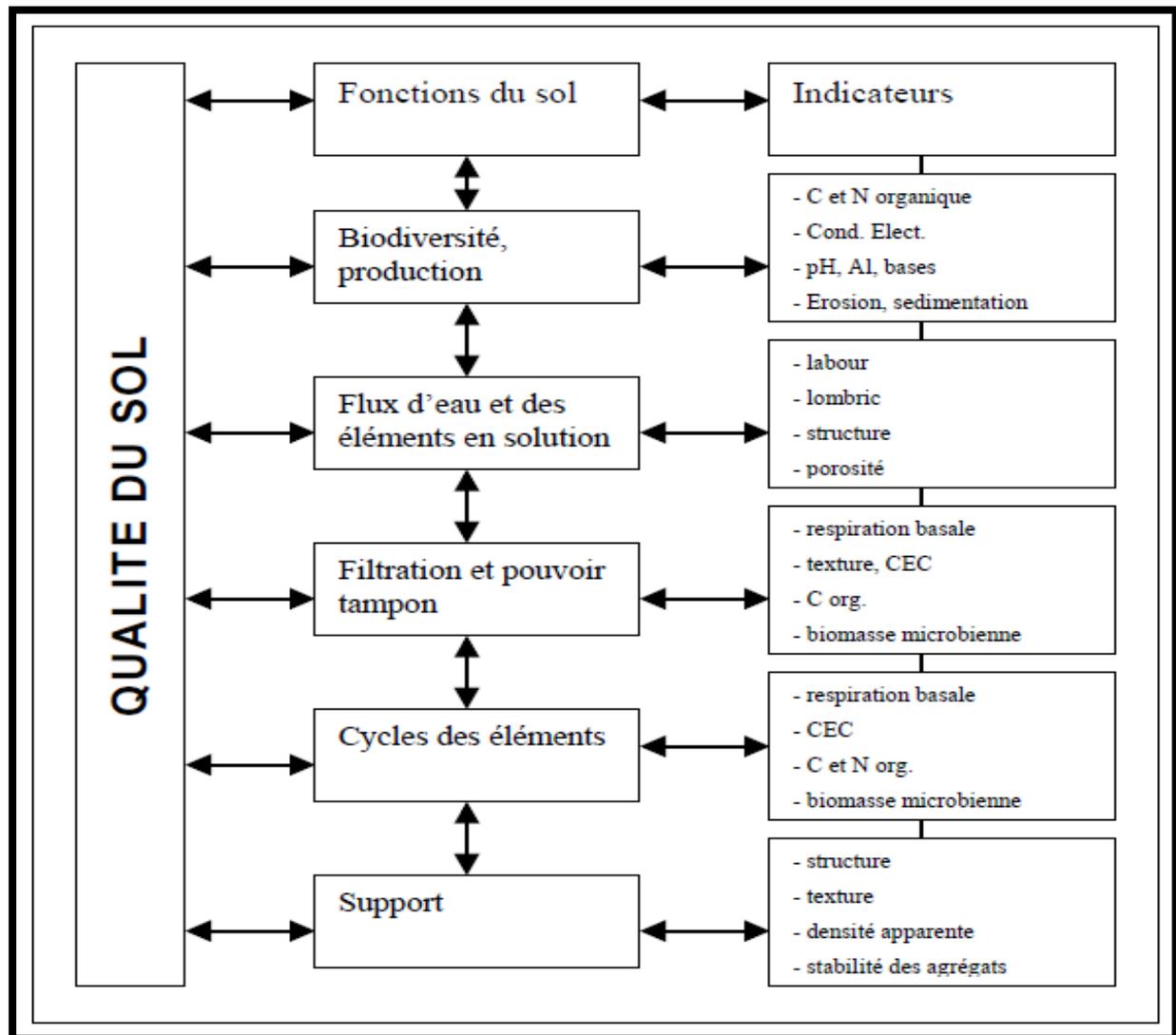


Figure 06 : Concept de la qualité des sols utilisant des indicateurs en relation avec les fonctions du sol (Mausbah et Tugel; 1997).

I.1.9. Impact de l'agriculture sur la qualité des sols

Chabaliere *et al.* (2006), ont notés qu'au niveau des terres cultivées, le sol permet la transformation, le transport et l'accumulation de matières minérales et organiques, de gaz et d'eau.

Ainsi, **Citeau et al. (2008)**, ont défini le sol agricole comme une surface productive (nourriture, biomasse) ou agglomération riche en différents organismes. Son potentiel productif se reflète dans le concept de fécondité, qui varie selon ses caractéristiques. Intrants intrinsèques mais aussi extrinsèques (fertilisation, amendements minéraux ou organiques, traitements phytosanitaires), amélioration des terres (drainage, irrigation, chauffage des sols) ou techniques culturales compatibles avec les modes de culture envisagés (labour, divers modes de travail du sol dont les « techniques culturales simplifiées » modernes (**Jabiol, 2011**). En conséquence, il est nécessaire de bien gérer diverses pratiques agricoles pour maintenir la vie des organismes du sol. Le travail du sol et la rotation des cultures ont un impact significatif sur la santé du sol et sa résistance pathogènes (**Abbadie, 2018**). Alors que, le travail du sol améliore leur structure d'une façon immédiate permettant la reconstitution des agrégats, enfouissent les matières organiques, améliorant ainsi l'aération, les possibilités d'infiltration et donc réduisant le ruissellement (**Greco, 1978**). Mais a aussi contribué à modifier les interactions biotiques et les modes de disponibilité des ressources dans les écosystèmes (**Matson et al., 1997**).

Dans le domaine agricole, la prise en compte de l'état de santé du sol a conduit au concept de « santé du sol », un état de santé pathologique généralement associé aux cycles des nutriments, avec un haut degré de stabilité (résilience ou résilience) en plus de la grande variabilité de ses composants biologiques (**Doran et Zeiss; 2000**). Que le premier et le plus évident des rôles de la biodiversité dans ce contexte est d'assurer la multiplicité des fonctions qui peuvent être attribués aux organismes du sol. Un second, en corrélation avec la biodiversité est en plus de s'assurer que ces fonctions soient maintenues, face à d'éventuelles perturbations (**Giller et al., 1997**). Alors que, les sols agricoles qui sont soumis à l'intensification, à l'érosion, au surpâturage et à l'utilisation insuffisante des outils de travail sont sujets à une dégradation importante affectant les paramètres physiques, chimiques et biologiques de la qualité des sols (**Loveland et Webb; 2003**).

La première fonction assignée aux sols agricoles est la production de biens et de services agricoles, et ainsi le sol est un facteur de production non substituable et contribue ainsi à la production de nourriture et d'autres produits utiles à la survie de l'environnement, l'humanité (**Omaru, 2012**).

I.2. Principales espèces de la faune impliquées dans la dynamique fonctionnelle du sol

Les sols sont des écosystèmes qui abritent une variété d'organismes (**Orgiazzi et al., 2016**), dont recouvre de nombreux taxons, comprenant eux-mêmes des centaines voire des milliers d'espèces pas toujours bien connues (**Adl et al., 2013**). Et elle est estimée actuellement à plus de **23 %** de la biodiversité animale décrite de nos jours (**Gountan, 2013**).

Et s'établissent en communautés très denses, mais aussi hétérogènes spatialement, rendant leur échantillonnage exhaustif très difficile, voire impossible, d'autant plus que la majorité de ces organismes sont très petite taille (**Decaëns, 2010**). La grande diversité et la complexité taxonomique des organismes du sol ont conduit les chercheurs à classer la faune du sol en règnes, embranchements, classes, ordres, familles, genre, espèces. Les organismes de taille intermédiaire qui vivent dans la porosité existante et des organismes de grande taille comme les vers de terre et certaines larves d'insectes qui créent leur propre porosité en se déplaçant dans les sols (**Aubert et al., 2005**).

Une classification plus fonctionnelle peut être utilisée en liant les organismes à leur milieu et notamment aux ressources qu'ils proposent (alimentation et habitat). La taille, le régime alimentaire, la position dans le sol, les adaptations morphologiques, le mode de progression, la durée de présence dans le sol constitue d'autres paramètres de classification de la pédofaune (**Freyssinel, 2007**). Le comportement de ces organismes répond aux contraintes imposées dans le sol, or l'intensité et la nature de ces contraintes sont intimement liées à leur taille, à l'accès à l'eau et aux nutriments. Ces assujettissements façonnent en partie l'abondance, la distribution et le comportement des communautés de la faune de sol (**Benjamin, 2010**).

I.2.1. Les classifications de la faune du sol

I.2.1.1. Les classifications morphométriques

Selon **Stengel et Gelin (1998)**, la faune du sol représente plus de r de la biodiversité animale totale on peut d'après la taille diviser la faune du sol en un certain nombre de groupes (**Stork et Eggleton; 1992**).

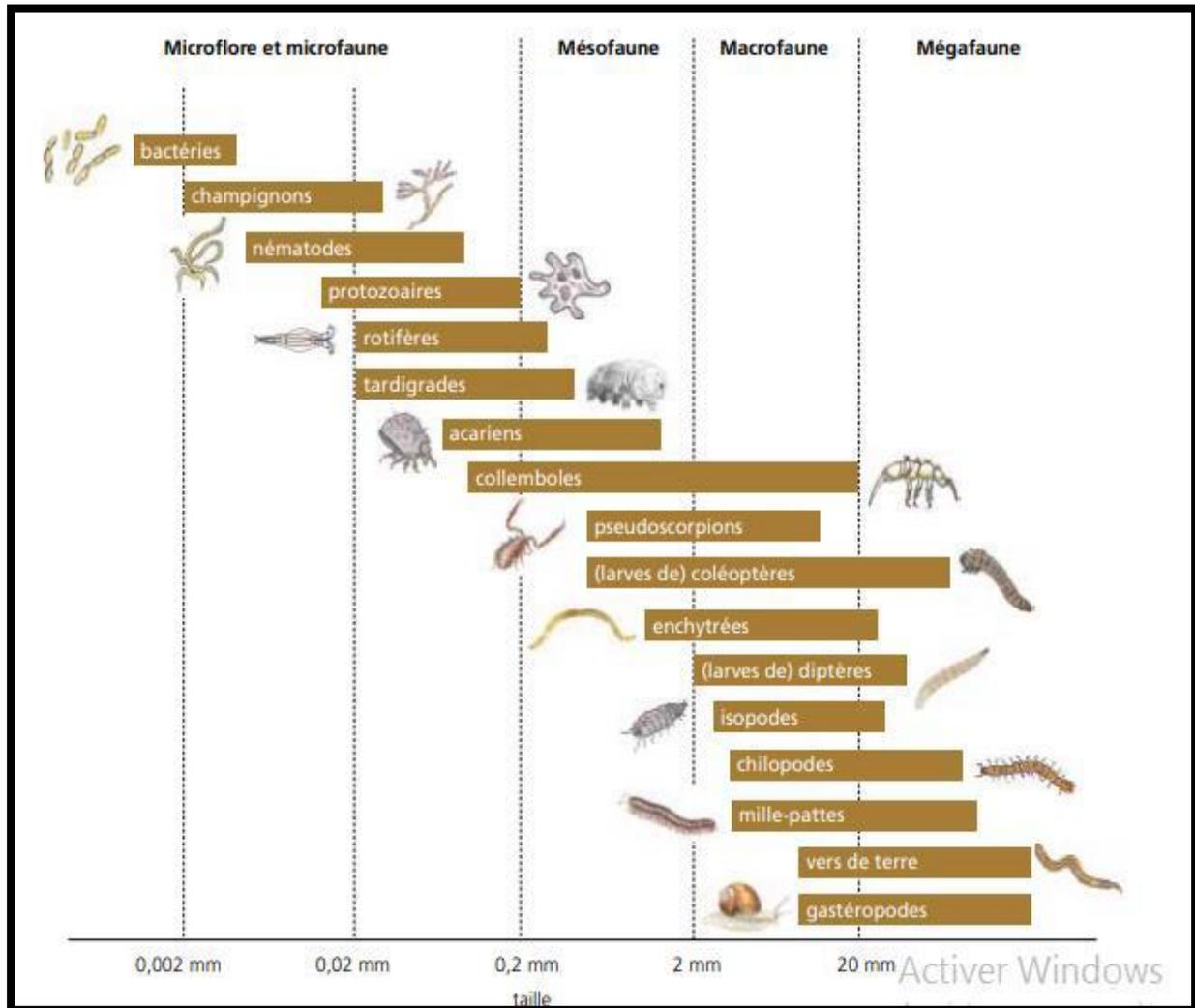


Figure 07 : Taille des organismes du sol, d'après **Briones (2014)**.

I.2.1.1.1. La microfaune

De longueur entre ($< 0,2 \text{ mm}$), regroupe principalement des microorganismes ayant besoin d'eau liquide pour vivre (**Martins et al., 2015**). Est composée de protozoaires, de nématodes, de rotifères, de tardigrades ainsi que de certains acariens et collemboles aux limites les plus élevées (**Swift et al., 1979**). Elle joue un rôle fondamental pour la formation et l'évolution des sols et des sédiments, ainsi que pour la décomposition du bois mort et des cadavres animaux. Elle joue ainsi un rôle majeur dans la minéralisation de la matière organique, le cycle du carbone et de nombreux grands cycles biogéochimiques (**Maldague, 1959**).

I.2.1.1.1. Les protozoaires

Il existe trois groupes dans le sol: les ciliés, les flagellés et les rhizopodes. Leur poids variera de quelques grammes à quelques dizaines de grammes par mètre carré. La majorité d'entre eux peuvent être déclenchés soit parce que l'environnement devient défavorable, soit par nécessité biologique. La plupart des peaux sont osmotiques (aliments dissous). Quant aux autres espèces, elles sont nutritionnelles et se nourrissent principalement de bactéries, mais il y en a qui mangent des algues et des champignons (Coineau, 1974).

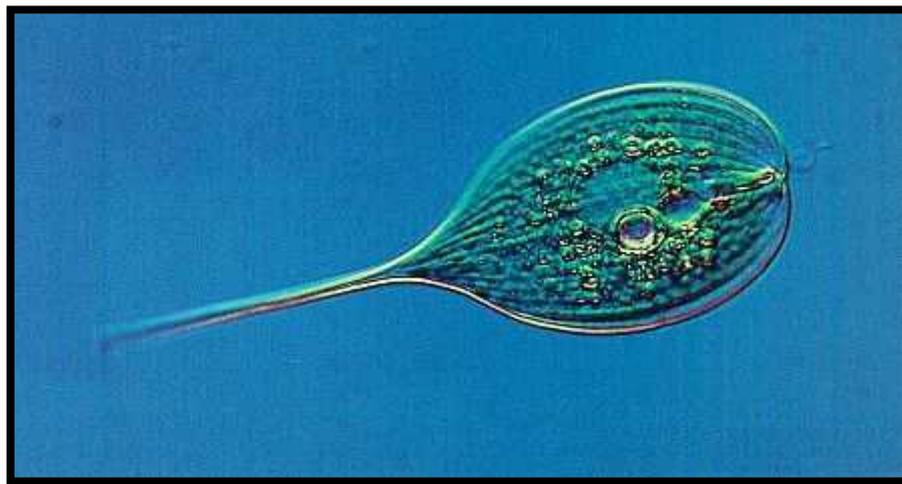


Figure 08 : Protozoaire (Deprince, 2003).

I.2.1.1.2. Les Nématodes

Sont des animaux vermiformes, les plus souvent microscopiques. On les retrouve dans pratiquement tous les milieux, à la fois sous forme de parasites ou d'organismes libres. Ils sont généralement très petits, mais certains peuvent atteindre plusieurs mètres de longueur (Coyne ; Nicol ; et Claudius-Cole; 2010). Les nématodes diffèrent largement dans leurs stratégies d'alimentation et possèdent des structures buccales indicatives de leur régime trophique permettant de distinguer des nématodes : phytophages, bactériovores, fongivores, carnivores ou omnivores (Yeates et al., 1993).



Figure 09 : Nématode (Deprince, 2003).

I.2.1.1.2. La mésofaune

Est le deuxième groupe le plus important et les animaux varient en taille de **200 µm** à **10 mm** et de longueur (**0,1–2 mm** de diamètre) (Iboy, 2000). La structure communautaire de ce groupe est constituée d'organismes appartenant aux groupes Collemboles, Diplurans et les Acariens dans l'écosystème du sol (Twardowski et al., 2017).

Ce sont des organismes confinés aux macrospores du sol ou à l'intérieur de résidus organiques, là où croissent préférentiellement les populations fongiques. Ils se retrouvent surtout dans les couches superficielles du sol, les plus riches en résidus végétaux, mais plus en profondeur également à proximité de débris de racines (Butcher et al., 1971). Ils contribuent à l'élaboration et au maintien de la microporosité nécessaire à leurs déplacements dans le sol (Anfray, 2017). Et régulent également les populations de microorganismes (Whipps et Budge; 1993).

I.2.1.1.2.1. Les Collemboles

Les collemboles sont des insectes aptérygotes et sont parmi les plus abondants et les plus répandus des arthropodes terrestres (Hopkin, 1997), ils habitent surtout le sol et la litière des feuilles, ils occupent la deuxième position après les fourmis (Soto-Adames, 1996). Ils ont une prédilection pour les endroits humides. Mais, il existe d'autres qui, pendant le jour, peuvent se déplacer activement sur les écorces des arbres et les fleurs. On peut les trouver également sur les mousses, sous les pierres, dans les grottes, dans les termitières et les fourmilières, sur les surfaces d'eau (lacs, étangs...etc), et même dans les glaciers. Les Collemboles constituent une proportion significative de la biomasse animale (Cassagnau, 1990).

Ils sont considérés comme des indicateurs pertinents des changements pouvant survenir dans l'écosystème du sol de par leur association aux cycles de décomposition et de recyclage des nutriments du sol (Gestel, 2005).



Figure 10 : Collembole (Larochelle, 2004).

I.2.1.1.2.2. Les Acariens

Les Acariens, cousins de la famille des araignées (*Arachnides*) ne sont pas visibles à l'oeil nu. Ils ont **8 pattes** (4 paires), munies sur leur dernier segment de poils et de griffes. Ils mesurent de **0.2 à 0.4 mm** de longueur et ne vivent que pendant **2 ou 3 mois** mais se reproduisent très vite dès qu'ils trouvent des conditions propices (Lewandowski, 2021).



Figure 11 : Acarien (Pérès et al., 2010).

I.2.1.1.3. La macrofaune

Selon **Brown et al. (2002)**, la macrofaune représente l'ensemble des organismes du sol visible à l'oeil nu ou ayant plus de **90%** de leurs spécimens visibles à l'œil nu, il s'agit d'organismes de taille supérieure à **1 cm** ou **2 cm**. Sont essentiellement, les vers de terre, les mollusques et les macroarthropodes (insectes, mille-pattes, cloportes et araignées) (**Whitford, 1989**). Elle a pour spécificité de moduler directement ou indirectement la disponibilité des ressources pour les autres espèces suite à des modifications physiques des sols et, par conséquent, de modifier, maintenir ou créer des habitats (**Jones, 1994**). Ses fonctions incluent la décomposition et l'hydratation de la litière, ainsi que la régulation de la population de micro-organismes responsables des processus de minéralisation et d'hydratation (**Lafleur, 2003**).

I.2.1.1.3.1. Les insectes

Les insectes font partie des arthropodes qui sont des animaux invertébrés caractérisés par un exosquelette rigide et la présence de pattes articulées. Au sein de cette classe, on trouve de nombreux ordres déterminés, notamment grâce à la morphologie des ailes (**Mégnin, 1894**). **Leraut (1990)**, note que les insectes participent activement à la décomposition des tissus organiques, notamment les saprophages dévorant et délitant les plantes et les animaux morts et les coprophages consommant et décomposant les excréments dans la litière. certaines espèces soient couramment rencontrées sur presque tous les continents. Ces espèces appartiennent à quatre principaux ordres qui sont les Diptères, les Coléoptères, les Hyménoptères et les Lépidoptères. Parmi celles-ci, certaines sont fréquentes et largement répandues tandis que d'autres sont plus sporadiques (**Wyss et Chérix; 2006**).

❖ Les Coléoptères

Les coléoptères constituent l'ordre le plus important du règne animal avec plus de **386 500** espèces décrites dont environ **399** espèces sont associées aux denrées stockées (**Delobel et Tran; 1993**), ils possèdent en général deux paires d'ailes, les ailes antérieures forment des étuis cornés, coriaces, appelés élytres, qui recouvrent au repos les ailes postérieures membraneuses servant au vol. C'est d'ailleurs de là que leur vient le nom de Coléoptère, coleos signifiant étui. Les pièces buccales sont presque toujours de type broyeur (**Roth, 1980**). Ils vivent pratiquement dans tous les biotopes, excepté les milieux polaires et océaniques.

La biologie des espèces est très diverse, avec des exigences écologiques parfois très strictes qui en font d'excellents bio-indicateurs (cas des espèces saproxyliques ou des Scarabéidés coprophages) (Roth, 1980).



Figure 12 : Coléoptère (Roth, 1980).

❖ Les Hyménoptères (Fourmi)

Les Hyménoptères forment l'un des 5 ordres principaux d'insectes, avec les Lépidoptères, Diptères, Coléoptères et Hétéroptères (Quicke, 2009). C'est à dire des insectes dont les deux paires d'ailes sont membraneuses et fines (Ouadfel, 2006). Le groupe regroupe une très grande variabilité d'espèces, dont les plus connues sont des abeilles, guêpes et fourmis (Billen, 1987). Leur taille varie de 0.1 mm de long pour les plus petits individus parasitoïdes, les mâles de l'espèce *Dicopomorpha echmepterygis*, jusqu'à 12 cm d'envergure pour les plus grandes femelles pompiles, prédatrices d'araignées (Quicke, 2009).

Les Fourmis sont des insectes sociaux appartenant à la famille des *formicidae*, elles font partie de l'ordre des hyménoptères (Schultz, 2000) ; elles jouent de rôles importants dans le fonctionnement et l'équilibre de l'écosystème (Passera et Aron; 2005). Par le fait de construire des galeries souterraines, les fourmis assurent l'aération du sol (Folgarait, 1998), et facilitent l'infiltration de l'eau dans le sol (Majer, 1985). Elles ont également un rôle dans la dégradation de la matière organique morte, soit un rôle de recyclage des nutriments (Passera et Aron; 2005). Dans les terres non fertiles, elles enrichissent le sol en nutriments et permettent la croissance de la végétation (Folgarait, 1998).



Figure 13 : Les Fourmis (Cournault, 2013).

❖ Les Termites

Les Termites (insectes eu-sociaux) appartiennent à l'ordre des Blattodea (**Inward et al., 2007**) et à l'infra ordre des Isoptères (**Krishna et al., 2013**), elles forment un groupe écologique d'invertébrés dominant en région tropicale où le climat est favorable à leur développement (milieux chauds et humides). Dans ces milieux, la biomasse des termites représente jusqu'à **75%** des insectes, **95%** des insectes du sol (**Watt et al., 1997**), ils ont des fonctions importantes dans les écosystèmes terrestres. Ils jouent un rôle agrologique certain qui se traduit par des modifications d'ordre mécanique et qualitatif du sol (**Garba et al., 2011**).

L'effet des termites sur les propriétés physiques du sol est principalement exercé à travers leurs activités de fousseurs et de constructeurs (**Duboisset, 2003**). En effet, ils creusent de nombreuses galeries souterraines, qui facilitent l'infiltration de l'eau et la circulation de l'air et des minéraux dans les sols (**Jouquet et al., 2011**).

❖ Diptères

Diptères (Arthropodes : Insectes) est représenté dans les macro invertébrés du sol par les phases immatures, qui se trouvent dans la litière est composé de **29** familles (**Mollon, 1982**). Quelques unes d'entre elles jouent un rôle très important dans le fonctionnement biologique du sol intervenant dans la décomposition de la matière organique et la libération de nutriments (**Deleporte, 1987**).



Figure 14 : Un Diptère (Szpila *et al.*, 2008).

I.2.1.1.3.2. Les Myriapodes

Les Myriapodes constituent l'un des groupes d'Arthropodes les moins bien étudiés (Bedano *et al.*, 2006). Il existe actuellement quatre classes de myriapodes, dont les plus connus sont les chilopodes et les diplopodes. On a tendance à les retrouver dans les mêmes niches écologiques. Ils sont tous fortement dépendants d'un taux d'humidité important et vont préférer les habitats humides comme la litière, le sol, sous les troncs ou sous les rochers (Mathieu, 1995), ces organismes interviennent de façon considérable dans la structure, la fertilité et la composition du sol. Les Diplopodes saprophages, en se nourrissant de débris végétaux ou animaux, participent à la décomposition de la matière organique et au renouvellement du sol (Kautz et Topp; 1998).

❖ Chilopodes

Sont des myriapodes à corps aplati dorso ventralement, long, segmenté régulièrement, avec une paire de pattes par segment à l'exception des deux dernières. Ils vivent dans les milieux forestiers humides. La plupart sont carnivores, se nourrissent des petits diplopodes, d'insectes, de vers et de petits arthropodes (Grasse et Doummenc; 2000).

I.2.1.1.3.3. Les Crustacés

Les Crustacés peuvent être caractérisés comme des arthropodes mandibulés, antennates. La carapace est constituée notamment de **50 %** de carbonate de calcium et de **5 à 19 %** de phosphate de calcium et de magnésium. Leurs appendices sont à l'origine biramés.

Les crustacés représentent l'un des groupes d'invertébrés les plus diversifiés puisque plus de **50000** espèces sont déjà répertoriées (**Monod et Laubier; 1996**). Les crustacés grandissent de manière discontinue par le biais de mues successives au cours desquelles ils renouvellent la totalité de leur squelette externe et interne. Le rejet de toutes les parties dures empêche la détermination directe de l'âge par la méthode classique du décompte des marques de croissance sur les pièces calcifiées (otolithes chez les poissons, coquille chez les mollusques...) (**Reyss et al., 1996**).

