

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

INFLUENCE DE QUELQUES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA DIVERSITE DE LA MACROFAUNE DU SOL

Préparé par :

✚ Fennouche Halima

✚ Hellal Racha

Devant le jury :

President: Mr Merzoug Seyf Eddine

MCAC.U. Abelhafid Boussouf-Mila

Examinatrice: Mme Djeddi Hamssa

MCB C.U. Abelhafid Boussouf-Mila

Promotrice : Melle Kherief Nacereddine Saliha

MCB C.U. Abelhafid Boussouf-Mila

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

Au nom d'Allah, le Tout miséricordieux, le Très miséricordieux.

Ce n'est pas parce que la tradition exige que cette page se trouve dans ce travail, mais par ce que les gens à qui s'adressent nos remerciements les méritent vraiment.

*Nos vifs remerciements s'adressent vont à **Mme Djeddi Hamssa**, Maître de conférence au Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf 'Mila' qui nous a fait l'honneur de présider ce jury, on remercie également le Docteur **Mr. Merzoug Seyf Eddine**, Maître de conférence au Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Tout d'abord nous souhaitons avant tout remercier notre professeur **Melle Kherief Nacereddine Saliha** de nous avoir donné le privilège d'encadrer nos travaux, elle nous a fait des suggestions et des critiques pendant cette période.*

Nos remerciements et notre reconnaissance à nos parents pour leur amour et leur soutien constant qu'ils nous ont témoigné tout au long de notre carrière. Enfin on remercie nos amies pour leur encouragement.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

✚ A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Maamar**.

✚ A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **ElZohra**.

✚ A mes frères, **Ayoub, Ismail, Haroune et Abedelslem rzeiki**.

✚ A mes sœurs **Mounia, Fatiha, Hanane, meriem, Aicha, Nadia et Manar**.

✚ A Mes nièce et mes neveux adorables **Rahma, Islem, Soundous, Nowfel, Rihab, Rachid, AbdElRahmane, Hossem**.

✚ A ma très cher collègue de ce travail: **Racha**.

✚ A mes amies proches: **Yasmine, Hanane, Ines, Chayma, Nada, Faten**.

À Toute les amies de promo de master 2 protection des écosystèmes, à Toute ma famille, et à Tous ceux qui me sont chère.

Halima

Dédicace

Je dédie ce travail

- ✚ *A l'homme de ma vie, mon idole et la lumière qu'éclaire mon chemin, à mon cher papa<**Foudil**>.*
- ✚ *A la femme qui a sacrifié tous ses rêves pour qu'elle s'occupe de ses enfants, de leur éducation, à toi ma mère<**Nora**>.*
- ✚ *La personne qui m'apprit que le vrai bonheur est de voir ses petits sur le bon chemin. A ma chère sœur **Amel** qui ne cesse jamais de m'encourager, qui sont toujours avec moi pour me guider et me conseiller.*
- ✚ *A mon ange, mon bras droit, ma belle **Rahma**.*
- ✚ *A ma petite, ma boule de sucre, le chouchou de la famille **Nadine**.*
- ✚ *A ma famille, mes grandes mères, mes tantes, mes oncles et mes cousines.*
- ✚ *A l'âme de mes grands-parents qu'Allah vous recueille dans ce vastes paradis.*
- ✚ *A mes chères amies
:Raounek,Adra,Rayane,Halima,Yassmine,Fifi,Ahlem,cristina,Hajer et
Yousra et mes collègues de promo Master 2.*
- ✚ *Mille mercis d'être là avec moi, merci pour vos soutiens moraux.*
- ✚ *Un grand merci pour mon cher amie **Halima** qui n'empêche pas de m'aider et de m'encourager.*

Racha

Résumé

Résumé

La macrofaune fait partie des éléments importante des sols, elle joue des rôles essentielles en garantissant la fertilité et le maintien de la qualité de sol au sein des écosystèmes. Dans la première partie de cette étude on a démontré la biodiversité des sols agricoles ainsi que l'action crurale des macrofaunes des sols et des autres composants.

Dans la deuxième partie, on a réalisé des analyses physico-chimiques sur la biodisponibilité des macrofaunes à partir des échantillons de 3 sols différents (après avoir décrit notre région d'étude) : une terre agricole à vocation céréalière, une terre agricole à vocation d'oignon et un jardin privé loin de toute activité Agricole.

Mots clés : Sols agricoles, macrofaune du sol et paramètres physico-chimiques.

ملخص

الكائنات الحيوانية الكبيرة هي عنصر مهم في التربة وتلعب أدوارًا أساسية في ضمان الخصوبة والحفاظ على جودة التربة في النظم الإيكولوجية. أظهر الجزء الأول من هذه الدراسة التنوع البيولوجي للتربة الزراعية بالإضافة إلى الدور الجذري لحيوانات التربة الكبيرة والمكونات الأخرى.

في الجزء الثاني، أجرينا تحليلات فيزيائية كيميائية حول التوافر البيولوجي للحيوانات الكبيرة من عينات من 3 تربة مختلفة (بعد وصف منطقة دراستنا): أرض زراعية قائمة على الحبوب، وأرض زراعية للبصل وحديقة خاصة بعيدًا عن جميع الأنشطة الزراعية.

كلمات مفتاحية : التربة الزراعية والحيوانات الكبيرة في التربة والمعايير الفيزيائية الكيميائية..

Abstract

Macrofauna is an important component of soils and plays essential roles in ensuring fertility and maintaining soil quality in ecosystems. The first part of this study demonstrated the biodiversity of agricultural soils as well as the crucial action of soil macrofaunas and other components.

In the second part, we carried out physico-chemical analyses on the bioavailability of macrofaunas from samples of 3 different soils (after describing our study area): a cereal-based agricultural land, an onion farmland and a private garden away from all agricultural activity.

Keywords : Agricultural soils, soil macrofauna and physico-chemical parameters.

Table de Matière

| | |
|---|-----------|
| Remerciement | / |
| Dédicace | / |
| الملخص | / |
| Résumé | / |
| Abstract | / |
| Sommaire | / |
| Liste des tableaux | / |
| Liste des figures | / |
| Liste des abréviations | / |
| Introduction | 1 |
| Chapitre I: Généralité sur le sol agricole | |
| Partie 1 : Généralité sur le sol agricole | 3 |
| I.1.1. Définition du sol | 3 |
| I.1.2. Le sol agricole | 3 |
| I.1.3.La biodiversité des sols agricoles | 3 |
| I.1.4.Le cadre abiotique | 6 |
| I.1.4.1. La température et les précipitations | 6 |
| I.1.4.2.Lepotentield'hydrogènedusol | 7 |
| I.1.5.Le sol et les pesticides | 7 |
| I.1.6.Les Effets des pesticides sur la qualité du sol | 8 |
| I.1.7.Action des macrofaunes des sols sur les diverses caractéristiques des sols | 9 |
| I.1.7.1.Action sur les caractéristiques physiques des sols | 9 |
| I.1.7.2.Action sur les caractéristiques chimiques des sols | 10 |
| I.1.7.3.Action sur les caractéristiques biologiques des sols | 10 |
| I.1.7.4.Action humaine sur le sol et ces composants | 11 |

| | |
|--|-----------|
| Partie 2 : La macrofaune du sol | 13 |
| I.2.1. Histoire des recherches sur la macrofaune des sols | 13 |
| I.2.2. Macrofaune du sol | 13 |
| I.2.2. Exemple de la faune du sol | 18 |
| I.2.2.1. Les Termites | 18 |
| I.2.2.2. Les vers de terre | 20 |
| I.2.2.3. Les Hyménoptères (fourmis) | 21 |
| I.2.2.4. Les Diptères | 21 |
| I.2.2.5. Les Hémiptères | 22 |
| I.2.2.6. Les Dermaptères | 23 |
| I.2.2.7. Les Arachnides (araignées) | 23 |
| I.2.2.8. Les Myriapodes | 24 |
| I.2.2.9. Les Gastéropodes | 25 |
| I.2.2.10. Les Isopodes | 26 |
| I.2.2.3. Effets des facteurs du milieu sur la macrofaune | 27 |
| I.2.4. Action de la faune sur le sol | 27 |
| I.2.5. Rôles de la macrofaune du sol dans la décomposition de la matière organique Et le recyclage des nutriments | 28 |
| I.2.5.1. La dégradation de la matière organique | 28 |
| I.2.5.2. Décomposition de la matière organique dans les cycles biogéochimiques | 28 |
| I.2.5.3. Recyclage des nutriments | 29 |
| I.2.5.4. Impact de la macrofaune sur la respiration du sol | 29 |

| Chapitre II : Généralité sur la région d'étude | |
|--|-----------|
| II.1.Présentation de la région d'étude | 32 |
| II.1.1.Situation géographique | 32 |
| II.1.2.Relief | 33 |
| II.1.3.Ressource en sol | 35 |
| II.1.4.La végétation dans la wilaya de Mila | 35 |
| II.1.5.L'agriculture | 36 |
| II.1.5.1.Le climat | 37 |
| II.1.2.Caractérisation climatique de la région de Mila | 38 |
| II.1.2.1.La température | 38 |
| II.1.2.2.Les précipitations | 39 |
| II.1.2.3.Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson | 40 |
| II.1.2.3.Diagramme pluviothermique d'Emberger | 41 |
| Chapitre III: Matériel et méthodes | |
| III. Materiel et methods | 44 |
| III.1.Choix et localisation des sites de prélèvements | 44 |
| III.2.Analyse physico-chimiques et biologiques | 45 |
| III.2.1.Paramètres physico-chimiques | 45 |
| III.2.1.1.Potentiel d'hydrogène (pH) | 45 |
| III.2.2.Conductivité électrique (CE) | 46 |
| III.3.Paramètres biologiques | 46 |
| III.3.1.Méthode d'échantillonnage de la macrofaune du sol | 46 |
| III.3.1.2.Conservation des échantillons | 46 |
| III.3.1.3.Identification de la récolte | 48 |
| III.3.1.2.4. Détermination des indices écologiques | 48 |

| | |
|--|-----------|
| III.3.1.2.4.1.Richesse spécifique totale (S) | 48 |
| III.3.1.2.4.2.Fréquence centésimale (Abondancerelative AR%) | 49 |
| III.3.1.2.4.3Indice de diversité de Shannon-Weaver(H') | 49 |
| III.4.4.L'indice d'équitabilité (E) ou régularité | 50 |
| Chapitre IV: Résultats et discussions | |
| IV. Résultat et discussions | 52 |
| IV.1. Les analyse sphysico-chimiques | 52 |
| IV.1.1.Le potentiel d'hydrogène (pH) | 52 |
| IV.1.2.La conductivité électrique (CE) | 53 |
| IV.2.Résultat de l'analyse biologique | 55 |
| IV.2.1.Richesse spécifique totale (S) | 55 |
| IV.2.2.Abondance relative (AR%) | 57 |
| IV.2.3.Composition et diversité | 59 |
| IV.2.4.Indice de diversité et d'équitabilité | 62 |
| Conclusion | 68 |
| Annexes | 70 |
| Références bibliographiques | 75 |
| Références site web | 77 |

Liste des tableaux

| N° | Titre | Page |
|-----------|---|-----------|
| 1 | La macrofaune sol (George G.Brown, 2001, Modifié par Fennouche et Hellal, 2022). | 15 |
| 2 | Principaux groupes taxonomiques appartenant à la macrofaune des sols. | 17 |
| 3 | Localisation et des criptions des stations d'étude | 44 |
| 4 | Echelle d'acidité des sols | 53 |
| 5 | Classe de la qualité des sols selon la conductivité électrique | 54 |
| 6 | Variation spatio-temporelle du nombre d'individu des différents taxons rencontrés dans les sites d'études | 55 |
| 7 | Variation spatio-temporelle de la macrofaune du sol en fonction des paramètres du milieu | 57 |
| 8 | Récapitulatif de la richesse en macrofaune de trois stations d'étude dans la région de Mila. | 60 |
| 9 | Récapitulatif de la richesse en macrofaune de trois stations d'étude dans la région de Mila | 61 |
| 10 | La diversité (H') et l'équitabilité (E) de la macrofaune dans les trois types du sol. | 62 |
| 11 | Photographies des principaux taxons rencontrés dans la zone d'étude | 63 |

Liste des figures

| N° | Titre | Page |
|-----------|--|-----------|
| 1 | Classement des organismes du sol par la taille | 5 |
| 2 | Clés de détermination des animaux du sol les plus connus (régions tempérées) | 6 |
| 3 | Comportement des pesticides dans le sol | 9 |
| 4 | Illustration des différentes fonctions du sol | 11 |
| 5 | Taille et diversité des organismes du sol | 14 |
| 6 | Autres (fourmi-lion, Diplura, Guêpes, Vers plats, Moissonneurs, Poissons d'argent, etc.). | 17 |
| 7 | Polymorphisme chez les termites | 19 |
| 8 | Le verre de terre | 20 |
| 9 | Les fourmis. | 21 |
| 10 | Les Diptères (Diptères ; 1.Mouche à viande; 2.Salarve; 3.Sanymphe ; 4.Taon; 5.Cousin ; 6.Puce; 7.Salarve.) | 22 |
| 11 | Les Hémiptères | 23 |
| 12 | Les Dermoptères | 23 |
| 13 | Les Arachnides | 24 |
| 14 | Les Myriapodes | 25 |
| 15 | Les Gastéropodes | 26 |
| 16 | Les Isopodes | 26 |
| 17 | Situation géographique de la wilaya de Mila | 32 |
| 18 | Relief et zones naturelle de la wilaya de Mila | 34 |
| 19 | Répartition de la superficie agricole totale dans la wilaya de Mila | 36 |
| 20 | Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'est algérien | 37 |
| 21 | Variation moyenne mensuelle de la température de l'air pendant la période 2005/2018 de la région de Mila | 39 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 22 | Variations des précipitations mensuelles moyennes pendant la période 2005-2018 de la région de Mila | 40 |
| 23 | Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Mila (2005-2018) | 41 |
| 24 | Situation de la région de Mila dans le climagramme d'Emberger (2005-2018). | 42 |
| 25 | Localisation géographique des sites de prélèvements | 44 |
| 26 | Un pH mètre de type Consort C6010 | 45 |
| 27 | Différentes étapes du processus d'échantillonnage de la macrofaune de sol par la méthode TSBF. | 47 |
| 28 | Variation spatio-temporelle du potentiel d'hydrogène dans les trois types du sol. | 52 |
| 29 | Valeurs de la conductivité électrique dans trois sites | 54 |
| 30 | Variation spatio-temporelle de la densité des taxons rencontrés durant les campagnes de prélèvement. | 56 |
| 31 | Contribution de la faune dans la composition du sol agricole à culture céréalière | 58 |
| 32 | Contribution de la faune dans la composition du sol agricole à culture d'oignon | 58 |
| 33 | Contribution de la faune dans la composition du sol témoin (jardin privé). | 59 |

Sigles et abréviations

%: Pourcentage

°C: Degré Celsius

Al: Altitude

C : Compagne

CE: Conductivité électrique

CO2:Dioxydedecarbone

E: Est

E:Equitabilité

E:Est

ex: exemple

Fig : Figure

h :heure

h: Heure

Ish : Indice de Shannon

Kg: Kilogramme

km2:Kilomètrécarré

M:maximal

m:Minimal

m² : Mètre carré

mm: Millimètre

N: Nord

N:Nord

ONM: Office National Météorologique

P:Précipitation

PH: Potentiel hydrogène

S:Richessespécifiquetotale

Sp: Especes

St: Station

T:Température

Tab: Tableau

TSBF: Tropical Soil Biology and Fertility

μS/cm: Micro siemens par centimètre

°: Degré

Introduction



Introduction

Le macrofaune du sol, composante la plus importante de la faune des sols, joue un rôle essentiel dans leur fertilité. Elle remplit au sein des écosystèmes des fonctions essentielles pour le maintien de la qualité des sols (Giller, 1996).

Le sol est à la base de nombreux services écosystémiques : il filtre l'eau, produit des aliments, stocke du carbone (C) dans la matière organique du sol (mos), constitue des habitats et possède un énorme patrimoine génétique. L'être humain et son environnement ont une influence directe sur de nombreuses propriétés du sol. Une utilisation non adaptée au site nuit aux fonctions essentielles d'habitat, de production et de régulation du sol (Hagedorn et al., 2017).

Dans le domaine agricole, un changement d'usage survient lors du boisement d'une terre à vocation non agricole ou inversement, en cas de défrichage. Les changements d'usage des sols se traduisent le plus souvent par une réduction de biodiversité car ils interviennent généralement de façon brusque, ne laissant pas suffisamment de temps aux organismes des sols pour se déplacer ou s'adapter à leur nouvel environnement. Cependant, La biodiversité est probablement un excellent indicateur de la capacité d'un écosystème à résister aux perturbations externes. L'utilisation intensive du sol par l'homme et le changement climatique mettent le sol et ses fonctions en péril. Certaines espèces partent lorsque les conditions ne leur conviennent plus : aussi, avant d'envisager d'agir sur la biodiversité du sol, il apparaît essentiel d'identifier la cause du changement.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, il consiste à 'apporter des éléments de connaissance sur la biodiversité de la macrofaune de trois types de sol différents dans une région d'étude définie afin d'établir, une meilleure connaissance sur la diversité biologique de chaque type de sol, en relation avec les changements de leurs propriétés physiques et chimiques ainsi que la variation du microclimat.

Chapitre I :

Généralités sur le sol

Partie 1 : Généralités sur le sol

I.1.1. Définition du sol

Le sol est « la couche supérieure de la croûte terrestre, transformée par des processus climatiques, physico-chimiques et biologiques, composée de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants, organisée en horizons de sols ». Le sol résulte de l'altération des roches mères sous-jacentes et de l'accumulation de la matière organique résultant des activités biologiques. Mais le sol est aussi un milieu vivant qui contient une flore, une faune et une microflore particulièrement riche, interagissant entre elles et avec les constituants du sol. Ainsi, la composition d'un sol dépend de nombreux facteurs abiotiques (e.g. Climat, nature de la roche-mère, physico-chimie du sol) et biotiques (e.g. Abondances et diversité des communautés floristiques, faunistiques et microbiennes). Le sol est un compartiment complexe, un carrefour dit « multifonctionnel », en relation avec la lithosphère, l'hydrosphère, l'atmosphère et la biosphère. Le sol remplit de nombreuses fonctions écosystémiques. Bien qu'il en existe de nombreuses définitions, nous considérons qu'une fonction écosystémique (ou fonction écologique) est un processus lié à des flux de matières et d'énergies dans un écosystème. Les fonctions écosystémiques peuvent être chimiques (e.x. L'oxydation), physiques (ex. La diffusion) ou encore biologiques (ex. La dénitrification ou la minéralisation) (Vincent, 2018).

I.1.2. Le sol agricole

D'après Mailloux et *al.*, 1964, le classement des sols en vue de leurs possibilités d'utilisation agricole s'appuie sur les critères fondamentaux suivants :

- ✓ la valeur du sol lui-même, ou les qualités intrinsèques du sol in situ ;
- ✓ la nature et l'importance des travaux nécessaires à sa mise en valeur et à sa conservation.

Les possibilités d'utilisation ou de valorisation du sol cultivé dépendent de ces facteurs et, par conséquent, de la nature et de l'importance des travaux d'amélioration nécessaires pour corriger ou atténuer les conditions défavorables ou les caractères (internes ou externes) défectueux des sols.

I.1.3. La biodiversité des sols agricoles

Les organismes représentent un des cinq facteurs majeurs de la formation des sols. Ainsi, le fonctionnement du sol est affecté par l'abondance et la diversité des organismes du sol. En

accord avec de récentes estimations, les animaux du sol représenteraient à peu près 23% de la diversité totale des organismes vivants qui ont été décrits à ce jour.

Les auteurs s'accordent à dire que la faune et flore du sol jouent un rôle crucial dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Ils sont ainsi considérés comme le système supportant la vie sur notre planète. Tout ceci a provoqué un intérêt renaissant pour la biodiversité du sol et ses rôles fonctionnels (Chevrollier, 2009).

La faune du sol couvre plusieurs échelles de taille, depuis les organismes microscopiques jusqu'à des animaux de plusieurs dizaines de centimètres. Elle regroupe une multitude de taxons exprimant une diversité de formes, de stades de développement, de modes de vie et régimes alimentaires qui ont une incidence sur le fonctionnement physico-chimique du sol à toutes les échelles, depuis l'arrangement des particules élémentaires (échelle texturale) jusqu'à l'arrangement macroscopique des agrégats, des macropores et des horizons de sol (échelle structurale). Tous ces organismes, liés dans les réseaux d'interactions, participent au flux d'énergie dans les écosystèmes (Michael Hedde, 2020).

- ✓ **La microfaune :** organismes $< 0,2$ mm (ex: nématodes, protozoaires) est représentée par plusieurs centaines d'organismes par gramme de sol. Elle régule la microflore par prédation et occupe une position clé dans les réseaux trophiques. Leur attribution fonctionnelle correspond aux microrégulateurs biotiques, microbivores ou microprédateurs.
- ✓ **La mésofaune :** rassemble les invertébrés $> 0,2$ et < 2 mm (ex: enchytréides, collemboles) vit quant à elle à différentes échelles d'agrégats et représente plusieurs dizaines de milliers d'individus par mètre carré. Appelés détritivores ou encore transformateurs de litière, les organismes vivants de la mésofaune sont responsables du broyage et de la fragmentation de la matière organique (ex : feuilles) et de l'établissement d'une microporosité (rétention de l'eau) et d'une mésoporosité (assemblage).
- ✓ **La macrofaune :** ensemble d'organismes > 2 et < 80 mm (ex: vers de terre, diplopodes) représente souvent des centaines d'individus par mètre carré. Appelée aussi « ingénieurs du sol ou de l'écosystème », 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. Ses principales fonctions sont la fragmentation et l'intégration de la matière organique au sol, ainsi que la formation et le maintien de la structure du sol à travers l'activité de bioturbation. La porosité créée regroupe les micro-, méso- et macroporosité

tubulaires, permettant de faciliter l'infiltration ou le stockage de l'eau, les échanges gazeux mais aussi de fournir un habitat favorable (la drilosphère, la paroi des galeries) au développement d'autres organismes plus petits comme les microorganismes.

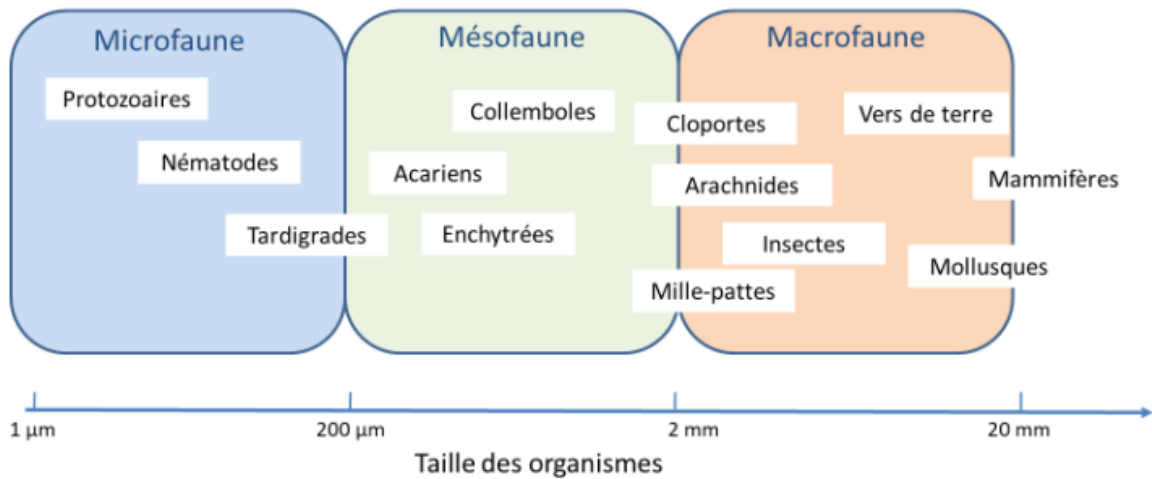


Figure 1: Classement des organismes du sol par la taille (Michael Hedde, 2020)

Selon Amossé (2014), le regroupement des invertébrés du sol par catégorie de taille est pertinent car il permet de renseigner sur l'échelle spatiale de vie et l'habitat occupé par les organismes au sein du sol. De plus, ce classement permet de donner une information clé sur les différents rôles joués par les organismes, animaux et microbiens, sur le fonctionnement du sol. Pour les différentes classes de taille, la faune du sol joue un rôle clé dans la structuration des sols, la décomposition de la matière organique ou encore le cycle des éléments nutritifs, permettant ainsi de contribuer à la fourniture de services écosystémiques dans les sols urbains. Cependant, les groupes fonctionnels définis selon la taille des organismes du sol ne restent pas figés, et peuvent varier selon les types de processus (ex : transformation des matières organiques mortes) et de milieux étudiés. Ainsi, les niveaux trophiques couramment identifiés dans le contexte des sols naturels peuvent varier dans le cas des sols urbains comme chez les vers de terre (dominance d'épigés) ou encore chez les nématodes (dominance de phytophages) dans les sols contaminés

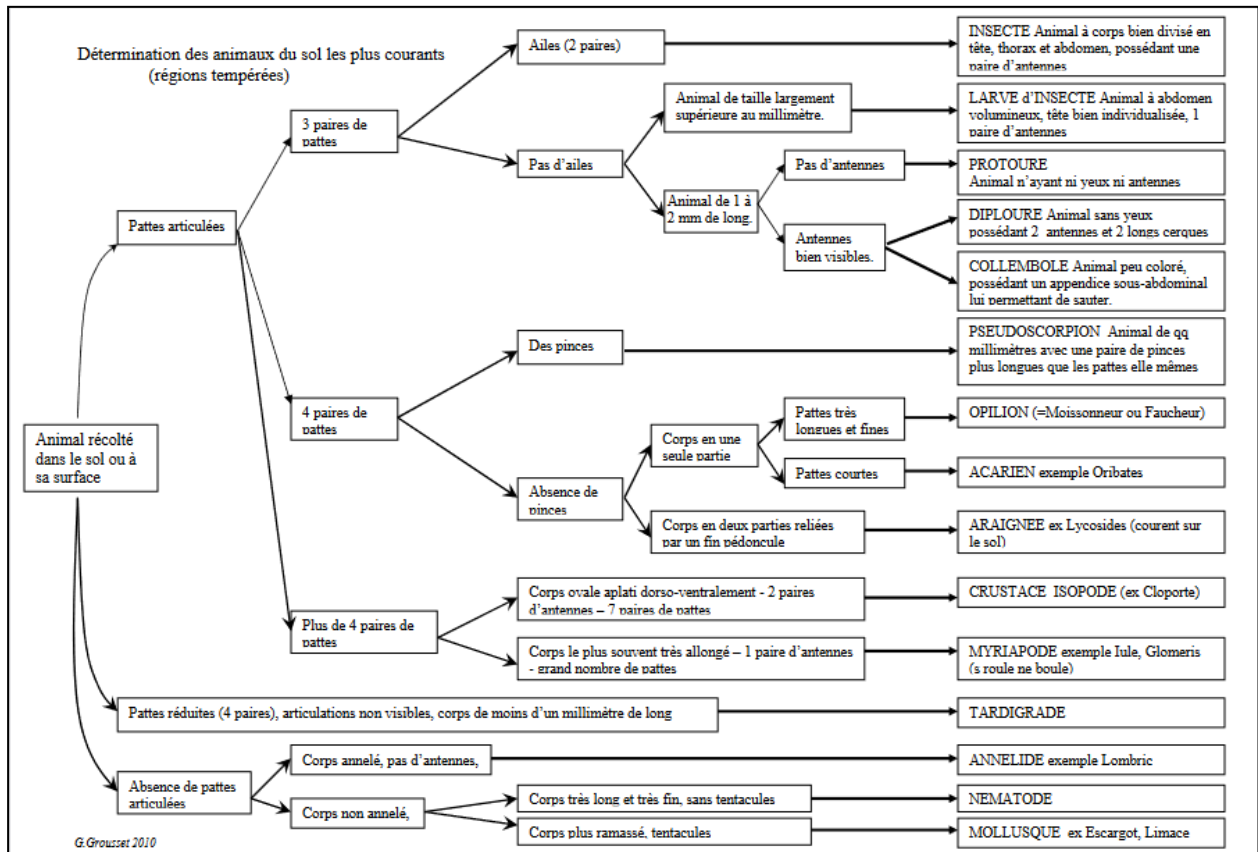


Figure 2 : Clés de détermination des animaux du sol les plus connus (régions tempérées)

I.1.4. Le cadre abiotique

Le climat (température, humidité...) et la géomorphologie (matériau parental, altitude...) sont des facteurs abiotiques qui agissent à large échelle sur la végétation et les organismes du sol, en accélérant ou au contraire en ralentissant les fonctions biologiques au sein de l'écosystème et en agissant sur la disponibilité en nutriments intéressant pour prédire la réponse des écosystèmes à des changements environnementaux (Nivet et al., 2018).

I.1.4.1 La température et les précipitations

La température, la disponibilité de l'eau est le principal facteur abiotique de contrôle de la dynamique du carbone dans le sol. Si la teneur en eau est inférieure à 15% en volume, l'activité des microorganismes diminue fortement. Les animaux du sol sont en général plus sensibles que les bactéries et les champignons (Hagedorn et al., 2017). Un réchauffement du sol, va diminuer avec l'augmentation des températures et la diminution des précipitations la biodiversité des sols.

Les précipitations sont un facteur important, bien que la chimie du sol et exerce une influence dominante sur sa biodiversité.

Le bilan de la radiation solaire, depuis l'atmosphère jusqu'au sol, montre qu'un tiers (33%) de l'énergie solaire pénètre dans le sol. La plus grande partie (40%) de cette énergie est réfléchiée par la couche atmosphérique supérieure, 17% sont absorbés par l'atmosphère et 10% réfléchies par le sol et la végétation (Baize et Girard, 2009).

I.1.4.2 Le potentiel d'hydrogène du sol

In Gamm vert (2018), le pH, ou potentiel hydrogène, est un indice qui permet de mesurer le taux d'acidité ou de basicité. Il se mesure selon une échelle allant de 0 à 14, 0 étant le plus acide, 7 la neutralité et 14 le plus basique. On parle souvent de sol acide ou calcaire, mais en fait les termes exacts sont acide ou basique (on peut également utiliser le mot "alcalin").

- Un sol à pH très bas, inférieur à 5 donc très acide, va provoquer des carences en calcium (les plantes acidophiles ne sont pas concernées), en phosphore ;
- Un sol à pH élevé, supérieur à 8, donc très basique, empêche l'assimilation du magnésium et du fer ;

Il peut y avoir une différence de pH entre l'hiver et l'été, du fait des variations de teneur en eau dans le sol et de l'activité biologique, très différentes entre ces 2 extrêmes. Généralement assez faibles, cette différence peut cependant aller jusqu'à 1 point lorsque le sol est calcaire.

- Un sol acide est généralement un sol riche en humus ou bien un sol sableux. Son pH est inférieur à 7 ;
- Un sol basique est le plus souvent un sol calcaire (d'où la confusion). Son pH est supérieur à 7.

I.1.6. Le sol et les pesticides

D'après El Bakouri, (2006), le sol est un matériau à la fois minéral et organique. La partie minérale représente la fraction la plus importante.

- minéraux primaire : issus de l'altération du substrat géologique sous l'action conjuguée de la température, de l'air et de l'eau ;

- minéraux secondaires : produit d'altération comme les argiles, les oxydes et les hydroxydes.

Le sol joue un rôle fondamental dans le devenir des pesticides qui peuvent être appliqués. Un traitement important des sols avec des pesticides peut entraîner une baisse des populations de microorganismes du sol bénéfiques.

Si nous perdons les bactéries et les champignons, le sol se dégrade". L'utilisation excessive d'engrais chimiques et de pesticides a des effets sur les organismes du sol (Calvet, 2005).

I.1.7. Les effets des pesticides sur la qualité du sol

- ✓ Le devenir des pesticides dans l'environnement c'est-à-dire, leur rétention, leur transformation et leur dégradation, dépend de leurs propriétés ainsi que celles des différents compartiments concernés, le sol, les eaux et l'atmosphère. (El Bbakouri, 2006).

L'impact des pesticides sur le sol se manifeste généralement par trois phénomènes (fig.3) :

- ✓ **Des phénomènes de rétention** : soit par absorption par les végétaux ou la microflore du sol, soit par adsorption par la matière humique du sol. Et aussi les pesticides peuvent être absorbés par les racines et les feuilles des plantes cette étape est probablement la principale voie conduisant à l'accumulation de ces produits le long des chaînes trophiques, donc la voie majeure par laquelle l'homme et les animaux sont mis en contact avec ces composés.
- ✓ **Des phénomènes de transformation (métabolisme par les microorganismes, photolyse)** : transforment petit à petit les pesticides en produit moins toxique, et ces produits obtenus dépendent en grande partie de l'énergie de la lumière solaire qui affecte la molécule primaire (El Bbakouri, 2006).

Le processus de dégradation est un facteur de dépollution majeur des compartiments environnementaux contaminés par les pesticides. Cette transformation peut se traduire par la minéralisation complète et relativement rapide ; ce qui peut entraîner une détoxification du milieu ou au contraire provoque une intoxication (Calvet, 2005).

- ✓ **Des phénomènes de transport par lixiviation, lessivage ou ruissellement** : ce qui pourra conduire à la contamination des eaux de drainage, des eaux de surfaces ou des nappes phréatiques (Batsch, 2011).

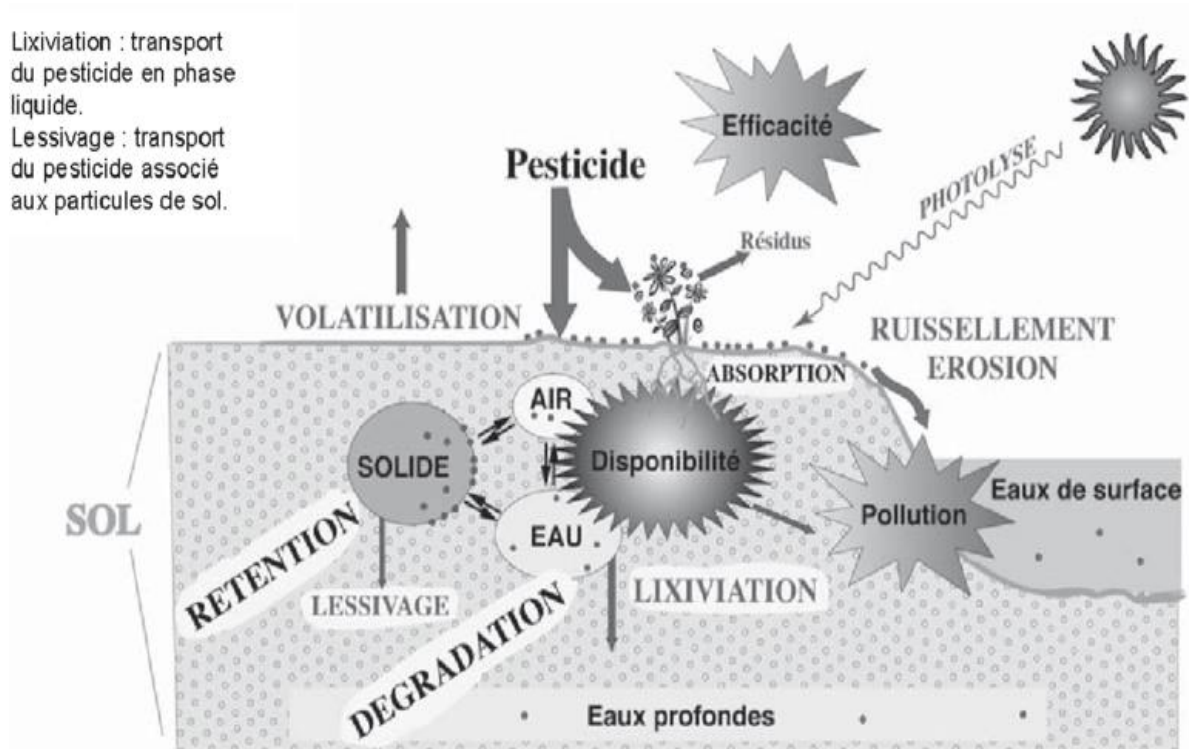


Figure 3 : Comportement des pesticides dans le sol (www.researchgate.net)

I.1.8. Action des macrofaunes des sols sur les diverses caractéristiques des sols

I.1.8.1. Action sur les caractéristiques physiques des sols

D'après Bachelier, Chaque être vivant ayant naturellement tendance à essayer de vivre dans les meilleures conditions essaie de se créer l'habitat le plus favorable possible, aussi la faune agit-elle d'abord mécaniquement sur les sols par l'activité fousseuse de nombre de ses représentants. Cette activité fousseuse se traduit dans les sols à la fois par la création de galeries et par des transports de matériel.

De nombreux vers creusent des galeries, effectuent des transports verticaux de sols et assurent un mélange intime des débris végétaux avec la partie minérale du sol. De nombreux termites effectuent aussi des remontées spectaculaires de sol.

Les galeries de vers, de certaines larves d'insectes, ou encore de petits vertébrés comme les taupes peuvent se remplir de terre humifère entraînée par les eaux et constituer des voies préférentielles de pénétration pour les racines. Inversement, de nombreux animaux saprophytes que phytophages, qui s'attaquent aux racines plus ou moins en décomposition, laissent dans le sol des chenaux fertilisés par leurs déjections.

La faune du sol, en favorisant l'activité biologique globale du sol, en favorise indirectement la structure, mais nombre de ses représentants peuvent aussi avoir une action plus directe sur cette structure, soit, comme le font les vers et les enchytréides, en amalgamant intimement les débris végétaux en décomposition à la partie minérale du sol, soit, comme les autres animaux, en facilitant au cours des chaînes alimentaires la pénétration en profondeur des matières organiques.

I.1.8.2. Action sur les caractéristiques chimiques des sols

D'après Bachelier, La faune influence les caractéristiques chimiques des sols par des voies très variées (fig.4).

Concernant, par exemple, le cycle de l'azote, les animaux participent non seulement à la minéralisation de l'azote organique par leur digestion, mais ils constituent aussi par eux-mêmes une réserve d'azote souvent très importante et mobilisable à leur mort. Certaines augmentations saisonnières de l'azote des sols sont ainsi dues à une diminution brutale des animaux par suite de l'apparition de conditions hostiles & leur existence. La mortalité de saison sèche des vers de terre peut apporter aux cultures jusqu'à la moitié de leurs besoins en azote ou encore couvrir les besoins annuels d'une forêt en cet élément.

Evidemment, en absence de vers de terre ou d'autres animaux, la même quantité de litière, à dégradation égale, libérera la même quantité d'azote, mais cet azote risque plus d'être lessivé ou livré à la dénitrification dans le cas d'une dégradation microbienne qu'au sein des rejets de vers où les éléments fins le retiennent et grâce auxquels il se trouve mieux réparti dans le profil. La présence d'une faune des sols abondante, et principalement la présence des vers de terre, mite fortement la (faim d'azote) des sols quand on y incorpore de la paille ou du fumier pauvre.

Les protozoaires bactériophages, de leur côté, stimulent les diverses fonctions des bactéries dont ils se nourrissent, en maintenant leurs populations jeunes et actives ils facilitent ainsi l'ammonification des débris organiques et accroissent la fixation d'azote par les azotobactères.

I.1.8.3. Action sur les caractéristiques biologiques des sols

La faune a aussi une influence marquée sur la biochimie des sols et ses diverses caractéristiques biologiques (fig.4).

Alors que les bactéries possèdent, à côté d'enzymes constitutifs, des enzymes adaptatifs de formation occasionnelle, les animaux possèdent tous des enzymes ou diastases très spécifiques, et plus la faune d'un sol est riche et variée, plus son potentiel enzymatique apparaît important. Or, les débris végétaux passent généralement par plusieurs tubes digestifs au cours de leur dégradation, car un animal reprend souvent un fragment végétal rejeté par un autre pour en utiliser un composant que le premier n'a pas assimilé faute de la diastase appropriée. Cette reprise des excréments, qui donne naissance aux associations par coprophagie, contribue à accroître le potentiel enzymatique des sols.

La faune des sols, favorise la production de foyers à haut degré nutritif, et stimule l'activité de la microflore, dont le rôle dans la dégradation énergétique est quantitativement plus important. La faune entretient l'écoulement du flux énergétique en évite les engorgements (Bachelier, 1978).