❖ Les Isopodes

Ces crustacés terrestres du sous-ordre Oniscidea sont communément appelés cloportes ou truies (**Schmalzfuss, 2003**). Les isopodes atteignent leur plus grande abondance dans les prairies tempérées non gérées, et leurs populations varient généralement d'environ **500 à 1000m²** (**Curry, 1994**). Les individus ont tendance à vivre long temps, allant de **1 à 2 ans** dans les types semi-bénins à **5 ans** dans ceux qui présentent une récurrence (**Warburg, 1987**). Le principal composant nutritionnel est les excréments bien humidifiés (feuilles et résidus de bois), ainsi que leurs excréments, qui permettent le recyclage des nutriments essentiels, comme le cuivre inorganique (**Kühnelt, 1976**).

I.2.1.1.4. La mégafaune

Représente des organismes mesurant de **80 mm** à environ **1.60 m** (**Bonneau et Souchier; 1979**). Ils agissent sur le sol par creusement de leurs galeries, reptiles, mammifères fouisseurs tels que les campagnols, les chiens de prairie, les marmottes, aussi les amphibiens, et des reptiles apodes et fouisseurs (**Peres, 2003**).

I.2.1.1.4.1. Annélide

Est un embranchement groupant les vers annelés et renfermant environ **9000** espèces avec trois classes principales qui sont les polychètes, les oligochètes et les achètes ou hirudinées (**Morin, 2002**).

Les vers de terre font partie de la sous-classe des Oligochètes au sein du phylum des Annélides et sont représentés par **3700** espèces dans le monde (**Decaëns et al., 2013**). Les vers de terre sont très répandus dans l'ensemble des sols excepté en régions arides et gelées et représentent la biomasse animale terrestre la plus importante en climat tempéré (**Bar-On et al., 2018**).

I.2.1.1.4.2. Les Gastéropodes

Les Gastéropodes regroupés sous l'appellation « *limaces* » constituent un ensemble d'organismes parmi les plus performants rencontrés chez les mollusques. Elles sont de loin la classe la plus vaste des mollusques (rassemblant environ **80%** des espèces) et avec **40000** à **150000** espèces, elle est la seconde classe la plus importante du règne animal par sa richesse spécifique (**Haszprunar et al., 2008**). C'est une lignée d'invertébrés monophylétique très ancienne, dont la présence dans les enregistrements fossiles remonte au début du Cambrien, il y a **543 Ma** (**Fedonkin et Waggoner; 1997**). Leur corps est mou, dont la tête est bien distincte portant des tentacules sensoriels, la masse viscérale est enroulée en hélice, le pied aplati sert à la reptation, le manteau entoure la masse viscérale et forme une cavité qui contient des branchies plumeuses parfois absentes et la paroi de la cavité du manteau sert alors de poumon (**Barker, 2001**). Elles occupent pratiquement tous les habitats, depuis les fosses maritimes aux zones montagneuses en passant par la toundra (**Cuttelod et al., 2011**) et sont présents sur tous les continents, jusqu'à la périphérie de l'Antarctique (**Linse et al., 2006**).



Figure 15 : Mollusque (**Raphael, 2007**).

I.2.1.2. Les classifications écomorphologiques

Repose sur un mélange de considérations morphologiques et écologiques, souvent liées à la localisation verticale des espèces dans le sol. La plus connue est certainement la classification des vers de terre en trois groupes éco-morphologiques : les épigés, les endogés et les anéciques. Ce type de classification est aussi retrouvé chez les collemboles (**Siepel, 1994**) (épédaphique, hémi-édaphique ou eu-édaphique (**Petersen, 2002**)).

On distingue chez les vers de terre :

- ❖ **Les épigés** : de petite taille (**10 à 30 mm** en général) et vivent généralement dans la litière de surface et se nourrissent des matières organiques en décomposition (**Lee, 1985**) ;
- ❖ **Les anéciques** : de taille moyenne à géante (**10 à 110 cm**), ce sont ceux qu'on appelle les "lombrics". Ils creusent des galeries verticales profondes à sub-verticales plus ou moins ramifiées s'ouvrant en surface. Ils ont un mode de vie mixte, et se nourrissent de débris organiques prélevés en surface et qu'ils laissent pourrir dans le sol avant de les ingérer avec du sol (**Bouché, 1977**) ;
- ❖ **Les endogés** : de taille variable (**1 à 20 cm**), vivant généralement dans les premiers centimètres du sol où ils construisent des galeries d'orientation quelconque (**Bouché, 1977**).

On distingue chez les collemboles :

- ❖ **Les épiédaphiques** : vivent dans des milieux instables mais pourvus de nombreuses ressources. Ils sont gros, avec des grandes antennes et pattes, des ocelles pigmentés et sont résistants à la dessiccation. Ils recolonisent très vite les sols défuntés. Leur stratégie démographique s'apparente à la stratégie r, stratégie adaptée aux milieux instables à reproduction et mortalité élevées (**MacArthur et Wilson; 1967**) ;
- ❖ **Les eu édaphique** : vivent dans des milieux stables mais faibles en ressources. Ils ne sont pas pigmentés et ont des pattes et des ocelles réduits. Leur stratégie démographique s'apparente à la stratégie k, stratégie adaptée aux milieux stables à reproduction et mortalité faibles (**MacArthur et Wilson; 1967**) ;

- ❖ **Les hémi édaphiques** : ont des critères des deux groupes sans les posséder tous en même temps. Toutefois, ces limites ne sont pas franches et les caractéristiques décrites ci-dessus sont très malléables. En effet, la distribution verticale des collemboles dépend beaucoup de la microstructure du sol, de l'humidité relative et de la disponibilité des ressources (**Haarlov, 1955**).

I.2.1.3. Les classifications fonctionnelles

Liées à deux objectifs distincts, l'un étant d'étudier l'effet des espèces sur les propriétés de l'écosystème (groupes fonctionnels d'effets) et l'autre s'intéressant à la réponse des espèces aux contraintes et aux perturbations (groupes fonctionnels de réponse) (**Lavorel et al., 1997 ; Landsberg, 1999**).

La première peut, elle-même, être subdivisée en trois sous catégories :

- ❖ **Les ingénieurs écologiques** : c'est un ensemble d'organismes du sol qui, par leur activité mécanique, permettent d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Ils occupent une place clé dans l'écosystème car ils influencent l'activité des autres groupes le composant. L'exemple le plus probant est le ver de terre (Annélide oligochète) qui forme des agrégats organo-minéraux et aère le sol en creusant des galeries (**Raphael, 2015**).
- ❖ **Le groupe des transformateurs** : de litière ou décomposeurs, ils fragmentent et consomment des matières organiques provenant essentiellement de la litière, ce sont les invertébrés de la mésofaune et les macro-arthropodes ; certains Acariens (oribates), des Collemboles, certains Vers, des Enchytréides, des Isopodes et des Insectes. Les Enchytréides sont plus difficiles à positionner dans un groupe bien que leur rôle soit important dans le fonctionnement de l'épisolium humifère des sols acides (**Didden, 1993**).
- ❖ **Les micro-prédateurs** : (protozoaires et nématodes), ils ne créent pas de structures spécifiques mais régulent les activités microbiennes par leur prédation (**Jones et al., 1994**).

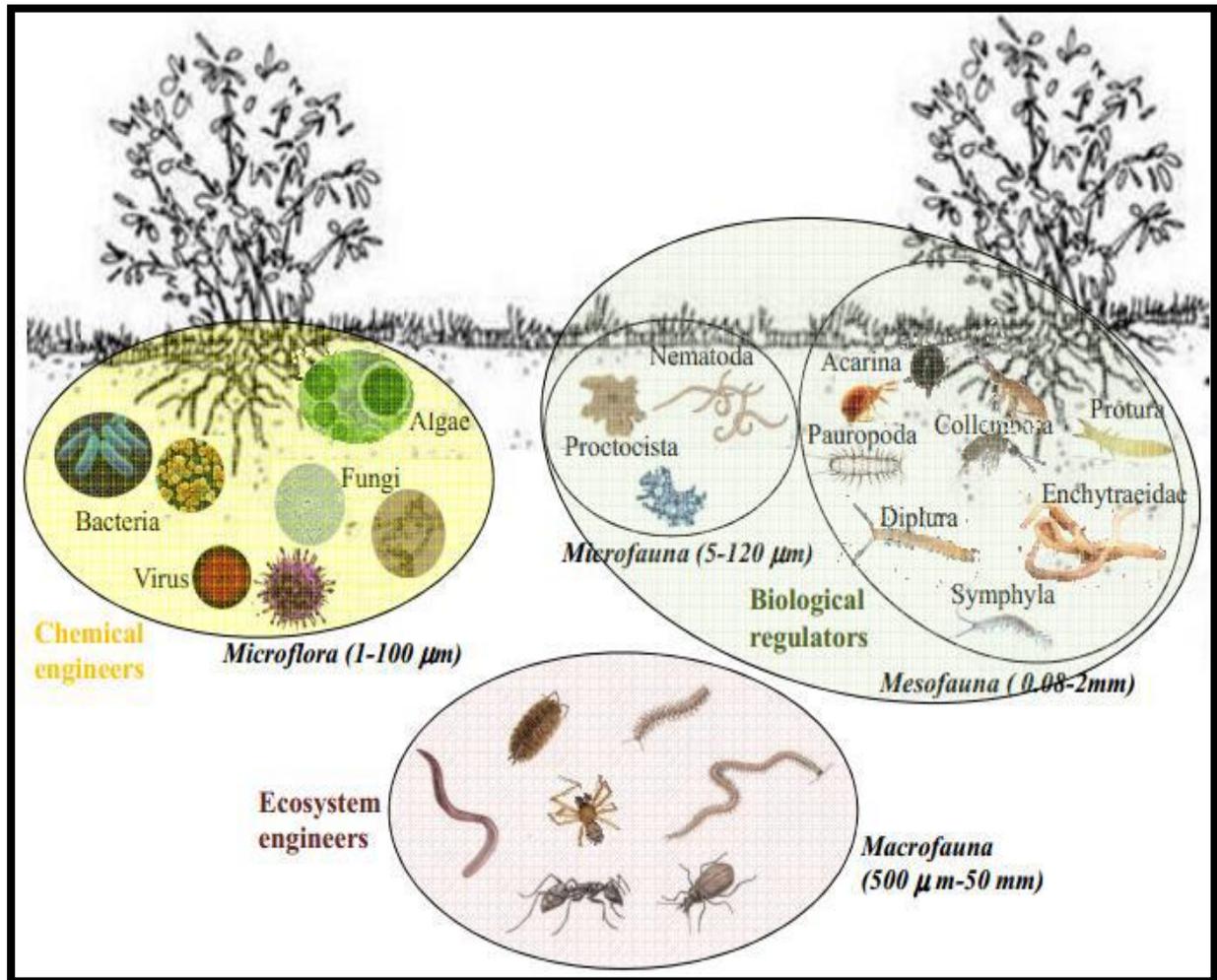


Figure 16 : Les principaux groupes d'organismes vivant dans le sol regroupés selon leur taille et leur principal rôle fonctionnel (Santorufu, 2013).

I.2.2. Les effets de la faune sur la qualité du sol

I.2.2.1. Les effets physiques

Les actions mécaniques des animaux dans le sol sont liées à leur taille, leur régime alimentaire et le comportement des organismes (Sacchs, 1971).

Cinq influences mécanistes majeures des animaux du sol sont mises en évidence :

I.2.2.1.1. Le macrobrassage

Hölldobler et Wilson en 1996 ont montré que les fourmis, les termites, les vers de terre et les coléoptères remuaient de grandes quantités de sol, amenant des horizons riches en minéraux à la surface et enterrant les horizons organiques de surface, la litière et les fumeurs.

I.2.2.1.2. Le microbrassage

Kevan (1962), montre qu'en produisant d'énormes quantités de petites fientes, certains organismes végétaux comme les collemboles, les larves de diptères et les enchytrées contribuent à l'incorporation de matière organique dans le sol. Par contre, ils apportent un peu de métallisé. Ensuite, ces petites excréments sont retirés En filtrant vers le bas et peut s'accumuler jusqu'à une profondeur de **60 cm**, en tas ou en couches minces.

I.2.2.1.3. La formation de galeries

La formation de galeries est importante pour l'aération du sol et son régime hydrique, les vers de terre, les rongeurs forment des réseaux permanents de longueur parfois considérable augmente ainsi la macroporosité de **20 à 50%** (**Edwards et bohlen; 1996**).

I.2.2.1.4. La fragmentation

Elle est due à l'activité successive des phytosaprophages qui ingèrent et transforment leurs aliments. Cette fragmentation permet, à court terme, la libération d'éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, assimilables par les plantes (**Sharpley et Syers; 1993**).

I.2.2.1.5. La Formation d'agrégats

Les vers de terre et les macroarthropodes qui ingèrent des particules de terre avec leur nourriture contribuent à la formation d'agrégats, en mélangeant matières organiques et matières minérales dans leur tube digestif. Le réseau d'hyphes de champignons et de fibres végétales (issues des feuilles consommées) peut également consolider la structure des sols. La pédofaune associée à la microflore participe donc à l'amélioration et la stabilisation de l'organisation structurale du sol (**Bachelier, 1978**).

I.2.2.2. Les Effets chimiques

Ceux-ci peuvent être directs ou indirects :

- ❖ **Les effets directs de la faune du sol**, il est souvent difficile de distinguer le rôle spécifique des macros invertébrées de celui de leur microflore intestinale associée. L'effet chimique le plus net est la modification de la qualité de la nourriture durant son passage à travers la chaîne alimentaire, en particulier dans la minéralisation de la matière organique et la libéralisation consécutive des ions nutritifs. C'est le cas des cadavres de lombrics dont la décomposition d'une tonne libère de **36 à 60 kg** d'azote (**Mattson, 1977**).
- ❖ **Les effets indirects de la faune du sol**, celui des protozoaires est important .Ils sont capable de minéraliser l'azote, le phosphore et le soufre à partir de leur nourriture, c'est-à-dire des bactéries qu'ils consomment en quantités considérables. En association avec les bactéries nitrifiantes, les amibes prédatrices augmentent ainsi la quantité de nitrate directement utilisable pas la plante dans la rhizosphère (**Wolters, 2001**).

I.2.2.3. Les effets biologiques

S'exprime notamment par la création de conditions favorables au développement des microorganismes : augmentation de la ressource trophique, amélioration des conditions d'aération et d'humidité du milieu (**Cluzeau et al., 1994**). L'action sur les microorganismes peut aussi s'exprimer en termes de modification de la composition des populations et de leur activité ainsi que de leur répartition spatial (**Loquet et al., 1977**).

Chapitre II :

Présentation de

la zone d'étude



II.1. Présentation générale de la Wilaya de Mila

II.1.1. Situation géographique

Selon **Andi (2013)**, la Wilaya de Mila est située au Nord-Est de l'Algérie, à **464 km** d'Alger et à **70 km** de la mer Méditerranée. Ses coordonnées sont **36°26'59"** de latitude Nord et **6° 15' 51"** de longitude Est. Elle s'étend sur une superficie de **348 100 ha = 3 481km²**, elle se classe **35^e** en Algérie. La région fait partie de l'Atlas tellien oriental, avec une chaîne montagneuse s'étendant d'Ouest en Est sur tout le territoire Nord du pays. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Jijel et Skikda, à l'Ouest par la wilaya de Sétif, à l'Est par la wilaya de Constantine (**Andi, 2013**), et au Sud par la wilaya de Batna (**Messai et al., 2011**).

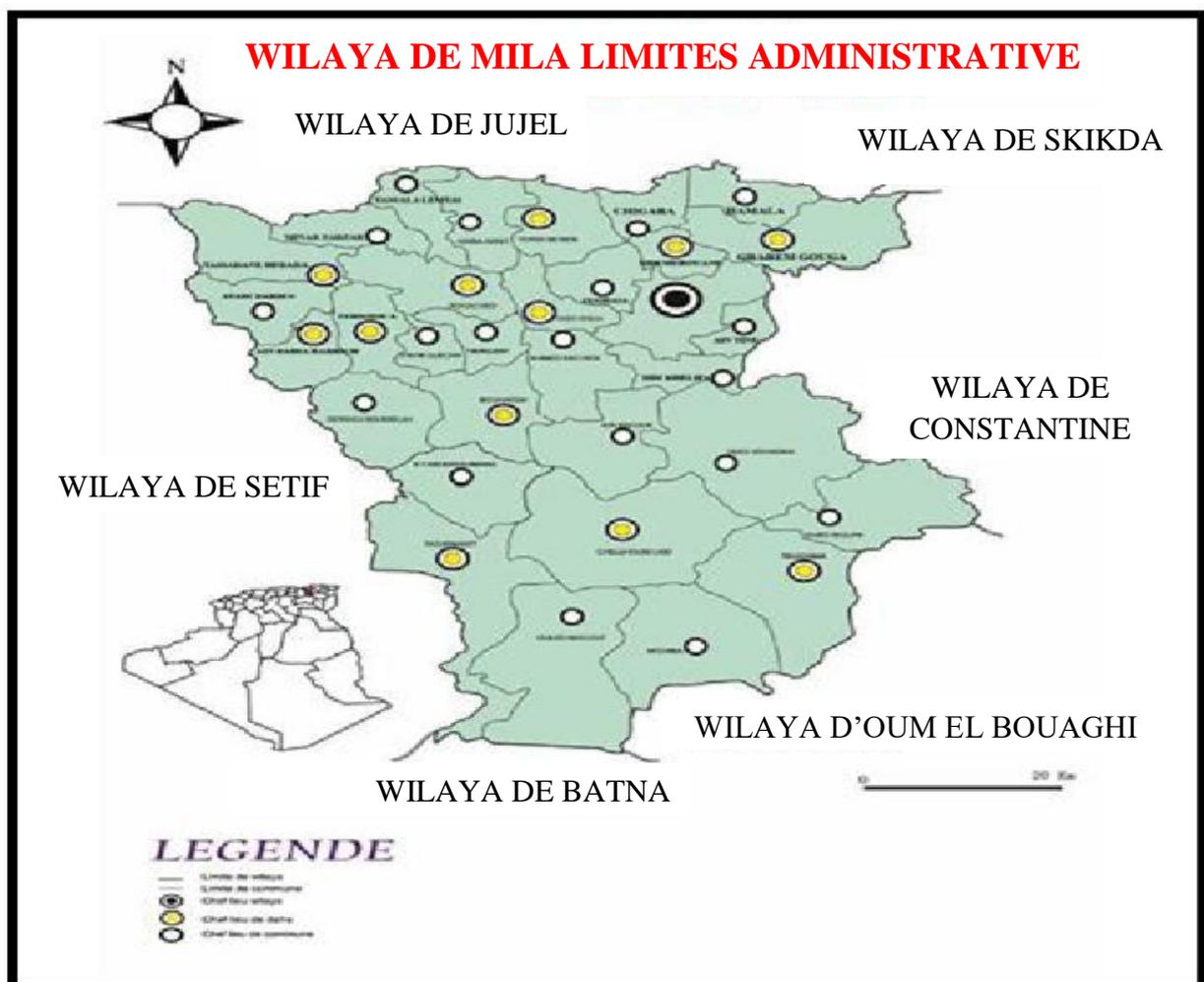


Figure 17 : Situation géographique de la Wilaya de Mila (**Cetic, 2009**).

II.1.2. Relief

La wilaya de Mila se caractérise par un relief varié et une diversité de paysages et présente trois grandes zones distinctes :

- Au nord, les montagnes et les collines du Nord Constantinois : M'sid Aïcha, Zouagha et El-Halfa traversé par l'oued-el-Kebir. dont l'altitude la plus élevée est **1600 m** ;
- Au sud, on trouve des massifs montagneux d'une altitude de **1400 m** et les plaines fertiles de Milev, arrosées par le plus grand cours d'eau de l'Est algérien, le Rhummel ;
- L'extrême Sud qui présente un relief des hauts plateaux.

Selon **Mebarki (1984)**, le relief est beaucoup plus accidenté et se présente sous forme de basses collines d'une altitude moyenne de **500 m**, entaillées par un réseau d'Oueds assez dense. Et d'après **Zouaidia (2006)**, concernant la configuration du relief, on distingue deux grandes unités géomorphologiques :

- Les Hauts piedmonts au centre Ouest avec une pente allant de **12,5 à 25%** ;
- Montagne pour le reste de la région et dont la pente est généralement supérieure à **25%**.

II.1.3. La végétation dans la wilaya de Mila

Le couvert végétal dans la commune de Mila est peu important et saisonnier, il se résume principalement aux cultures céréalières et aux herbes sauvages. Ce faible couvert végétal favorise considérablement l'érosion de sol.

D'après la carte pédologique de la Wilaya de Mila, établie par le bureau d'études **BNDER** en **1997**, la seule couverture végétal formée de forêt, dans la commune de Mila, se situe à l'extrême Nord-Est.

II.1.4. Les données climatiques

Selon **Ramade (1984)**, le climat est constitué d'une combinaison de facteurs énergétiques (lumière et température), hydrologiques (précipitations et humidité) et mécaniques (vent et neige).

Dans le cadre de cette étude, les valeurs des températures, des précipitations, du vent et l'humidité ont été fournies par la station météorologique Ain Tine de la wilaya de Mila.

Elles portent sur une période de **10 ans (2010-2019)**, dont cette période est choisie selon la disponibilité des données climatiques.

❖ La température (°C)

La température est le principal facteur environnemental affectant la répartition géographique des espèces. Il contrôle tous les phénomènes métaboliques et contrôle ainsi la distribution de tous les types et communautés d'organismes dans la biosphère (**Ramade, 1984**).

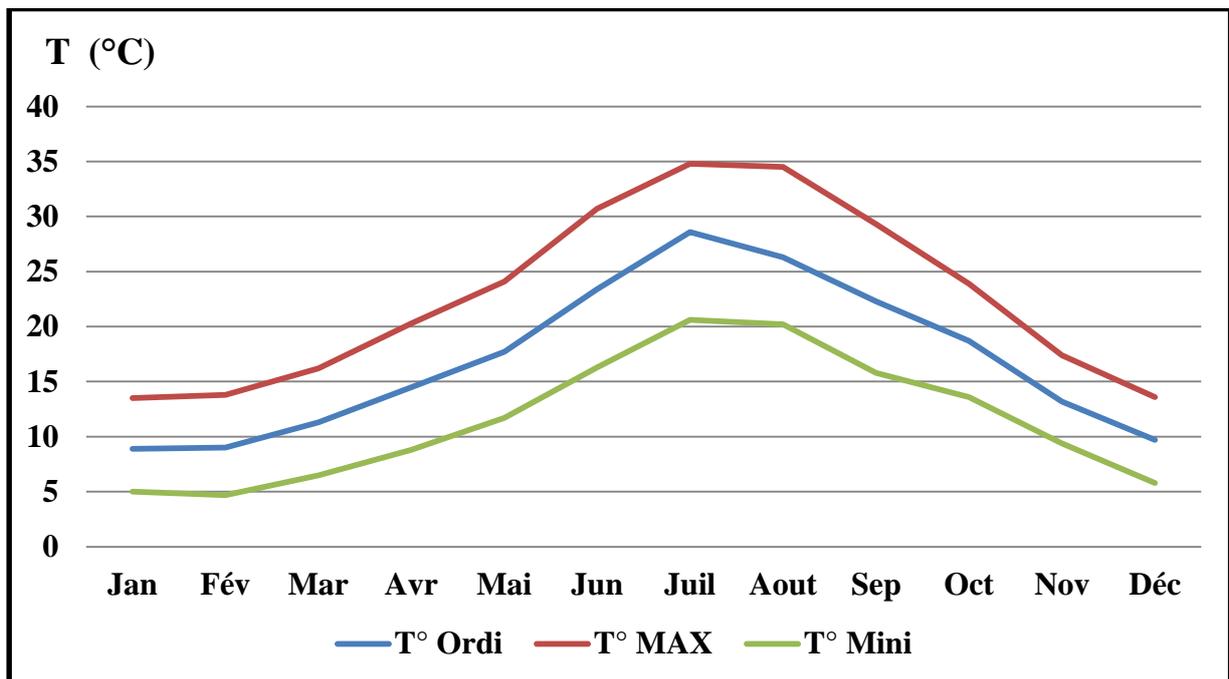


Figure 18 : Variation moyenne mensuelle des températures minimales, maximales et ordinaires dans la région de Mila (2010-2019).

Selon les allures des courbes des températures moyennes mensuelles sur une période de dix ans, nous voyons que les valeurs des températures, présentent des variations saisonnières dont les valeurs les plus élevées sont enregistrés pendant la saison estivale, et les valeurs les plus basses correspondent pratiquement aux saisons humides. La température moyenne la plus basse **8,9°C** est enregistrée en janvier, alors que juillet est le mois le plus chaud, avec une température moyenne de **28,6°C**.

❖ La température du sol (°C)

La température du sol joue un rôle important dans divers écosystèmes (**Kemp et al., 1992**). La température du sol affecte l'infiltration de l'eau à travers la surface du sol (**Singh, 1992**) et également les processus biologiques des plantes, des insectes et d'autres organismes (**Kluender et al., 1993**). De plus, le taux de décomposition et le mouvement des nutriments et des produits chimiques dans le profil du sol sont significativement affectés par les fluctuations de la température du sol (**Grundmann et al., 1995 ; Vigil et Kissel; 1995**). C'est aussi un facteur de croissance important dans de nombreux types de cultures (**Brar et al., 1992**).