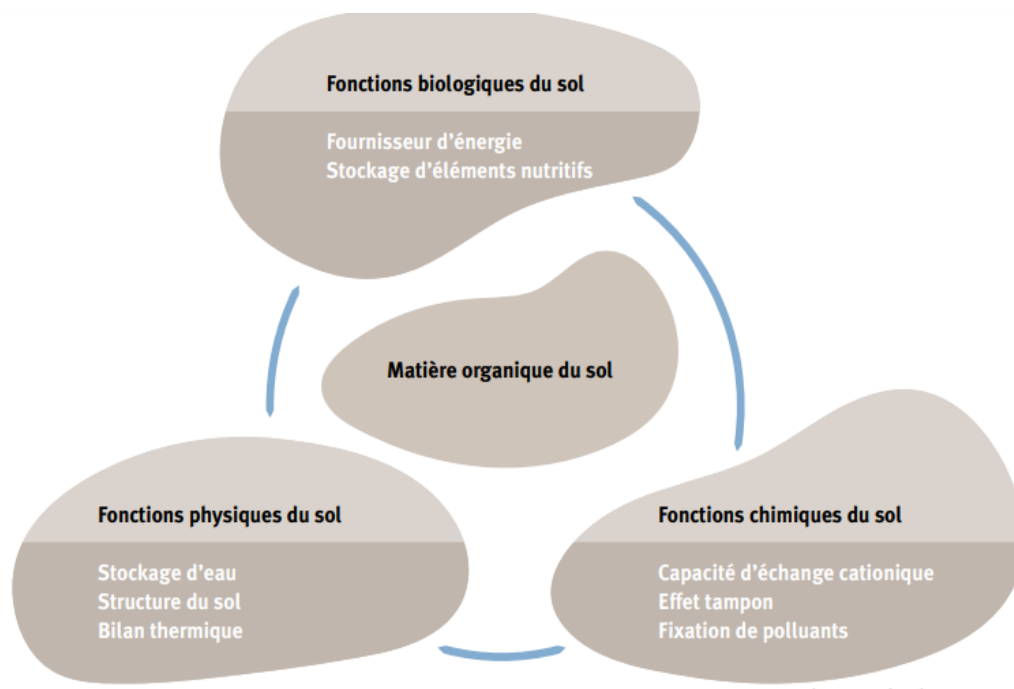


Figure 4 : Illustration des différentes fonctions du sol (Hagedorn et al., 2017)

I.1.8.4 Action humaine sur le sol et ces composants

Les pratiques culturales telles que le labour, les systèmes de culture, et l'usage des produits phytosanitaires influencent la densité et la diversité biologique des sols cultivés (Lal, 1988 ; Brown et al., 2002). Le travail du sol agit de manière directe en blessant et tuant une partie de la pédofaune. Il expose également celle-ci aux conditions extérieures qui lui sont souvent défavorables (lumière, humidité, prédation...). De manière indirecte, il modifie les paramètres physiques du sol et ainsi l'ensemble du milieu dans lequel évoluait cette faune.

L'utilisation d'intrants chimiques, si elle permet la destruction des ravageurs, agit également sur toute une partie de la pédofaune. Ils tuent directement (cas des biocides à large spectre d'action), diminuent la longévité ou encore la fertilité des communautés.

Les phénomènes de bioaccumulation sont à l'origine de la concentration et du transit des substances ingérées au travers de la chaîne alimentaire. L'exportation de matière organique (récoltes et parfois des résidus) entraîne une diminution des ressources nutritives pour la communauté des décomposeurs. Sa restitution est alors favorable au développement de la biomasse microbienne. A une échelle plus grande, la modification du paysage agit sur les conditions macro-climatiques et par extension sur l'ensemble du microclimat des différents milieux.

Partie2 : La macrofaune du sol

I.2.1.Histoire des recherches sur la macrofaune des sols

Bien que les premières études sur les sols remontent à l'Antiquité (Boulaine, 1989), la prise en compte des organismes vivants dans son fonctionnement est très récente et débute véritablement à la fin du 19e siècle avec les travaux de Schloesing & Muntz (1877) sur le rôle des microorganismes, ceux de Darwin (1881) sur le rôle des vers de terre et ceux de Müller (1879 et 1884) sur la formation de l'humus. Ces travaux ont véritablement lancé la biologie des sols, montrant l'importance des organismes vivants dans la formation et le fonctionnement des sols. En ce qui concerne la macrofaune des sols, les vers de terre constituent de loin le groupe d'organismes qui à le plus tôt été reconnu pour ses actions sur la pédogenèse et la fertilité des sols. Déjà les Egyptiens avaient perçu leur rôle important vis-à-vis de la fertilité des sols et Cléopâtre en avait fait des animaux sacrés qu'il fallait à tout prix protéger pour ne pas mettre en péril la fertilité de la Vallée du Nil (Minnich, 1977).

I.2.2.Macrofaune du sol

De nombreux auteurs proposent une classification différente (Rapoport. 1966) que nous ne retiendrons pas ici. Lavelle et al.(1992) divisent la macrofaune en trois groupes fonctionnels basés sur le régime alimentaire et la localisation dans le sol :

- **Les épigés** : organismes vivant dans la litière. Se nourrissant de matériel végétal en décomposition et de micro-organismes vivants (essentiellement champignons) ou d'invertébrés. Ils n'ont pas d'effet sur la structure du sol.
- **Les endogés** : organismes vivant dans le sol et se nourrissant de matière organique et de racines mortes. Ils jouent un rôle dans la formation d'agrégats.
- **Les anéciques** : organismes vivant dans le sol mais trouvent leur source de nourriture dans la litière. Ils modifient les caractéristiques physiques du sol par la formation de galeries (Aération du sol. infiltration d'eau).

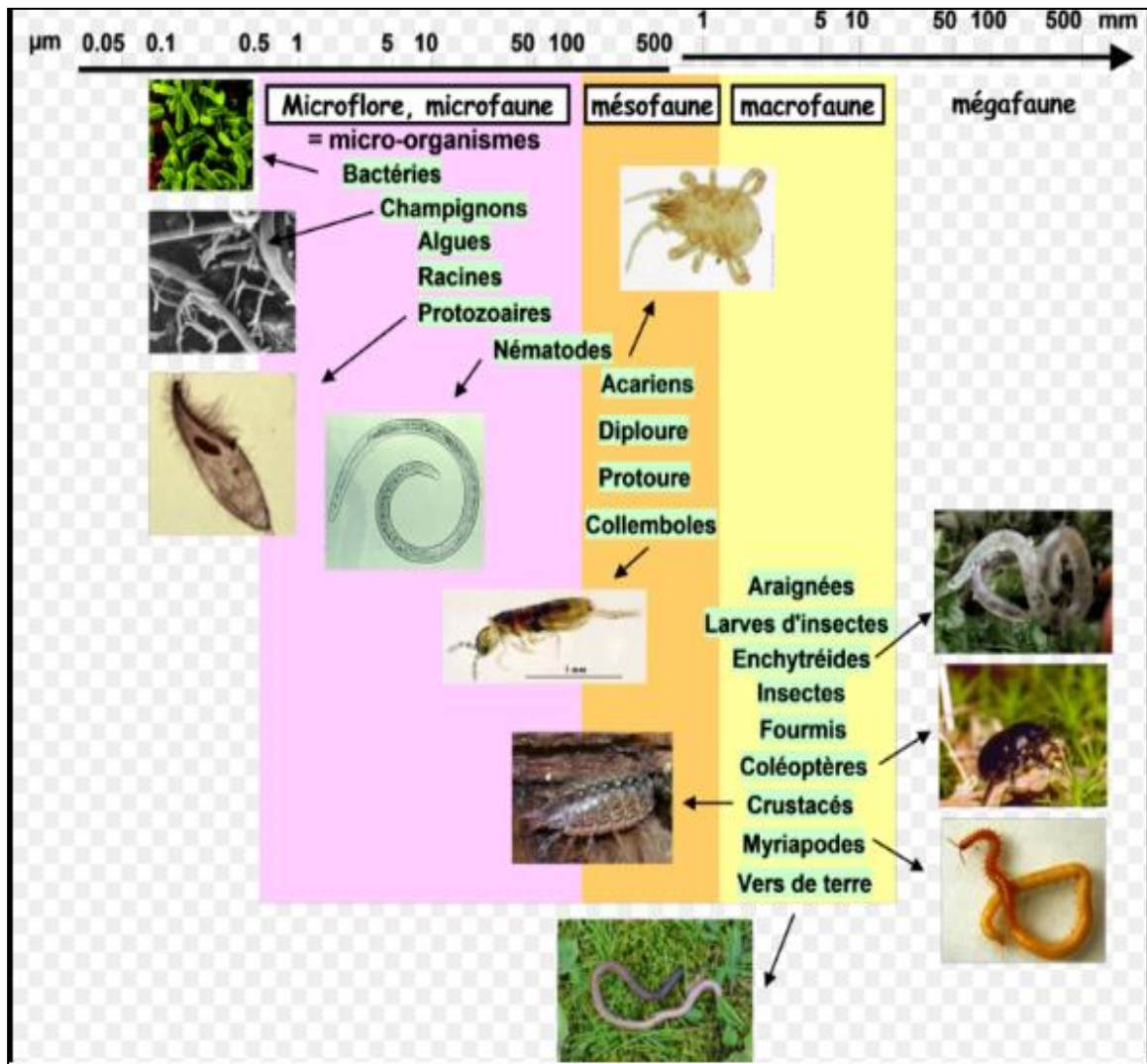


Figure 5. Taille et diversité des organismes du sol¹.

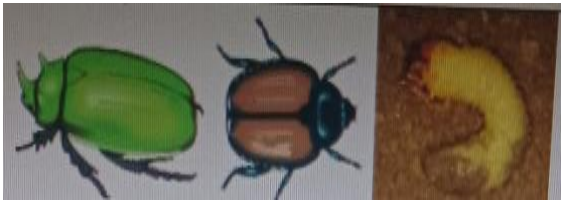
Tableau1.Lamacrofaunesol (George G.Brown, 2001, Modifié par Fennouche et Hellal, 2022).



Termites



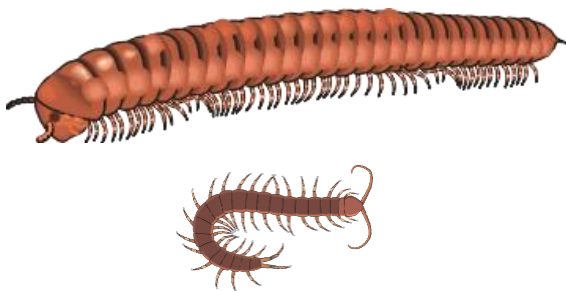
Vers de terre



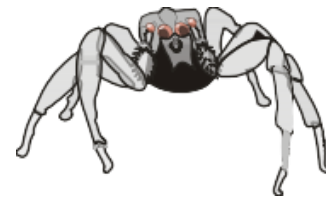
Coléoptères



Fourmis



Mille-pattes



Araignée






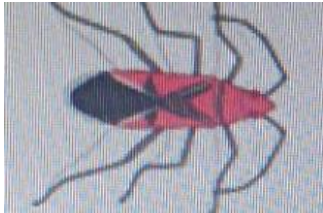
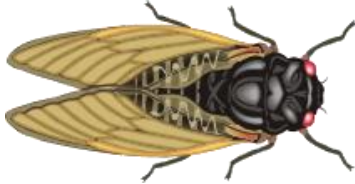






Scorpion



Pseudo-scorpion



Perce-oreille

| | |
|---|---|
|  <p>Escargot</p>  <p>Limace</p> |  <p>Grillon</p> |
|  <p>Véritable insecte(hémiptères)</p> |  <p>Cigale(homoptères)</p> |
|  <p>Cafard</p> |  <p>Isopode</p> |
|  <p>Mermithidae</p> |  <p>Enchytraeidae</p> |
|  <p>Larve de mite</p> |  <p>Larve de mouche</p> |

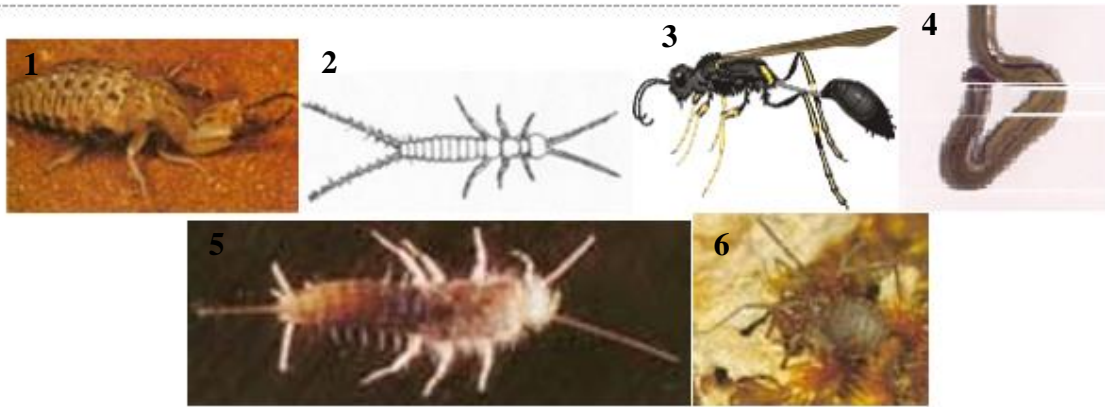


Figure 6 :Autres(1- fourmi-lion,2- Diplura,3- Guêpes,4- Versplats,5- Moissonneurs,6- Poissons d'argent,etc.). (George G.Brown, 2001, Modifié par Fennouche et Hellal, 2022).

Les groupes taxonomiques constituant la macrofaune sont extrêmement variés et appartiennent à trois embranchements principaux : les Annélides, les Mollusques et les Arthropodes. Ces derniers sont eux-mêmes très diversifiés puisqu'on peut trouver dans les sols des Insectes, des Crustacés, des Myriapodes (mille-pattes) et des Arachnides. De même, la plupart des ordres d'insectes peuvent être rencontrés dans le sol, sous forme d'œufs, de larves, de pupes ou d'imagos.

Tableau 2 : Principaux groupes taxonomiques appartenant à la macrofaune des sols.

Les ordres d'insectes en italique ne sont rencontrés qu'au stade larvaire dans le sol, les autres sont rencontrés au stade larvaire et au stade adulte (entre parenthèses, les noms vernaculaires des organismes les mieux connus du taxon)(Eric Blanchart, 2006).

| Embranchements | Classes | Taxons inférieurs |
|--------------------|-----------------|--|
| Annélides | Oligochètes | (vers de terre) |
| Mollusques | | (escargots, limaces) |
| Arthropodes | Crustacés | Isopodes (cloportes) |
| | Arachnides | Aranéides (araignées), Opilions, Scorpions, Pseudoscorpions |
| | Myriapodes | Diplopodes (iules) Chilopodes (scolopendres) |
| | <i>Insectes</i> | Diploures, Thysannoures, Dermaptères (forficules), Blattodés (blattes), Orthoptères (grillons), Hétéroptères (punaises), Homoptères (cigales), Diptères (mouches), Isoptères (termites), Lépidoptères (papillons), Hyménoptères (fourmis) et Coléoptères (scarabées, staphylins, carabes...) |

I.2.2.Exemple de la faune du sol

I.2.2.1. Les Termites

Les termites sont des insectes vivants en société dans des nids appelés termitières.

Ils appartiennent à l'embranchement des arthropodes (classe des Insectes, ordre des Isoptères). Une société de termites réunit un nombre variable d'insectes, de quelques centaines à plusieurs millions selon les espèces. Comme chez les autres insectes sociaux (abeilles, guêpes, fourmis), il existe plusieurs castes : des individus de taille et d'aspect différents jouent des rôles divers dans la vie de la société (Eggleton et *al.*,2000 ; Zaremski et *al.*,2009).

Les termites occupent une place importante dans les écosystèmes tropicaux. Ils participent à de nombreux services écosystémiques, entre autres, la décomposition de la matière organique et l'évolution de la structure physico-chimique des sols (Tano, 1993 ; Holt et Lepage, 2000).Ils peuvent influencer la structure et le fonctionnement des écosystèmes de plusieurs manières. Ils peuvent modifier fortement la texture et la structure du sol et avoir également un impact énorme sur le cycle du carbone par le traitement de grandes quantités du matériel végétal (Jouquet et *al.*,2002 ; Konaté et *al.*,2003).

On compte environ 2600 espèces et 281 genres (Zaremski et *al.*, 2009). Et on y distingue actuellement six familles de termites (Chinery, 1981).

- **Les Mastotermitidae** représentés par une seule espèce primitive d'Australie septentrionale : *Mastotermes darwiniensis*.

- **Les Kalotermitidae**. Ce sont des termites primitifs peu différenciés en dehors du couple royal. Ils forment des colonies, renfermant au maximum 5 000 individus. Ces colonies se localisent dans le bois et s'avèrent d'étendue limitée. Leurs crottes moulées sont d'aspect très caractéristique. Le genre *Cyptotermes* est commun dans toute l'Afrique occidentale, ses soldats sont typiques et affectionnent les bois bien sains ou secs. Le genre *Neotermes* renferme de nombreuses espèces attaquant les parties sèches des arbres vivants. Certains *Neotermes* sont parasites des cacaoyers, des théiers ou des tecks. (Bouillon et Mathot 1965),

- **Les Hodotermitidae** forment des colonies complètes avec ouvriers et soldats. Les espèces sont peu nombreuses dans cette famille, divisent toutefois les représentants de cette famille en deux sous-groupes, à savoir : les *Termopsidae*, qui sont des termites demeurant dans le bois, et les *Hodotermitidae* sensu stricto, qui sont des termites moissonneurs (genres *Hodotermes* et *Anacauthotermes*, par exemple). (Bouillon et Mathot 1965),

• **Les Rhinotermitidae.** Cette famille ne renferme que 13 genres et 166 espèces, mais elle a une très grosse importance économique de part les dégâts que peuvent occasionner certaines de ces espèces. On y trouve, notamment, *Coptodermes sjostedti*, un des termites les plus nuisibles d'Afrique (Basse Côte d'Ivoire, Guinée). Ses colonies, logées dans le bois, restent toujours en communication avec le sol pour l'humidité : ce qui n'empêche pas ces termites de s'attaquer à des bois très secs. Leurs nids sont des sortes d'éponges à trame serrée, construites en carton de bois d'origine stercorale. Les *Psammotermes* vivent dans les déserts et savanes sèches d'Afrique, y construisant des nids hypogés de la taille d'un poing à celle d'une tête humaine. Ils se nourrissent de bois et d'herbes.

• **Les Serritermitidae,** ancienne sous-famille des Rhinotermitidae.

• **Les Termitidae** (ou termites supérieurs). Cette dernière famille renferme les 3/4 des Isoptères décrits et plus des 9/10 des termites africains. Le mode de vie de ces termites varie d'un genre à l'autre. La nidification y est notamment très variée et des différences considérables peuvent se manifester à l'intérieur d'une même sous-famille.

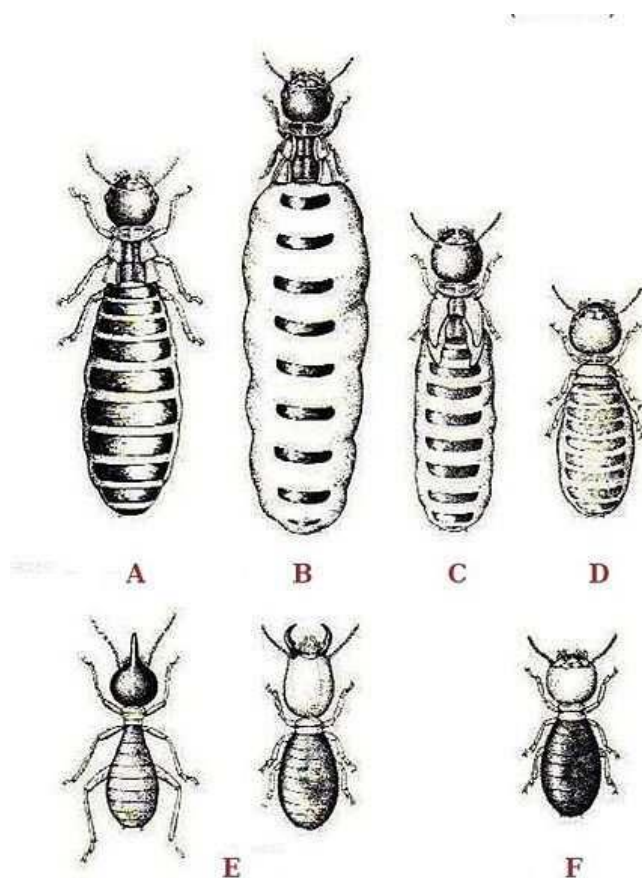


Figure7: Polymorphisme chez les termites (Chinery, 1981)

A. le roi ; B. la reine ; C & D. les reines de remplacement ; E. les soldats ; F. l'ouvrier

I.2.2.2. Les vers de terre

Les vers de terre constituent le groupe d'animaux du sol le mieux connu, le plus étudié, notamment en raison de leur importance reconnue dans le fonctionnement du sol. Leurs divers effets ont largement été décrits par Darwin (dès 1837, jusqu'à la publication de son ouvrage en 1881) : rôle dans la formation de la terre végétale (qu'il faudrait selon Darwin appeler « terre animale »), rôle dans la fertilité des sols, rôle dans la formation des sols, rôle dans l'enfouissement des vestiges archéologiques. Les vers de terre appartiennent à l'embranchement des Annélides, à la classe des Oligochètes (Oligochaeta), à l'ordre des Haplotaxida et au sous-ordre des Lumbricina (Parker, 1982). On recense actuellement environ 3600 espèces de vers de terre dans le monde, bien que le nombre croisse rapidement, certaines zones géographiques ayant été très peu étudiées (ainsi en Inde, lors de nos études sur la faune du sol des Ghâts Occidentaux, 3 nouveaux genres et 11 nouvelles espèces ont été découvertes).

Les espèces principalement rencontrées dans les sols tropicaux appartiennent à quatre familles : Glossoscolecidae, Ocnerodrilidae, Megascolecidae, Eudrilidae. Les vers de terre sont généralement classés en trois catégories écologiques : les épigés (pigmentés et détritivores, généralement de petite taille, vivant dans la litière), les anéciques (pigmentés et saprophages, généralement de grande taille et vivant dans des galeries principalement verticales) et les endogés (non pigmentés, géophages et venant rarement à la surface du sol ; ils peuvent être de taille variable) (Bouché, 1972).

Lavelle (1978) distingue 3 sous-catégories pour les endogés : les polyhumiques se nourrissant d'une terre relativement riche en matière organique, les mésohumiques consommant une terre moyennement riche en matière organique et les oligohumiques qui se nourrissent de sol pauvre en matière organique (horizons plus profonds).



Figure8: Le verre de terre²

I.2.2.3. Les Hyménoptères (fourmis)

Les fourmis sont des Hyménoptères holométaboles à antennes coudées et différenciées, à thorax simple et possédant typiquement un pétiole formé par les premiers segments abdominaux. Ce sont des espèces pionnières que l'on rencontre aussi bien sur les dépôts récents de rivières que sur les terres dénudées ou les tourbières. Dans les régions tropicales, elles résistent bien aux feux de brousse. On en a décrit plus de 240 genres et plus de 280 000 espèces (Cherix, 1986). La classification actuelle des fourmis, assez complexe, fait appel à de nombreux caractères morphologiques et anatomiques : formes des antennes, du pétiole, nervation alaire des sexués, structure du gésier et des glandes anales etc. Selon ces critères, la Myrmécologie moderne répartit les fourmis en huit familles (Ramade, 1972).

Les fourmis jouent un rôle important sur la pédogenèse et les propriétés édaphiques, en contribuant à la décomposition des matières organiques, à la concentration et au stockage des nutriments, à la redistribution et à l'organisation des constituants organiques et minéraux du sol (Holec et Frouz, 2006).



Figure 9: Lesfourmis.³

I.2.2.4. Les Diptères

L'ordre des Diptères est représenté dans les macros – invertébrés du sol par des phases immatures. En général, les Larves de diptères aiment l'humidité et très peu d'entre elles peuvent survivre à la dessiccation pendant des périodes prolongées. Dans les sols où elles sont fortement représentées, les larves de diptères jouent un rôle important dans le fonctionnement biologique

du sol, en intervenant dans la décomposition de la matière organique et la libération des nutriments (Deleporte, 1987).

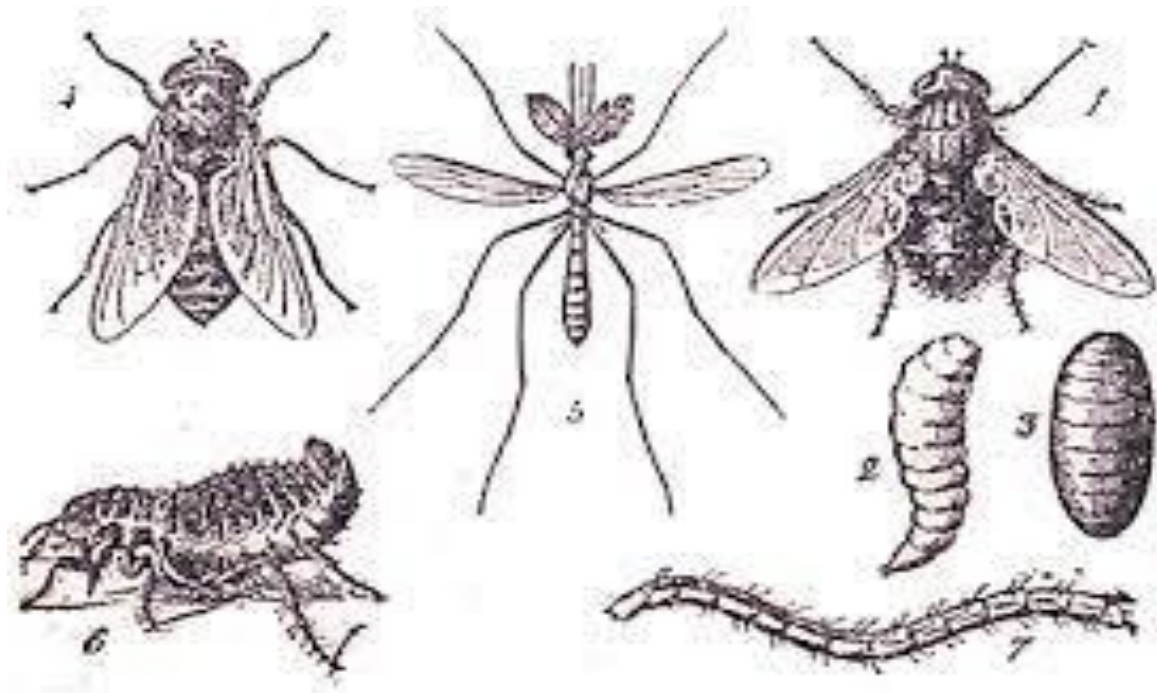


Figure 10: Les Diptères (Diptères ; 1. Mouche à viande ; 2. Salarve ; 3. Sanymphe ; 4. Taon ; 5. Cousin ; 6. Puce ; 7. Sa larve).

I.2.2.5. Les Hémiptères

Ils font partie des groupes de macrofaune les moins abondants. Ce sont des insectes phytophages qu'on trouve dans le sol ou sous les écorces des arbres. Ils sont très sensibles à l'application des pesticides dont les effets sont une forte réduction de leur diversité

(Bachelier, 1978).



Figure 11 : Les Hémiptères⁴

I.2.2.6. Les Dermaptères

Ils vivent à la surface du sol, dans la litière ou sous les pierres. Dans les terrains sablonneux, certains ont développé une vie entièrement cachée dans le sol en creusant des galeries profondes (Chinery, 1981). Ce sont des insectes omnivores.



Figure 12: Les Dermoptères⁵

I.2.2.7. Les Arachnides (araignées)

Les Araignées du sol se trouvent principalement dans la litière et le sol superficiel. Elles abondent aussi bien dans les milieux naturels que dans les milieux cultivés. Elles sont, à

quelques exceptions près, solitaires, prédatrices et terrestres. L'abondance et la diversité d'araignées d'un milieu est indicatrice de la qualité biologique de ce milieu (Wise, 1993). Il s'agit d'une indication indirecte qui est en rapport avec la quantité de proies qu'elles peuvent trouver dans ce milieu.



Figure 13: Les Arachnides⁶

I.2.2.8. Les Myriapodes

Les myriapodes de la faune du sol sont représentés par deux sous-classes : les Chilopodes et les diplopedes. Ils vivent dans la litière et les horizons superficiels car ils ne peuvent creuser le sol. Ils jouent un rôle important dans le processus de décomposition de la matière organique (Bachelier, 1978).



Figure 14: Les Myriapodes⁷

I.2.2.9. Les Gastéropodes

La plupart des gastéropodes sont phytophages généralistes. Beaucoup d'entre eux consomment des champignons et quelques espèces sont carnivores ou se nourrissent d'autres invertébrés du sol, y compris d'autres gastéropodes. Ils ont un rôle limité dans la vie des sols (Deprince, 2003).



Figure 15: Les Gastéropodes⁸

I.2.2.10. Les Isopodes

Les Isopodes terrestres composent l'un des groupes de Crustacés qui a été capable de s'adapter à la vie dans le sol. La plupart sont omnivores ou charognards, se nourrissant principalement des végétaux mais aussi de matière animale morte ou en décomposition. Ce sont des régulateurs du processus de décomposition et de recyclage de nutriments. Ils sont très sensibles à l'application des pesticides, qui se traduit par une augmentation de leur mortalité et une réduction de leur diversité (Paoletti, 1985).



Figure 16: Les Isopodes⁹

I.2.2.3. Effets des facteurs du milieu sur la macrofaune

De nombreux facteurs du milieu agissent sur la macrofaune, ces facteurs sont regroupés dans ce qu'on appelle : « Facteurs écologiques ». GOBAT et *al.* (2003) définissent les facteurs écologiques comme tout élément du milieu susceptible d'agir directement sur les êtres vivants, au moins durant une partie de leur cycle de développement ». Ces facteurs n'agissent jamais seuls, ils sont en étroites interactions. On distinguera ici, les facteurs abiotiques, qui comprennent l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques du milieu, des facteurs biotiques, interactions entre les organismes composant la communauté, les facteurs humains.

Agissent dans la plupart des écosystèmes. La prédation et la compétition constituent les principales interactions intervenant dans le fonctionnement des communautés. Les effets de la prédation sur les populations de proies sont importants car elle met plus ou moins rapidement ces dernières en équilibre avec les ressources disponibles telles que la nourriture et les abris. La compétition, elle peut s'exercer soit entre les individus d'une même espèce (compétition intra spécifique), soit entre ceux d'espèces différentes (compétition interspécifique). Dans les deux cas, l'individu ou l'espèce lutte pour s'assurer un accès suffisant aux ressources du milieu. La compétition intraspécifique agit par le jeu des facteurs de mortalité dépendant de la densité des populations (malnutrition et ses conséquences, mortalité juvénile, cannibalisme). Dans la compétition interspécifique, deux espèces entrent en concurrence lorsqu'elles luttent, directement ou non, pour la même niche écologique. En théorie, une seule est susceptible de l'occuper à terme, ce qui limite le nombre potentiel d'espèces dans un sol donné.

I.2.4. Action de la faune sur le sol

D'après Gobat et *al.* (2003), l'action physique de la faune intervient sur la porosité, ou la structure du sol. Par l'évolution des gaz et liquides dans le milieu qui est améliorée, dont nous pouvons la résumer comme suit :

A) Macro brassage

La macro brassage permet la circulation d'important volume de terre entre les horizons du sol. Il permet la remontée en surface des horizons riches en matières minérales et l'enfouissement des horizons organiques superficiels, les litières et le fumier ;

B) Micro brassage

Le microbrassage permet la remontée de matières minérales en petites quantités, en revanche l'incorporation de la matière organique au sol par l'intermédiaire des déjections n'est

pas négligeable. Cette activité se limite aux horizons superficiels mais ses effets s'observent jusqu'à 60cm de profondeur par lessivage et accumulation des crottes ;

C) Formation de galeries

Les formations de galeries jouent un rôle important pour l'aération du sol et son régime hydrique. Elles sont le fait des vers de terre et enchytréides, et des fourmis. Elles offrent des voies de pénétration préférentielle pour les racines, les éléments fins lessivés, les excréments, ou encore les invertébrés épigés. En revanche, la méso faune (acariens, collembolés...) ne paraît pas modifier directement la porosité du sol mais tend à agrandir et aménager les cavités naturelles ;

D) La formation d'agrégats

Les vers de terre et les macros arthropodes 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. Les sécrétions intestinales et les colloïdes bactériens du tube digestif jouent le rôle de ciment sur ces agrégats. Pour leur stabilisation, le chevelu racinaire a une action mécanique et enrobant, mais également une action par les sécrétions de la microflore de la rhizosphère. 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.

I.2.5. Rôles de la macrofaune du sol dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments

I.2.5.1. La dégradation de la matière organique

La fragmentation (réduction mécanique de la matière organique) permet la multiplication des surfaces attaquables (de l'ordre de 50 à 200 fois selon Bachelier, 1978). 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 (Lavelle et *al.*, 1992).

I.2.5.2. Décomposition de la matière organique dans les cycles biogéochimiques

L'évolution et la dégradation des matières organiques est un processus majeur. Cette évolution est conditionnée par différents paramètres comme la nature biochimique des matières organiques, les conditions environnementales abiotiques (température, pH, humidité, aération ...) et les organismes vivants du sol. Ces derniers sont responsables des processus biochimiques de la décomposition. La macrofaune notamment les termites et les vers de terre joue un rôle

prépondérant dans la fragmentation de la matière organique (Ouédraogo *et al.*,2004). La décomposition de la matière organique est lente en absence du macrofaune. La matière organique ingérée par la macrofaune est fragmentée et digérée sous l'action des enzymes, avant d'être livrée aux microorganismes et complètement dégradée (Bachelier, 1978). Outre son action directe sur la matière organique, la macrofaune améliore les propriétés physico-chimiques des sols (aération, énergie, disponibilité en eau).

Elle stimule ainsi indirectement l'activité de la microfaune et assure la présence d'une microflore cellulitique très active (Boyer, 1971). Elle crée alors les conditions favorables à la dégradation de la matière organique et à l'humification. Au sein des excréments, chimiquement plus dégradés. Imbibés de substances énergétiques facilement accessibles et plus riches en enzymes. Cela facilite encore l'attaque secondaire par la microflore qui a subi les conséquences de réaction faunique qui se trouve modifié (Bachelier, 1972). La présence d'excréments d'invertébrés phytophages stimulait fortement les processus de minéralisation des diverses substances organiques. Cependant les différences dans les propriétés chimiques des substrats organiques ont une influence sur la densité et la biomasse du macrofaune du sol notamment les vers de terre (Ben Lerroy *et al.*,2008).

I.2.5.3. Recyclage des nutriments

Sur les sols agricoles (ferme), on retrouve sous diverses formes l'azote, le phosphore, le calcium, le potassium et plusieurs autres éléments appelés « éléments nutritifs ». Prélevées du sol par les plantes, ces substances sont en partie transférées aux animaux sous forme d'aliments et/ou retournées au sol par les résidus des cultures. Une bonne partie (65 à 95%) des éléments consommés sur la ferme par l'élevage retourne elle aussi au sol par l'entremise des fumiers. Mais une ferme fonctionne rarement en circuit fermé. Une fraction plus ou moins importante de nutriments est exportée de la ferme par la vente de produits, végétal ou animal ce qui tend à appauvrir « l'écosystème ferme ». Une autre est importée par l'achat d'intrants divers, engrais, moulées, litière, etc. ce qui tend à enrichir « l'écosystème ferme » (Jobin et Forand ; 1993).

I.2.5.4. Impact de la macrofaune sur la respiration du sol

La macrofaune du sol régule : l'activité, l'abondance des microorganismes, la transformation et le recyclage de la matière organique et des nutriments ainsi que la stabilisation de la structure (Lavelle. 1997).La macrofaune, par ses excréments et ses cadavres, détermine localement des pH basiques et accroît fortement l'activité biologique du milieu, ce qui peut, selon la microflore et l'évolution naturelle des équilibres pédologiques, aussi bien favoriser les

processus d'humification que les processus de dés humification (Bachelier, 1972). Le dégagement de CO₂ est plus intense dans les turriculés de vers de terre comparativement au sol (Zhang et *al*,2000). Cependant la macrofaune peut réduire la respiration du sol en réduisant la quantité de matière organique labile dans le sol (Déprimée, 2003).

Chapitre II :
Généralité sur la
région d'étude

II.1. Présentation de la région d'étude

II.1.1. Situation géographique

La wilaya de Mila, située au nord-est de l'Algérie. Ses coordonnées sont $36^{\circ} 27'$ de latitude Nord et $6^{\circ} 16'$ de longitude Est et se trouve à 464 m d'altitude (Messai et *al.*, 2011). Elle s'étend sur une superficie de 3 480 km² et se compose de 13 Daira et 32 communes (Soukehal et Cherrad, 2011). Cette province est délimitée au nord par la wilaya de Jijel, à l'ouest par la wilaya de Sétif et la wilaya de Constantine à l'est, au Nord-Est par la wilaya de Skikda, au Sud par la wilaya de Batna, au Sud-Est par la wilaya d'Oum El Bouaghi (Messai et *al.*, 2011)



Figure 17 : Situation géographique de la wilaya de Mila (Cetic, 2009)

II.1.2. Relief

Prenant une grande partie du bassin versant , la région se caractérise par un espace géographique très diversifié avec un relief complexe et irrégulier et profondément disséqué par un réseau hydrographique dense .Une certaine polarité donc Biogéographique se greffe à cette complexité du relief : du Sud vers le Nord on passe vers un domaine méditerranée marqué par des espaces caractéristique (chêne liège ,chêne zeen , bruyère).

Cependant, on distingue deux espaces différents dans la région : un espace montagneux, un espace de piedmonts et de collines(Zouaidia, 2006). L'espace montagneux formé d'une succession de massifs montagneux (massifsTelleins) et caractérisé essentiellement par un relief accidenté et des sols érodés.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%(Zouaidia, 2006).

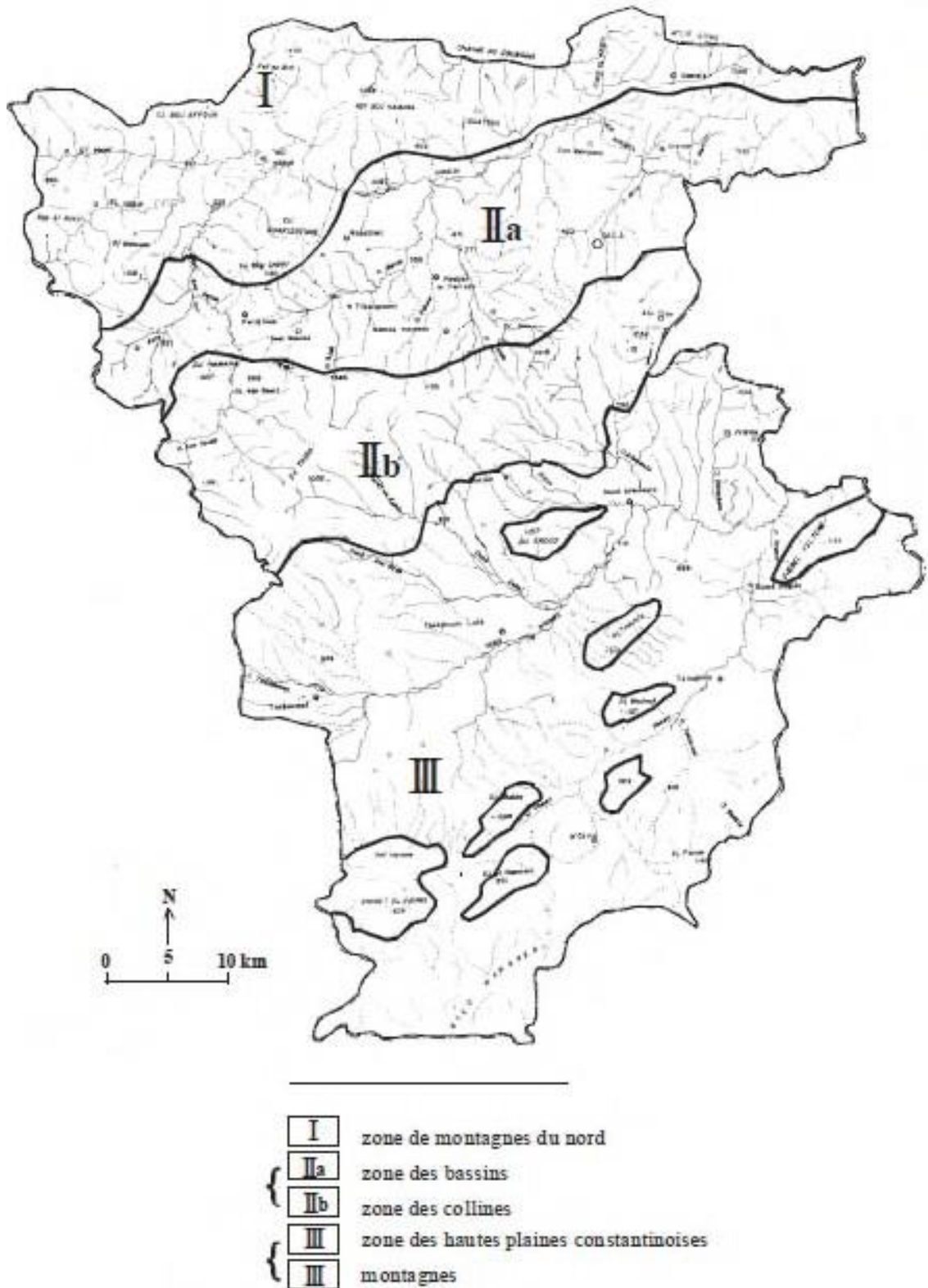


Figure18: Relief et zones naturelle de la wilaya de Mila

(Source: servicedeforêtsdeMila2015)

II.1.3. Ressource en sol

De par la géomorphologie et les caractéristiques agro-pédologiques des sols qui composent son territoire, la wilaya de Mila renferme des terres relativement diversifiées : Nord de la wilaya, les Monts de Babors produisent des sols pauvres au formés de charriages calcaires, gréseux et marneux sensibles à la solifluxion et au ravinement. Ces terres sont destinées à l'arboriculture et l'élevage. En piémonts de ce massif apparaissent des sols marno-argileux ou marno-calcaires qui sont pauvres en matière organique. Ils sont occupés par les cultures annuelles en sec. Au centre de la wilaya, la vallée d'oued Endja favorise la formation d'apports alluvionnaires : terres grasses et profondes riches. Selon le cas, ces sols ont une texture argilo-limoneuse, limono sableuse. Hormis les sols salins localisés dans la zone de Béni Guecha Tiberguent, ces sols sont généralement fertiles et aptes à l'irrigation. Les inventaires de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH, 2001) direction de la pédologie recensent 15 683 ha de terre irrigable sur la wilaya de Mila dont 14 675 ha se localisent dans la zone des hautes plaines et 1 008 ha dans la vallée d'oued Endja (SOGREAH, 2009).