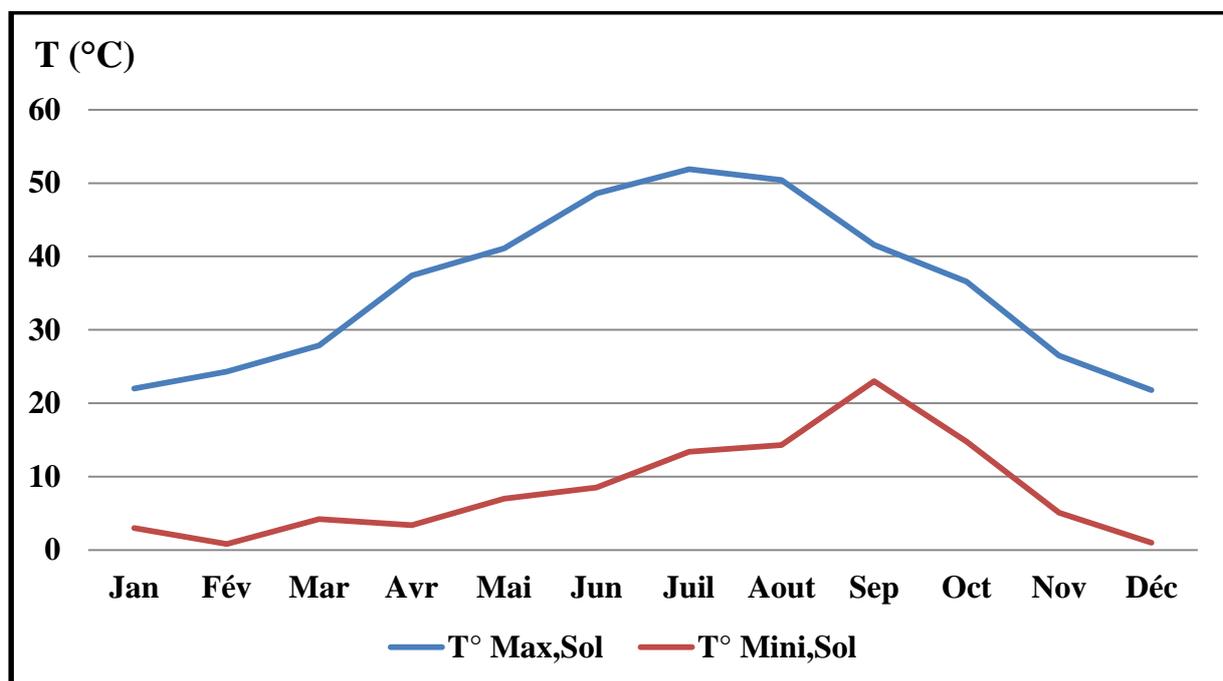


Figure 19 : Variation moyenne mensuelle des températures minimales et maximales du sol dans la région de Mila (2010-2019).

La variabilité moyenne mensuelle des températures maximales du sol pendant la même période, montre une allure qui suit celle de l'air, dont les valeurs les plus élevées caractérisent la saison sèche allant du mois de mai au septembre, tandis que les valeurs les plus basses sont observées dans les autres mois. La température maximale atteint son maximum **51,9 °C** en juillet, et son minimum **21,8 °C** en décembre. Par contre les températures minimales ne dépassent pas la valeur moyenne **21 °C** à l'exception d'un pic **23 °C** enregistré le mois de septembre.

❖ Le vent (m/s)

Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux. Il a une action indirecte en modifiant la température et l'humidité (Dajoz, 1996).

D'après Dajoz (2002), le vent agit souvent sur les insectes en ralentissant les déplacements des quelques espèces.

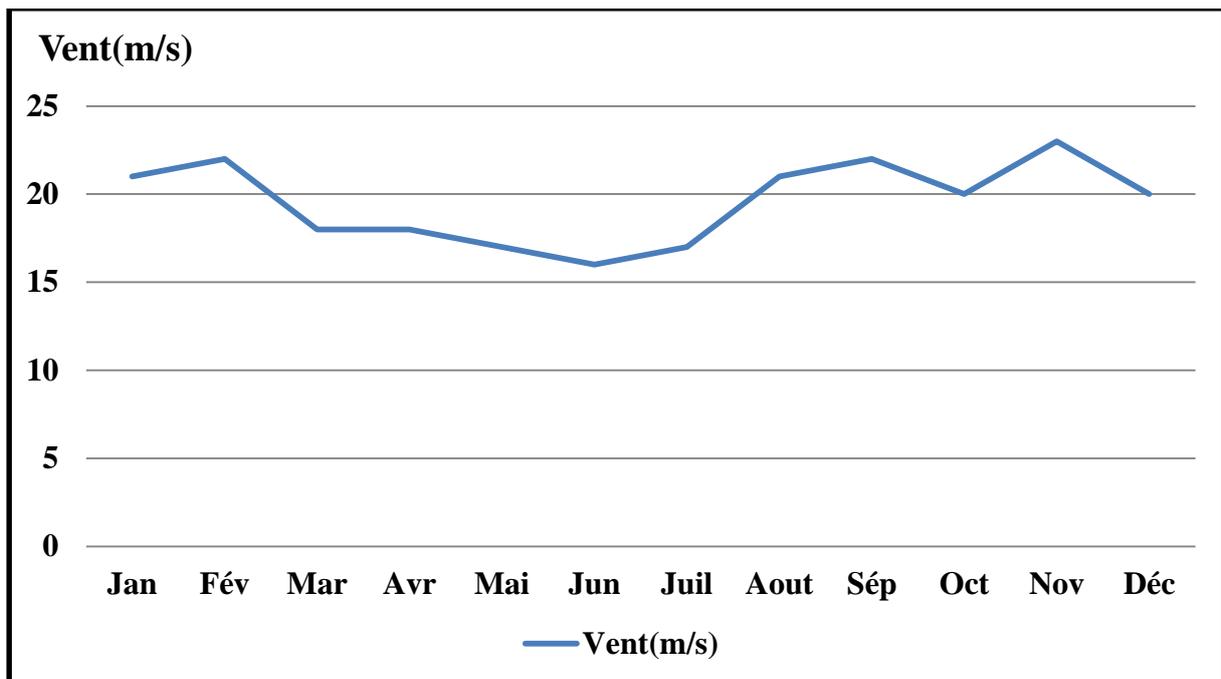


Figure 20 : Variation moyenne mensuelle de la vitesse du vent dans la région de Mila (2010-2019).

D'après le graphe présentant, la variabilité mensuelle du vent pendant dix ans, nous remarquons que la vitesse moyenne du vent affectant la région d'étude varie de **16 à 23 m/s**. Les vents dominants ont généralement une direction Sud-Nord. Les valeurs de la vitesse du vent sont plus élevées aux mois de janvier, février, août, septembre, novembre et décembre avec des valeurs moyennes supérieures à **18 m/s** et de mars à juillet avec des valeurs oscillant entre **16 et 18 m/s**.

❖ L'humidité (%)

Barbault (2000), la disponibilité en eau du milieu et l'hygrométrie atmosphérique jouent un rôle essentiel dans l'écologie des organismes terrestres.

Selon **Alletto et al. (2008)**, l'effet de la température peut cependant prévaloir sur l'humidité du sol, selon la matière active considérée et des travaux du sol effectués sur la parcelle agricole.

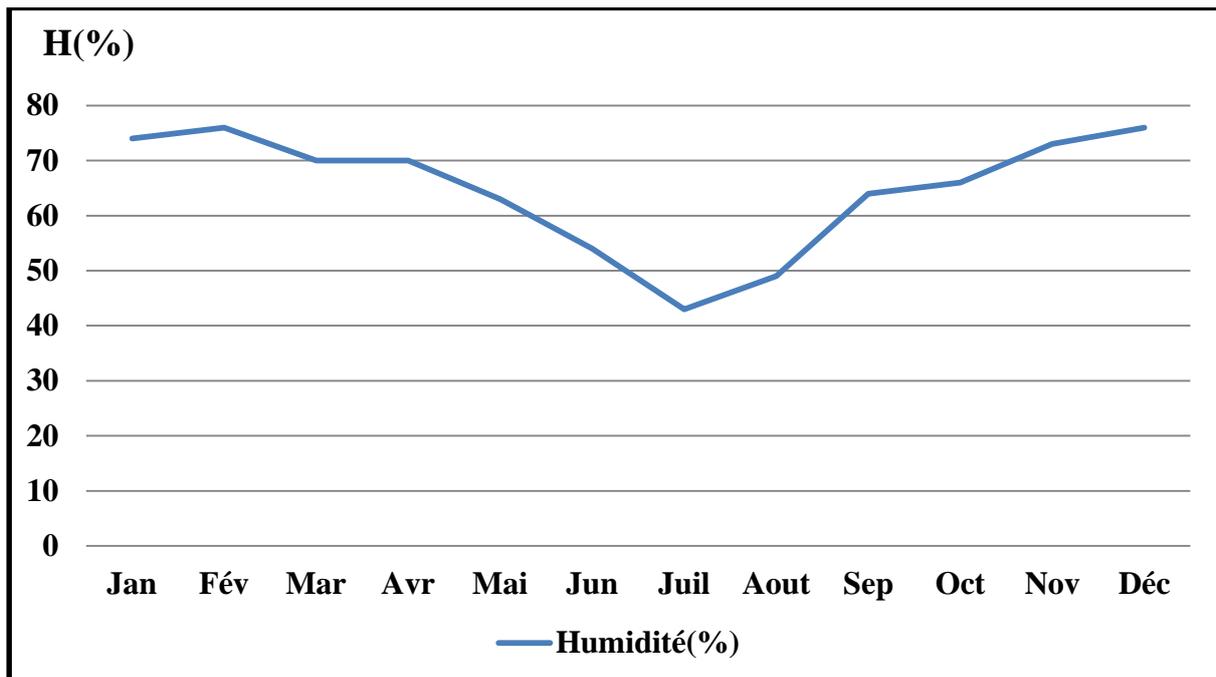


Figure 21 : Variation mensuelles de l'humidité dans la région de Mila (2010-2019).

D'après le graphique présentant la variation moyenne mensuelle de l'humidité, on peut voir que l'humidité la plus faible a été enregistrée en juillet, pendant la saison estivale, à **43 %** pendant dix ans, et cela est dû à la relation inverse entre la température et l'humidité. À mesure que la température augmente, l'air devient capable de contenir plus de vapeur d'eau, de sorte que l'humidité diminue.

❖ Les précipitations (mm)

La Précipitation constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres (**Ramade, 1984**). Selon **Dajoz (1971)**, les précipitations ont une influence importante sur les plantes et sur la biologie des espèces animales. Elles agissent sur le taux de croissance, la longévité et la fertilité de l'animal.

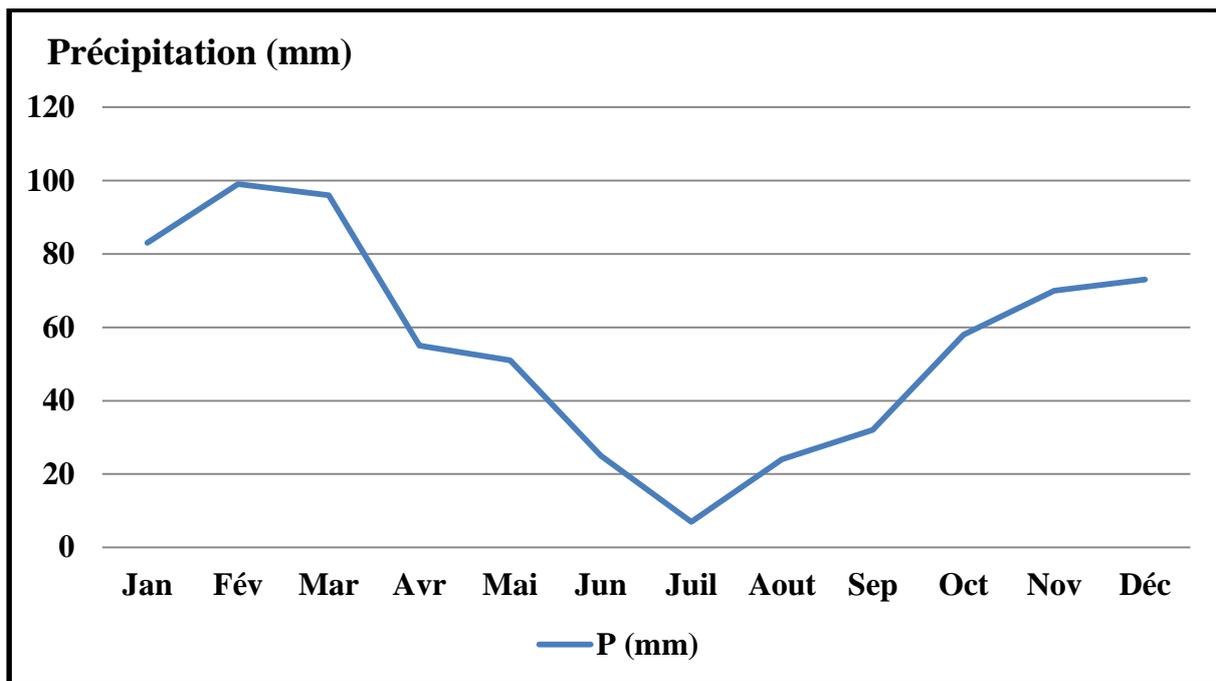


Figure 22 : Variation moyenne mensuelle des précipitations dans la région de Mila (2010-2019).

L'analyse de la série pluriannuelle de données pluviométriques caractéristiques de la région de Mila, allant de **2010** à **2019** (**Fig. 22**), montre que les précipitations moyennes mensuelles sont irrégulières dans le temps avec deux phases déterminées en fonction de l'importance des précipitations enregistrées. Ce sont respectivement : la saison humide, de janvier à mai et d'octobre à décembre et la sèche saison, de juin à septembre.

II.1.4.1. Synthèse climatique

La synthèse climatique est une étape indispensable à toute étude environnementale.

II.1.4.1.1. Le diagramme ombrothermique

Selon **Gausson (1957)**, un mois est considéré comme sec lorsque la précipitation totale exprimée en mm est égale ou inférieure à deux fois la température exprimée en degrés Celsius ($P \text{ (mm)} \leq 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$). Donc ce diagramme permet de connaître la période sèche, et celle humide d'une région donnée où il est représenté avec deux axes d'ordonnées.

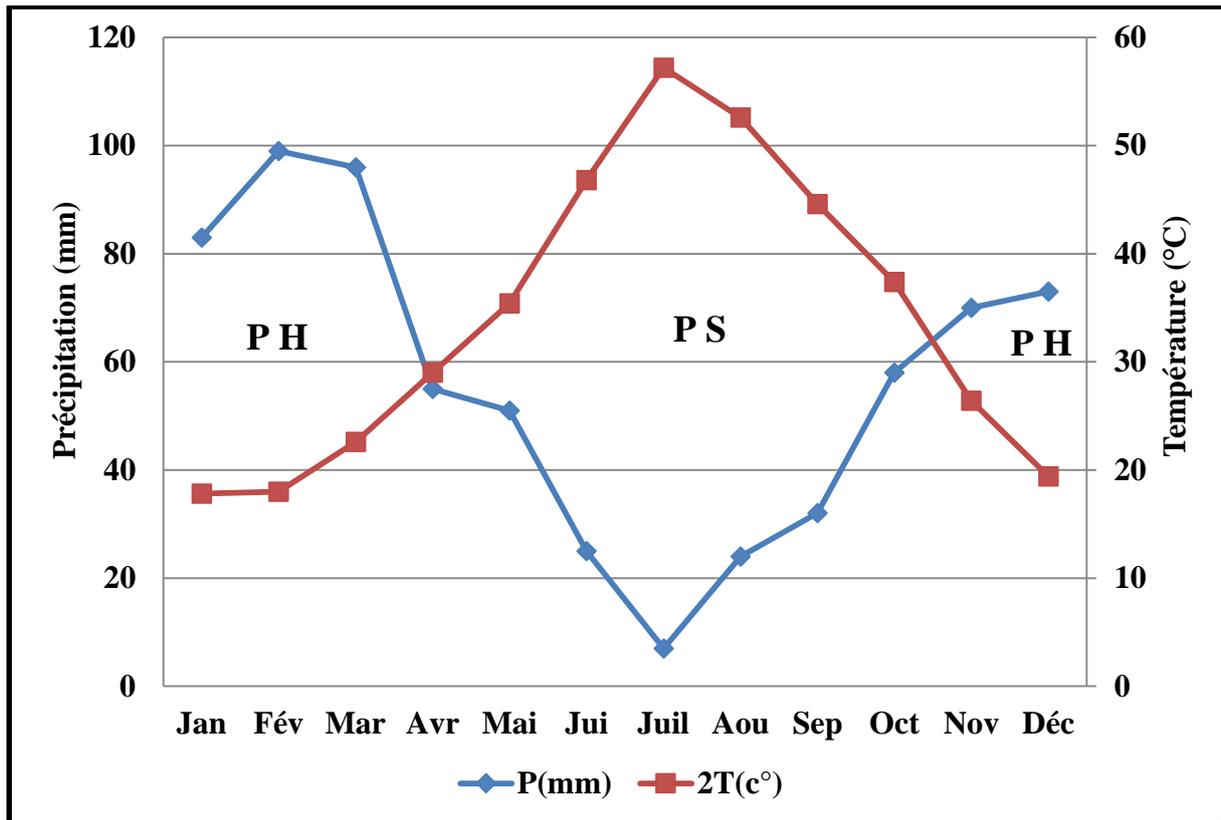


Figure 23 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Mila

(2010-2019) (PH : Période humide, PS : Période sèche).

L'observation de la **figure 23**, relative à la courbe ombrothermique montre que le climat de la région étudiée est caractérisé par une alternance de deux périodes, l'une déficitaire se succède sur environ sept mois, du début d'avril à la fin d'octobre. Les cinq mois de novembre à mars, située en dehors de cette période, constituent la période humide.

II.1.4.1.2. Le climagramme d'Emberger

Pour classer et caractériser les climats des régions méditerranéennes, **Emberger** a défini en **1955** le quotient pluviométrique noté (**Q**), qui s'exprime par la formule suivante :

$$Q = 2000 P / (M^2 - m^2).$$

Où **P** : moyenne des précipitations mensuelles en **mm** ;

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degrés Kelvin (**°K**) ;

m : la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degrés Kelvin (**°K**).

Cette formule a été simplifiée par STEWART en 1969 et est devenue :

$$Q_2 = 3.43 P / (M - m).$$

Où **M** et **m** sont exprimés en degré Celsius.

Ainsi, la zone d'étude présente un quotient pluviométrique (**Q₂**) égal à **117.17**. La zone d'étude est caractérisée par un bioclimatique sub humide à hiver chaud (**Fig. 24**).

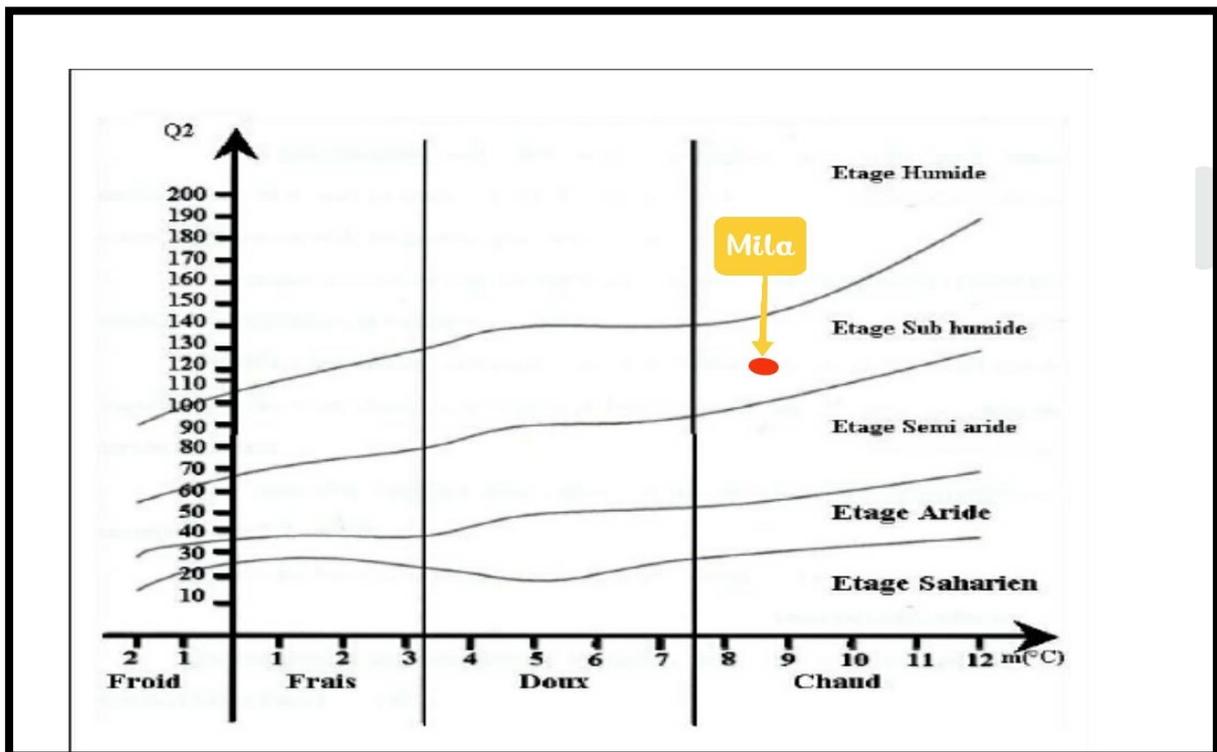
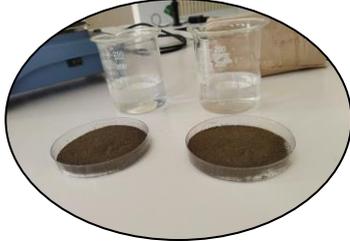


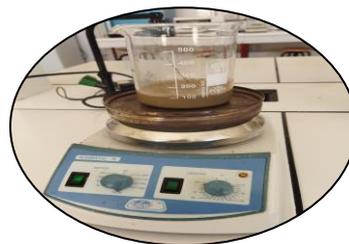
Figure 24 : Climagramme pluviométrique d'Emberger de la région de Mila (2010-2019).



Chapitre III :

Matériel et

Méthodes



III.1. Choix et localisation des sites de prélèvement

Notre étude a été menée dans trois stations agricoles situées dans la wilaya de Mila. La période d'échantillonnage s'étend sur quatre mois du '1 janvier 2023' au '1 mai 2023'. Nous avons effectué deux sorties d'échantillonnage du sol par mois afin d'en calibrer les propriétés physiques et chimiques, puis nous nous sommes penchés sur la composition, la structure et le comportement de la faune du sol sous l'influence des changements spatiaux et temporels.

Tableau 01 : Localisation et descriptions des stations d'étude.

Code de station	Appellation de la station	Localisation	Superficie	Description de la station d'étude
Station 1	Baba Rabah	E : 06°14'06" N : 36°24'18" Al : 688 m	6615 m ²	Située sur une terre agricole dépourvue d'engrais chimiques.
Station 2	Machttat El-Kribssa	E : 06°06'32" N : 36°29'12" Al : 225 m	22736 m ²	Située à la commune d'Oued Endja, sur une terre agricole riche en engrais chimiques.
Station 3	Tarei Baynan	E : 06°06'35" N : 36°35'58" Al : 534 m	1996 m ²	Elle fait partie d'une terre agricole riche en fertilisants organiques.

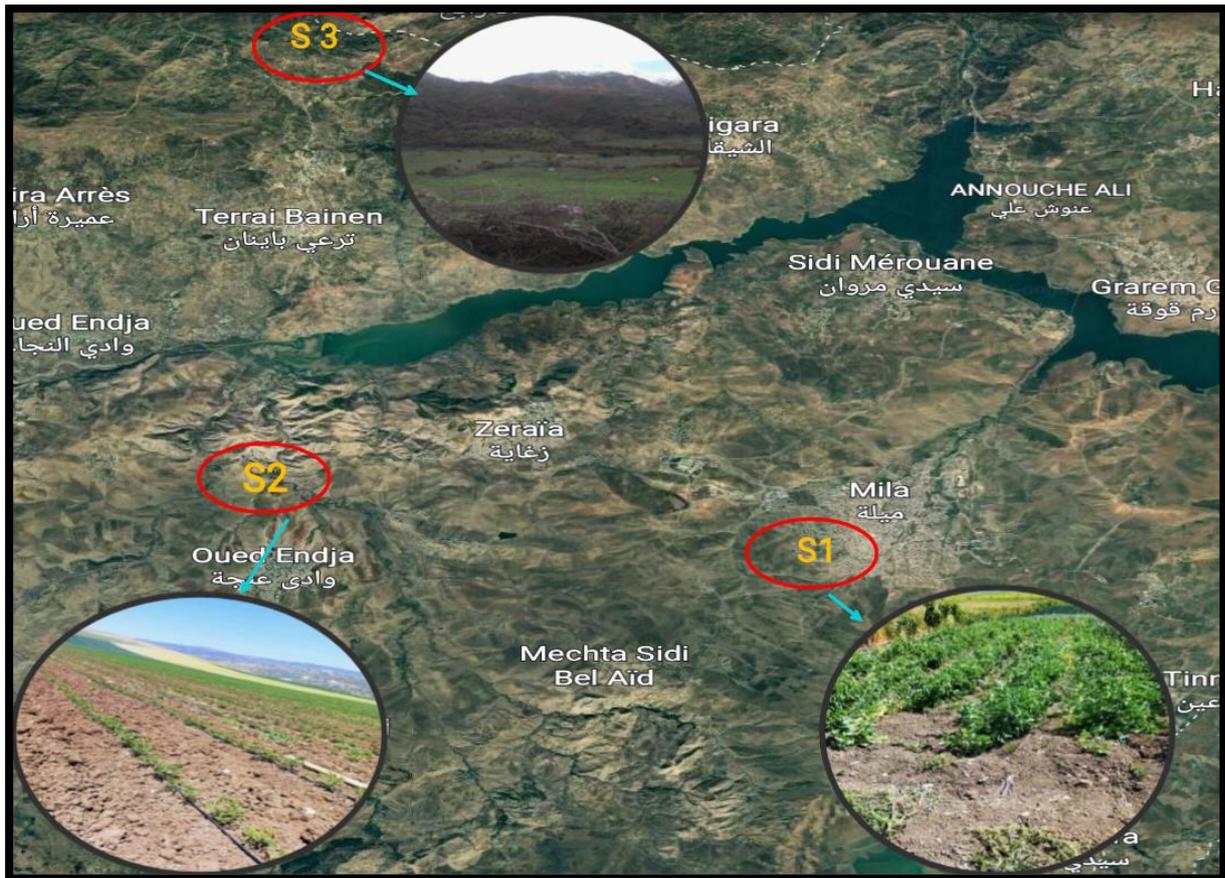


Figure 25 : Photo original des stations d'étude (**S1**: Station de Baba Rabah ; **S2**: Station de Machttat El-Kribssa ; **S3**: Station de Tarei Baynan).