II.1.4. La végétation dans la wilaya de Mila

La superficie des forêts dans la wilaya de Mila est estimée à 38695 hectares (12% de la superficie totale). Elle est composée de (Fig.18):

- ✓ Forêts naturelles représentants dont l'espèce dominante est le chêne liège;
- ✓ Reboisements les principales essences sont le pin d'Alepe le cyprès;
- ✓ maquis (maquis de chêne vert genévrier);
- ✓ prairie naturelle de 23040 hectares (8%);
- ✓ terre improductive de 16453 hectares (5%).

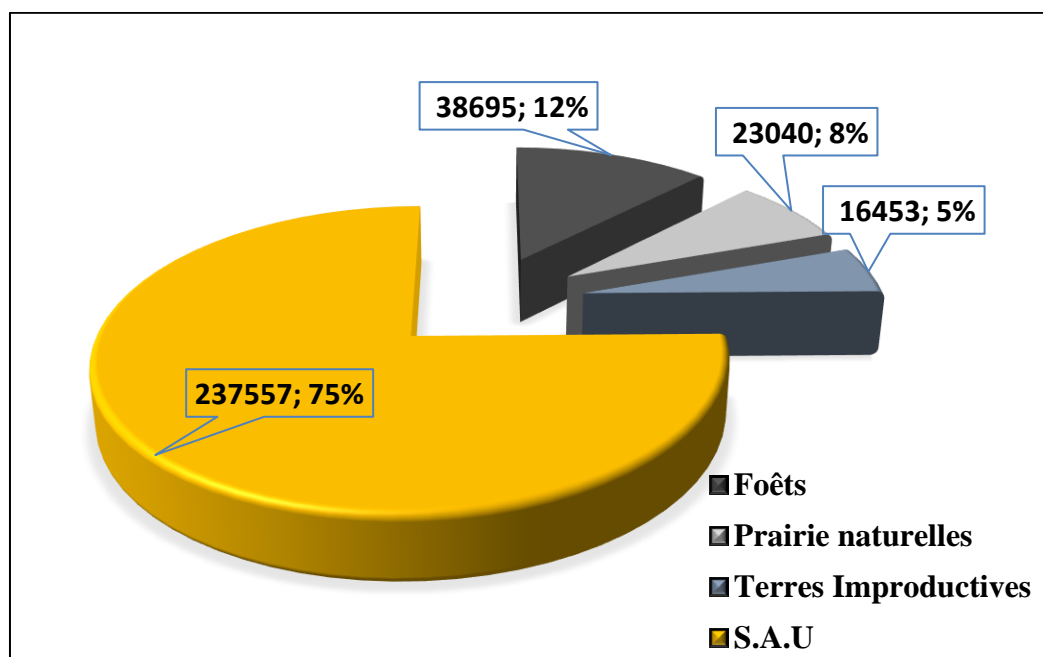


Figure 19 : Répartition de la superficie agricole totale dans la wilaya de Mila

(Source: DSA, 2013)

Cependant, on distingue trois espaces différents dans la région : un espace montagneux, un espace de piedmonts et de collines et un espace plain (Zouaidia, 2006).

II.1.5. L'agriculture

La wilaya de Mila se distingue par sa vocation agricole. Le relief et le climat déterminent les activités dominantes : cultures céréalières et fourragères (avec une jachère largement pratiquée), arboriculture en zones montagneuses. L'élevage occupe une place importante dans l'activité agricole de la wilaya. Selon le service d'Agriculture de Mila, (2015), son potentiel naturel s'étendant sur des superficies comme suit :

- ✓ Surface totale est de : 348.045 hectares ;
- ✓ Surface agricole totale : 315.745 hectares ;
- ✓ Surface labourée : 237.557 hectares (soit 75% de la surface agricole totale).

La wilaya de Mila comporte 03 zones qui se distinguent vis-à-vis leurs reliefs.

- ✓ La zone du nord : elle est de caractère montagnard, sa surface agricole labourée est de 14%, la pluviométrie annuelle oscille entre 600 mm et 1200 mm annuellement. Cette zone est connue par la production des arbres fruitiers particulièrement l'olivier mais aussi la pratique de l'apiculture ;

- ✓ La zone médiane : elle occupe 68% de la surface agricole labourée, des tranches pluviométriques annuelles de 400 mm à 600 mm par an. Ici, on pratique les grandes cultures et l'élevage ;
- ✓ La zone sud : elle occupe 18% de la surface agricole labourée. C'est la zone des hauts plateaux. Les précipitations ne dépassent pas 350 mm par an. Cette zone est connue par la culture des céréales fourragères, l'élevage et l'aviculture mais aussi par les cultures maraichères en irrigué.

II.1.5.1. Le climat

La wilaya de Mila, est régie par deux domaine climatique différents. Elle est caractérisée par un climat tempéré et humide au Nord avec un été sec et chaud et un hiver doux et humide. Les précipitations annuelles variant entre 900 et 1200mm. Alors qu'au sud par un climat semi-aride marqué par un écart des températures qui avoisinent 40°C en été et qui peuvent descendre au-dessous de 0°C en hiver et des précipitations de l'ordre de 400mm/an. (Aissaoui, 2013).

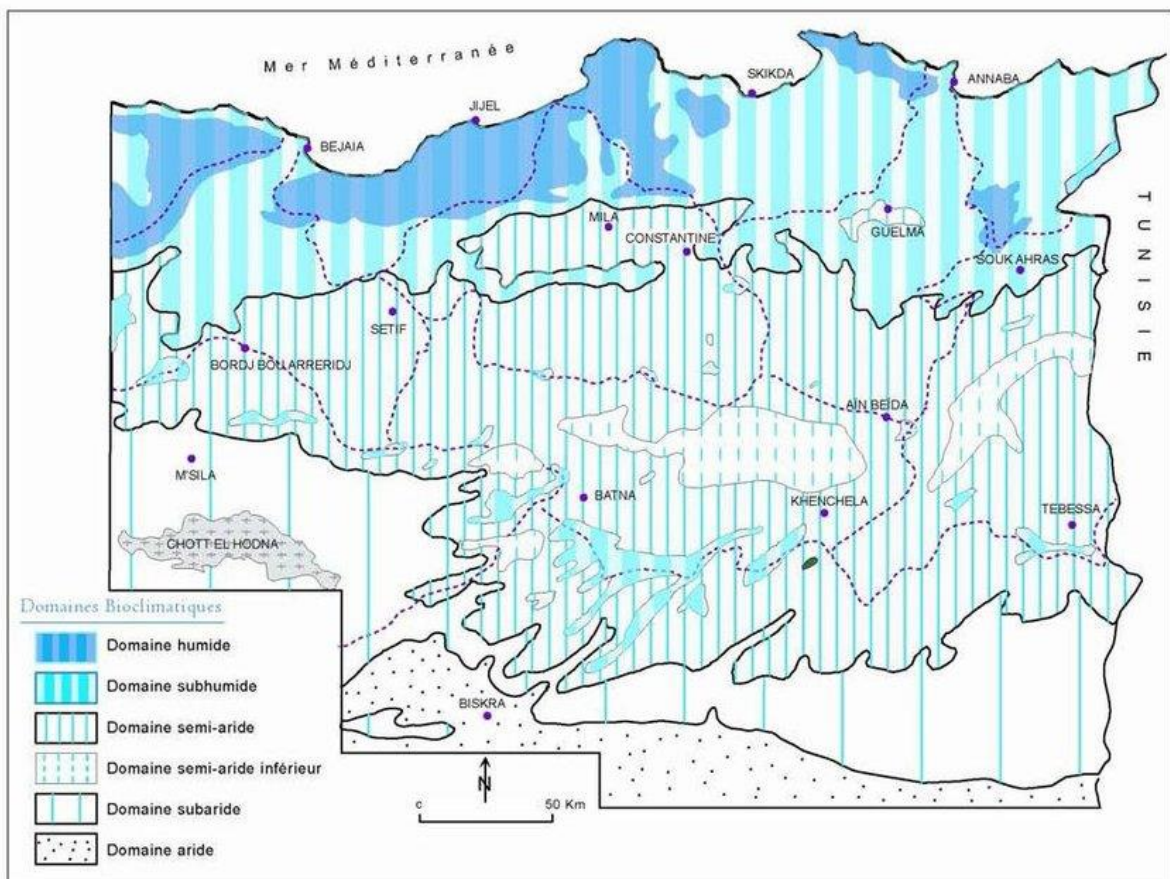


Figure20 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'est algérien (Côte, 1998 in Bazri, 2015)

II.1.2. Caractérisation climatique de la région de Mila

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère et des directions d'écoulement des eaux souterraines est nécessaire dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques. Dans le cadre de cette étude, seules les mesures de température et des précipitations de la station météorologique Ain Tine de la wilaya de Mila ont été prises en considération. Elles portent sur une période de 15 ans (2005-2018), dont cette période est choisie selon la disponibilité des données climatiques.

II.1.2.1. La température

La température est le facteur climatique le plus important (Dreux, 1980). Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984).

La température du sol agit sur les phénomènes physiques tels que la rétention et la circulation des fluides (eau, gaz), mais aussi sur les transformations chimiques (la vitesse des réactions est une fonction de la température) (Pesson, 1971). Au niveau biologique, elle agit sur la répartition des espèces, dans le temps et dans l'espace, en fonction de leurs écologies. Elle influence également l'activité générale intervenant dans les relations interspécifiques (ex : compétition). Les effets de la température sont prépondérants dans les premiers centimètres où est rassemblée la majorité des représentants de la pédofaune. Lors de températures « extrêmes », qui peuvent lui être fatales, la faune dispose de plusieurs moyens d'adaptation : régulation thermique, un passage en vie ralentie (diapause, hibernation) ou encore la migration vers un milieu favorable (souvent en profondeur). La région de Mila reflète par sa situation des températures différentes au cours de l'année.

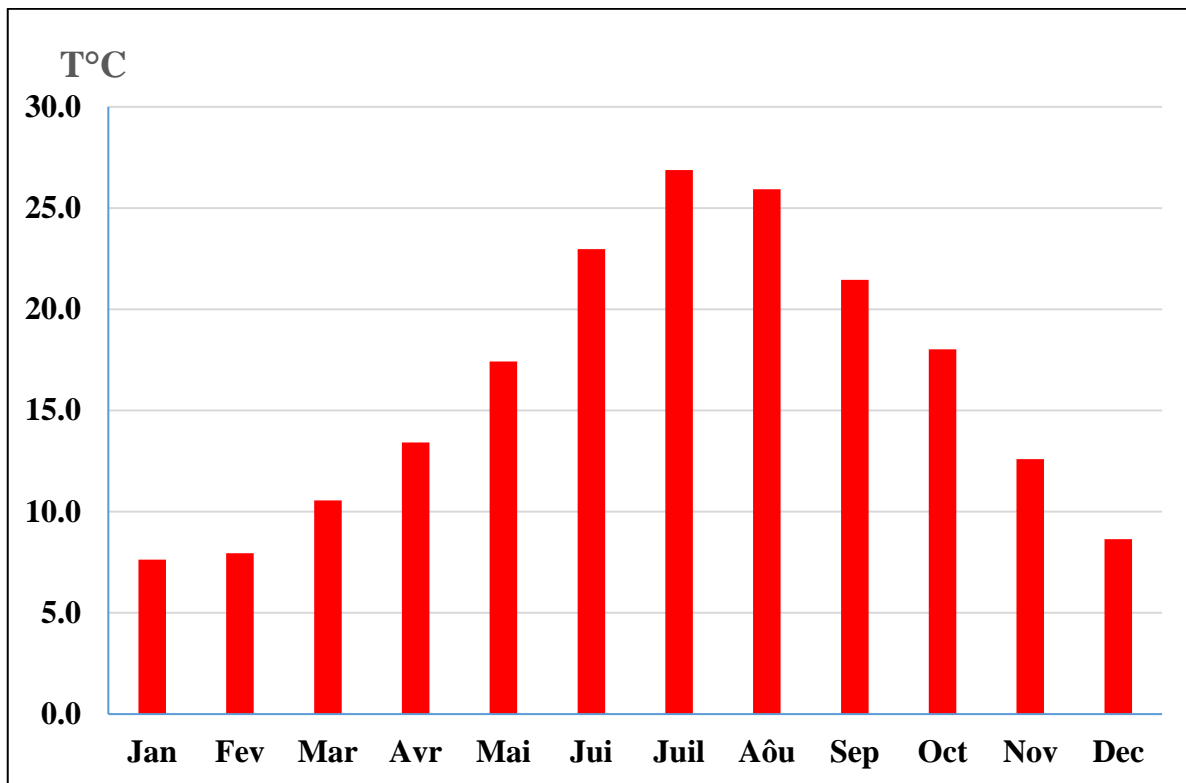


Figure21 : Variation moyenne mensuelle de la température de l'air pendant la période 2005/2018 de la région de Mila (Station Météorologique Aine Tine, 2019).

La température moyenne annuelle est de 16,4°C. L'analyse du diagramme de variation de la température moyenne mensuelle montre que la valeur maximale est observée pendant l'été en juillet où elle atteint 26,9°C qui est le mois le plus chaud, tandis que janvier est le mois le plus froid avec une température minimale de 7,6 °C (Fig.21).

II.1.2.2. Les précipitations

Les précipitations constituent évidemment, le paramètre climatique essentiel. Leur intensité, leur continuité et leur périodicité sont l'origine même de l'écoulement, de sa localisation et de sa violence. Dans certaines régions, où le régime des écoulements est fortement lié aux précipitations. La pollution mesurée par milligrammes et par litres est modifiée lors des fortes pluies. En effet, les concentrations de certains polluants diminuent par le phénomène de dilution, d'autres augmentent (comme la pollution par les matières en suspension d'origine érosive) (Kerdoud, 2006). La pluviosité augmente avec l'altitude et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer (Abdelhamid, 2016).

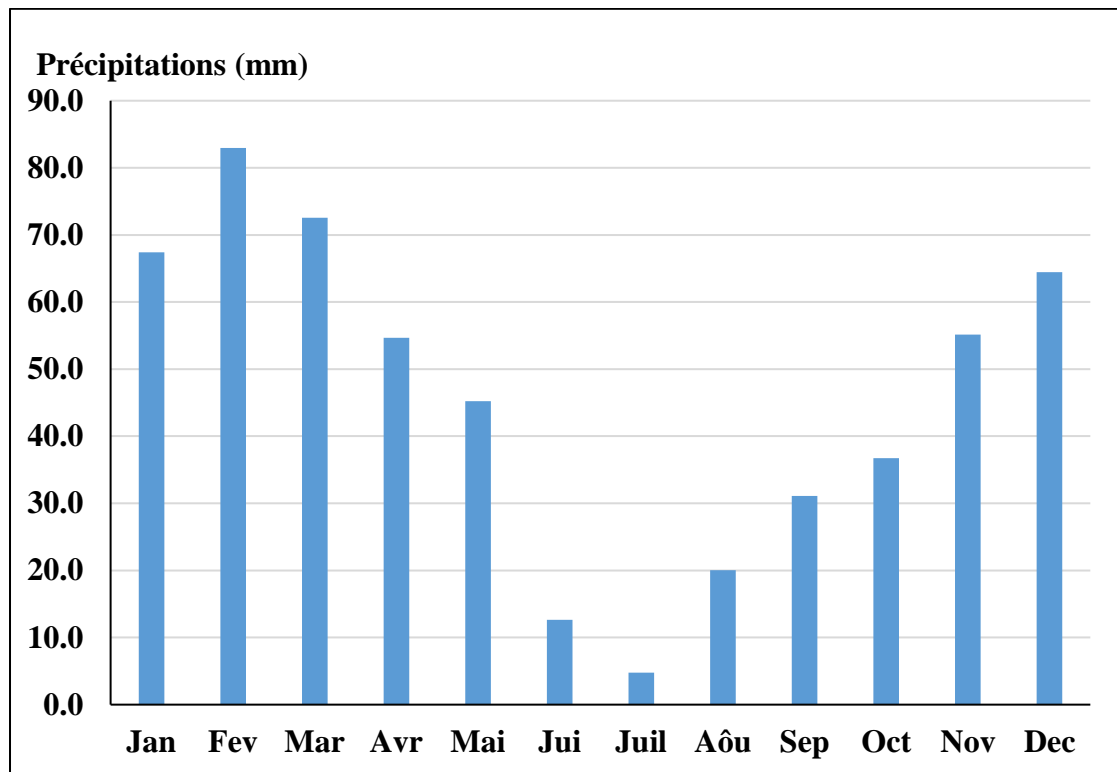


Figure 22 : Variations des précipitations mensuelles moyennes pendant la période 2005-2018 de la région de Mila (Station Météorologique Aine Tine, 2019)

La combinaison des températures et des précipitations, est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer le niveau de sécheresse ou d'aridité d'un lieu ou d'un climat. Le mois de février (Fig.22) est en moyenne le mois le plus abondant en pluie, la pluviométrie a atteint 83 mm, et à l'inverse juillet, avec une moyenne de 4,8 mm, est le mois le plus sec. La moyenne annuelle des pluies précipitées pour la période 2005/2018 est de 743,01mm.

III.1.2.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Bagnouls et Gaussen (1957) considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations exprimées en mm est égal ou inférieur au double de 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 la période humide d'une région donnée où il est représenté avec deux axes d'ordonnées.

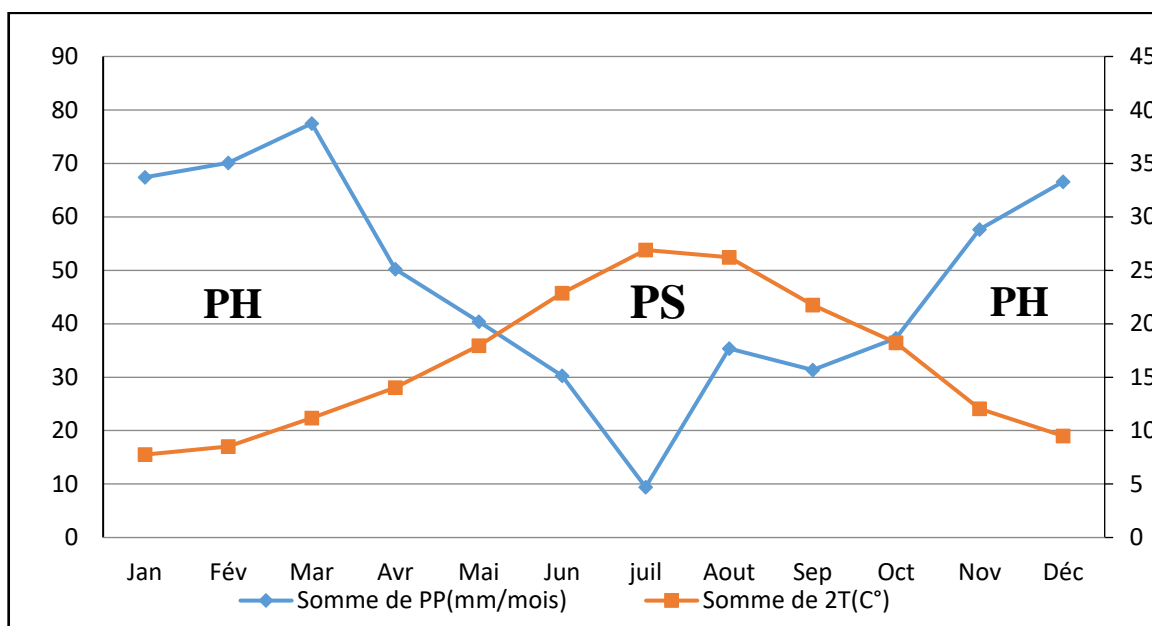


Figure 23 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Mila (2005-2018) (Station Météorologique Aine Tine, 2019).

Selon l'échelle P=2T, le diagramme ombrothermique détermine deux périodes, l'une humide et l'autre sèche.

- période sèche : caractérisée par deux maximums, l'un au mois de juillet et l'autre au mois d'août avec une période de 5 mois.
- période humide : caractérisée par trois maximums, l'un au mois de mars, le deuxième au mois de février et le troisième au mois de janvier avec une période de 8 mois.

C'est une période qui explique l'étage bioclimatique de la région (sub-humide) (Fig. 23).

III.1.2.3. Diagramme pluviothermique d'Emberger

Le climat contrôle la répartition des êtres vivants. Il est donc naturel que les écologistes s'efforcent de caractériser les différents bioclimats. Pour la région méditerranéenne la méthode d'Emberger a connu un grand succès (Stewart, 1974. cité par Kherief Nacereddine, 2006). Après le calcul du Q_2 , selon la formule déjà citée dans le chapitre 2 et en faisant référence aux températures moyennes ($M= 23.4$ et $m= 9.1$), dont $M=$ température maximale du mois le plus chaud et $m=$ température minimale du mois le plus froid enregistrée durant la période d'étude. Nous avons obtenues la valeur de $Q_2=161, 18$.

Si l'on reporte les valeurs du Q_2 et m sur le climagramme d'Emberger nous pouvons déduire que la région de Mila se trouve dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud

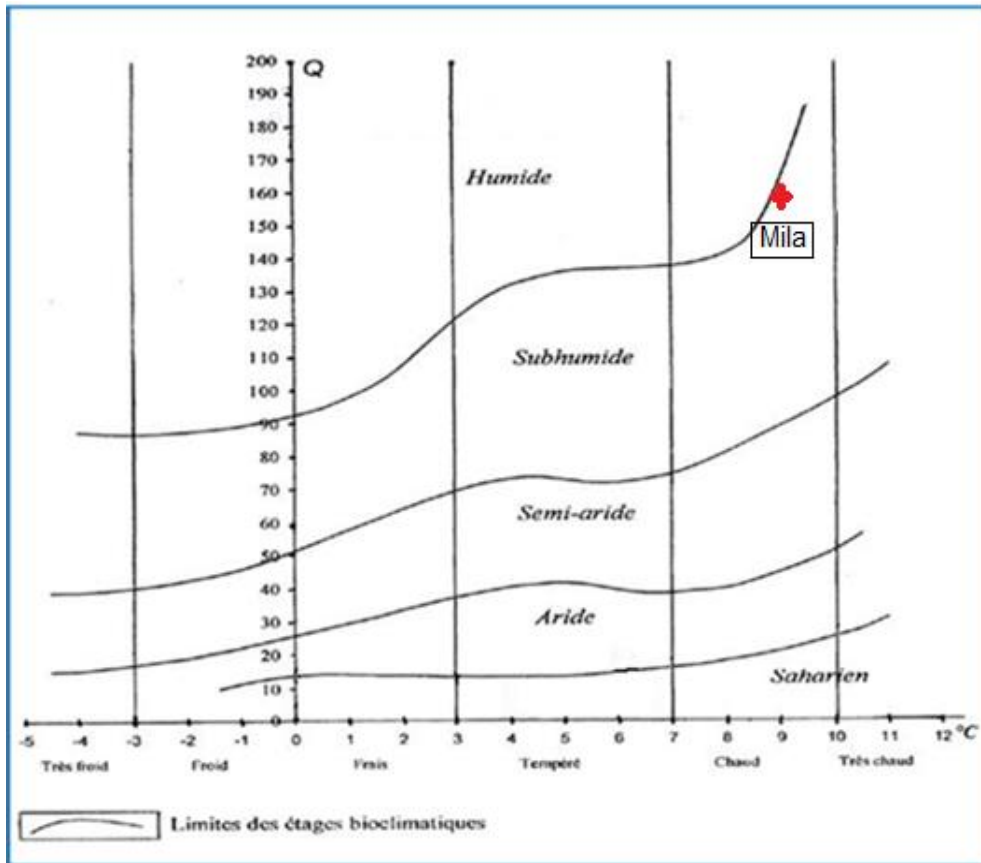


Figure 24 : Situation de la région de Mila dans le climagramme d'Emberger (2005- 2018).

Chapitre III :

Matériel et méthodes

III. Matériel et méthodes

III.1.Choix et localisation des sites de prélèvements

Les sites d'échantillonnage ont été choisis de manière à nous permettre de répondre à l'objectif de notre étude. Après une opération de reconnaissance sur le terrain, trois stations réparties sur des communes de la wilaya de Mila ont été choisies. Elles sont localisées géographiquement selon leurs positions géographiques, comme indiqué en dessous (Tab.3). Les campagnes d'échantillonnage se sont déroulées le mois de mars, avril et mai de l'année en cours.

Tableau3 : Localisation et descriptions des stations d'étude

| Code de station | Nom de la station | Localisation | Description de la station d'étude |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Site 1 | Dar El Hamra | N: 36°33'42'' E : 6°09'50'' Al : 1.14Km | Située à la Daira de Terrai Bainen , sur une terre agricole à vocation d'oignon |
| Site 2 | Merbaa | N: 36°34'46'' E : 6°07'58'' Al:66.5Km | Située à la commune de Terrai Bainen quis'appelle Merbaa sur une terre agricole à vocation maraîchères céréalière |
| Site 3 | Zmala | N: 36°07'07'' E:6°20'12'' Al:32.2Km | Station témoin, située dans un jardin privé de Teleghma loin de toute activité agricole |



Figure 25 : Localisation géographique des sites de prélèvements

III.2. Analyse physico-chimiques et biologiques

III.2.1 Paramètres physico-chimiques

Afin de mieux interpréter nos résultats, il est essentiel de connaître les facteurs naturels environnementaux qui peuvent influencer la dynamique des espèces existantes. Un prélèvement de sol dans l'horizon 0-50 cm (Fig.13) pour l'analyse physico-chimique a été effectué à chaque point de collecte. L'ensemble de ces analyses sont effectuées au niveau du laboratoire pédagogique du Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf. L'analyse physico-chimique a fait malheureusement l'objet seulement de deux éléments, qui sont : la détermination du potentiel d'hydrogène et la conductivité électrique du sol.

III.2.1.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

Lors de cette étude, nous avons effectué un échantillonnage de trois prélèvements d'une façon aléatoire par cube de terre suivant l'horizon (0-50cm). Cet échantillonnage est réparti sur trois types de sol : agricole à vocation céréalière, à vocation maraîchères et un jardin privée.

Le sol a été séché à l'air libre, broyé et tamisé à 2mm. Le pH a été mesuré par la méthode électro-métrique avec un rapport sol/eau de 0,5/5, selon le protocole de travail suivant : Au premier nous avons pesé 5g de sol déjà broyé et tamisé dans un bécher de 50 ml, après agitation du mélange avec un agitateur magnétique, nous avons laissé reposer une demi-heure du temps avant de passer à la lecture directe avec un pH mètre de type Consort C6010.



Figure 26 :Un pH mètre de type ConsortC6010.

III.2.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (C.E) d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol. Mesurée par le même appareil utilisé pour le pH, sur des extraits dont le rapport (terre/eau) est de 1/5 selon le protocole de travail suivant :

Au premier nous avons pesé 5g de sol déjà broyé et tamisé dans un bécher de 50 ml, après agitation du mélange avec un agitateur magnétique, nous avons laissé reposer une demi-heure du temps avant de passer à la lecture directe (Clement et Francoise ; 2003).

III.3.Paramètres biologiques

III.3.1. Méthode d'échantillonnage de la macrofaune du sol

La diversité de la pédofaune ne permet pas l'utilisation d'une méthode d'échantillonnage unique pour tous ses représentants. Certaines techniques ne sont utilisables que pour les organismes d'une certaine taille, d'autres sélectionnent des classes écologiques ou taxonomiques (Deprince,2003).

Dans notre cas, les échantillonnages de la macrofaune du sol sont réalisés selon la même méthode ce qui autorise les comparaisons entre sites. La méthode utilisée est celle proposée par le programme international TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) (nous l'appellerons donc la méthode TSBF) (Anderson & Ingram, 1993). Elle consiste à prélever, par site étudié, un certain nombre de monolithes de sol (une dizaine généralement) espacés tous les 5 m le long d'un transect défini au hasard. Une fois les monolithes repérés sur le terrain, un cadre (métallique ou en bois) de 25 cm de côté est placé sur le sol (de chacun de ces monolithes) dans le but de récupérer la litière à la surface du sol, ainsi que les animaux qui l'habitent. Une tranchée est alors creusée autour de chaque monolithe (de 25 cm de côté), jusqu'à une profondeur de 30 cm de façon à isoler chacun des monolithes de sol. Ces derniers sont alors découpés en tranches horizontales de 10 cm et dans chacune de ces tranches, la macrofaune est triée manuellement. Les animaux sont ensuite conservés (mélange alcool-formol) avant d'être ramenés au laboratoire où ils seront comptés, et déterminés (si possible).



Figure 27. Différentes étapes du processus d'échantillonnage de la macrofaune de sol par la méthode TSBF.

III.3.1.2. Conservation des échantillons

La plupart des organismes piégés se conservent correctement dans de l'alcool à 70%. Les organismes à corps mou (vers de terre, larve) doivent être conservés dans du formol à 4% pour conserver certaines caractéristiques tel que la couleur, utilisées pour la détermination.

Les analyses biologiques se font sur sol frais, il convient donc de conserver les prélèvements au frais (4°C) et de limiter la durée avant d'effectuer les mesures (48 à 72h maximum suivant le prélèvement).

L'étiquetage des échantillons de faune récoltés est obligatoire. On notera sur l'échantillon le site d'où il provient, la date et le numéro du piège qui renverra à un plan de la parcelle sur lequel chaque piège aura été répertorié.

La détermination à l'espèce des individus capturés permet d'obtenir le maximum d'information pour caractériser le milieu. Si ce niveau d'identification n'est pas atteint, il est utile, dans la mesure du possible, de conserver les échantillons.

III.3.1.3. Identification de la récolte

L'identification des organismes capturés vise à accumuler les informations pour comprendre la place et l'impact qu'ils ont dans leur milieu. Ces informations concernent notamment ses besoins et les moyens dont il dispose pour les satisfaire.

- Le moyen de déplacement permet de connaître l'impact sur le sol, les capacités de colonisation d'un milieu.
- Le régime alimentaire permet de connaître l'impact de l'organisme pour la culture.
- Le poids permet d'estimer les besoins nécessaires à l'individu pour se nourrir et la biomasse vivante au sein d'un milieu.
- La taille relie l'individu à son milieu en termes de mobilité, d'habitats et de proie (pour les prédateurs plus particulièrement). L'identification à l'espèce constitue pour cela le niveau le plus intéressant. En effet, l'ensemble des connaissances biologiques et comportementales des organismes sont connus et organisées à ce niveau. Les connaissances restent cependant très inégales d'un groupe à l'autre et obligent souvent à avoir recours à des spécialistes. L'approche fonctionnelle ne nécessite pas forcément d'atteindre ce niveau de détermination et permet néanmoins d'obtenir une information suffisante pour appréhender de manière globale le fonctionnement du milieu. Le niveau varie donc en fonction du groupe étudié, de la qualité d'information souhaitée mais aussi des outils à disposition (disponibilité et accessibilité des clés et outils de détermination).

III.3.1.2.4 Détermination des indices écologiques

III.3.1.2.4.1 Richesse spécifique totale (S)

La richesse spécifique totale est le nombre d'espèces contractées au moins une seule fois au terme de N relevés effectués. Elle permet de déterminer l'importance numérique des espèces présentes. Celles-ci, plus elles sont nombreuses et plus les relations existant entre elles et avec le milieu seront complexes (Magurran, 2004).

On appelle richesse spécifique (S) le nombre d'espèces (ou morphoespèces) présent dans un assemblage. La richesse spécifique n'est cependant qu'une première approche de la diversité, car elle ne tient pas compte des différences entre les effectifs des espèces

III.3.1.2.4.2. Fréquence centésimale (Abondance relative AR %)

Fréquence centésimale (Abondance relative AR %) : La fréquence centésimale (%) est le pourcentage des individus de l'espèce (n_i) par rapport au total des individus N toutes espèces comptées (Faurie et al. 2003). Elle permet de préciser la place occupée par les effectifs de chaque espèce trouvée dans les biotopes. Elle s'exprime :

$$AR \% = n_i / N \times 100$$

n_i : Nombre d'individus d'une espèce i.

N : Nombre total des individus toutes espèces comptées.

III.3.1.2.4.3 Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')

La diversité d'un peuplement exprime le degré de complexité de ce peuplement. Elle s'exprime par un indice qui intègre à la fois, la richesse du peuplement et les abondances spécifiques. Parmi les indices disponibles permettant d'exprimer la structure du peuplement, nous avons retenu celui de Shannon Weaver (1963).

L'indice de Shannon-Waever (H'), représente le facteur quantitatif de la faune.

Cet indice tient en compte le nombre de groupes rencontrés et est déterminé par la formule qui suit :

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2(p_i)$$

Avec : p_i est la proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces dans le milieu d'étude.

$$\text{Où } p_i = n_i / N$$

S est le nombre total des taxons rencontrés sur le milieu d'étude.

H' est nul quand il n'y a qu'un taxon et sa valeur est maximale quand tous les taxons ont la même abondance.

Cet indice mesure le degré de complexité d'un peuplement. Une valeur élevée de cet indice correspond à un peuplement riche en espèces dont la distribution d'abondance est équilibrée. Par contre, une valeur faible de cet indice correspond à un peuplement caractérisé par un petit nombre d'espèces pour un grand nombre d'individus, soit à un peuplement dans lequel il y a une espèce dominante (Magurran, 1988; Bouazdia, 2019)

III.2.4 L'indice d'équitabilité (E) ou régularité

L'équitabilité correspond au rapport de la diversité observée (H') à la diversité maximale ($H'_{\max} = \log_2 S$). Il est calculé par la formule suivante (Faurie et al. 2003). Elle permet d'estimer et de comparer la diversité.

Cet indice se calcule suivant l'équation : $E = H' / \log_2 S$: indice de Shannon,

S : nombre total des espèces recensées. C'est un facteur quantitatif aussi. Il est égal au rapport entre la diversité réelle calculée et la diversité théorique maximum.

$$E = H' / \log_2(S)$$

E tend vers 0 lorsqu'un taxon domine largement un peuplement et est égale à 1 lorsque tous les taxons ont la même abondance

Chapitre IV :
Résultat et discussions

IV. Résultat et discussions

IV. 1 Les analyses physicochimiques

La faune influence les caractéristiques chimiques des sols par des voies très variées. L'effet le plus net est la modification de la nourriture durant son passage à travers la chaîne alimentaire (Gobat *et al.*, 2010 *In* Bentanache et Khendoudi, 2021).

Les résultats des analyses physicochimiques des échantillons de sol prélevés de trois sites d'une zone de terre agricole à vocation céréalière, maraichère et jardin privé dans la région de Mila sont réalisés à la même date, laissent ressortir les résultats ci-dessous.

IV.1.1 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Est un élément clé de la composition chimique du sol et détermine la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et les microorganismes du sol (Doucet, 2006 ; Borah *et al.*, 2010). Le pH eau des sols étudiés, est supérieur à 7. D'après la (Fig.28), le sol agricole est légèrement alcalin, et le sol témoin est fortement alcalin. Selon, (HajarMohcine *et al.*, 2015), cette alcalinité des sols étudiés peut être rapportée soit à la nature de la roche mère qui est riche en calcaire ou bien à un enrichissement des sols de ces régions en cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}), on parle dans ce cas de phénomène d'alcalinisation, ou bien richesse en Na^+ et on parle dans ce cas d'une salinisation dans cette région d'étude qui est Mila.

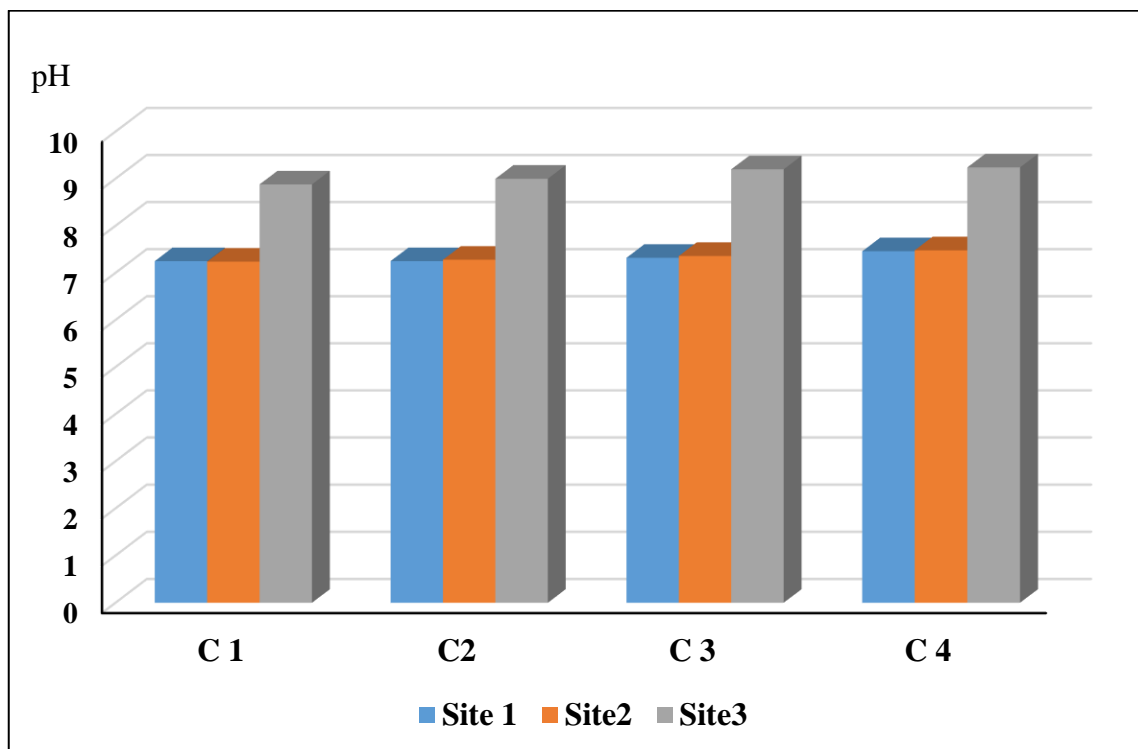


Figure28: Variations spatio-temporelle du potentiel d'hydrogène dans les trois types de sol

Donc, pour le sol agricole, aucune influence du type de la culture n'a été observée et d'après le tableau en dessous, le sol agricole est légèrement alcalin, alors que le sol témoin qui est un sol d'un jardin privé varie entre très alcalin à très fortement alcalin.

Tableau4: Echelle d'acidité des sols (Hamdi-Aissaetal, 2010)

| Extrait 1/5 | |
|--------------|-------------------------|
| Valeur de pH | Classe d'interprétation |
| <4.5 | Extrêmement acide |
| 4.5- 5.0 | Très fortement acide |
| 5.1- 5.5 | Fortement acide |
| 5.6- 6.0 | Moyennement acide |
| 6.1- 6-5 | Légèrement acide |
| 6.6- 7.3 | Neutre |
| 7.4- 7.8 | Légèrement alcalin |
| 7.9- 8.4 | Moyennement alcalin |
| 8.5- 9.0 | Fortement alcalin |
| >9.0 | Très fortement alcalin |

IV.1.1. La conductivité électrique(CE)

La conductivité électrique est un indice de teneur en sels solubles dans le sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présentes dans l'échantillon, c'est-à-dire son degré de salinité, cette propriété est basée sur le fait que la conductance d'une solution s'accroît au fur et à mesure que la concentration en cations et en anions porteurs de charge électrique augmentent (Clement et Françoise;2003). Il s'agit d'un facteur essentiel déterminant la répartition spatiale des espèces vivantes. Ce paramètre essentiel, combiné à l'oxygène et à la température, permet également de surveiller la stabilité/instabilité du milieu et les difficultés qu'il peut y avoir à maintenir les habitats suffisamment accueillants pour le sol. Les valeurs de la conductivité électrique de l'eau du sol dépassent les 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les différents sites d'étude. Ce qui indique une forte minéralisation du sol avec des valeurs extrêmes qui dépassent les 50 mS/cm enregistrées au sol témoin d'un jardin privé.