III.2. Matérielset méthodes

III.2.1. Matériel utilisé sur le terrain

Pour prélever des échantillons de sol et les animaux qui y sont présents, nous avons utilisé les matériels suivants :

- Appareil photo pour la prise de vue ;
- Bêche et pelle pour l'ouverture des fosses pédologiques ;
- Flacon avec de l'alcool **70°** pour conserver les échantillons de faune ;
- Mètre ruban : pour dimensionner et intercaler les fosses ;
- Sachet en plastique : pour ensacher les échantillons du sol ;
- Des gants ;
- Une bassine pour trier le sol ;
- Des pinces entomologiques.

III.2.2. Matériel utilisé au laboratoire

Nous avons utilisé les outils suivants au laboratoire :

- Des boîtes de Pétri ;
- Un tamis ;
- Un pH-mètre ;
- Des boites en plastique ;
- Une étuve ;
- Une bécher ;
- Eau distillée ;
- Produits chimiques (l'alcool) ;
- Loupe binoculaire (pour identifier la faune) ;
- Balance de précision ;
- Des fioles.

III.3. L'analyse de la faune du sol

Il existe de très nombreuses méthodes, chacune d'elles étant plus ou moins adaptées à l'écosystème analysé. D'une façon plus générale le piégeage doit être : économique, rapide et facile à l'emploi (**Riba et Silvy; 1989**). Alors que, les échantillons ont été prélevés dans la couche superficielle du sol (**0-50 cm**) dans laquelle se concentre la plus grosse part de l'activité biologique du sol.

III.3.1. Prélèvement par les pièges Barber

L'étude de **Maelfait et Baert (1975)**, a montré que la méthode de piégeage par le piège BARBER est efficace pour étudier les insectes du sol. Selon **Khelil (1995)**, les pièges trappes ou les pots Barber permettent de capturer les animaux et la faune au sol (mésafaune). Ce piège est constitué d'un pot en plastique qui est planté dans le sol de manière à ce que ses bords affleurent à la surface du sol, afin de permettre aux faunes du sol de tomber directement dans le piège. Une solution d'eau, de détergent et de sel est ajoutée à un tiers du pot pour empêcher les animaux d'en sortir.

Ensuite, le piège est recouvert de carton qui s'élève légèrement de l'embouchure du pot, car il agit comme un toit pour éviter de le remplir lorsqu'il pleut, le piège est fixé dans le sol pendant **3 jours**, après le prélèvement de la faune du sol, cette dernière est placée dans de l'alcool pour être observée à l'aide d'une lentille ou d'un microscope et comptée.



Figure 26 : Photo original de piège Barber.

III.3.2. Prélèvement par les pièges quadrat

Notre étude est basée sur l'identification et l'évaluation de la pédofaune, pour cela une extraction a été réalisée selon la méthode **d'Anderson et Ingram (1993)**, dans laquelle sont prélevés de gros faune d'un diamètre supérieur à **2 mm**. Cette méthode consiste à définir un carré à la surface de la terre avec un marqueur blanc, la longueur de ses trois dimensions (longueur, largeur et hauteur) est de **50 cm** le carré est arrosée d'une solution de **10 litres** d'eau dans lesquels deux pots de moutarde fine et forte ont été dilués. En effet, la moutarde pique les pédofaune, ce qui les fait fuir vers la surface, de plus l'eau bouche les galeries. Les pédofaune n'ont donc plus d'oxygène et remontent alors à la surface. Le sol est extrait et divisé en **3 couches de (0-10cm), (10-30cm) et (30-50 cm)**. Au cours de laquelle les animaux sont manuellement triés et mis en alcool et emmenés au laboratoire afin de les identifier, puis de calculer le nombre d'individus dans chaque groupe et le nombre d'individus pour chaque parcelle étudiée.



Figure 27 : Photo original de piège quadrat.

III.3.3. Prélèvement par l'appareil de Berlèse

C'est une méthode sélective (dynamique) par lesquelles les microarthropodes (acariens, collemboles, et autres larves de petit insecte ptérygotes) sont récoltes sans l'intervention d'un opérateur (Amri, 2006). Pour appliquer cette méthode, nous avons placé un volume du sol sur un filet posé sur un entonnoir, ce dernier est placé sur un récipient opaque dans lequel il se trouve de l'alcool à 70°. Ce prélèvement est soumis à la chaleur d'une lampe. La lumière et la chaleur de la lampe font que les animaux du sol s'échappent vers le bas, ce qui les fait tomber dans l'alcool. Après plusieurs jours, les faunes sont versés dans coupelle en verre, où il est séparé sous la lentille, et ses animaux sont classés en groupes taxonomiques.

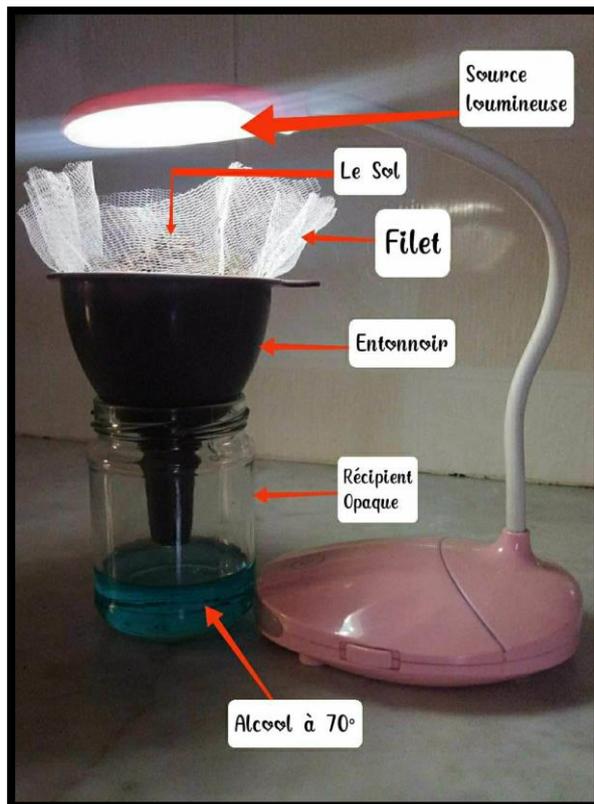


Figure 28 : Photo original de l'appareil de Berlèse.



Figure 29 : Loupe binoculaire pour observer la faune récupérée par le Berlèse.

III.4. Les analyses des sols

Les analyses ont été réalisées au laboratoire de l'Institut des Sciences et de la Technologie Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila. Après prélèvement, le sol est séché à l'air, puis broyée et tamisée avec un tamis de **2 mm** pour éliminer les éléments grossiers et les débris organiques et obtenir un sol fin, qui est stocké dans des sacs en papier avec référence. Tous les sacs préparés au préalable sont amenés au laboratoire afin de mesurer les différents paramètres du sol (pH, humidité, conductivité). Les méthodes d'analyse des sols choisies sont standards (Cambier *et al.*, 2009).



Figure 30 : Mortier et pilon.



Figure 31 : Tamis.

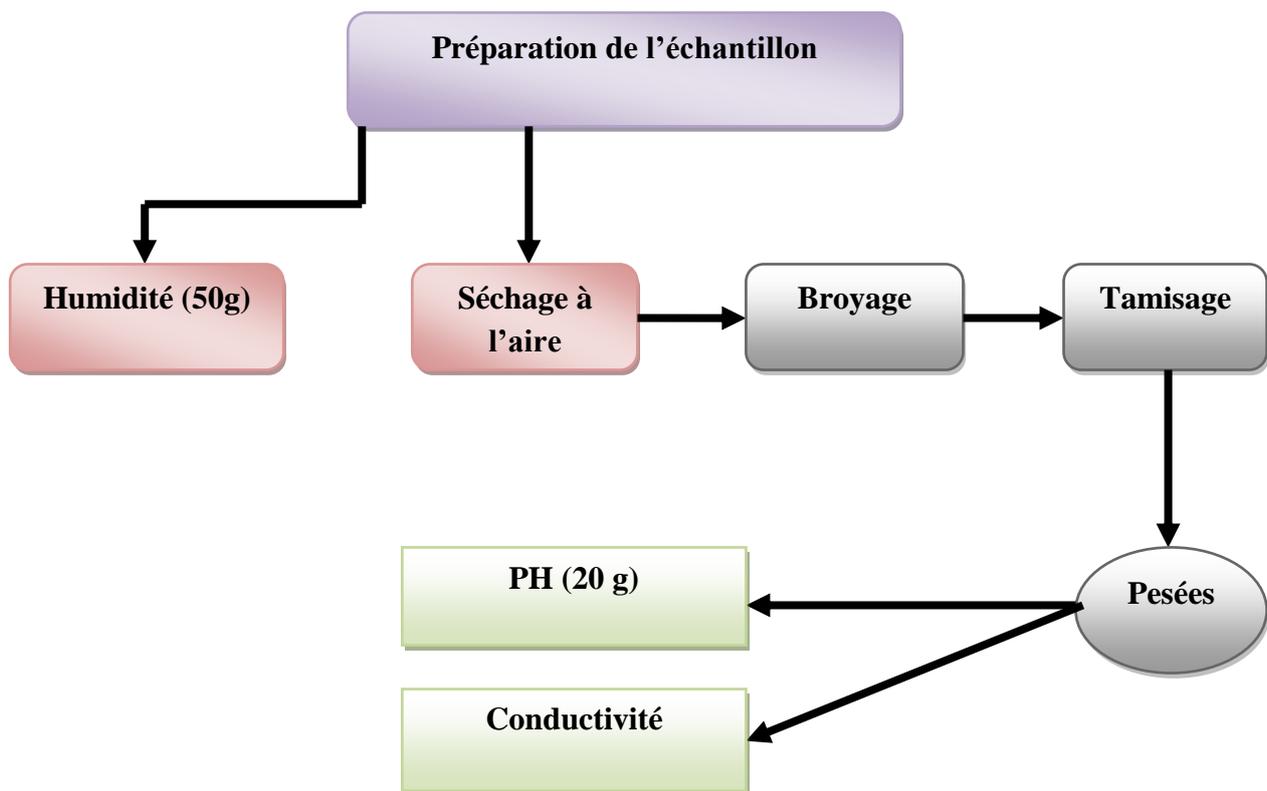


Figure 32 : Protocole expérimental.

III.4.1. pH

▪ Le principe

La mesure du pH a été effectuée sur un extrait 1/2.5 selon la méthode électro métrique à l'aide d'un pH-mètre de paillasse (**Mathieu et Pieltain; 2009**).

▪ Protocole

Les étapes utilisées pour déterminer le **pH** du sol suivent l'ordre suivant :

- Peser exactement **20 g** de sol ;
- Verser chaque échantillon dans un bécher que l'on notera **A** et **B** ;
- Ajouter **100 ml** d'eau distillé ;
- Introduire un barreau aimante dans le béchers ;
- Agiter les solutions pendant **15 minutes** à l'aide d'un agitateur magnétique puis laisse au repos **1 heure** ;
- Règler le **pH** mètre le calibrage se fait avec une solution tampon a **pH 7** alors nous rincerons à nouveau l'électrode a l'eau distillée ;
- Mesurer le pH de l'échantillon **B** avec le même **pH**.



Figure 33 : Poids de l'échantillon.



Figure 34 : Photo original de la lecture du pH.

III.4.2. Conductivité électrique (CE)

▪ Principe

La conductivité électrique (CE) représente le totale des selles solubles (Omeiri, 2008). elle est déterminée par un conductimètre à une température de 25°C avec un rapport sol/solution de 1/5 (Nanypetra *et al.*, 2013).

▪ Protocole

- Peser **20g** du sol de chaque échantillon (sol tamisé) ;
- Verser chaque échantillon dans un bécher que l'on notera **A** et **B** ; **C** ;
- Ajouter **100 ml** d'eau distillé dans les bécher **A**, **B** et **C** ;
- Introduire un barreau aimante dans le béchers ;
- Agiter les solutions pendant **15 Mn** à l'aide d'un agitateur magnétique puis laisse au repos **une** heure ;
- Faire la mesure de la **CE** par conductimètre.



Figure 35 : Photo original de l'agitation du sol.



Figure 36 : Photo original de la mesure de la conductivité électrique.

III.4.3. Humidité

▪ Principe

L'humidité est le rapport entre la masse de l'eau et la masse des graines solides contenues dans un certain volume du sol (**Baize, 1988**). La méthode consiste à sécher l'échantillon du sol à l'étuve à **105°C** jusqu'à un poids constant, la différence du poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau (**Ita, 1975**).

▪ Protocole

Afin de mesurer l'humidité du sol, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Apporter une capsule en verre, **P1** est le poids de la capsule vide (**g**) ;
- Mettre **50 g** de terre fine et Ajouter l'eau distillée jusqu'à obtenir un sol mouillé, **P2** est le poids de la capsule + sol mouillé (**g**) ;
- Couvrir la capsule et la mettons au étuve à une température **105°C** et laissons sécher pendant **24 heure** ;
- Retirerla capsule de l'étuve et la laisser refroidir ;
- Peser la capsule après refroidissement, soit **P3** le poids obtenu (capsule vide+sol sec après la sorte de l'étuve (**g**)) ;
- **P2-P3** correspond à la perte d'eau qu'ont subi les **50 g** de sol séchée ;
- **P3-P1** correspond le poids du sol sec ;
- L'humidité résiduelle **H** est exprimée en pourcentage massique et elle est calculée par la formulesuivante :

$$\text{Humidité (\%)} = (\text{Poids humide} - \text{Poids sec}/\text{Poids sec}) * 100.$$



Figure 37 : Préparation de prélèvement dans l'étuve.

III.5. Analyse par les indices écologiques

Dans la partie bioécologique de ce travail, on a eu recours à l'utilisation de plusieurs méthodes analytiques et synthétiques qui ont pour but de déterminer la dynamique spatio-temporelle de la faune du sol, et de dresser une liste faunistique globale pour tous les prélèvements effectués. Par la suite on s'est intéressé à la structure de cette faune. Pour l'exploitation des résultats, nous avons utilisé quatre indices écologiques de composition et trois indices écologiques de structure.

III.5.1. Indices écologiques de composition

Les indices de composition utilisés sont la richesse totale et moyenne, l'abondance relative ainsi que la fréquence d'occurrence.

III.5.1.1. Abondance relative (AR)

Elle correspond au nombre d'individus de l'espèce 'i' par rapport au total des individus de toutes les espèces "N" (Dajoz, 1971). Elle est exprimée par la formule suivante :

$$AR = (ni / N) * 100$$

AR% : Abondance relative ;

ni : Nombre d'individus de l'espèce ;

N : Effectif total des individus de toutes les espèces.

Fourie et al. (2003), annoncent que suivant la valeur de l'abondance relative d'une espèce animale les animaux seront classés de la façon selon l'**annexe 08**.

III.5.1.2. Fréquence d'occurrence (FO%)

Selon **Dajoz (1982)**, La fréquence d'occurrence est le rapport exprimé sous la forme d'un pourcentage du nombre de relevés contenant l'espèce **i** prise en considération par rapport au nombre total de relevés. D'après **Faurie et al. (2003)**, Elle est définie comme suite :

$$FO\% = (Pi/P) * 100$$

FO% : Fréquence d'occurrence ;

Pi : Nombre de relevés contenant l'espèce étudiée (**i**) ;

P: Nombre total de relevés effectués.

$$Pi = ni/N$$

En fonction de la valeur de **FO%**, les espèces sont classées comme suit :

FO = 100%	Espèces omniprésentes ;
FO > 75%	Espèces constantes ;
50% < FO < 75%	Espèces régulières ;
25% < FO < 50%	Espèces accessoires ;
5% < FO < 25%	Espèces accidentelles ;
FO < 5%	Espèces rares.

III.5.1.3. Richesse totale (S)

D'après **Ramade (1984)**, Le riches total est le nombre total d'espèce que compte le peuplement considéré dans un écosystème donné, C'est le nombre d'espèces obtenues après une série de relevés sur différentes stations (**Blondel, 1979**).

III.5.1.4. Richesse moyenne (Sm)

Correspond au nombre moyen d'espèces présentes dans un échantillon du biotope dont la surface a été fixée arbitrairement. Elles 'avère d'une grande utilité dans l'étude de la structure des peuplements (**Ramade, 2003**). Il est calculé comme suit :

$$S_m = \Sigma S / N$$

Sm : Richesse moyenne ;

S : Richesse de chaque relevé ;

N : Nombre de relevés.

III.5.2. Indices écologiques de structure

Les résultats de notre travail seront exploités par des indices écologiques de structure telque l'indice de diversité de Shannon (**H'**), la diversité maximale (**H' max**) et l'équitabilité (**E**).

III.5.2.1. Indice de Shannon-Weaver (H')

Selon **Blondel et al. (1973)**, L'indice de diversité de Shannon-Weaver est considéré comme le meilleur moyen de traduire la diversité. Il est calculé selon la formule suivante :

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

H : Est l'indice de diversité exprimé en unités bits ;

Log² : Est le logarithme à base 2.

Selon **Magurran (1988)**, La valeur de cet indice varie généralement entre **1.5** et **3.5**, et dépasse rarement **4.5**. Lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce, l'indice de diversité est égal à **0 bits**.

III.5.2.2. Indice de diversité maximale (H'max)

Correspond à la valeur la plus élevée possible du peuplement (**Mulleur, 1985**). Il est donné par la formule suivante :

$$H'_{\max} = \log_2 S$$

S : Est la richesse totale.

III.5.2.3. Indice d'équitabilité

Selon **Weesie et Belemsobgo (1997)**, L'indice d'équité correspond au rapport de la diversité observée (**H'**) à la diversité maximale (**H'max**). Elle est calculée par **Pielou (1966)**, comme suit :

$$E = H' / H'_{\max}$$

H' max = log S.

S: Est la richesse totale représente le nombre total des espèces présentes.

D'après **Ramade (1984)**, la valeur de l'équirépartition (**E**) varie entre **0** et **1**. Elle tend vers **0** quand la quasi- totalité des effectifs appartient à une seule espèce. Par contre, elle se rapproche de **1** lorsque chaque espèce est représentée par le même nombre d'individus.



Chapitre IV :

Résultats et

Discussions



Dans ce chapitre nous présentons les résultats et les discussions de l'ensemble des analyses effectuées sur le sol échantillonné dans les différentes stations d'étude ainsi que la composition et la structure de sa faune, en s'appuyant sur quelques indices écologiques.

IV.1. Résultats des analyses pédologiques

IV.1.1. La mesure du pH

Le **pH** du sol exerce une influence importante sur l'activité du sol, sur la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs, sur leur assimilation et la composition de la plante (Martin *et al.*, 2006).

La figure représente les caractéristiques statistiques du **pH** dans les trois stations d'étude durant 09 campagnes de prélèvement :

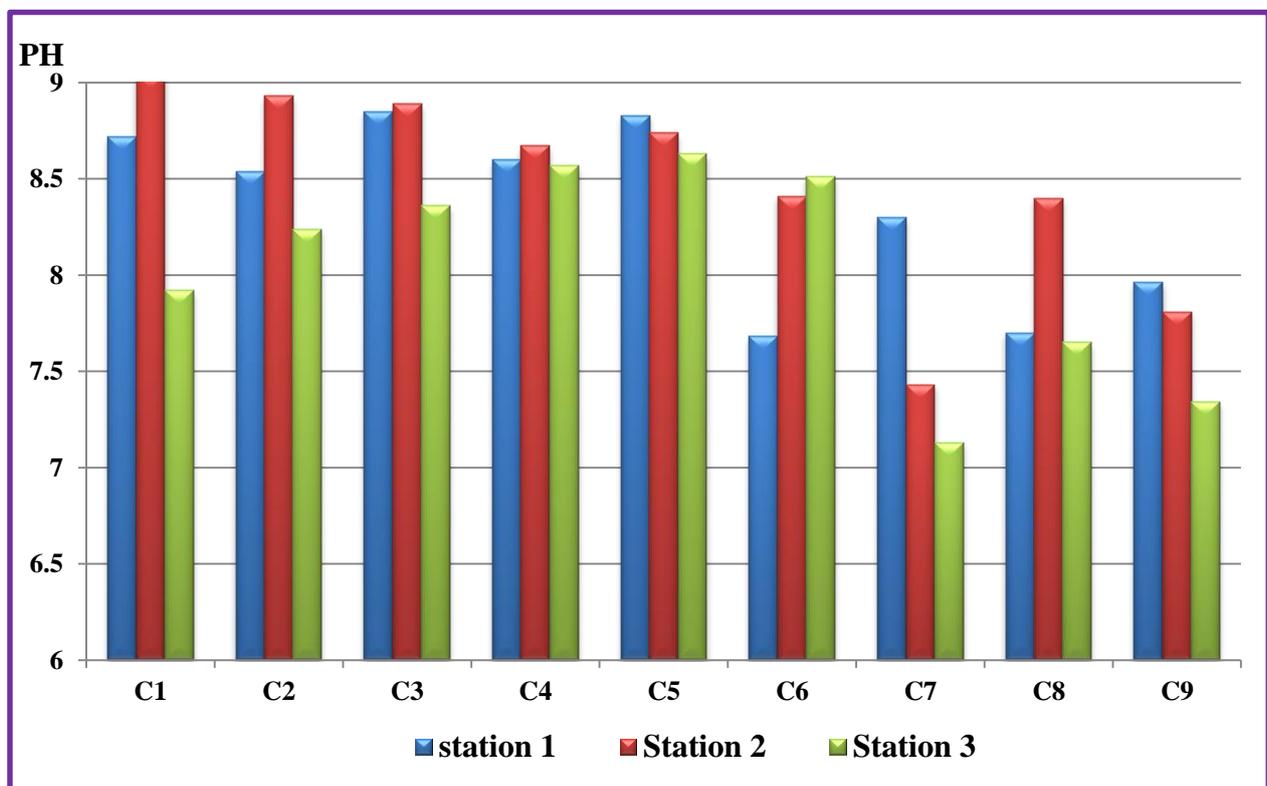


Figure 38 : Variation spatio-temporelle des valeurs de **pH** dans les trois sites d'étude (C : Campagne).

Selon la figure ci-dessus, la variabilité spatio-temporelle du pH est irrégulière dépassant dans son ensemble la valeur de **7**, indiquant la caractéristique basique du sol dans les trois sites d'étude. La **station 2**, enregistre un pourcentage de **77,77%** de sol échantillonné supérieur à **8**, la **station 1** avec **66,66 %** et à la dernière position, la **station 3** avec **55,55%**. Les valeurs du pH les plus élevées sont enregistrées dans les sols de la **station 2**, dont nous avons enregistré plus de **55 %** des échantillons qui sont très basiques (**pH > 8,5**). En se basant donc sur l'échelle du pH des sols de **Baize et Jabiol (1995)**, les sols des trois stations sont basiques à très basiques. Et d'après **Gaucher (1968)**, les sols étudiés peuvent être un support acceptable à toutes les cultures sauf aux espèces calcifuges, ce qui donne un milieu favorable pour l'activité des certains microorganismes (**Herisse, 2004**).

Tableau02 : Echelle de pH des sols (Baize et Jabiol; 1995).

pH	Appréciations
< 3.3	Hyper-acide
3.5 – 4.2	Très acide
4.2 - 5	Acide
5 – 6.5	Faiblement acide
6.5 – 7.5	Neutre
7.5 – 8.7	Basique
> 8.7	Très basique

IV.1.2. La conductivité électrique (ms/cm)

La conductivité électrique dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans le sol (**Guessoum, 2001**).

En observant la figure ci-dessous présentant les caractéristiques statistiques de la conductivité électrique dans les trois stations d'étude, les valeurs les plus élevées de CE sont enregistrés à la **station 2** dans l'ensemble des échantillons, dont les valeurs varient entre **2,8** et **4,55 (ms/cm)**, suivie par la **station 1** avec des valeurs variant entre **2** et **3,5 (ms/cm)**.

Cependant la **station 3** qui fait partie d'une terre riche en fertilisants organiques, enregistre les teneurs les moins élevées de minéralisation.

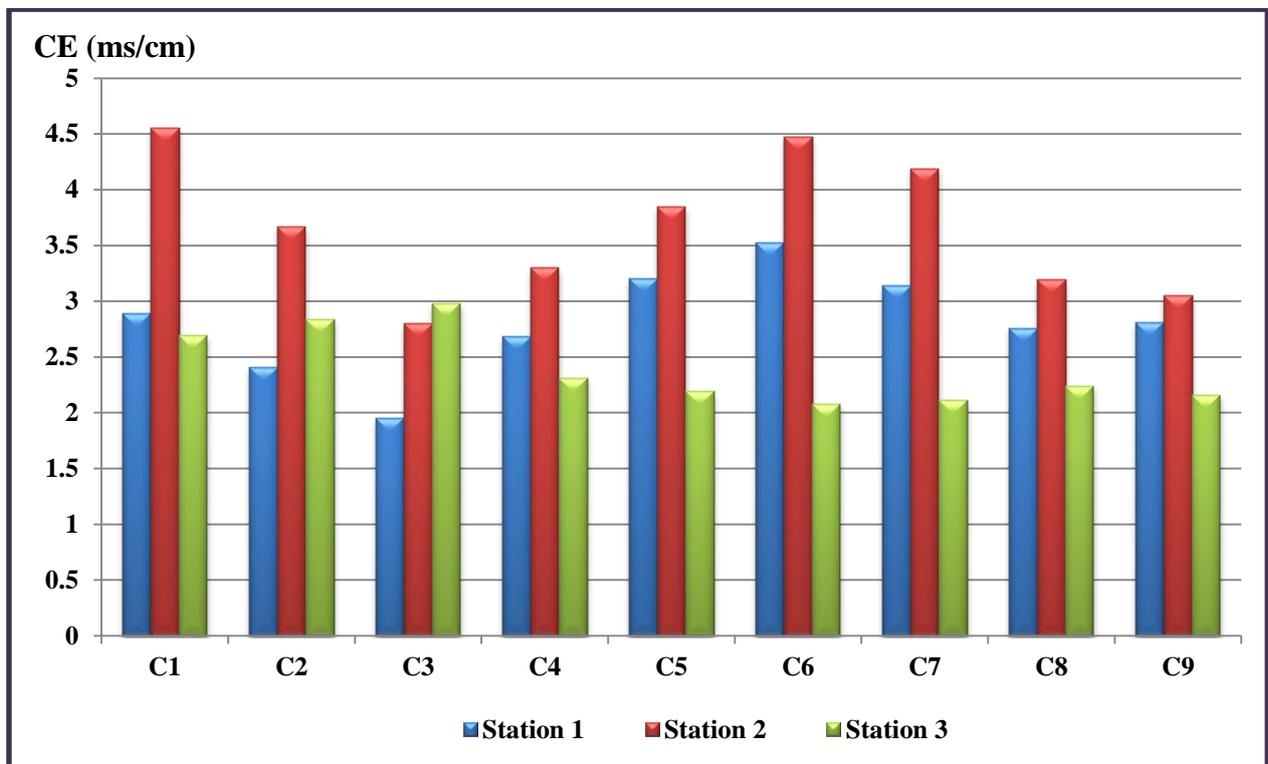


Figure 39 : Variation spatio-temporelle des valeurs de la conductivité électrique dans les trois stations d'étude (C : Compagne).

En se basant sur l'échelle de salure en fonction de la **CE** (Aubert, 1978). Le résultat obtenu, indique que le sol des trois stations est qualifié entre salé et très salé. Ce qui explique une certaine richesse du sol étudié en sels minéraux. Selon **Le Clech (2000)**, ainsi **Khabtone (2010)**, ont rapporté que les sols salés ont une influence négative très significative sur l'abondance de certains invertébrés du sol comme les collemboles et les acariens (**Bachelier, 1978**). Selon **Dellal (1994)**, la densité des organismes est plus élevée dans les sols non salés, alors qu'une forte salinité exerce une action d'inhibition de l'activité des organismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la dégradation de la matière organique. Donc le sel influe sur l'activité biologique du sol (**Gallili, 1980**).

Tableau03 : Echelle de salure en fonction de la CE (Aubert, 1978).

CE (mS/cm)	Appréciations
< 0.6	Non salé
0.6 - 1.2	Peu salé
1.2 - 2.4	Salé
2.4 - 6	Trés salé
> 6	Extrêmement salé

IV.1.3. L'humidité du sol

L'humidité est considérée comme un élément clé pour surveiller la croissance de la végétation, prédire la production agricole, améliorer la gestion des ressources en eau ; mieux comprendre les processus de transferts d'eau et de chaleur dans l'interaction entre surfaces continentales et l'atmosphère (Truong, 2010).

En générale, l'humidité du sol dépend des apports d'eau et des précipitations. Dans les trois sites d'études aucune source d'irrigation n'a été utilisée. Donc la présence d'eau est liée aux apports des précipitations de l'année en cours et à la capacité de chaque sol à retenir de l'eau. D'après le graphe, présentant la variation moyenne mensuelle de l'humidité du sol, les **stations 2 et 3** sont les plus humides (**Station3 > Station2 > Station1**). Cette variation de la teneur en eau dans le sol peut s'expliquer par la baisse des précipitations pendant cette période et la chaleur enregistrée au début de cette année.

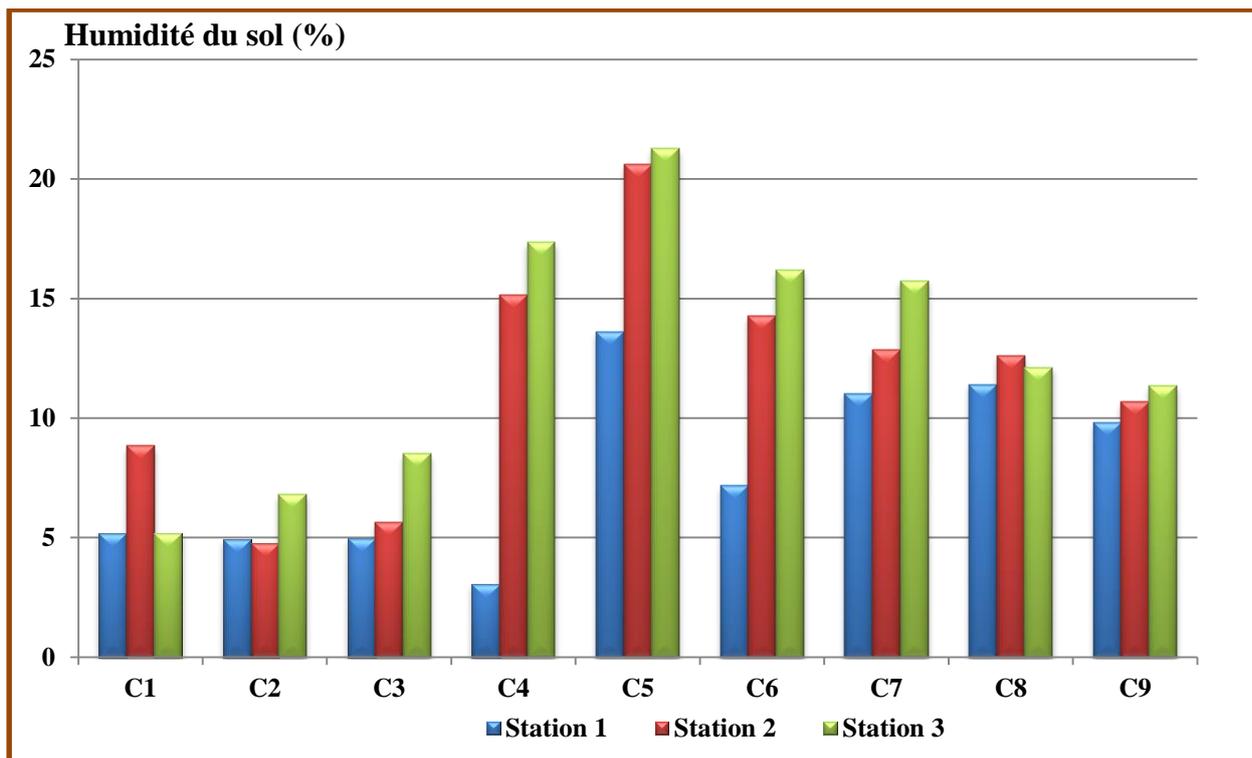


Figure 40 : Variation spatio-temporelle des valeurs de l'humidité dans les trois stations (C : Compagne).

Selon le référentiel pédologique **Guyot et al. (1987)**, Chaque culture à besoin d'un certain seuil en eau dans le sol. Un dépassement de ce seuil peut constituer un danger pour sa croissance alors qu'une valeur plus faible peut dessécher le sol. Du même **Morel (1989) et Khemgani (2005)**, mentionnent que l'humidité règle l'activité biologique de plusieurs manières : elle intervient directement puisque l'eau est indispensable au développement des organismes vivants ; ou indirectement en modifiant les échanges gazeux et en transportant verticalement ou horizontalement diverses substances).

IV.2. Analyses biologique

IV.2.1. Densité de la faune du sol dans les sites d'étude

Notre étude s'est portée sur le fait de comprendre la relation entre la densité de chaque groupe d'individus en relation directe et/ou indirecte avec les propriétés physico-chimiques de chaque sol sous cultures et variations climatiques.

Selon le **tableau 04**, la variation spatio- temporelle, indique l'existence d'une irrégularité de la distribution de la faune entre les trois stations. Le dénombrement de la faune du sol nous a permis de recenser un total **743** individu répartis en **10** groupes taxonomiques : **Coléoptères, Fourmis, Secernents, Lombrics, Escargots, Diptères, Collembols, Dermoptères, Myriapodes, Arachnides.**

La valeur de l'abondance la plus élevée étant enregistrée dans la **station 3** avec une moyenne de **315 ind/ 50 cm²**, puis la **station 1** avec une moyenne de **271 ind/ 50 cm²**, suivi par la **station 2** avec une moyenne de **157 ind/ 50 cm²**. Les sont les plus fréquents avec le nombre d'individu le plus élevé **St1 > St3 > St2**. Les **Fourmis** avec le classement de **St1 > St3 > St2**. Les **Secernenta** viennent en troisièmes position avec l'ordre de **St2 > St1**. Les **Lombrics** viennent en quatrième position avec l'ordre de **St3 > St1**. Les **Escargots**, les **Diptères**, les **Collembols**, les **Dermoptères**, et les **Arachnides**, sont moins présents. La faune du sol était qualitativement pauvre et peu diversifiée ; ceci peut être expliqué par la faible humidité du sol liée probablement à la faible pluviosité et les hausses températures enregistrées au cours de cette année (janvier à mai **2023**).

Tableau 04 : Variation spatio-temporelle du nombre d'individu des différents taxons rencontrés dans les sites d'études.

Nombre d'individu				
Ordre	St1	St2	St3	Total
Coléoptères	84	45	67	196
Fourmis	92	7	52	151
Secernentes	0	90	2	92
Lombrics	02	0	85	87
Escargots	35	0	27	62
Diptères	8	11	38	57
Collembols	43	0	13	56
Dermapters	5	4	17	26
Myriapods	1	0	12	13
Arachnids	1	0	2	3
Total	271	157	315	743

En outre et selon la figure ci-dessous, les campagnes les plus actives en pédafaune sont celles collectées le mois de janvier et février dans l'ensemble des terres étudiées. Les autres campagnes sont moins actives, ce-ci se concorde bien avec les faibles précipitations durant cette période de l'année, selon **Reeves (1969)**, les variations d'humidité déterminent les variations verticales de la faune. En plus, la taille et la fécondité des **Arthropodes** varient également avec la température. En règle générale, plus la température de développement augmente et plus les **Arthropodes** sont petits (**Atkinson, 1994**) et produisent moins d'oeufs (**Honěk, 1993**).

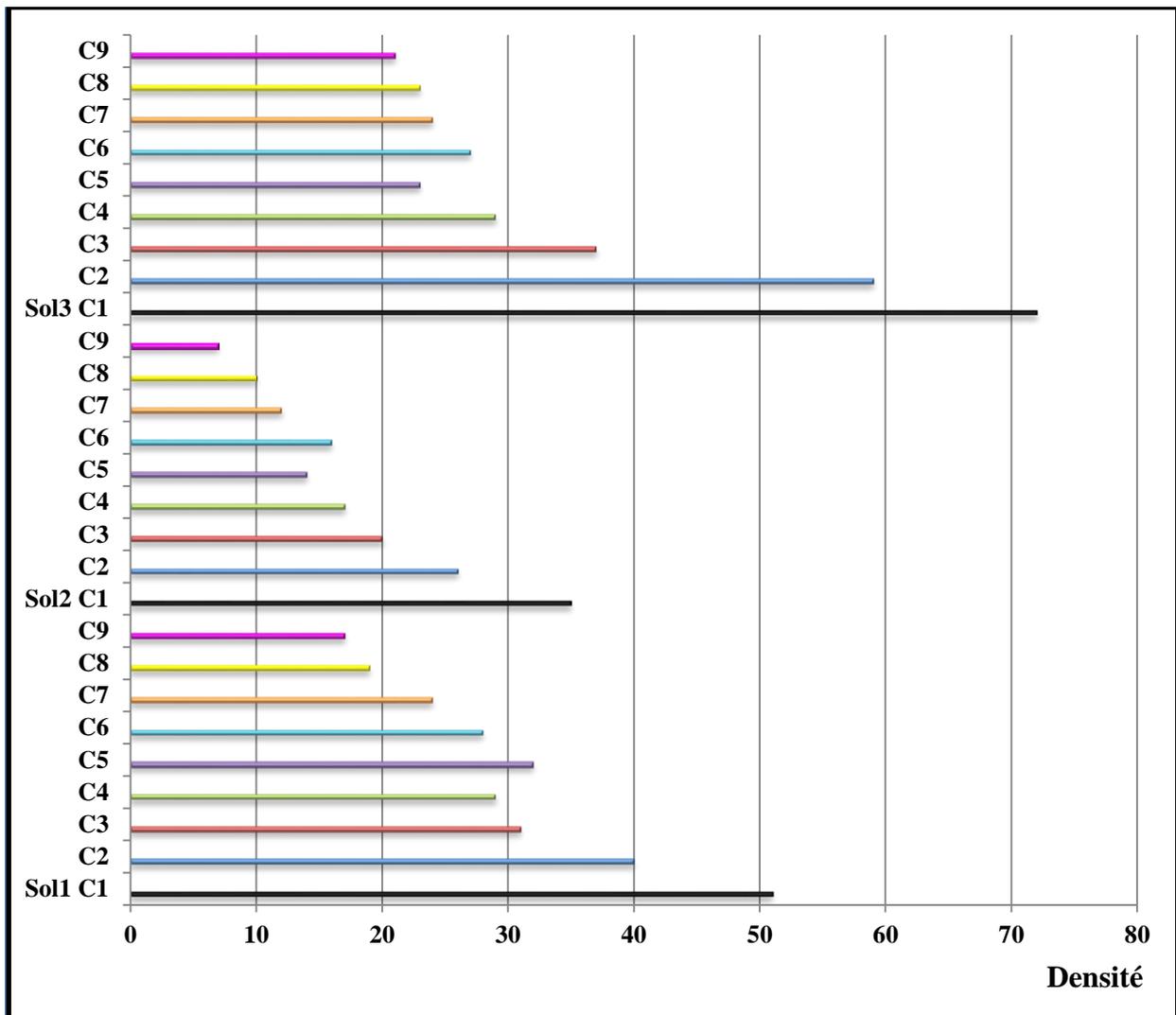


Figure 41 : Variation spatio- temporelle de la densité des taxons rencontrés durant les campagnes de prélèvement.

Selon **Petersen et Luxton en 1982**, Divers facteurs peuvent influencer sur la composition, l'abondance relative et la dynamique des faunes du sol. Il s'agit notamment des interactions biotiques telles que la présence ou l'absence de la matière organique (**Eaton et al., 2004**) ; les caractéristiques physiques de l'environnement du sol telles que la température, l'humidité, le compactage (**Larsen et al., 2004**) et l'acidité (**Filser, 2002**) ; ainsi que les caractéristiques chimiques des sols (**Moldenke et Thies; 1996**). Selon **Stengel (1990)**, la structure du sol varie dans l'espace et le temps. Les différents groupes biologiques qui vivent dans le sol (végétaux, animaux et microorganismes) contribuent à l'établissement d'une structure stable (**Oades, 1993**). La distribution de la pédofaune de sol est généralement diversifiée et leur densité fluctue également en fonction des facteurs abiotiques et des modes d'utilisation des terres du sol.

IV.2.2. Abondance relative de la faune des sols étudiés

Le nombre d'individus des différentes espèces est variable d'un sol à l'autre. Les groupes les plus abondants dans les différents sites sont : les **Coléoptères**, les **Fourmis**, les **Secernentes**, les **Lombrics**. Ce sont les groupes caractéristiques du milieu humide. **Cluzeau et Vigot en (2014)**, ont montré que les **Lombric** sont principalement actifs en sortie d'hiver, début de printemps et en automne. Par ce que, le sol doit être suffisamment humide et a une température d'environ **10°C** (optimum de **12°C**). De même **Alfred (1994)**, a mentionné que l'activité du **Secernente** est liée à la présence d'humidité et que les individus se déplacent généralement dans le sol ou sur les plantes recouvertes d'une pellicule d'eau. L'abondance relative de la faune des trois stations est présentée comme suit :

❖ La station 1

Le travail du sol de cette station dépourvue d'engrais chimique a révélé l'abondance de cinq groupement taxonomique : les **Hyménoptéra** avec le pourcentage le plus élevé (**33.94%**), suivi par les **Coléoptéra** avec le pourcentage de **30.99%**. Cependant, les **Entomobryomorpha** se manifestent avec **15.12%**, alors que le pourcentage **12.91%** est attribué aux **Stylonomatophora**. Les autres taxons sont moins représentés avec **7.04%** de pourcentage (**fig. 42**).

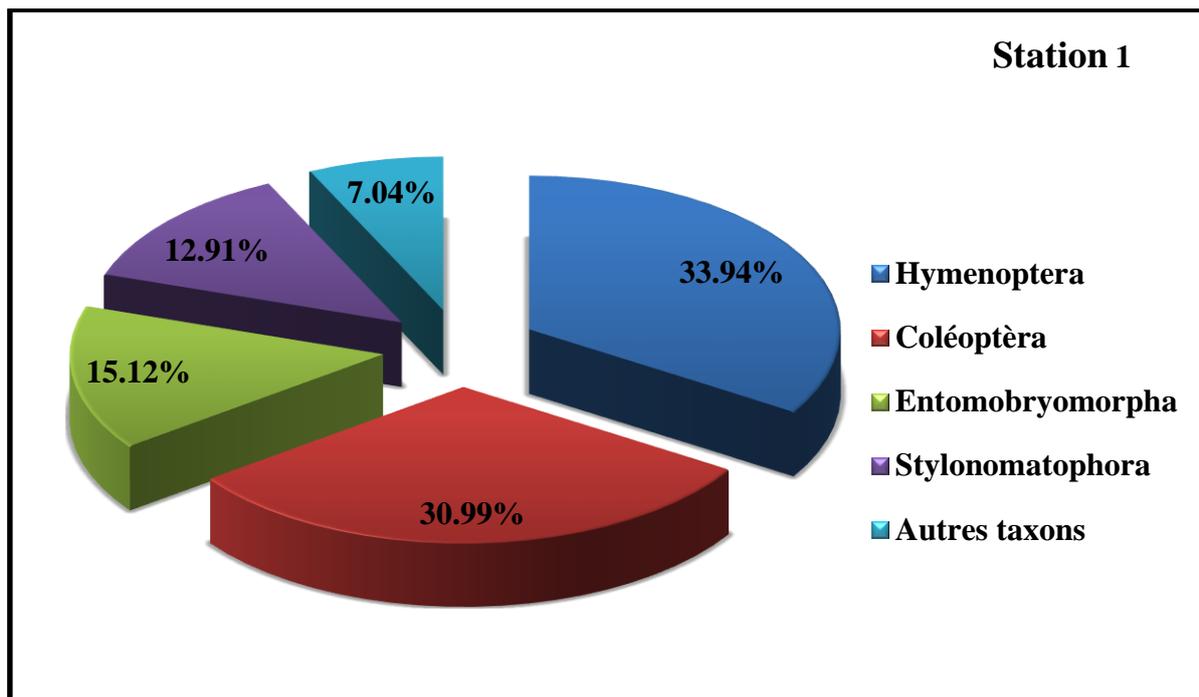


Figure 42 : Contribution de la faune dans la composition d'une terre agricole dépourvue d'engrais chimiques.

❖ La station 2

Pour cette station riche en engrais chimiques, les taxons, les plus abondants sont les **Aphelenchida** avec le pourcentage le plus élevé (**57.3%**), suivi par **28.7%** de **Coléoptère**. Contrairement aux **Diptéra**, **Hyménoptère**, **Dermaptère** qui sont moins abondants et ne représentent respectivement que **7%**, **4.5 %** et **2.5%**.

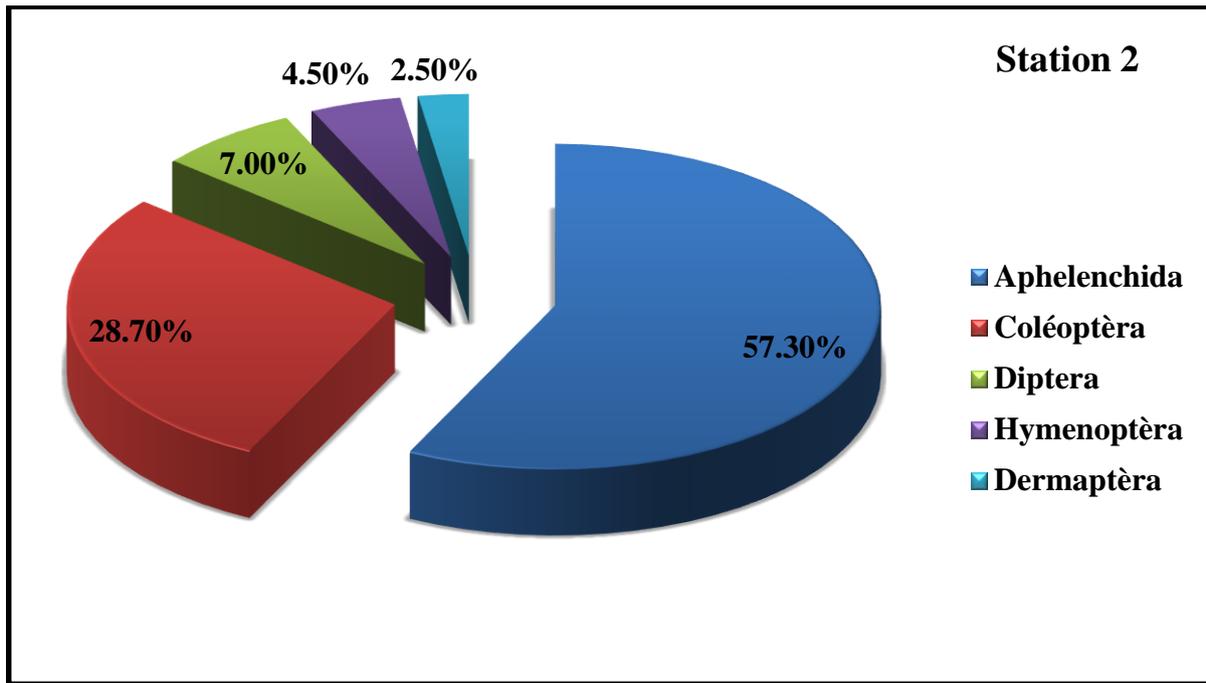


Figure 43 : Contribution de la faune dans la composition d'une terre agricole riche en engrais chimiques.

❖ La station 3

Le sol de cette station riche en fertilisants organiques, indique une dominance nette de taxon des **Haplotaxida** avec un pourcentage de **26.99%**, suivi par **Coléoptère** et **Hyménoptère** avec respectivement un pourcentage de **21.27%** et **16.51%**, aux quels s'ajoutent les **Diptère** avec **12.06%**. Le taxon de **Stylonomatophora** se manifeste avec un pourcentage de **8.57%** tandis que les autres taxons se présentent avec un pourcentage non négligeable de **14,6%**.

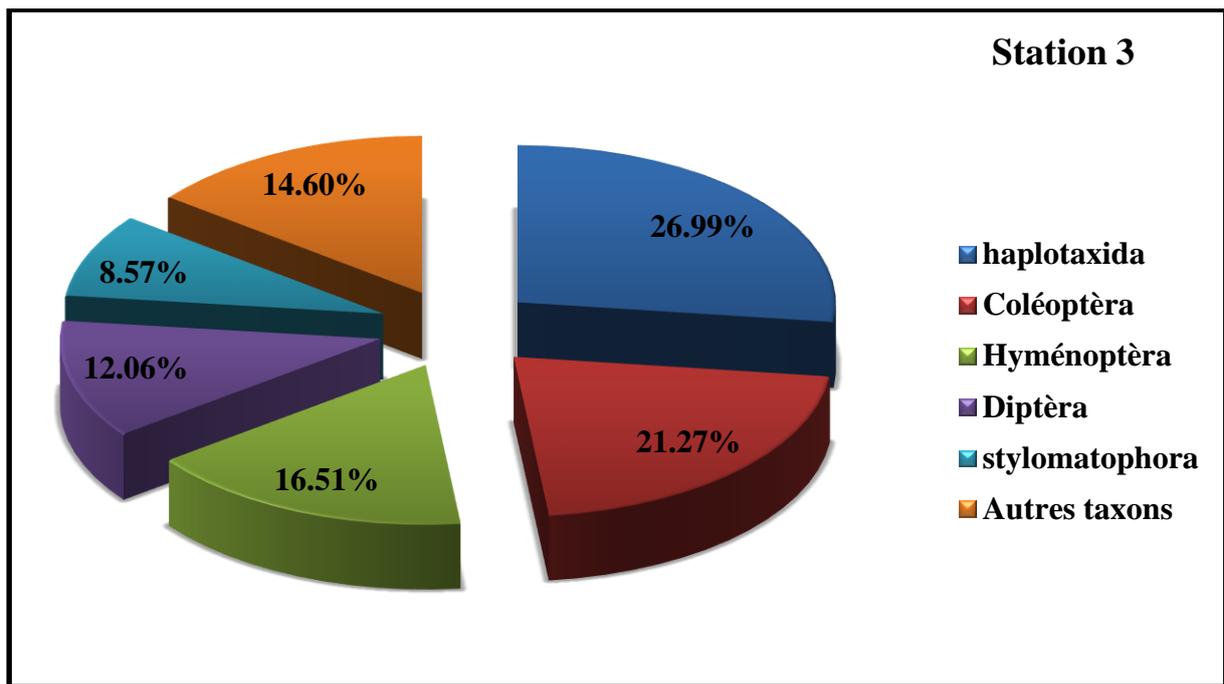


Figure 44 : Contribution de la faune dans la composition d'une terre agricole riche en fertilisants organiques.