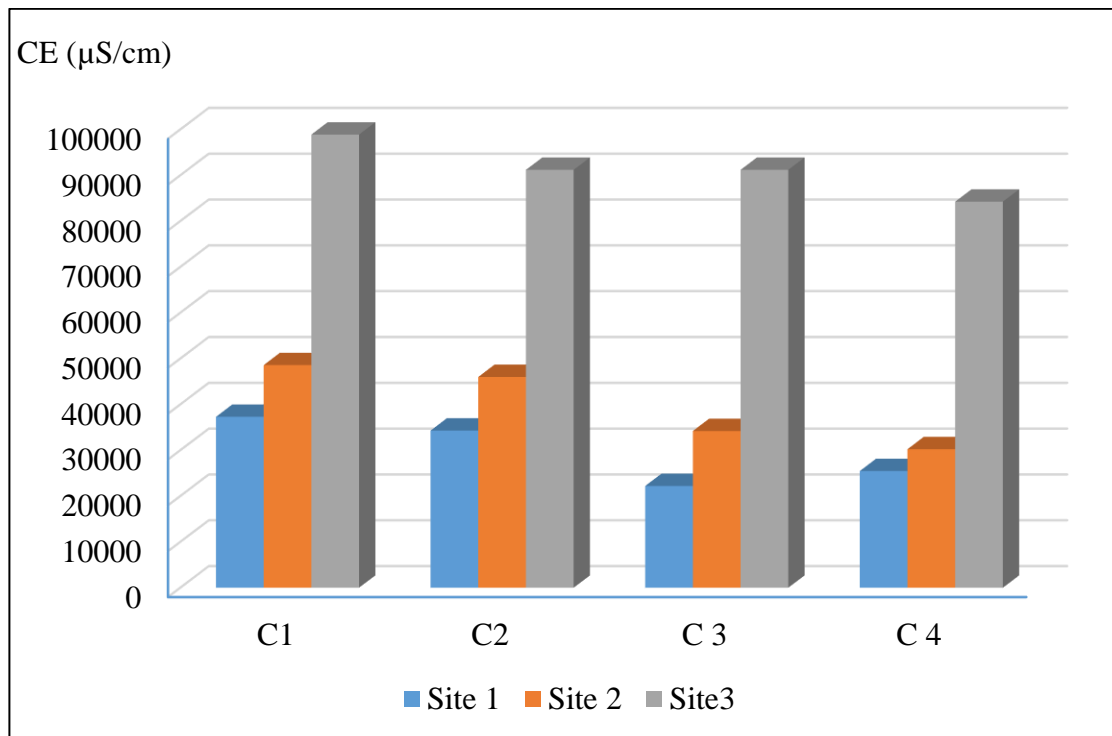


Figure 29: Valeurs de la conductivité électrique dans trois sites

Tableau 5: Classe de la qualité des sols selon la conductivité électrique (Durand, 1983).

| Classe | CE en µS/cm | Qualité du sol |
|------------|--------------|------------------|
| Classe I | 0 à 500 | Non salé |
| Classe II | 500 à 1000 | Légèrement salé |
| Classe III | 1000 à 2000 | Salé |
| Classe IV | 2000 à 4000 | Très salé |
| Classe V | Plus de 4000 | Extrêmement salé |

Selon la classification de la qualité du sol de Durand (1983), ($CE > 4000 \mu\text{S/cm}$), les trois types de sol sont extrêmement salés. Cette minéralisation importante est attribuée à la nature géologique du bassin versant dont l'origine est argilo-marneuse. La salinisation présente une faible variation entre les deux types de sol agricole, alors qu'elle s'élève entre ce dernier et le sol jardin privé. Donc cette salinisation peut être attribuée aux différents produits chimiques utilisés en agriculture pour améliorer le rendement agricole et qui sont peut-être plus utilisés en milieu jardin échantillonné.

IV. 2 Les analyses biologiques

Les communautés de pédafaune du sol sont très sensibles à la variabilité environnementale. Par conséquent, la diversité des espèces présentes et leur abondance peut apporter des indications importantes sur la qualité du milieu. De ce fait plusieurs indices écologiques ont été calculés.

IV.2.1. Richesse spécifique totale(S)

Au total, 2903 individus répartis en 8 groupes taxonomiques sont collectés dans les trois sites d'étude : vers de terre, coléoptères adultes, larves coléoptères, isopodes, dermoptères, araignées, myriapodes, escargot et fourmis durant les mois de mars, avril et mai de l'année 2022.

Selon le tableau ci-dessous nous avons enregistré, le plus grand nombre individu (1248) dans la station 2, suivi par la station 1 avec 1157 individu et à la dernière position vient la station3 avec seulement 250 Individu. Les fourmis sont les plus fréquents avec le nombre d'individu le plus élevé $St2 > St1 > St3$. Les vers de terre avec le classement de $St1 > St2 > St3$. Les Coléoptères adultes viennent en troisièmes position mais seulement dans le sol agricole avec l'ordre de $St2 > St1$. Les Isopodes et les Escargots sont moyennement présents avec le même ordre que les Fourmis. Dans le sol témoin St3, extrêmement salé, nous avons remarqué l'absence des Coléoptères adultes, les Carabes, les Araignées et les Myriapodes (Tab.6).

Tableau6 : Variation spatio-temporelle du nombre d'individu des différents taxons rencontrés dans les sites d'études (St1 : Station 1, St2 :Station2. et St3 :Station3).

| <i>Nombre d'individu</i> | | | |
|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| <i>Groupes</i> | <i>Station 1</i> | <i>Station 2</i> | <i>Station3</i> |
| <i>Fourmis</i> | 806 | 867 | 168 |
| <i>Versdeterre</i> | 157 | 151 | 32 |
| <i>Coléoptèresadultes</i> | 83 | 109 | 0 |
| <i>Isopodes</i> | 30 | 37 | 20 |
| <i>Carabes</i> | 54 | 34 | 0 |
| <i>Escargots</i> | 18 | 48 | 30 |
| <i>Araignées</i> | 1 | 2 | 0 |
| <i>Myriapodes</i> | 8 | 0 | 0 |
| <i>Nombre d'individu tota</i> | 1157 | 1248 | 250 |

Selon la figure ci-dessous, les campagnes les plus actives en pédafaune sont celles collectées le mois d'avril et mai dans les deux type de sol agricole où la température enregistrée est arrivée jusqu'à 32°C avec zéro précipitations (Tab.00). Les mois les plus humides sont moins actifs en pédafaune. Le sol du jardin privé est faiblement actif durant les quatre campagnes. Ceci peut être attribué aux possibilités de colonisation animale d'un sol qui sont généralement multiples. En période humide, les eaux courantes et plus particulièrement les eaux de ruissellement contribuent à la dispersion de nombreuses espèces, tels les collemboles épiédaphiques) et non mouillables qui flottent à la surface des eaux.

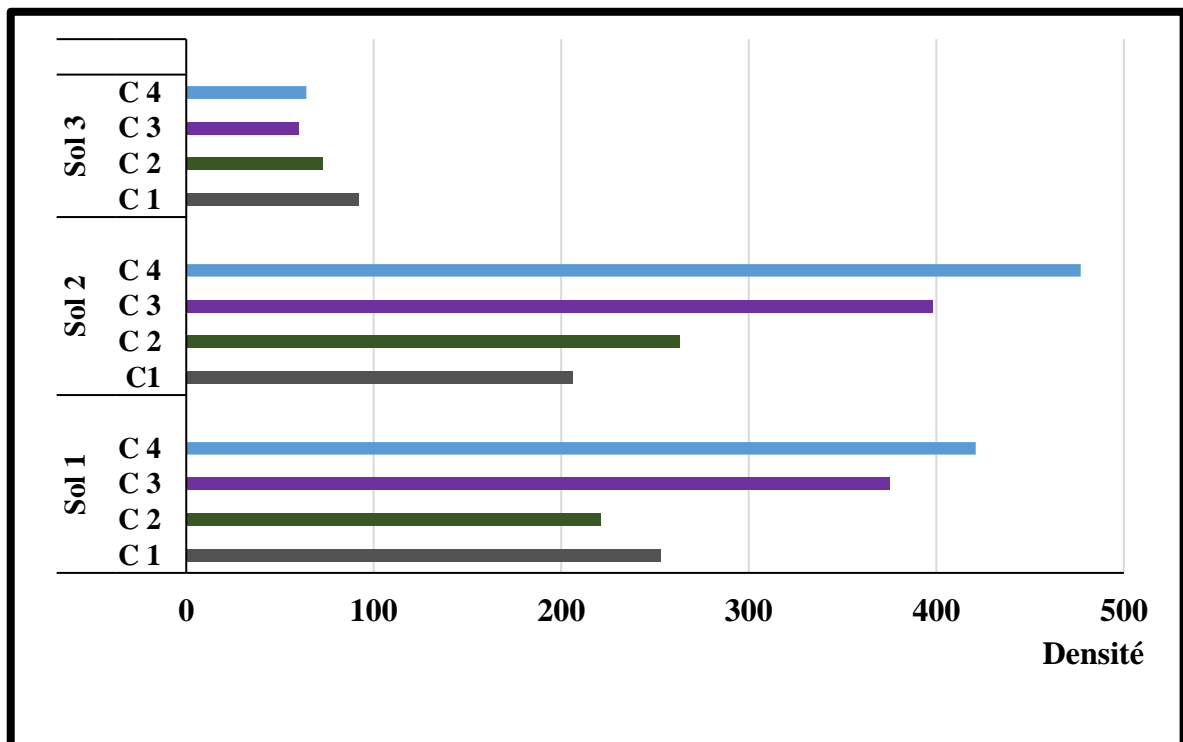


Figure30: Variation spatio- temporelle de la densité des taxons rencontrés durant les campagnes de prélèvement.

D'après Bachelier (1968), Il ne suffit pas en effet qu'une espèce animale puisse arriver dans un sol pour qu'elle s'y implante. Les divers facteurs écologiques du milieu K sélectionnent 1) les animaux colonisateurs qui peuvent participer au peuplement du sol et s'inclure dans les chaînes trophiques. Au cours de leur évolution, les sols renferment une faune de plus en plus variée et généralement les espèces apparues à un moment donné tendent ensuite à demeurer dans la communauté vivante, si l'évolution du milieu maintient pour elles des conditions de vie possibles. L'évolution du sol modifie en permanence les conditions de vie offertes aux animaux présents, comme aux animaux susceptibles d'arriver. Ces conditions de vie sont à la fois abiotiques et biotiques : abiotiques, elles correspondent aux facteurs physico-chimiques du milieu, biotiques aux interactions entre les organismes (Tab.7).

Tableau7 : Variation spatio-temporelle de la macrofaune du sol en fonction des paramètres du milieu.

| Sites | T°C | P (mm) | pH | CE (mS/cm) | Densité de la macrofaune | |
|-------|-----|--------|----|------------|--------------------------|-----|
| Sol 1 | C 1 | 12 | 83 | 7,20 | 40,3 | 253 |
| | C 2 | 18 | 45 | 7,25 | 34,3 | 221 |
| | C 3 | 14 | 80 | 7,32 | 22,2 | 375 |
| | C4 | 32 | 0 | 7,46 | 25,47 | 421 |
| Sol 2 | C 1 | 12 | 83 | 7,24 | 48,58 | 206 |
| | C 2 | 18 | 45 | 7,28 | 46 | 263 |
| | C 3 | 14 | 80 | 7,36 | 34,2 | 398 |
| | C4 | 32 | 0 | 7,48 | 30,24 | 477 |
| Sol 3 | C 1 | 12 | 83 | 8,88 | 98,88 | 92 |
| | C 2 | 18 | 45 | 9 | 97,60 | 73 |
| | C 3 | 14 | 80 | 9,20 | 91,20 | 60 |
| | C4 | 32 | 0 | 9,24 | 84,24 | 64 |

D'après le tableau indiquant la variation spatio-temporelle de la macrofaune du sol en fonction des paramètres du milieu, la variation est stationnelle plus que temporelle, ce qui confirme la relation entre la diversité du sol et les facteurs du milieu. Par exemple, l'eau demeure un facteur primordial pour la faune. Son excès, aussi bien que son insuffisance sont néfastes aux animaux : soit qu'elle est en excès, et l'on a les pièges de la tension superficielle ou le danger des phénomènes d'endosmose et du manque d'oxygène, soit qu'elle vienne à disparaître, et l'on a la dessiccation possible des animaux.

IV.2.2. Abondance relative (AR%)

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 Fourmis, les Vers de terre, les Coléoptères adultes et les Isopodes. Ce sont les groupes caractéristiques des milieux chauds.

• **La station1(St1)**

Cette station est caractérisée par l'abondance des Fourmis 67,7%, les vers de terre avec un pourcentage de 13,69%. Les Coléoptères adultes et les Carabes respectivement avec 7,2% et 4,7%, suivis par les Isopodes 2,6% et les Escargots 2%. Les plus faibles pourcentages sont attribués aux Araignées et aux Myriapodes.

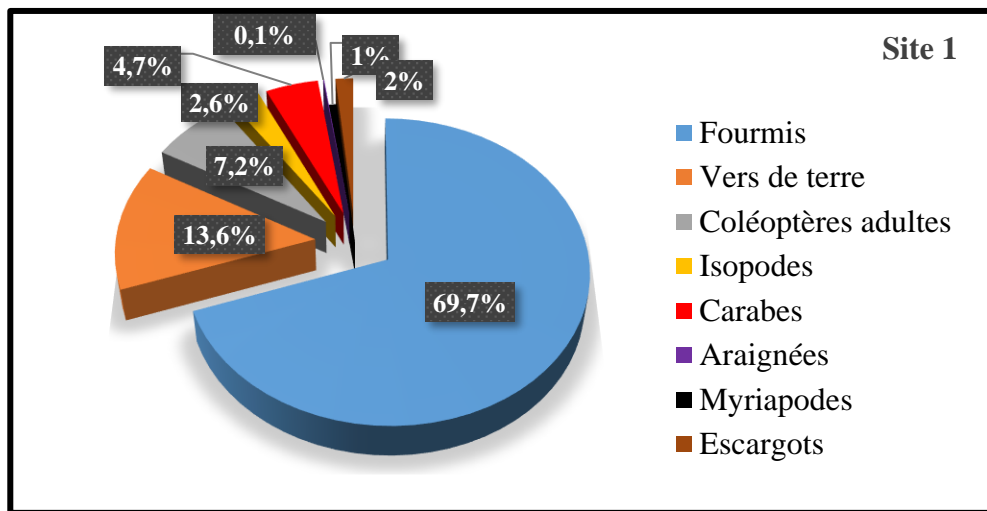


Figure 31. Contribution de la faune dans la composition du sol agricole à culture d'oignon.

• **La station 2 (St2)**

Elle présente au total 8taxons, caractérisé par l'abondance des Fourmis avec un pourcentage de 69,5%. Les Vers de terre avec 12,1%, les Coléoptères adultes participent avec 8,7%.

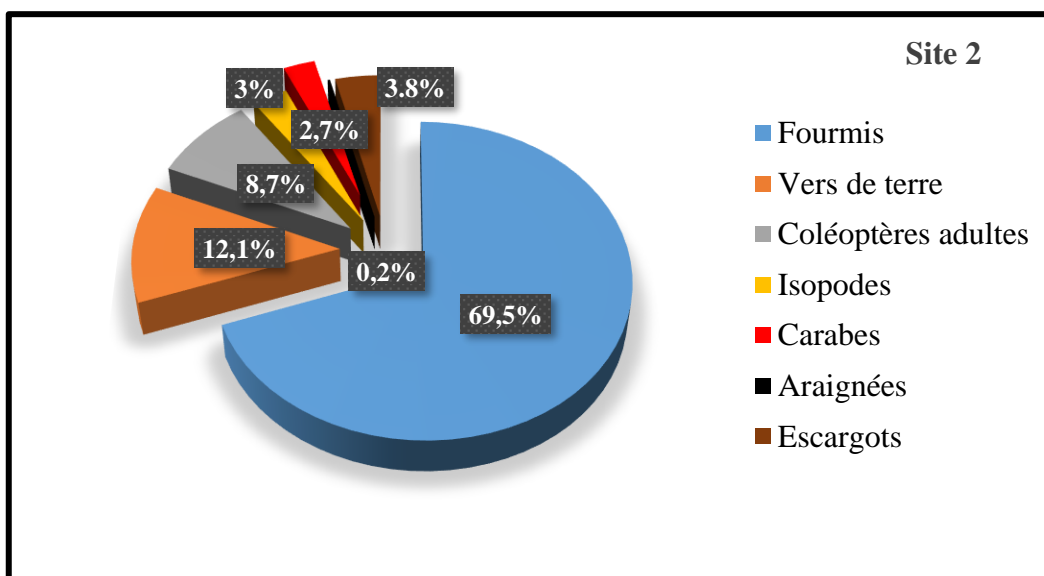


Figure 32. Contribution de la faune dans la composition du sol agricole à culture céréalière.

• **La station 3 (St3)**

Elle est caractérisée par l'abondance des Fourmis 67%, les vers de terre avec un pourcentage de 13%. Les Escargots avec un pourcentage 12%, et à la dernière position les Isopodes avec la plus faible contribution 8%.

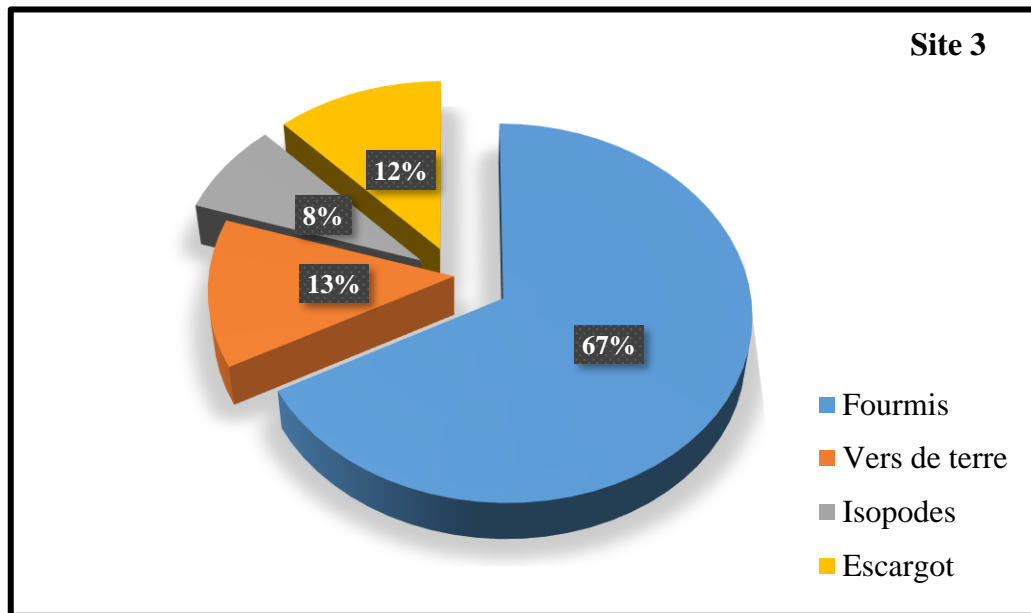


Figure33. Contribution de la faune dans la composition du sol témoin (jardin privé)

IV.2.3 Composition et diversité globale de la zone d'étude

Au total nous avons pu compter 3 phylumsouem branchements,6 classes,12 ordres ,et 15 familles de macro-invertébrés dans les différents sites de prélèvement. Les Annélides sont représentés par la classe *Clitellata* avec une contribution de 11.71%desindividus recensés. Les Arthropode sont contribués avec un pourcentage de 84,98%, en regroupant l'ordre des Hyménoptères (64,24%) avec la dominance des classes d'Insectes et celles des Diplopedes. Ces dernières sont présentées par la *Lasiusniger* (53,39%), *Lasius* (10,02%), et *Pyrrhocoris apterus* (0,83%). L'ordre des Coléoptèrcs avec un pourcentage de 11,19%, composé de *Larves de Coléoptères scarabées(hanneton)* (4,13%), *Carabus coriaceus* (2,55%), *La larve de Coléoptère* (1,45%), *Larve apode d'insecte (Diptère)* (1,03%),et *Oxythyrea funesta* (0,48%). L'ordre d'insectes avec une contribution de 6,17% du nombre d'individus. Les autres classes avec des contributions plus basses.