IV.2.3. La fréquence d'occurrence (FO %)

Selon le tableau ci-dessous, la faune du sol peut être classée en deux grands groupes :

- ❖ **Espèces dominantes ou espèces constantes :** dont la fréquence d'occurrence est supérieure à **50%**. Elles constituent les éléments les plus dominants dans tous les peuplements recensés. Dans les stations d'étude les ordres des **coléoptère**, **dermoptère**, **diptère** et **hyménoptère** sont les plus occurrentes (**100 %**). Elle est qualifiée d'espèce à large valence écologique, eurytherme, colonisant tous les types d'habitats, tandis que les **Aphelenchida**, **Entomobryomorpha**, **Haplotaxida**, **Paupoda**, **Sarcoptiforma**, **Stylomatophora**, **Symphyleona** présentent un pourcentage d'occurrence à **67%** ;
- ❖ **Espèces peu abondantes et fréquentes :** ce sont en général les espèces à populations peu denses qui présentent des fréquences d'occurrence comprises entre **25** et **50%**. L'ordre de **Chilopoda** présente l'indice d'occurrence de **33 %**. Ces espèces sont qualifiées d'espèces sténothermes et moins eurythermes.

Tableau 05 : La fréquence d'occurrence (**FO %**) de la faune du sol dans les stations d'étude.

Ordre	Pi	FO%	Catégorie
Aphelenchida	2	67%	Régulière
Chilopoda	1	33%	Accessoire
Coléoptère	3	100%	Omniprésente
Dermaptère	3	100%	Omniprésente
Diptéra	3	100%	Omniprésente
Entomobryomorpha	2	67%	Régulière
Haplotaxida	2	67%	Régulière
Hyménoptère	3	100%	Omniprésente
Paupoda	2	67%	Régulière
Sarcoptiforma	2	67%	Régulière
Stylomatophora	2	67%	Régulière
Symphyleona	2	67%	Régulière

IV.2.4. La richesse spécifique totale (S) et la richesse spécifique moyenne (Sm)

Les valeurs des richesses totales (**S**) et richesses moyennes (**Sm**) donnent une idée sur la diversité de la faune du sol grâce à des différents types de capture de toutes les espèces existantes dans les terres étudiées. La richesse la plus élevée a été enregistrée dans le sol riche en fertilisants organique (**station 3 : 12 ± 4**), suivi par le sol dépourvu d'engrais (**Station 1 : 10 ± 3.33**) ; alors que, la plus faible richesse spécifique a été observée dans le sol riche en engrais chimiques (**station 2 : 5 ± 1.66**).

Ces résultats indiquent que le sol riche en engrais organiques enregistre une richesse totale plus élevée, et cela est dû au fait qu'il contient de la matière organique, qui est l'un des principaux facteurs de l'existence de la faune du sol. La richesse est moins dans le sol riche en engrais chimiques car il contient des pesticides. L'utilisation de ces pesticides contribue à la réduction de la vie dans les sols. Toutefois, toutes les terres agricoles ont enregistré une faible richesse spécifique. Du fait que, les pratiques agricoles, tendent à diminuer la quantité et la diversité des organismes du sol par le labour, les pesticides, la déstructuration du sol, la diminution de la teneur en matière organique, la réduction de la biodiversité végétale et le fait que le couvert végétal est souvent discontinu dans le temps (cas des cultures annuelles) (Crittenden *et al.*, 2014).

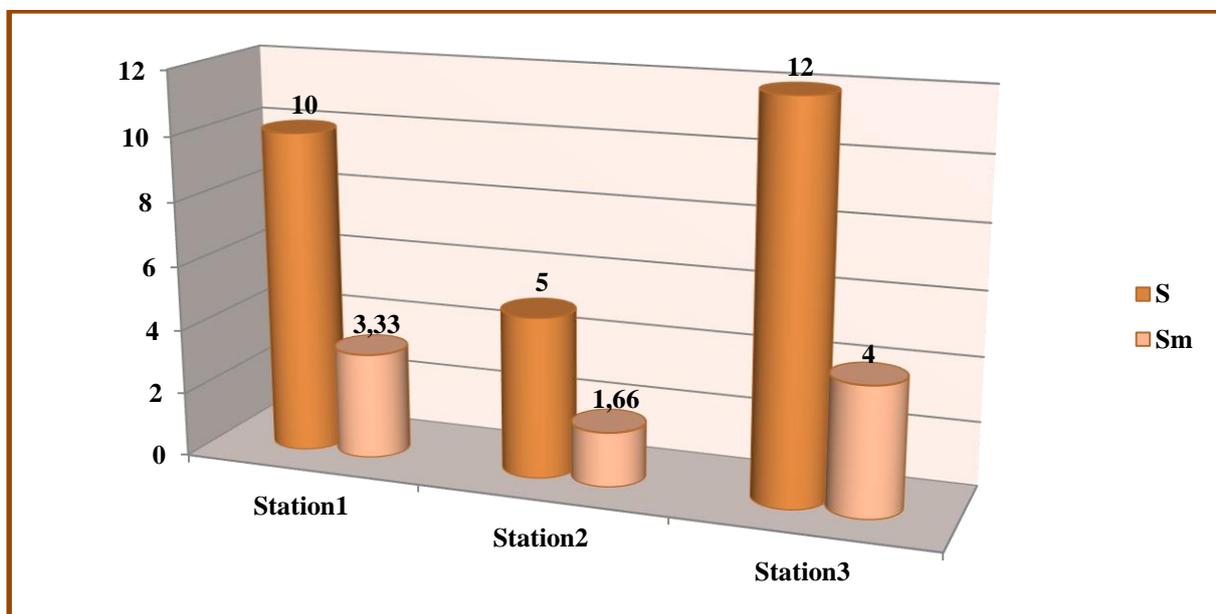


Figure 45 : La richesse totale et moyenne de la faune du sol.

Orgiazzi *et al.* (2015), ont montré que la distribution hétérogène des organismes du sol est contrôlée par diverses variables physico-chimiques du sol. Ainsi, Cassagne *et al.* (2003) ont confirmé que la richesse et l'abondance de la pédofaune sont contrôlées par des facteurs locaux tels que le type d'humus, le pH, l'humidité et la constitution chimique du sol.

IV.2.5. Composition et diversité globale de la zone d'étude

Selon l'inventaire réalisé durant la période d'étude et dans les différents sites, nous avons pu recenser au total **17** espèces avec une fréquence de **743** individus ; appartenant à **4** embranchement : les **Annélides**, les **Mollusques**, les **Nématodes** et les **Arthropodes**.

Ces derniers englobent **7** classes avec **12** ordres et **15** familles différentes. Les **Nématodes** et les **Annélides** sont représentés par la classe de **Secernenta** et **Oligocheta** respectivement avec une contribution de **12.38%** et **11.70%** des individus recensés. Les **Arthropodes** ont contribué avec un pourcentage de **65.82%**, en regroupant l'ordre des **Coléoptères** (**26.38%**) avec la dominance des classes d'**Insecta**. Ces dernières sont présentées par la *Ténébrion meunier* (**9.15%**), *Staphylinus sp* (**8.21%**), *Hanneton commun* (**5.25%**) et *Pimelia grandis* (**3.77%**). L'ordre de **Hyménoptère** avec un pourcentage de **20.33%**, composé de *Componotus vagus* (**14%**) et *Babarus sp* (**6.33**). Seule, la classe des **Insecta** est la mieux représentée par **9** espèces (**52.94%**) et **430** individus. Les autres classes avec des contributions plus basses.

Tableau 06 : Liste global des espèces recensées dans les différentes stations d'étude.

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Espèce	Nombre total d'individu	Proportion (%)
Annelida	Oligocheta	Haplotaxida	Lumbricidae	<i>Lombric commun</i>	87	11.70%
Arthropoda	Arachnida	Sarcoptiforma	Sarcoptidae	<i>Sarcoptes scabiei</i>	3	0.40%
	Collembola	Entomobryomorpha	Entomobryidae	<i>Entomobrya albocincta</i>	50	6.73%
		Symphyleona	Sminthurididae	<i>Sminthuridini</i>	6	0.81%
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	<i>Pimelia grandis</i>	28	3.77%
			Tenebrionidae	<i>Ténébrion meunier</i>	68	9.15%
			Scarabaeoidea	<i>Hanneton commun</i>	39	5.25%
			Staphylinidae	<i>Staphylinus sp</i>	61	8.21%
		Dermaptera	Forficulidae	<i>Forficulidae sp</i>	26	3.50%
		Diptera	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	33	4.44%
				<i>Syrphidae sp</i>	24	3.23%
		Hymenoptera		<i>Babarus sp</i>	47	6.33%
	<i>Componotus vagus</i>			104	14%	

	Myriapoda	Chilopoda	Geophilidae	<i>Geophilus carpophagus</i>	7	0.94%
		Pauropoda	Afrauropodidae	<i>Pauropodus</i>	6	0.81%
Mollusqua	Gasteropoda	Stylomatophora	Helicidae	<i>Helicidae sp</i>	62	8.35%
Nematoda	Secernentea	Aphelenchida	Aphelenchidae	<i>Aphelenchus avenae</i>	92	12.38%
4	7	12	15	17	743	100%

IV.2.6. Les indices écologiques

Afin de mettre en évidence la diversité de la faune du sol durant le période d'étude, nous avons exploités les résultats par des indices écologiques.

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon-Weaver et la diversité maximale la plus élevée est enregistrée dans le **site 3** avec **H' =1.68 bits** et **H' max = 3.61 bits** suivie par celle enregistrée dans le **site 1** avec **H' =1.54 bits** et **H' max = 3.01 bits** et la plus faible est enregistrée dans le **site 2** avec **H' =1.04 bits**, **H' max = 1.5 bits**. Ces valeurs sont assez faibles traduisant la faible diversité des terres étudiées. Concernant la diversité de Shannon-Weaver nos résultats sont légèrement faibles à ceux obtenus par (**Lekcir et Simoud; 2022**) sur les berges des oueds et du barrage de Béni Haroun (**H' = 2.89± 3.85 bits**).

Les valeurs de l'équitabilité montrent des valeurs faibles dans les trois types de sol : **S1 (0.48)**, **S2 (0.69)** et **S3 (0.47)**, toutes les valeurs sont inférieurs au seuil retenu par **Daget (1979)**, comme indice d'un peuplement équilibré, soit **0.80**, n'a été atteint dans aucun sol (**0.47 ≤ E ≤ 0.69**). Les assemblages d'invertébrés sont moins diversifiés dans les plantations que dans la végétation naturelle, en grande partie à cause de la simplicité structurale relative des premières (**Hobb et al., 2002**).

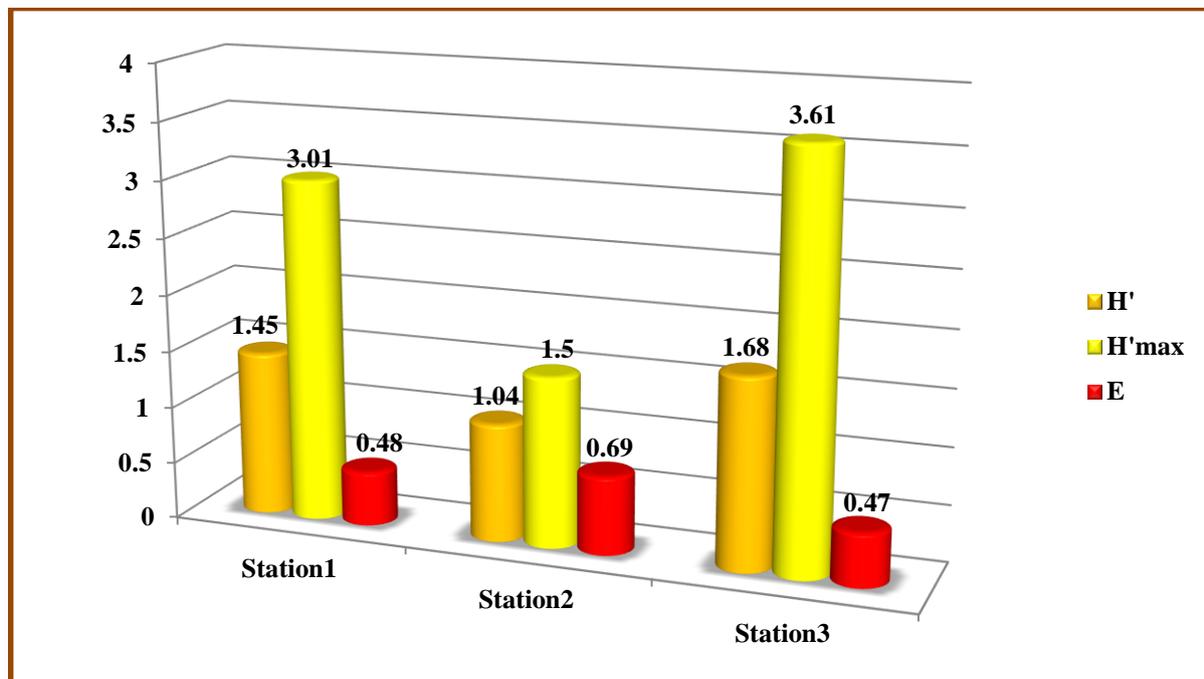
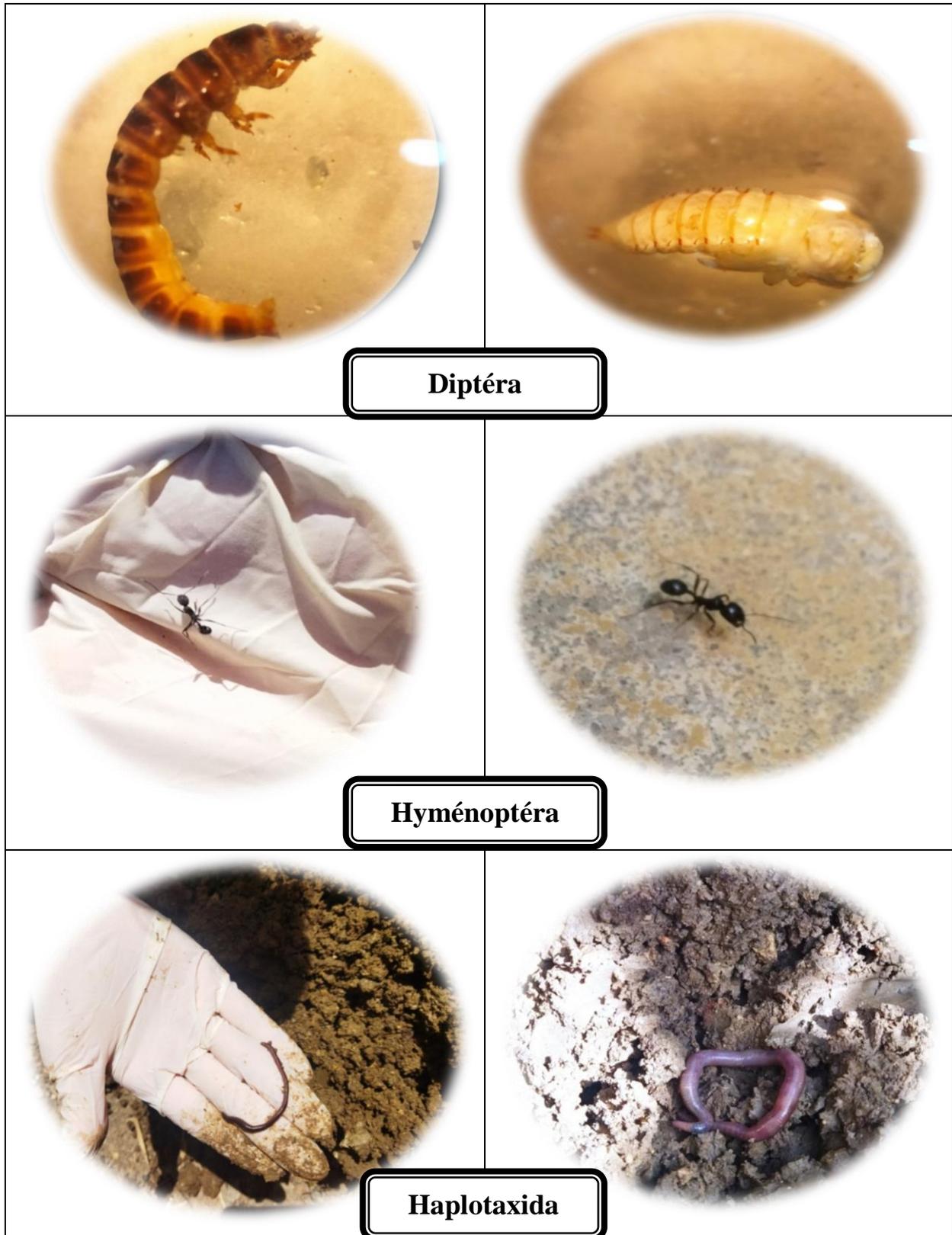


Figure 46 : Variation des indices de diversitéde Shannon et d'Equitabilité.

Et à la fin nous exposons liste des photographies des espèces rencontrées durant la période d'étude dans le tableau 07.

Tableau 07 : Liste des photographies des principaux taxons rencontrés dans la zone d'étude.





Aphelenchida



Collembola



Larve de coléoptéra



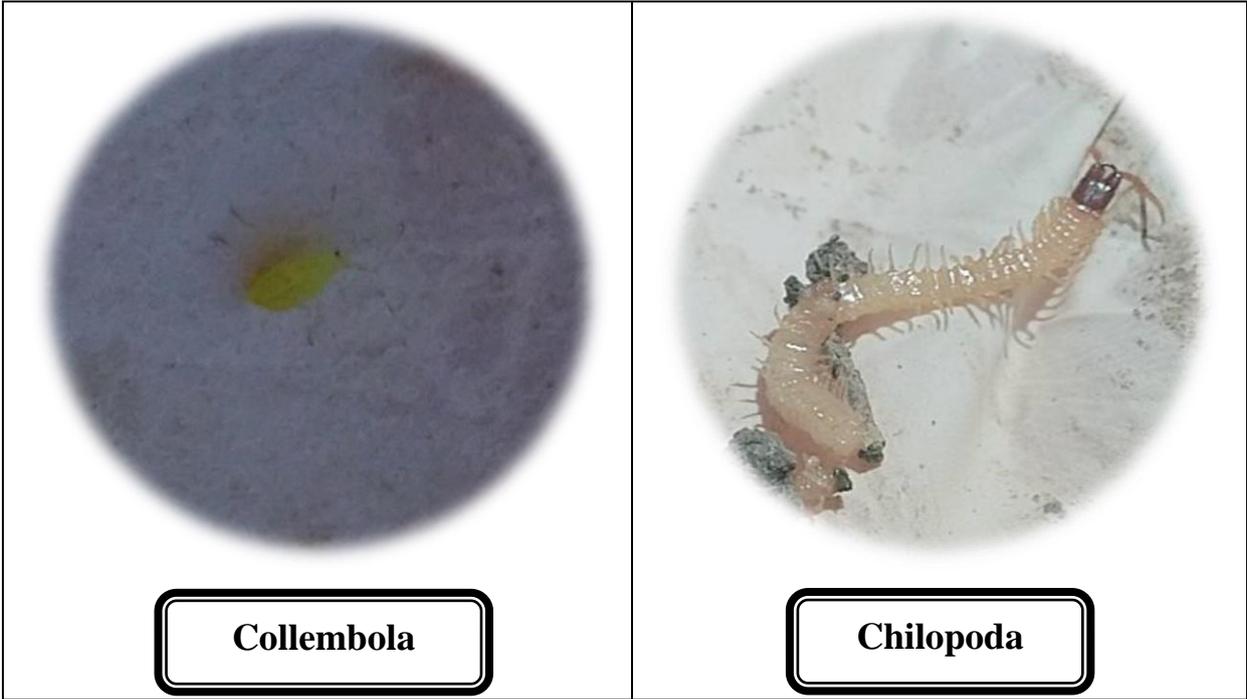
Coléoptéra



Stylomatophora



Arachnida



Conclusion

Générale



Conclusion

Notre étude a été menée dans trois stations agricoles situées dans la wilaya de Mila. La période d'échantillonnage s'étend sur cinq mois du **1^{er} janvier 2023** au **1^{er} mai 2023**. L'échantillonnage est réalisé sur un pas de deux sorties par mois afin d'en calibrer les propriétés physiques et chimiques, puis nous nous sommes penchés sur la composition, la structure et le comportement de la faune du sol sous l'influence des changements spatiaux et temporels.

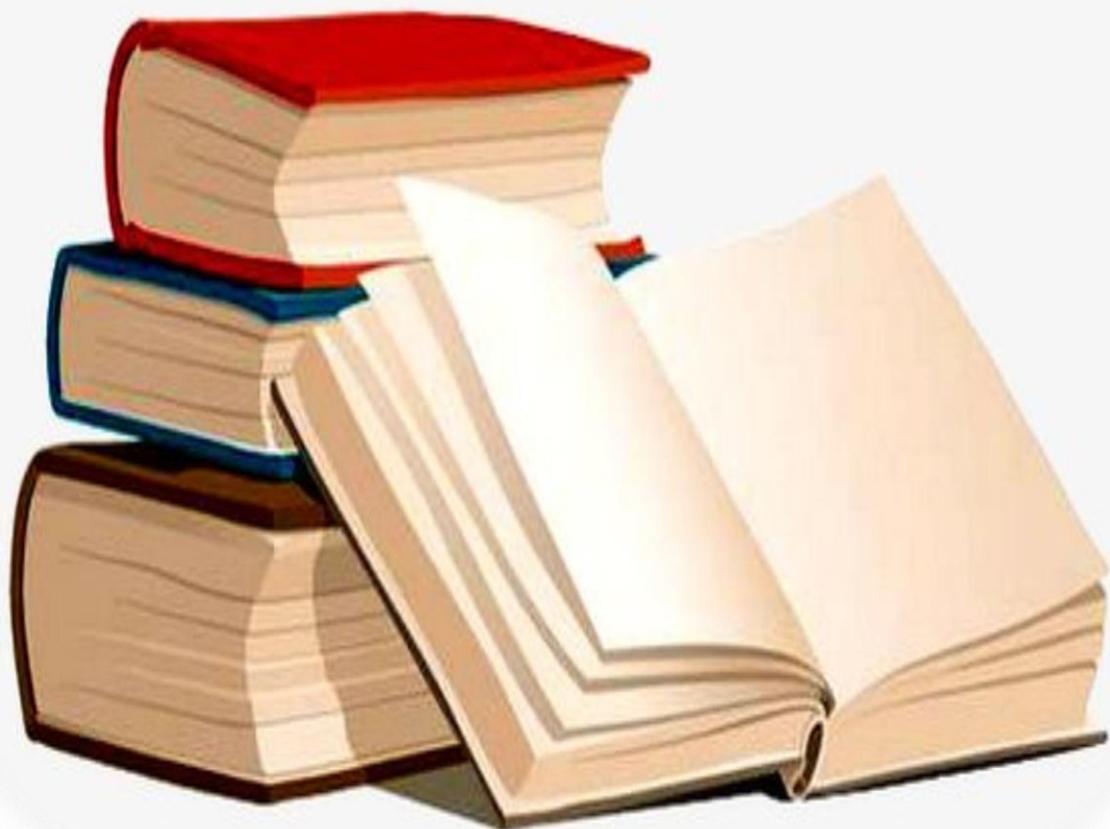
Les propriétés physico-chimiques ont révélé que les sols des trois stations sont basiques à très basiques. En se basant sur l'échelle de salure en fonction de la **CE (Aubert, 1978)**. Le résultat obtenu, indique que le sol des trois stations est qualifié entre salé et très salé.

Le dénombrement de la faune du sol nous a permis de recenser un total **743** individus répartis en **10** groupes taxonomiques : Coléoptères, Fourmis, Secernents, Lombrics, Escargots, Diptères, Collembolés, Dermoptères, Myriapodes, Arachnides.

Les valeurs des indices écologiques sont assez faibles traduisant la faible diversité des terres étudiées. Concernant la diversité de Shannon-Weaver nos résultats sont légèrement faibles à ceux obtenus par **(Lekcir et Simoud; 2022)** sur les berges des oueds et du barrage de Béni Haroun (**$H' = 2.89 \pm 3.85$ bits**).

Les valeurs de l'équitabilité montrent des valeurs faibles dans les trois types de sol : **St1 (0.48)**, **St2 (0.69)** et **St3 (0.47)**, toutes les valeurs sont inférieures au seuil retenu par **Daget (1979)** comme indice d'un peuplement équilibré, soit **0.80**, n'a été atteint dans aucun sol (**$0.47 \leq E \leq 0.69$**).

Références Bibliographiques



A

1. **Abbadie, L., 2018.** Fertilité des sols: la qualité par la vie. Annales des Mines - Responsabilité et environnement, 91:p10-12.
2. **Adl, S.M., Simpson, A.G.B., Lane, C.E., Lukes, J., Bass, D., Bowser, S.S., Brown, M.W., Burki, F., Dunthorn, M., Hampl, V., Heiss, A., Hoppenrath, M., Lara, E., Le Gall, L., Lynn, D., McManus, H., Mitchell, E.A.D., MozleyStanridge, S., Parfrey, L.W., Pawlowski, J., Rueckert, S., Shadwick, L., Schoch, C.L., Smirnov, A., Spiegel, F., 2013.** The revised classification of eucaryotes. The Journal of Eucaryotic Microbiology, 59(5): p429-493.
3. **Akeroum, Z., Boukhers, S., 2007.**étude comparative entre deux types des sols agricoles et sol forestier:p8-20.
4. **Alfred., 1994.** Ravageurs des végétaux d'ornement. édition INRA Paris:p 421- 424.
5. **Alletto, L., Benoit, P., Bergheaud, V., et Coquet, Y., 2008.** Temperature and water pressure head effects on the degradation of the dike tonitrile metabolite of isoxaflutole in alomay soil under two tillage systems. Environmental Pollution, 156(3):p678–688.
6. **Amri, C., 2006.** Les collemboles de quelques habitats et biotopes de l'est algérienInventaire et dynamique saisonnière, Mémoire de Magister, Université de Constantine:p108.
7. **Anderson, J. M., Ingram, J., 1993.**Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods. 2d edition. CAB, Oxford, UK: p221.
8. **Andi (Agence National des Ressources en eau), 2013.** Investissement en Algérie, wilaya de Mila
9. **Anfray, P., 2017.** Guide pratique de la vie des sols. Ed. France agricole: p183.
10. **Anonyme., 2010.** Le sol. France: INTERRG efface le frontières.
11. **Aubert, G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. CNDP et CRDP (Ed.), Marseille:p188-189.
12. **Aubert, M., Hedde, M., Decaens, T., Margerie, P., Alard, D., Bureau, F., 2005.** Facteurs controlant la variabilité spatial de la macrofaune du sol dans une hêtraiecharmaie. Comptes Rendus Biologies, 328:p57-74.
13. **Aragno, M., Gobat, J.M., Matthey, W., 2003.** Le sol vivant, base pédologie /Biologie des sols. 2ed, imprimé en France:p568.