Tableau8:Récapitulatif de la richesseen macrofaune de trois stations d'étude dans la région de Mila

| Phylum | Classe | Ordre | Famille | Nomcommun | Nombretotal d'individus | Proportion (%) |
|------------|-----------------|---------------|------------------|---|-------------------------|----------------|
| Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Pyrrhocoridae | <i>Pyrrhocorisapterus</i> | 24 | 0,83 |
| | | | Formicidae | <i>Lasius</i> | 291 | 10,02 |
| | | | | <i>Lasius niger</i> | 1550 | 53,39 |
| | | Coléoptéra | Scarabaeidae | <i>Heteronychusarator</i> | 45 | 1,55 |
| | | | Scarabaeidae | <i>Larveapoded'insecte (Diptère)</i> | 30 | 1,03 |
| | | | | <i>Larves decoléoptèresscarabées (hanneton)</i> | 120 | 4,13 |
| | | | DiversColéoptère | <i>La larve de Coléoptère</i> | 42 | 1,45 |
| | | | Scarabaeidae | <i>Carabuscoriaceus</i> | 74 | 2,55 |
| | | | | <i>Oxythyreafunesta</i> | 14 | 0,48 |
| | | Lepidoptera | Geometridae | <i>Hydriomena speciosata (Packard)</i> | 4 | 0,14 |
| | | Dermaptera | Forficulidae | <i>Forficula auricularia</i> | 114 | 3,93 |
| | | Tenebrionidae | Tenebrionidae | <i>Ténébrions</i> | 56 | 1,93 |
| | | | | <i>sp 1</i> | 3 | 0,10 |
| | | | | <i>sp 2</i> | 2 | 0,07 |
| Arachnida | diversesAraneae | Araignées | <i>sp 3</i> | 8 | 0,28 | |

Suite du tableau9:Récapitulatif de la richesseen macrofaune de trois stations d'étude dans la région de Mila

| Phylum | Classe | Ordre | Famille | Nomcommun | Nombre total d'individus | Proportion(%) |
|------------|--------------|------------------|-----------------|------------------------------|--------------------------|---------------|
| Arthropoda | Arachnida | Diverses Araneae | Araignae | <i>Araignées</i> | 87 | 3,00 |
| | Malacostraca | Isopoda | Armadillidiidae | <i>Armadillidium vulgare</i> | 2 | 0,07 |
| | Diplopoda | Julida | Julidae | <i>Tachypodoiulus niger</i> | 1 | 0,03 |
| Annelida | Clitellata | Crassiclitellata | Lumbricidae | <i>Lumbricus castaneus</i> | 182 | 6,27 |
| | | Haplotaxida | | <i>Lumbricina</i> | 158 | 5,44 |
| Mollusca | Gastéropoda | Stylommatophora | Subulinidae | <i>Rumina Decollata</i> | 40 | 1,38 |
| | | Stylommatophora | Helicidae | <i>Helix spera</i> | 26 | 0,90 |
| | | Eobania | | <i>Eobania vermiculata</i> | 30 | 1,03 |
| | | | | | | |

IV.2.4. Indice de diversité et d'équitabilité

Les résultats relatifs aux indices de diversité et d'équitabilité sont indiqués dans le tableau. La diversité (H') des peuplements de la macrofaune est faible dans les trois types de sol en générale avec une légère exception du sol jardin privé en le comparant avec les deux sols agricoles. Le sol jardin est caractérisé par la plus faible valeur avec ($Ish : 0,23$). Par contre, le sol agricole a culture céréalière présente une valeur plus élevée avec ($Ish : 0,36$). Les valeurs de l'équitabilité montrent des valeurs faibles dans les trois types de sol ; donc selon, le seuil retenu par Daget (1979) comme indice d'un peuplement équilibré, soit 0.80, n'a été atteint dans aucun sol. Cela est dû à la dominance des Fourmies.

Tableau10: La diversité (H') et l'équitabilité (E) de la macrofaune dans les trois types du sol

| | Station1 | Station2 | Station3 |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Richesse taxonomique | 20 | 15 | 8 |
| Indice de Shannon | 0,36 | 0,35 | 0,23 |
| Indice d'Equitabilité | 0,12 | 0,13 | 0,11 |

Et à la fin nous exposons les photographies des espèces rencontrées durant la période d'étude dans le tableau 11.

Tableau 11. Photographies des principaux taxons rencontrés dans la zone d'étude



Larves de coléoptères scarabées (hanneton)



La larve de Coléoptère



Larve apode d'insecte (Diptère)



Ténébrions



forficula auricularia



Heteronychus arator



Tachypodoiulus niger



Oxythyrea funesta



Rumina decollata



Esp1



Hydriomena speciosata (Packard)



Esp2



Pyrrhocoris apterus



Esp3



Lumbricina



Araignées



Carabus coriaceus



Eobania vermiculata

Conclusion

Conclusion

La macrofaune du sol apparaît aujourd'hui comme un objet indispensable à la connaissance des processus opérant dans les sols. Comme nous avons pu le voir, les avancées scientifiques acquises depuis les vingt dernières années sont majeures et permettent déjà d'utiliser cette faune pour aider les acteurs de notre société à préserver les sols pour les générations futures.

On a conclu en se basant sur les résultats obtenus dans ce travail, que les paramètres physico-chimiques initialement recherchés se différencient d'un sol à un autre.

Du point de vue, la richesse spécifique totale, nous avons enregistré, le plus grand nombre 1344 individus dans la station 2. Suivi par la station 1 avec 1270 individus et à la dernière position vient la station 3 avec 289 individus. Le nombre d'individus des différentes espèces est variable d'un sol à l'autre. Les espèces retrouvées en grand nombre dans les différents sites sont : les Fourmis, les Vers de terre, les Coléoptères adultes et les Isopodes. Les valeurs de l'équitabilité montrent des valeurs moyennes dans les trois types de sol.

En fin, Le sol qui est la base de la production alimentaire reste le grand oublié de l'environnement. Utilisé par le passé comme un support de la culture ou comme matériaux pour la construction des habitations ou encore comme simple filtre conditionnant la qualité de l'eau, le sol doit être enfin considéré comme un milieu vivant, complexe et fragile qu'il importe de préserver pour l'avenir, comme un patrimoine à ménager.

Annexe

Annexe1 : Matériel utilisé au laboratoire



Agitateur magnétique Balance électronique



Bécher

Flacon laveur



Spatule Tamis

Annexe 2 : Différentes étapes du processus d'échantillonnage de la macrofaune de sol par la méthode TSBF.



1



2



3

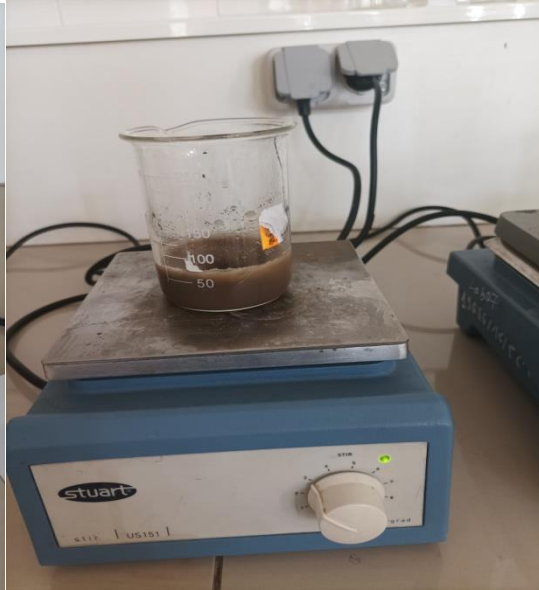


4

Annexe 3: Différentes étapes des analyses physicochimiques



1



2



3



4

Annexe 4 : Liste des espèces inventoriées durant les compagnes de prélèvement.

| Espèces | Sol 1 | | | | Sol 2 | | | | Sol 3 | | | |
|---|-------|----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|----|----|----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C1 | C2 | C3 | C4 | C1 | C2 | C3 | C4 |
| <i>Pyrrhocoris apterus</i> | / | / | / | / | / | / | / | / | 14 | 7 | 3 | / |
| <i>Forficula auricularia</i> | 15 | 8 | 17 | 21 | 7 | 19 | 16 | 4 | 5 | / | / | 2 |
| <i>Hydriomena</i> | / | / | / | 4 | / | / | / | / | / | / | / | / |
| <i>speciosata (Packard)</i> | / | / | / | 4 | / | / | / | / | / | / | / | / |
| <i>Tachypodoiulus niger</i> | 6 | / | / | 2 | / | / | / | / | / | / | / | / |
| <i>Lumbricus castaneus</i> | 28 | 29 | 23 | 5 | 23 | 19 | 20 | 14 | 9 | 4 | 6 | 2 |
| <i>Armadillidium vulgare</i> | 7 | 13 | 1 | 9 | / | 5 | 12 | 20 | 6 | 7 | 3 | 4 |
| <i>Heteronychus arator</i> | / | / | 5 | 2 | 7 | 11 | 9 | 3 | 8 | / | / | / |
| <i>Larve apode d'insecte (Diptère)</i> | / | / | 8 | 15 | / | / | / | 7 | / | / | / | / |
| <i>Larves de coléoptères scarabées (hanneton)</i> | / | / | 8 | 15 | / | / | / | 7 | / | / | / | / |
| <i>La larve de Coléoptère</i> | 4 | 7 | 10 | 27 | 9 | 12 | 19 | 32 | / | / | / | / |
| <i>Carabus coriaceus</i> | 8 | 3 | 1 | / | 13 | 17 | / | / | / | / | / | / |
| <i>Araignées</i> | / | / | / | / | / | / | 2 | / | / | / | / | / |
| <i>Lumbricina</i> | 15 | 11 | 8 | 6 | 7 | 9 | 2 | 16 | / | / | / | / |
| <i>Oxythyrea funesta</i> | / | / | / | / | / | / | 2 | / | / | / | / | / |
| <i>Ténébrions</i> | 19 | 27 | 17 | 9 | 23 | 29 | 18 | 5 | 8 | 3 | / | / |
| <i>Rumina decollata</i> | 9 | 5 | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| <i>Helixaspera</i> | 12 | 16 | 8 | / | 10 | 7 | 3 | / | / | / | / | / |
| <i>Eobania</i> | 3 | / | 5 | / | 9 | 16 | 7 | / | / | / | / | / |
| <i>Lasiusniger</i> | 6 | 4 | / | / | 9 | 7 | / | / | / | / | / | / |
| <i>Lasius</i> | / | / | / | / | / | / | / | / | 8 | 7 | 10 | 5 |
| <i>Esp1</i> | 120 | 98 | 235 | 260 | 89 | 112 | 212 | 256 | 34 | 45 | 38 | 51 |
| <i>Esp2</i> | / | / | 34 | 59 | / | / | 78 | 120 | / | / | / | / |
| <i>Esp3</i> | / | / | 3 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aissaoui, A, 2013.** Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de Oued Athmania (Wilaya de MILA) par les activités agricoles, thèse de Magister En Biologie, Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.
- Anrh** : statistiques de l'agence nationale des ressources hydrauliques
- Auguste Mailloux et al, 1964.** Classement des sols selon leurs possibilités d'utilisation agricole. Cahiers de géographie du Québec. 22 p.
- Auguste Mailloux, Armand Dubé et Lauréan Tardif , 1964** ; Classement des sols selon leurs possibilités d'utilisation agricole.
- Bachelier G, 1963.** La vie dans les sols. ORSTOM, Paris.
- Bachelier, G. (1972)** : Etude expérimentale de l'action des alliaux sur l'humification des matériaux végétaux. 1. Premières expériences et conclusions préliminaires. Coll. Travaux et Document O.R.S.T.O.M..no 14, Paris, France. 75 p
- Bachelier, G. (1978)** : La faune des sols. Son écologie et son action. Initiations Documentations techniques N° 38. O.R.S.T.O.M. Paris. 391 p.
- Bachelier, G. (1979)** : La faune des sols, son écologie et son action. ORSTOM Paris, 391p.
- Baize et Girard, 2009.** Iuss working group, 2006.
- Batsch dorothée, 2011.** L'impact des pesticides sur la santé humaine, op.cit, p 59
- Ben Leroy, L. M., Schmidt O., Van den Bossche A., Reheul D.&Moens, M. (2008):** Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organicmatter. Pedohiologia 52. 139-150.
- Blanchart E., et al, 2005** ; Perception et popularité des vers de terre avant et après Darwin. Etude et gestion des Sols, 12: 145-152.
- Bouché, M.B. (1972)** : Lombriciens de France. Ecologie et Systématique. INRA (Annales de Zoologie - Ecologie Animale, numéro hors série 72/2), Paris, 671 pages.
- Boudjemaa SOUKEHAL et Salah Eddine CHERRAD, 2011** ; LES RESSOURCES EN EAU DANS LA WILAYA DE MILA : MOBILISATION, CONSOMMATION ET COMPORTEMENT DE MENAGES
- Bouillon A. & Mathot G. (1965).** Quel est ce termite africain ? « Zooleo n°1 », 1-115. Editions de l'Université de Léopoldville.
- Boulaine J, 1989.** Histoire des pédologues et de la science des sols. INRA, Paris, 298 pages.
- Boyer, P. (1971)** : Les différents aspects de l'action des termites sur les sols tropicaux. In: Person P. (Ed.), la vie dans les sols: aspects nouveaux. Etudes expérimentales. Gauthier Villars. Paris, pp. 279-334
- Brown et al., 2002).** Brown G. G., Pasini A., Benito N. P., D'Aquino A. M. & Corrcia M. E. F., ZOOZ.
- Brussaard L, 1998.** Soil Fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. Applied Soil Ecology, 9: 123-135.
- Calvet Raoul et al, 2005.** les pesticides dans le sol (conséquences agronomique), édition France agricole, france, p31 Canadien 127 (2) : 22-25.

- Ceti,C., (2009)** : Centre des Techniques de l'Information et de la Communication.
- Chérix (D.). 1986** — *Les fourmis des bois, série «Comment vivent-ils ?*, Atlas visuels Payot, vol. 15, Lausanne,
- Chevrollier Thomas, 2009.** La faune du sol dans l'agriculture : cas de la bananeraie, sous différentes pratiques culturales.Université des antilles et de la guyane. 53 p.
- Darwin C, 1881.** The formation of vegetable mould through the action of worms with some observations on their habits. John Murray, London, 298 pp.
- Deprince A, 2003.** La faune du sol : diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. Le courrier de l'Environnement de l'inra, 49: 19- 42.
- DSA** : statistiques de la Direction des services agricoles
- DREUX, P. (1980).** Précis d'écologie. Paris : Presses universitaires de France. 231p
- El bakouri Hicham, 2006.** Développement de nouvelles techniques de détermination des pesticides et contribution à la réduction de leur impact sur les eaux par l'utilisation des substances organique naturelle (s.o.n.) ,thèse pour l'obtention du doctorat en sciences de l'environnement ,université abdelmalek essaadi tanger, maroc , p16-17.
- Éric Blanchart et Pascal Jouquet,2002** : Chapitre 23. Rôle des vers de terre et des termites pour la restauration de la productivité des sols en milieux tropicaux
- Feller C et al, 2000.** Darwin et le biofonctionnement des sols. Etude et Gestion des Sols, 7 : 395-402.
- Feller C et al, 2003.** Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. Agriculture, Ecosystems and Environment, 99: 29-49.
- Feller C. et Blanchart E., 2004 .** Quatre grands savants ont observé des profils et/ou décrit des techniques de prospection pédologique avant 1850 : Palissy, Buffon, Thaer et Darwin. Étude et Gestion des Sols, 11: 165-173.
- Frank Hagedorn, Hans-Martin Krause, Mirjam Studer, Andreas Schellenberger, Andreas Gattinger; 2017.** Sol et environnement Matière organique du sol, émissions de gaz à effet de serre et atteintes physiques aux sols suisses. PNR 68 Synthèse thématique 2 Sol et environnement.96p.
- Gamm Vert, 2018.**Comment mesurer le ph du sol ? Article scientifique en gamme vert la 1er groupe coopératif agricole français.
- George G B et al, 2001** ; Diversité et role fonctionnel des communautés de macrofaune du sol dans les agrosystèmes brésiliens sans labour : une analyse préliminaire.
- Giller P.S, 1996.** The diversity of soil communities, the_ pour manes tropical rainforest'. Biodiversity and conservation; 5: 135-168.
- Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey W. (2003)** :Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols. Presses polytechniques et universitairesromandes (Ed), 528p.
- Goma-Tchimbakala J. And Bernhard-Reversat F, 2006.** Comparison of litter dynamics in three plantations of an indigenous timber-tree species (*Terminalia superba*) and a natural tropical forest in Mayombe, Congo. Forest Ecology and Management; 229: 304-313.
- Grassé P, 1986.** Termitologia, Tome 3, Masson, Paris.
- Hedde Mickael et Zwicke Marine, 2020** ; Faune du sol et production vegetale. Article de plaet vie.

- Jobin, P et G. Forand. 1993.** Le bilan nutritif, une approche écologique de la gestion des éléments nutritifs sur la ferme. Essais et observations à la ferme - Rapport technique, Centre de développement d'agrobiologie, Ste-Eliz.-de-Warwick.
- Joël Amossé, 2014.** La faune du sol comme indicateur de la qualité des sols urbains, étude des communautés de vers de terre, d'enchytréides et de nématodes et de leurs relations avec des sols d'âges différents. Doctorat en sciences. Université de Neuchâtel. 237 p.
- Kerdoud S., 2006.** Le bassin versant de Béni Haroun : eau et pollution mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister en Aménagement du territoire. Université Mentouri. Constantine. 128p.
- Kherief Nacereddine Saliha Hamsa Djeddi Naila Yasmine Benayache Fatima-Zohra Afri-Mehennaoui 2006 ;** Dynamique Des Eléments Nutritifs Et Du Phytoplancton Dans Le Barrage Béni Haroun Dans l'Est Algérien.
- La feur B., 2003.** Fourmis et fertilité des sols dans les pessières à lichens. Natur.
- Lavelle P. et Fragoso C., 2000.** La macrofaune du sol : une ressource en danger dans un monde en changement. Rapport du colloque international du 19 au 23 juin 2000, Bondy, 44p.
- Lavelle, P. (1987)** : Interactions, hiérarchies et régulations dans le sol : à la recherche d'une nouvelle approche conceptuelle. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol* 24:219-229.
- Lavelle, P., Bignell D., Lepage M., Wolters V., Roger P., Ineson P., Heal O. W. et Dhillion S. (1997)**: Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33:159-193
- Maurizio Guido Paoletti, 1985 ;** Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators
- Michael Hedde, 2020.** Faune du sol et production végétale. <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/production-agricole-agrosystemes/faune-du-sol-et-production-vegetale>. Consulté le 13/06/2022.
- Michal Holec, Jan Frouz et Richard Pokorný, 2006** : The influence of different vegetation patches on the spatial distribution of nest and the epigeic activity of ants (*Lasius niger*) on a spoil dump after brown coal mining (Czech Republic)
- Minnich J., 1977.** The earthworm book: How to raise and use earthworms for your farm and garden. Rodale Press, Bethlehem.
- Müller P.E, 1879.** Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrkningens Theori. I. Om bøgemuld og Bøgemor på Sand og Ler. *Tidsskrift for Skovbrug*, 3: 1-124.
- Müller P.E., 1884.** Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrkningens Theori. II.
- Nassima Messai Berchi S, Boulknafd F. & Louadi K. 2011** , Inventaire systématique et diversité biologique de Culicidae (Diptera: Nematocera) dans la région de Mila (Algérie)
- Nivet C., Aubert M. Et Chauvat M., 2018.** Gestion durable et biodiversité des sols forestiers. Paris, GIP Ecofor, 20 p
- Ouédraogo, K.(2004)**: Soil quality improvement for crop In semi-arid West Africa. PI fi. Thesis. University and research centre. Wageningen, The Netherland. 193p.
- Pesson P., 1971.** La vie dans les sols Aspects nouveaux études expérimentales. Gauthier Villars (Ed), 471p
- Quentin Vincent., 2018.** etude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés. Doctorat en « écotoxicologie, biodiversité, écosystèmes ». Université de lorraine. 331 p.
- Ramade F, 1984,** éléments d'écologie : écologie fondamentale

- Ranger Jacques., 2018.** les sols forestiers. Bulletin de l'association de géographes français, 78e année, 2001-2 (juin). Les forêts entre nature et société. P 119-134.
- Rombke J et al., 2006.**Monitoring of soil organisms: a set of standardized field methods proposed by ISO. European Journal of Soil Biology, 42(1): S61-S63.
- Rozier L'Abbé, 1781-1805.** Cours complet d'agriculture théorique, pratique, économique et de médecine rurale et vétérinaire. 12 Vols. Rue et Hôtel Serpente, Paris.
- Schloesing Th. et Muntz., 1877.** Sur la nitrification par les ferments organisés. C.R. Académie des Sciences, tome 84: 301-3003, et tome 85: 1018-1020.
- Sogreah :** statistiques de SOGREAH Algerie EURL.
Station metherologique Ain Tine, Wilaya de Mila.
- Uld og Mor i Egeskove og paa Heder.** Tidsskrift for Skovbrug, 7: 1-232.
- White G., 1789.** The natural history of Selborne. Benjamin White, London.
- Zhang BG, Li GT, Shen TS, Wang JK, Sun Z, 2000.** Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*. Soil Biology and Biochemistry 32: 2055 – 2062.
- Zouaidia-H. (2006).** Bilan des incendies de forêt dans l'Est algérien, cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk Ahras. Thèse de Magister. University of Constantin, 12-15

Références webgraphies

- ¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Microfaune#/media/Fichier:Organismes_du_sol.png
- ² <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zoologie-ver-terre-allie-jardin-1157/page/2/>
- ³ <https://www.ac2000.com/les-traitements-contre-les-fourmis-et-leurs-nuisances/>
- ⁴ <https://faunedefrance.org/tag/hemipteres/>
- ⁵ https://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/european_earwig.htm
- ⁶ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arachnida>
- ⁷ <https://xx-love-animals-xx.skyrock.com/tags/klNmSZYaDfp-Myriapodes.html>
- ⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Apogastropoda_various.jpg
- ⁹ <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zoologie-recyclage-naturel-sont-decomposeurs-695/page/4/>