Références bibliographiques

14. **Arpin, p., kilbertus, G., francois ponge, J., vannier, G., 1980.** Importance de la microflore et de la microfaune en milieu forestier. France, **hal-00507109**.
15. **Atkinson, D., 1994.** Temperature and organism size—a biological law for ectotherms. *Advances in Ecological Research* 25: **p1-58**.
16. **Atlas, R. M., et Bartha, R., 1992.** Microbial ecology. Fundamentals and applications. 3rd edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company. San Francisco, California (USA).

B

17. **Bachelier, G., 1963.** La vie animale dans le sol O.R.S.T.O.M. PARIS:**p273**.
18. **Bachelier, G., 1978.** La faune des sols Son écologie et son action. O.R.S.T.O.M:**p391**.
19. **Bachelier, G., 1979.** La faune des sols, son écologie et son action. O.R.S.T.O.M Paris:**p391**.
20. **Baize, D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie, PARIS. 2^{ème} édité: INRA: **p257**.
21. **Baize, D. et Jabiol B., 1995.** Guide Pour La Description Des Sols, Collection Techniques Et Pratiques, INRA, Paris.
22. **Baize, D., 2000.** Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} Ed. Tech et pratique. Ed. INRA:**P321**.
23. **Barbault, T .R., 2000.** Ecologie générale, Structure et fonctionnement de la biosphère. Ed.Dunod, Paris: **p326**.
24. **Barker, G.M., 2001.** The biology of terrestrial molluscs. CAB International, Oxon, Wallingford, UK.
25. **Bar-On, Y.M., Phillips, R., Milo, R., 2018.** The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 201711842.
26. **Barrios, E., 2007.** Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol Econ* 64:**p269– 285**.
27. **Beauchamp, J., 2002.** Pollution et dépollution des nappes d'eau souterraine. Thèse de doctorat. Université de Picardie. Jules Verne:**p235**.
28. **Bedano, J.C., Cantú, M.P., Edmundo, E. et Doucet, M., 2006.** Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). *Eur. J. Soil. Biol.*, 42:**p107-119**.

Références bibliographiques

29. **Benfardia, H., Chenine A., 2014.** Effets de la nature du sol sur l'efficacité d'un dispositif de bio dépollution a l'aide des bactéries hydrocarboruclastes.Mém. Mas., Univ de Ouargla:p43.
30. **Benjamin, P., 2010.** Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des technosols. Thèse doctorat en Science Agronomique. Université de Lorraine:P303.
31. **Billen, J.P.J., 1987.** "New structural aspects of the Dufour's and venom glands in social insects," *Naturwissenschaften*, vol. 74: p340–341.
32. **Bliefert, C et Perraud R., 2011.** Chimie de l'environnement. Air, eau, sols, déchets 1re Edition. De Boeck Université, Paris, Bruxelles:p373.
33. **Blondel, J., F. C., 1973.** Avifaune et végétation, essai d'analyse de la diversité. *Rev. Alauda*, 10 (1-2):p63–84.
34. **Blondel, J., 1979.** Biographie et écologie. Ed. Masson, Paris:p173.
35. **Bonneau, M., Souchier B., 1979.** Pédologie 2: Constituants et Propriétés du Sol. Masson (Eds), Paris: p459.
36. **Boruta, B., Lemanowicz J., Bartkowiak A., 2016.** Variation in biological and physicochemical parameters of the soil affected by uncontrolled landfill sites. *Environmental Earth Sciences*, DOI 10.1007/s12665-015-4955-9.
37. **Bouché, M.B., 1977.** Stratégies lombriciennes. *Bull. Ecol.*, Paris, 25: p122-132.
38. **Brady, N.C., Weil R.R., 1996.** The nature and properties of soils -Prentice Hallinternational inc.
39. **Brar, G. S., Steiner, J. L., Unger, P. W. and Prihar, S. S., 1992.** Modeling sorghum seedling establishment from soil wetness and temperature of drying seed zones. *Agron. J.* 84: p905–910.
40. **Briones, M.JI., 2014.** Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science* 2: p1–22.
41. **Brown, G.G., Pasini, A., Benito, N.P., De Aquino, A.M., Correia, M.E.F., 2002.** Diversity and fonctionnal role of soil macrofauna communities in Brazilian no – tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Paper based on an oral presentationat the "international symposium on managing biodiversity in agricultural ecosystems" Montreal, Canada, 8-10 Novembre 2001: p8.
42. **Brussaard, L., de Ruiter PC., Brown GG., 2007.** Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agric Ecosyst Environ* 121: p233–244.

Références bibliographiques

43. **Butcher, J.W., Snider, R., Snider, R.J., 1971.** Bioecology of edaphic Collembola and Acarinas. *Ann. Rev. Entomol.* 16:p249-88.
44. **Buttler, A., 1992.** Hydrochimie de nappes des prairies humides de la rive sud de lac de Neuchâtel. *Bull.Ecol.*, t.23 (3-4):p415-421.

C

45. **Calvet, R., 2003.** Le sol. Tomel. Propriétés et fonction ; constitution et structure, phénomène et interface. Edition France agricole:p95-365.
46. **Cambier, P.,Schvartz C. et vanOort F., 2009.**Contaminations métalliques des agrosystèmes et écosystèmes périindustriels. Versailles, France: Éditions Quæ.
47. **Carrillo-avila., 1995.** Modélisation de transfert hydraulique dans le système sol-plante-atmosphère. Application à la plaine de la Bièvre(Isère),université Joseph Fourier-Grenoble 1: p213.
48. **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):p1-69.
49. **Cassagne, N., Gers C., et Gauquelin, T., 2003.** Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). *Biol. Fertil. Soils*, 37:p355-361.
50. **Ceti, C., 2009.** Centre des Techniques de l'Information et de la Communication
51. **Chabalier, P. F., Kerchove V. et Macary H. S., 2006.** Guide de la fertilisation organique à La Réunion, CIRAD et Chambre d'agriculture de La Réunion, NIDImprimerie, France:p304.
52. **Chamayou, H. and Legros J.P., 1989.** Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Paris : Presses universitaires de France Agence de coopération culturelle et technique:p593.
53. **Chaude, J et Leclercq R.C., 1999.** Ecophysiologie végétale:p283.
54. **Chaussod R., 1995.** Impact of agricultural practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. *Biology and fertility of soils*.
55. **Citeau, L., Bispo A., Bardy M. et King D., 2008.** Gestion durable des sols, Editions Quæ, Collection Savoir-faire, Versailles Cedex, France:p320.
56. **Cluzeau, D., Guo Z.T., Chaussod D., Fedoroff N., Normand M., Perraud A., 1994.** Interaction between soil, biological activities and organic matter enrichments in Champagne soils. In: Etchevers J.D. and Aguilar A. (Eds). *Transactions of the XV*

Références bibliographiques

- World Congress of Soil Sc. INEG and CNA publishing, Mexico, Mex. Vol 4b: **p149-150**.
- 57. Cluzeau, D., Vigot M., 2014.** Les vers de terre. Chambre régionale d'Agriculture de PoitouCharentes OPVT-OSUR/ Univ. Rennes.
- 58. Coineau Y., 1974.** Introduction à l'étude des microarthropodes du sol et de ses annexes. Clé d'orientation: **P 94-95-96**.
- 59. Colinet G., Toussaint B., Laroche J., Goffaux M-J., Oger R. 2005.** Base de données sols de REQUASUD –2ème synthèse.
- 60. Combeau A., Segalen P., et Bachelier G., 1970.** L'étude du sol au laboratoire: caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et biologiques. Techniques rurales, Pédologie et développement en Afrique.
- 61. Cournault, L., 2013.** Les fourmis: une biodiversité méconnue. Rev.sci.bourgogne-nature- 18:**p233-242**.
- 62. Cousin I., 2007.** Structure et propriétés hydriques des sols: hétérogénéité spatiale et variabilité temporelle de l'horizon à la parcelle agricole. Mémoire de Doctorat., INRA, France:**p84**.
- 63. Coyne, D.L., Nicol, J.M. et Claudius-Cole, B., 2010.** Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire. Secrétariat SP-IPM, Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Cotonou, Benin:**P1**.
- 64. Crémer, S., Knoden, D., Luxen, P., 2008.** Les amendements basiques ou chaulage des prairies. Filière ovine et caprine n° 26- 4 ème trimestre.
- 65. Crittenden, S. J., T. Eswaramurthy, RGM. De Goede, L. Brussaard, M. M. Pulleman., 2014.** Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term unconventional and organic farming. Applied Soil Ecology 83: **p140-148**.
- 66. Curry, J.P., 1994.** Grassland Invertebrates: Ecology, Influence on Soil Fertility and Effects on Plant Growth; Chapman & Hall: London, UK: **p437**.
- 67. Cuttelod, A, Seddon, M, Neubert, E., 2011.** European red list of non-marine molluscs. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

D

- 68. Daget, J., 1979.** Les méthodes mathématiques en écologie. Ed. Masson, Coll.n°8, Paris.
- 69. Dajoz, R., 1971.** Précis d'écologie. Ed. Dunod. Paris.
- 70. Dajoz, R., 1982.** Précis d'écologie. Ed. Gauthier-Villars, Paris:**p503**.

Références bibliographiques

71. **Dajoz, R., 1996.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris:p551.
72. **Dajoz, R., 2000.** Précis d'écologie. Ed. DUNOD. 8ème édition, Paris:p542.
73. **Dajoz, R., 2002.** Précis d'écologie. Ed. Bordas. Paris:p505.
74. **Daily, G. C., Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., et al., 1997.** Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystemsogy. Issue Ecol 2: **p18–24.**
75. **Decaëns, T., 2010.** Macroecological patterns in soil communities: Soil community macroecology. Global Ecology and Biogeography 19: **p287–302.**<https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00517.x>
76. **Decaëns, T., Porco, D., Rougerie, R., Brown, G.G., James, S.W., 2013.** Potential of DNA barcoding for earthworm research in taxonomy and ecology. Applied Soil Ecology 65:p35–42.
77. **Deleporte, S., 1987.** Rôle du diptère Sciaridae *Bradisia confinis* (Winn. Frey) dans la dégradation d'une litière de feuillus. Rev. Ecol. Biol. Sol. 24:p341-58.
78. **Delobel, A., et Tran, M., 1993.** Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. ORSTOM, Paris, p424.
79. **Dellal, A., 1994.** Réactivité physico-chimique, fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèse d'Etat, Rennes:p223.
80. **Demelon, A., 1952.** Guide pour l'étude expérimentale du sol. 2ème édition. Gauthier Villars. p251.
81. **Deprince, A., 2003.** La faune du sol: diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. Le courrier de l'Environnement de l'INRA, 49:p19- 42.
82. **Didden, W. A. M., 1993.** Ecology of terrestrial Enchytraeidae. Pedobiologia 37: **p2-29.**
83. **Djigal, D., 2003.** Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les nématodes bactéricivores: effet sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes. Thèse de doctorat, université CHEIKH ANT A DIOP DE DAKAR:p6.
84. **Dominati, E., M. Paterson, et A. Mackay., 2010.** A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. Ecol. Econ. 69: **p1858–1868.**

Références bibliographiques

85. **Doran, J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart BA., 1994.** Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special publication, SSSA, Madison, USA.
86. **Doran, J.W., Zeiss, M.R., 2000.** Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15:**p3-11**.
87. **Dörfigler, N., Gascuel-Oudoux C., 2014.** Connaître et gérer les sols pour préserver l'eau. *Géosciences*, N° 18.
88. **Drout, T., 2010.** Pédologie- BING-F-302. s.l.: s.n.
89. **Duboisset A., 2003.** L'importance agricole des termitières épigées dans le nord du Cameroun: l'exemple des nids de *Macrotermes subhyalinus* et d'*Odontotermes magdalenae*. Thèse en Sciences et techniques de l'environnement. Paris: Université de Paris-Val-deMarne: **p479**.
90. **Duchaufour P., 2001.** Introduction à la science du sol. Dunod, Paris.

E

91. **Eaton, R.J. M., Barbercheck, M., Buford, W., Smith., 2004.** Effects of organic matter removal, soil compaction, and vegetation control on collembolan populations. *Pedobiologia* 48: **p121-128**.
92. **Edlor A., 2007.** Soil microbiology. Ecology and Biochemistry. Academic Press; 3rd edition. **p552**.

F

93. **Faurie, C., Ferra, C., Medori, P., Devaux, J., 2003.** Écologie-approche scientifique et pratique. Ed. TEC& DOC, Paris: **p399-408**.
94. **Fedonkin M a., Waggoner BM., 1997.** The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism. *Nature* 388: **p868-871**.
95. **Filser, J., 2002.** The role of *Collembola* in carbon and nitrogen cycling in soil. *Pedobiologia* 46:**p234-245**.
96. **Flogeac, K., 2004.** Etude de la capacité de rétention de produits phytosanitaire par deux solides modèles des sols. Influence de la présence des cations métalliques. Thèse doctorat (université de Reims Champagne-Ardenne):**p10-20**.
97. **Folgarait, P.J., 1998.** Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation*, 7:**p1221-1244**.

Références bibliographiques

98. **Freyssinel R., 2007.** étude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agroforestiers, programme CASDAR agroforesterie 2006-2008, recherche et développement de la France:p46.

G

99. **Gallali, T., 2004.** Clés du Sol, Éd. Centre de publication universitaire. Junis:p10-11-15.
100. **Gallili, Th., 1980.** Transfert sels - matière organique en zones arides méditerranéennes. Univ. Nancy INPL.
101. **Garba, M., Cornelis, W. M., et Steppe, K., 2011.** Effet of termite mound material on the physical proprieties of sandy soil and on the growth characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in semiarid Niger. *Plant Soil.* 338:p451-466.
102. **Gaucher, G., 1968.** Traité de pédologie agricole, le sol et ses caracteristiques agronomique..Paris: Ed. dunod.
103. **Gaussen, H., 1957.** Les climats biologiques et leur classification. In: *Annales de Géographie*, t. 66, n°355: p193-220. DOI : <https://doi.org/10.3406/geo.1957.18273>.
104. **Gestel, C.A.M., 2005.** Bioavailability of contaminants estimated from uptake rates into soil invertebrates. *Environ. Pollut.* , 136:p409-417.
105. **Guessoum, A., 2001.** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la region de Saad a Biskra., Thèse Ing, Agro, Univ Batna.
106. **Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M. N. et Swift, M. J., 1997.** Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6: p3-16.
107. **Girard, M.C, Walter, C, Jean-Claude, R, Berthelin, J et Jean-Louis, M., 2005.** Sols et environnement. Sciences Sup. Dunod, Paris:p39.
108. **Gisi, U., Schenker ,R ., Stadelmann, FX., Sticher , H ., 1997.** Bodenokologie.GeogThieme Verlage. Stuttgart.
109. **Gluzeau, D., Garnier-Zarly, E., Lavelle, P., Blanchart, E., Peres, G., Ablain, F., Cuendet, G., Fayolle, L., 2005.** Faune du sol et Lombriciens dans les sols tempérés agricoles. Dunod (Ed.):p816.
110. **Gobat J. M., Aragno M., et Matthey W., 2003.** Le sol vivant: Bases de pédologie, Biologies des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (ED):p528.
111. **Gobat, J. M, Aragno, M., et Matthey, W., 2010.** Le livre (Le sol vivant: Base de pédologie et biologie des sols). 3eme Edition Revue et Augmentée:P150-165.

Références bibliographiques

- 112. Gountan, A., 2013.** Effet des pesticides et de différents types de matière organique sur la macrofaune et la microfaune d'un sous sol culture pluviale de tomate. Mémoire de master en science du sol. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B):**p77.**
- 113. Grasse, P. P., et Doumenc, D., 2000.** Zoologie. Invertébrés. Ed. Masson:**p296.**
- 114. Greco J., 1978.** La défense des sols contre l' érosion. La maison Rustique Paris:**p46-50.**
- 115. Griffiths, B.S., 2013.** Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. *FEMS Microbiology Reviews*, 37:**p112-129.**
- 116. Gros, R., 2002.** Fonctionnement et qualité des sols soumis à des perturbations physiques et chimiques d'origines anthropiques: réponses du sol, de la flore et de la microflore bactérienne tellurique (Doctoral dissertation).
- 117. Grundmann, G. L., Renault, P., Rosso, L., et Bardin, R., 1995.** Differential effects of soil water content and temperature on nitrification and aeration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:**p1342–1349.**
- 118. Guyot, G. Darnhofer, et al., 1987.** Les effets aérodynamiques et microclimatiques des brise-vent et des aménagements régionaux. *Meteorology and Agroforestry; Proceedings.* In : International Workshop to the Applications of the Meteorology to Agroforestry Systems Planning and Management, Nairobi (Kenia). ICRAF, Nairobi (Kenia).

H

- 119. Haarlov, N., 1955.** Vertical distribution of mites and collembola in relation to soil structure. *Soil Zoology.* D. K. M. E. Kevan. London, H.F. & G. Witherby Ltd: **p167-179.**
- 120. Halitim, A., 1988.** Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O. P. U, Alger:**p384.**
- 121. Haszprunar, G, Schander C, Halanych, K.M., 2008.** Relationships of higher molluscan taxa. In: Ponder WF, Lindberg DR (eds) *Phylogeny and evolution of the Mollusca.* University of California Press, Berkeley: **p19–32.**
- 122. Herisse, A., 2004.** Biostratigraphy, taxonomic diversity, and patterns of morphological evolution of Ordovician acritarchs (organic-walled microphytoplakton) from the northern Gondwana margin in relation to palaeoclimatic and palaeogeographic changes.- *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, 67: **p267-311.**

Références bibliographiques

- 123. Hillel, D., 1988.** L'eau et le sol. Principe et processus physiques. 2e édition revue, Academia Louvain-la-Neuve: **p288**.
- 124. Hobbs, R.J., R. Floyd, S. Cunningham, P. Catling, et J. Ive., 2002.** Hardwood plantations: quantifying conservation and environmental service benefits. Report to the Joint-Venture Agroforestry Program, Project CSW-32A. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra.
- 125. Hölldobler, B et Wilson, E.O., 1996.** Voyage chez les fourmis. Seuil, Paris: **p381**.
- 126. Honěk, A., 1993.** Intraspecific variation in body size and fecundity in insects: A general relationship. *Oikos* 66: **p483-492**.
- 127. Hopkin, S.P., 1997.** Biology of the springtails (Insecta: collembola). Oxford University Press, Inc., New York: **p330**.
- 128. Hubert, F., 2009.** Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempéré. Implications minéralogique et pédologique, thèse de doctorat, université de Poitiers.

I

- 129. Iboy., 2000.** Soil macrofauna: an endangered resource in a changing world. Report of an international workshop held at IRD, Bondy (France) 19–23 June 2000. Downloadable at URL: <http://www.bondy.ird.fr/lest/iboy/workshop-report.pdf>.
- 130. Inra., 2015.** Le sol: une ressource pour vie: **p11**. Disponible sur: <https://inra-damfront-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/274968-10fe9-resource-plaquette-sol-version-sia-2015.html>.
- 131. Inward, D., Vogler A.P., et Eggleton, P., 2007.** A comprehensive phylogenetic analysis of termites (Isoptera) illuminates key aspects of their evolutionary biology, *Molecular Phylogenetics and Evolution* 44: **p953-967**.
- 132. Ita., 1975.** Laboratoire du sol: méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol. Institut Technologique Agricole. Mostaganem: **p78**.
- 133. ITAB., 2002.** Activités biologique et fertilité du sol: **P27**.

J

- 134. Jabiol, B., 1995.** Étude des sols. Description, cartographie, utilisation. Dunod éd., Paris.
- 135. Jabiol, B., Girard, M.C., Schvartz, C., 2011.** Étude des sols. Description, cartographie, utilisation. Dunod éd., Paris.

Références bibliographiques

- 136. Jayanthi, B., Emenike, C. U., Agamuthu, P., Khanom, S., Sharifah, M., Fauziah, S.H., 2016.** Selected microbial diversity of contaminated landfill soil of Peninsular Malaysia and the behavior towards heavy metal exposure. *Catena*, 147:p**25-31**.
- 137. Jocteur, M., 2001.** Chimie d l'environnement, air, eau, sols, déchets. Paris: De Boeck.
- 138. Jones, H. D., Santoro, G., Boag, B., Neilson, R., 2001.** The diversity of earthworms in 200 Scottish fields and the possible effect of New Zealand land flatworms (*Arthurdendyus triangulatus*) on earthworm populations. *Ann. Appl. Biol.* 139: p**75-92**.
- 139. Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M., 1994.** Organisms as ecosystem engineers, *Oikos* 69: p**373–386**.
- 140. Jouquet, P., Traoré, S., Choosai, C., Hartmann, C.,et Bignell, D., 2011.** Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology* 47: p**215-222**.

K

- 141. Karabi, M., 2010.** Fonctionnement microbiologique et biochimique des sols sahariens : étude comparative entre sol salés (palmeraies de l'université d'Ouargla) et sol alluvionnaire (palmeraie traditionnelle de Guerrara). Mémoire magister université Ouargla: p76.
- 142. Karlen, DC, Mausbach, MJ., Doran, JW., Clire, RG., Harris, RF., Schuman, GE., 1997.** Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of American Journal* 61: p**4-10**.
- 143. Kautz, G. et Topp, W., 1998.** Sustainable forest management for improving soil quality. *Forst wissenschaftliches Centralblatt*, 117: p**23-43**.
- 144. Kay., 1990.** Quantitative modellig of the st. George basin, bering sea, Alaska using one and two dimensional basin models; Columba, south Carolina, university of south Carolina, M.S. thesis: p**142**.
- 145. Kebir, T., 2012.** Étude de contamination, d'accumulation et de mobilité de quelques métaux lourds dans des légumes, des fruits et des sols agricoles situent près d'une déchargeindustrielle de l'usine al zinc de la ville de ghazaouet.Thèse de Doctorat, Tlemcen Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen:p**282**.
- 146. Kemp, P. R., Cornelius, J. M. and Reynolds, J. F., 1992.** A simple model for predicting soil temperatures in desert ecosystems. *Soil Sci.* 153: p**280–287**.

Références bibliographiques

- 147. Kevan, D.C., 1962.** Soil animals. Witherby, London: **p420**.
- 148. Khabtane, A., 2010.** Contribution à l'étude du comportement ecophysologique du genre tamarix des différents biotopes des zones aride de la région de Khanchla :Ecologie Végétale. Thèse de Magistère, université Mentouri, Constantine:**p158**.
- 149. Khelil, M. A., 1995.** Le peuplement entomologique des steppes à alfa *Stipa tenacissima*. Ed. O.P.U:**p76**.
- 150. Khemgani, A., 2005.** Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis.
- 151. Kholadi, M., Kholadi, M. N., 2009.** Système d'aide à la classification des sols. Université Mentouri – Constantine.
- 152. Kluender, R. A., Thompson, L. C. et Steigerwald, D. M., 1993.** A conceptual model for predicting soil temperatures. *Soil Sci.* 156:**p10–19**.
- 153. Koller, E., 2004.** Traitement des pollutions industrielles: Eau, air, déchets, sols, boues, Edition DUNOD, Paris: **p424**.
- 154. Krishna, K., Grimaldi, D.A., Krishna, V. et Engel, M.S., 2013.** Treatise on the Isoptera of the world. *Bulletin of the American museum of natural history*, 377 (5): **p270**.
- 155. Kühnelt, W., 1976.** *Soil Biology with Special Reference to the Animal Kingdom*, 2nd ed.; Faber and Faber Limited: London, UK: **p483**.

L

- 156. Lacoste, A., Salanon, R., 2001.** *Eléments de biogéographie et d'écologie*. Ed, Nathan:**p318**.
- 157. Lafleur, B., 2003.** Fourmis et fertilité des sols dans les pessières à lichens. *Natur. Canadien* 127 (2):**p22-25**.
- 158. Larochelle, L., 2004.** L'impact du bois raméal fragmenté sur la dynamique de la mésofaune du sol 2ème Edition février 2004.édité par le groupe de coordination sur les bois rameaux, Département des sciences du bois et de la forêt. Université LavalQuébec:**p65**.
- 159. Larsen, T. P., Schjonning, J. Axelsen., 2004.** The impact of soil compaction on euedaphic Collembola. *Appl. Soil Ecol.* 26:**p273-281**.
- 160. Lauren, J., 1991.** Etude comparative de la détermination des phosphores des sols tropicaux. *Oestrom pédologie*. Vol 104 n° 3: **p281-285**.

Références bibliographiques

- 161. Lavelle, P., Martin, A., Blanchart, E., Gilot, C., Melendez, G. et Pashanasi, B., 1991.** Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la macrofaune du sol. *Savanes d'Afrique, terres fertiles*:p371-400.
- 162. Lavelle, P., 2001.** *Soil ecology*. Cluwer academic publisher, Dordrecht-BostonLondre, p654.
- 163. Lavorel, S., Mc Intyre, S., Landsberg, J. & Forbes, T.D.A., 1997.** Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology and Evolution* 12:p474-478.
- 164. Le Clech, B., 2000.** *Agronomie « des bases aux nouvelles orientations »*.Edition Synthèses Agricole.Bordeaux:p260.
- 165. Lekcir, K., Simoud, S., 2022.** *Distribution spatiale de la biodiversité du sol (Mila)*. Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master.Université Abdel hafid Boussouf-Mila: P 86.
- 166. Leraut, P., 1990.** *Les insectes dans leur milieu. Guide en écologie*. LM.E. -25-Baume les - dames, France:p255.
- 167. Lee, K. E., 1985.** *Earthworms: their ecology and relationship with soils and land use*. New York:p411.
- 168. Leeuwen, c. van, Chery, p., 2001.** quelle méthode pour caractériser et étudier le terroir viticole : analyse de sol cartographie pédologique ou étude Eco physiologique". *Journal international des sciences de la vigne et du vin*:P1-12.
- 169. Legros, J. P., 2007.** *Les Grands Sols Du Monde*. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne:P574.
- 170. Lewandowski, C., 2021.** Allergie aux acariens : symptômes, traitement, que faire ? [En ligne].[<https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-maladies/2511223-allergie-acariens-symptomes-boutons-traitements-desensibilisation-que-faire/>] consulté le 02 /11/ 2021, à 18:10.
- 171. Linse, K, Griffiths, HJ, Barnes, DKA, Clarke, A., 2006.** Biodiversity and biogeography of Antarctic and sub-Antarctic mollusca. *Deep Res Part II Top Stud Oceanogr* 53:p985–1008.
- 172. Loquet, M., Bhatnagar, T., Bouche, M. B., Rouelle, J., 1997.** Essai de l'estimation de l'influence écologique des lombriciens sur les microorganismes. *Pedobiologia*, 17: p400-417.

Références bibliographiques

- 173. Loreau, M., 1990.** The significance of intra- and interspecific competition in Carabid beetles. In "The Role of Ground Beetles in Ecological and Environmental studies", Stork, N. E. (Ed.), Intercept, Andover: **p25-38**.
- 174. Loveland, P., Webb, J., 2003.** Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. Soil and Tillage Research 70: **p1-8**.

M

- 175. MacArthur, R., et Wilson, E. O., Eds., 1967.** The Theory of Island Biogeography Princeton University Press.
- 176. Maelfait, J. P. et Baert, L., 1975.** Contribution to the knowledge of the arachnoand entomofauna of different woodhabitats. Biol. lb. Dodonaea 43: **p179-196**.
- 177. Magurran, A. E., 1988.** Ecological diversity and its measurement. Princeton university press, Priceton, New Jersey: **p179**.
- 178. Maignien, R., 1969.** Manuel de prospection pédologique. Document technique N°11. Orstom, Paris: **p131**.
- 179. Majer, J. D., 1985.** Recolonization by ants of rehabilitated mineral sand mines on North Stradbroke Island , Queensland , with particular reference to seed removal. Australian Journal of ecology, **10:p31-48**.
- 180. Maldague, M., 1959.** Importance et rôles de la microfaune du sol. Bull. Agric. Congo Beige.
- 181. Martin R.J., Thomas S.M., Stevens D.R., Zyskowski R.F., Moot D.J., Fraser T.J., 2006.** Improving water use efficiency on irrigated dairy farms in Canterbury. Proc. New Zeal. Grassl. Assoc., 68: **p155-160**.
- 182. Martins, F., Costa M., Galhano C.I.C., 2015.** On the way for a new bionematicide. Agriculture & Food Journal of International Scientific Publications. Volume 3, pp: **p130- 137**.
- 183. Mathieu, C., Pieltain., 2009.** Les principaux sols du monde. voyage au centre de l'épiderme de la planète terre. Lavoisier, Editions Tech et Doc: **p233**.
- 184. Mathieu, J., 2004.** Etude de la macrofaune du sol dans une zone de déforrestation en Amazonis de sud-est, au Brasil, dans le contexte d'une agriculture familiale. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie – Paris 6: **p237**.
- 185. Mathieu, R., 1995.** Biologie campbell. PERSON Québec. Canada.
- 186. Mattson, W.J., 1977.** The role of arthropods in forest ecosystems. Springer Verlag, New York: **p249**.

Références bibliographiques

187. **Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M.J., 1997.** Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: **p504–509.**
188. **Mausbach, MS., Tugel A., 1997.** Soil quality: A multitude of approaches. Kearney Foundation Symposium. California Soil Quality: from critical research to sustainable management. Berkeley, California, March 25.
189. **Mebarki, A., 1984.** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du KébirRhumel. Edit Office des Publications Universitaires.N°8. Alger.
190. **Mégnin, J. P., 1894.** La faune des cadavers. Application de l'entomologie à la médecine légale. (In) Léauté M. (Editeur), Encyclopédie scientifique des aide-mémoire, Paris:**p214.**
191. **Mermoude, A., 2006.** Cours de physique du sol. EPFL.
192. **Messai, L., 2011.** Etude Phytochimique d'une plante médicinale de l'est algérien (*Artémisia herba Alba*). Thèse de doctorat en sciences. Université Mentouri Constantine.
193. **MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA), 2005.** Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC : Island Press: **p137.** ISBN 978-1-59726-040-4.
194. **Mirsal, A., 2004.** Soil Pollution.Origine, Monitoring And Remédiation. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
195. **Moldenke, AR. WG., Thies., 1996.** Application of chloropicrin to control laminated root rot: research design and seasonal dynamics of control populations of soil arthropods.*Environ. Entomol.* 25:**p925-932.**
196. **Mollon, A., 1983.** Etude d'un écosystème forestier mixte IX. Les Diptères édaphiques, structure temporelle du peuplement larvaire. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 20:**p367-83.**
197. **Monod, T. et L. Laubier, 1996.** Les Crustacés dans la Biosphère. In *Traité de Zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie Crustacés. Tome VII, Fascicule II. Généralités (suite) et Systématique.* J. Forest (Eds). Paris, Masson, 1002:**p91-166.**
198. **Montréal, 2004.** Jardin botanique, ville de botanique.
199. **Morel, L., 1989.** Les sols cultivés. Tech et Doc .Lavoisier, paris:**p272.**
200. **Morel, R., 1989.** Les sols cultivés, 1ère Ed INRA. Paris:**p578-580.**
201. **Morel, R., 1996.** Les sols cultivés. 2eme Edition : Lavoisier Tec et Doc .Paris: **p389.**
202. **Morin R., 2002.** Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâtsvivants. Ed. Direction de l'innovation et des technologies. Québec:**p11.**

Références bibliographiques

- 203. Mouffok, M., 2003.** mémoire ING d'état I.N.F.S.A Mostaganem, l'espace littoral ouest de Mostaganem cas de la zone des sablettes-Ouréah en vue d'une orientation touristique:p34et 35.
- 204. Müller, J. K., 1985.** Konkurrenzvermeidung und Einnischung bei Carabiden (Coleoptera). Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionsforschung, 23: p299-314.
- 205. Mulleux, Y., 1985.** L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord. Sa place dans le contexte médio-Européen.Thèse Doc. sci., Univ. Dijon:p318.
- 206. Mustin, M., 1987.** Le compost, gestion de la matière organique. Editions François Dubusc, Paris.
- 207. Musy, A., Soutter, M., 1991.** Physique du sol, 1 ère édition, Presses polytechniques et universitaires romandes:p18.

N

- 208. Naeem, S., et Sarwar, M., 1994.** Adsorption studies of gold on copper sulphide. Hydrometallurgy, 36(3):p385-391.
- 209. Nahrath, S., 2000.** «"Governing Wildlife Resources?" L'organisation de la chasse en Suisse comme exemple de régimes institutionnels de gestion d'une ressource naturelle», Revue Suisse de Science Politique, n°1, vol.6.
- 210. Nanypetra, M., 2013.** Response Of Soil Respiration And Microbial Biomass To Changing EC In Saline Soils, Soil Biology & Biochemistry 65 322 e 328.

O

- 211. Oades, J.M., 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma 56:p223-377-400.
- 212. Omaru, B., 2012.** Capital sol et arrangements institutionnels dans les agrosystèmes du Nord-Cameroun, Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur de Montpellier SupAgro, France:p213.
- 213. Omeiri, N., 2008.** Gestion intégrée de la fertilité d'un sol salé au sein d'un agrosystème oasien: cas de la palmeraie du KSAR d'Ouargla. Mémoire de Magistère, Université d'Ouargla:p208.
- 214. Orgiazzi, A., Bonnet-Dunbar, M., Panagos, P., Arjen de Groot, G., Lemanceau, P., 2015.** Soil biodiversity and DNA barcodes: Opportunities and challenges. Soil Biology and Biochemistry, 80, 244-250.

Références bibliographiques

215. Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J.L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramirez, K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., van der Putten, W.H., Wall D.H. Eds., 2016. Global Soil Biodiversity Atlas. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg: **p176**.
216. Ouadfel, S., 2006. Contributions à la Segmentation d'images basées sur la résolution collective par colonies de fourmis artificielles, Thèse de doctorat de l'université de Batna. Discipline : Informatique.

P

217. Pankhurst, C., Doube, B.M., Gupta, VVSR ., 1997. Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford.
218. Pasquier, L., 2010. Guide du sol 'L'argile et Lamotte', Edition ENESAD:**p111**.
219. Passera, L., et Aron, S., 2005. Les Fourmis: Comportement, Organisation Sociale et Évolution. Les Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, Canada:**p441**.
220. Pelosi, C., Bertrand, M., Makowski, D., et Roger-Estrade, J., 2008. A model of lumbricus terrestris population dynamics in agricultural fields. Ecological Modelling, 218 (3): **p219-234**.
221. Peres, G., 2003. Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et macro-bio porosité dans le contexte dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol. Thèse de Doctorat à l'université de Rennes 1.
222. Pérés, G., Boulonne, L., Guernior, M., 2010. Mesure de la biodiversité du sol. R.M.Q.S. Biodiv: **p36**.
223. Petersen, H. M.,Luxton., 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. Oikos 39: **p288-388**.
224. Petersen, H., 2002. General aspect of collembolan ecology at the turn of the millenium. Pedobiologia 46:**p246-260**.
225. Peyerimhoff, P., 1947. Etudes et descriptions de Coléoptères marocains (II). Bulletin de la Société des Sciences naturelles du Maroc, 25-27:**p248-308**.
226. Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology, 13:**p131-144**.

Références bibliographiques

227. Ponge, J. F., 2000. Biodiversité et biomasse de la faune du sol sous climat tempéré. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France:p**129-134**.

228. Prevost, P., 2006. Les bases de l'agriculture. 3èmeEd. TEC – DOC, Lavoisier:p**290**.

Q

229. Quénéa, K., 2004. Etude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d'une chronoséquence forêt/maïs (CESTAS, Sud-ouest de la France). Thèse de Doctorat. Université de Paris 6 (France).

230. Quicke, D., 2009. "Hymenoptera (Ants, Bees, Wasps)," in Encyclopedia of Insects (Second Edition): p**473–484**.

R

231. Ramade, F., 1984. Eléments d'écologie: écologie fondamentale. Ed. Mc Graw-Hill, Paris.

232. Ramade, F., 2003. Eléments d'écologie-écologie fondamentale. Ed. Dunod. Paris: p**690**.

233. Ranjard Lionel., 2016. AgrInnov. Tester les indicateurs de l'état biologique des sols en lien avec les pratiques agricoles –compte rendu final de projet:p**80**.

234. Raphael, M., 2007. Synthèse sur la diversité de la pédofaune en système agroforstier.Centre de transfert Montpellier Sup.Agro:p**65**.

235. Reeves, R. M., 1969. Seasonal distribution of some forest soil Oribatide acarologie. (Proc. 2ème Int. CongoAcarology), Akademia Kiado (Budapest): p**23-30**.

236. Reyss, J.L., Schmidt, S., Latrouite, D., Floris, S., 1996. Age determination of crustacean carapaces using $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ measurements by ultra-low-level gamma spectrometry. Appl. Radiat. Isot. 47:p**1049-1053**.

237. Riba, G., et Silvy, C., 1989. Combattre les ravageurs des cultures enjeux et perspectives, INRA, Paris:p**390**.

238. Robert, M., 1996. Le Sol: interface dans l'environnement: essourcepour le développement. Paris.

239. Rolland, P., 1988.Le système des grandes tourbières équatoriales. Ann. Géographie N°97 (544):p **942-666**.

240. Roth, F. X., 1980. Micro-organisms as a source of protein for animal nutrition. *Anim. Res. Dev.*, 12:p**7-19**.

Références bibliographiques

241. Ruellan, A., Poss, R., 2008. Les sols pour l'avenir de la planète Terre. Association française pour l'étude du sol, Planète Terre, avenue de la Pomme de Pin – BP 20619:p15.

S

242. Sacchi., 1971. Ecologie comparée des Gastéropodes Pulmonés des Dunes Méditerranéennes et Atlantiques, Nature. Soc. It. Sc. Musco, Civ.St, nat. e Acquario Cio., Milano, Vol. 62, N°3: **p277-358.**

243. Sahnoune, R., 2014. Analyse et Caractérisation Physico-Chimique des sols d'entreposage de la station de pétrole (Bejaia). Mém de Master Univ. Bejaia: **p57.**

244. Santorufo, L., 2013. Effects of land use transformation on microarthropod community structure in Mediterranean area (thesis). Université de Lorraine.

245. Sayyad, G., Afyun M., Mousavi, S. F., Abbaspour, K. C., Richards, B. K et Schulin, R., 2010. Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcareous soil under wheat and safflower cultivation-a column study. Geoderma, vol. 154: **p311-320.**

246. Schmalfuss, H., 2003. World catalog of terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea). Stuttgarter Beitr. Naturk. Ser. A (Biol.), 654: **p1–341.**

247. Schultz, T. R., 2000. In search of ant ancestors. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97(26), 14028-14029.

248. Sellami Lahcene., 2013. Evolution des propriétés physiques des sols irrigués de la plaine d'El-Outaya (Biskra).Université de Batna. Mémoire d'ingénieur:**p89.**

249. Senthilkumar, K. A., Mollier, M., Delmas, S., Pellerin, T.s Nesme., 2014. Phosphorus recovery and recycling from waste: An appraisal based on a French case study, Resources, Conservation and Recycling, Volume 87, June 2014.

250. Sharpley, A.N., SYERS, J.K., 1993. Potential role of earthworm casts for the phosphorous enrichment of run-off water. Soil Biol. Biochem: **p346.**

251. Siepel, H., 1994. Life-history tactics of soil microarthropods. Biology and Fertility of Soils 18: **p263-278.**

252. Singh, V. P., 1992. Elementary hydrology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ: **p973.**

253. Soltner, D., 2005. Les bases de la production végétal. :Science Et Technique Agricole.

Références bibliographiques

- 254. Soukehal, B., 2017.** La wilaya de Mila: villes, villages et problématique de l'alimentation en eau potable. Thèse de Doctorat. Université Mentouri Constantine, Algérie: **p23**.
- 255. Soulas, G., Codaccioni, P. et Fournier, J.C., 1983.** Effect of crosstreatment on the subsequent breakdown of 2,4-D, MCPA and 2,4,5-T in the soil. Behaviour of the degrading microbial populations. *Chemosphere*, 12 (7/8): **p1101-1106**.
- 256. Soto-Adames Felipe, N., 1996.** Collembola. Department d'Entomologie, Université de Illinois, 505 S. Googwin Ave. Urbana, Il 61801. <http://www.life.uiuc.edu>.
- 257. Stengel, P., 1990.** Caractérisation de l'état structurale du sol: objectifs et méthodes. In la structure du sol et son évolution. Ed INRA: **p15-35**.
- 258. Stengel, p., et Gelin, S., 1998.** Sol: Interface fragile. INRA.
- 259. Steven Vanek et Steven Fonte., 2020.** Manuel d'évaluation de la santé des sols Projet transversal sur les sols Communauté de pratique d'Afrique de l'Ouest. Fondation McKnight Version 6.4.
- 260. Stork, N.E., et Eggleton, P., 1992.** Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7.
- 261. Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M., 1979.** «Decomposition in terrestrial ecosystems». *Studies in ecology*, volume 5, University of California Press, Bekerley: **p372**.
- 262. Szpila, K., Matuszewski, S., Bajerlein, D., Konwerski, S., 2008.** *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819), a forensically important blowfly (Diptera: Calliphoridae) new for the Polish fauna. *Polish journal of entomology*, 77: **p351-355**.
- T**
- 263. Targulian, V.O., Krasilnikov, P.V., 2007.** Soil system and pedogenic processes: Selforganization, time scales, and environmental significance. *CATENA* 71: **p373–381**. doi:10.1016/j.catena.2007.03.007.
- 264. Truong, Tran., 2010.** Estimation de l'état hydrique des sols en Afrique de l'ouest par télédétection spatiale. *Sciences of the universe [physics]*. Université de Grenoble, French: **p219**.
- 265. Twardowski, J., Gruss, I and Kordas, L., 2017.** Effects of soil regeneration methods on beneficial mesofauna in a spring triticale field. *Journal of Central European Agriculture*, 18: **p616–631**.

Références bibliographiques

U

- 266. USDA NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE., 1996.** Indicators for soil quality evaluation. Soil Quality Information Sheet. [en ligne]. Avril 1996, Disponible sur:https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053149.pdf

V

- 267. Vigil, M. F., et Kissel, D. E., 1995.** Rate of nitrogen mineralized from incorporated crop residues as influenced by temperature. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:p**1636–1644**.

W

- 268. Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langais Hesse, A., et Schwarts, C., 2015.** Les services écosystémiques des sols: du concept à la valorisation. Cahier Demeter.
- 269. Warburg, M.R., 1987.** Isopods and their terrestrial environment. *Adv. Ecol. Res.*, 17: p**187–242**.
- 270. Watt, A. D., et al., 1997.** Impact of forest management on insect abundance and damage in a lowland tropical forest in southern Cameroon. *Journal of Applied Ecology*, 18: p**985- 998**.
- 271. Weesie, D. M., et Belemsobgo, U., 1997.** Les Rapaces diurnes du ranch de gibier de Nazinga (Burkina Faso). Liste commentée, analyse du peuplement et cadre biogéographique. *Alauda*, 65 (3):p**263-278**.
- 272. Whipps J. M., et Budge S. P., 1993.** Use of fungal antagonists for biocontrol of dampingoff of Sclerotinia disease *Pesticide Science* 37: p**309-313**.
- 273. Whitford, W.G., 1989.** Abiotic controls on the functional structure of soil food webs. *Biology and fertility of soils* 8: p**1-6**.
- 274. Wolters, V., 2001.** Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, 37 (4):p**221-227**.
- 275. Wyss, C. et Chérix D., 2006.** Traité d'entomologie forensique. Les insectes sur la scène de crime. PPUR Presses polytechniques. 2ème Edition (23 avril 2013):p**336**.

Y

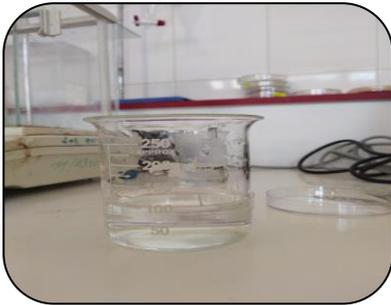
- 276. Yeates, G.W., Bongers, T.d., De Goede, R., Freckman, D., Georgieva, S., 1993.** Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of nematology* 25: p**315**.

Références bibliographiques

Z

- 277. Zaid, E.H., 2006.** Physiologie végétale.
- 278. Zouaidia, H., 2006.** Bilan des incendies de forêts dans l Est algérien cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras, Thèse de Magistère, option Ecologie Végétale, université Constantine, 126:**p54.**

Annexes



Annexes

Annexe 01 : Températures maximales, minimales, et ordinaires enregistrées dans la région d'Ain Tine Mila pendant dix ans (2010-2019).

Le paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
T _{Max} (°C)	13.5	13.8	16.2	20.3	24.1	30.7	34.8	34.5	29.3	23.9	17.4	13.6
T _{Mini} (°C)	5.0	4.5	6.5	8.8	11.7	16.3	20.6	20.2	15.8	13.6	9.4	4.8
T _{Moy} (°C)	8.9	9.0	11.3	14.5	17.7	23.4	28.6	26.3	22.3	18.7	13.2	9.7

Annexe 02 : Températures maximales, minimales du sol enregistrées dans la région d'Ain Tine Mila pendant dix ans (2010-2019).

Le paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
T _{Max, sol} (°C)	22	24.3	27.9	37.4	41.1	48.6	51.9	50.4	41.6	36.6	26.5	21.8
T _{Mini, sol} (°C)	3.0	0.8	4.2	3.4	7.0	8.5	13.4	14.3	23	14.8	5.1	1.0

Annexe 03 : Vent (m/s) enregistrées dans la région d'Ain Tine Mila pendant dix ans (2010-2019).

Le paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Vent (m/s)	21	22	18	18	17	16	17	21	22	20	23	20

Annexes

Annexe 04 : Humidité (%) enregistrées dans la région d'Ain Tine Mila pendant dix ans (2010-2019).

Le paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	74	76	72	70	63	54	43	49	64	66	73	76

Annexe 05 : Précipitations moyennes (mm) enregistrées dans la région d'Ain Tin Mila pendant dix ans (2010-2019).

Le paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Précipitations (mm)	83	99	96	55	51	25	07	24	32	58	70	73

Annexe 06 : Tableau de précipitation et température mensuelles pour la région d'Ain Tin Mila (2010-2019).

Le paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Précipitations (mm)	83	99	96	55	51	25	07	24	32	58	70	73
T Ordinaires (°C)	08.9	09	11.3	14.5	17.7	23.4	28.6	26.3	22.3	18.7	13.2	09.7

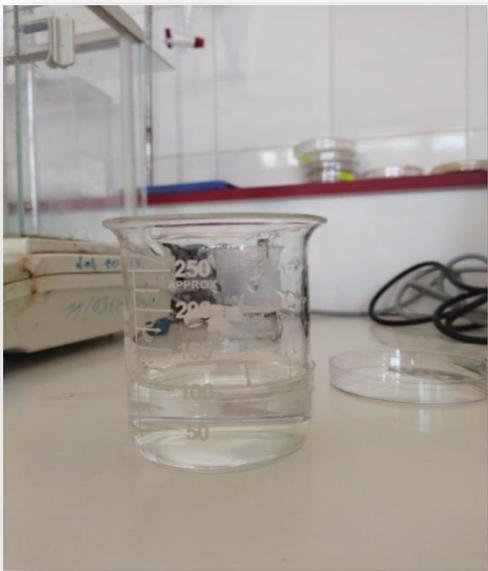
Annexes



Une étuve



Eau distillée



Une bécher



Spatule

Annexes



Boîte de Pétri



Boîtes en plastique

Annexe 08 : La valeur de l'abondance relative d'une espèce animale, et le classement des animaux.

Abondance relative	Classement des animaux
$AR > 75\%$	Très abondants
$50\% < AR \leq 75\%$	Abondants
$25\% < AR \leq 50\%$	Communs
$5\% \leq AR \leq 25\%$	Rares
$AR < 5\%$	Très rares

Annexes

Annexe 09 : Statistiques descriptive de pH.

Le paramètre	Jan		Fév		Mars		Avr		Mai
	Début de Jan	Fin de Jan	Début de Fév	Fin de Fév	Début de Mar	Fin de Mar	Début de Avr	Fin de Avr	Début de Mai
Station 1	8.72	8.54	8.85	8.6	8.83	7.68	8.3	7.7	7.96
station 2	9.04	8.93	8.89	8.67	8.74	8.41	7.43	8.4	7.8
Station 3	7.92	8.24	8.36	8.57	8.63	8.51	8.74	7.91	7.34

Annexe 10 : Statistiques descriptives de conductivité électrique.

Le paramètre	Jan		Fév		Mars		Avr		Mai
	Début de Jan	Fin de Jan	Début de Fév	Fin de Fév	Début de Mar	Fin de Mar	Début de Avr	Fin de Avr	Début de Mai
Station 1	2.89	2.41	1.95	2.68	3.20	3.52	3.14	2.76	2.81
station 2	4.55	3.67	2.80	3.30	3.85	4.47	4.19	3.19	3.05
Station 3	2.69	2.84	2.98	2.31	2.19	2.08	2.11	2.24	2.16

Annexe 11 : Statistiques descriptives de l'humidité.

Le paramètre	Jan		Fév		Mars		Avr		Mai
	Début de Jan	Fin de Jan	Début de Fév	Fin de Fév	Début de Mar	Fin de Mar	Début de Avr	Fin de Avr	Début de Mai
Station 1	5.19	4.92	4.96	3.05	13.60	7.16	11.03	11.40	9.81
station 2	8.84	4.77	5.63	15.13	20.63	14.27	12.84	12.01	10.67
Station 3	5.20	6.81	8.49	17.35	21.27	16.18	15.74	12.11	12.34

Annexes

Annexe 12 : Variation spatio-temporelle du nombre d'individus dans les stations d'étude.

<i>La date</i>	<i>Station 1</i>	<i>Station 2</i>	<i>Station 3</i>
<i>C1</i> <i>Début de janvier</i>	51	35	72
<i>C2</i> <i>Fin de janvier</i>	40	26	59
<i>C3</i> <i>Début de février</i>	31	20	37
<i>C4</i> <i>Fin de février</i>	29	17	29
<i>C5</i> <i>Début de mars</i>	32	14	23
<i>C6</i> <i>Fin de mars</i>	28	16	27
<i>C7</i> <i>Début d'avril</i>	24	12	24
<i>C8</i> <i>Fin d'avril</i>	19	10	23
<i>C9</i> <i>Début de mai</i>	17	7	21
<i>Total</i>	271	157	315