



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences de la Nature et de la Vie**

Filière : **ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT**

Option : **PROTECTION DES ECOSYSTEMES**

Thème :

*ETUDE DE LA DIVERSITE DES MACRO-ORGANISMES
TELLURIQUES DES ECOSYSTEMES AGRICOLES ET
AGROFORESTIER
CAS DE L'ABONDANCE DU MACRO-PEDOFAUNE*

Présenté par :

*Abboudi Houda
Laalaouna Rania*

Jury de soutenance :

Présidente : M^{me}. **MEZHOUD A** (MAA) Univ. AbbèsLaghrou - Khenchela
Encadreur : M^{lle}. **ABABSA N.** (MCA) Univ. AbbèsLaghrou - Khenchela
Examinatrice : M^{me}. **OUANES M** (MAA) Univ. AbbèsLaghrou- Khenchela

ANNEE UNIVERSITAIRE 2019– 2020

Remerciements

Nous remercions Dieu qui nous a guidés tout au long de ce chemin afin de réaliser ce modeste travail.

Au terme de ce mémoire, nous exprimons notre reconnaissance aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

*A notre promotrice, **Dr. ABABSA N.***

Qui à eu la gentillesse de suivre de près notre travail jusqu'à son terme, pour ses conseils, ses encouragements et pour la confiance qu'elle nous a témoignée aux cours de réalisation de ce travail.

Sincère Remerciements,

*A notre présidente de jury **Dr. Mezhoud A.***

Qui nous a fais l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

A notre examinatrice,

Dr. Ouanes M.

Qui à eu l'amabilité d'accepter d'examiner notre travail.

*Plus sérieusement, un grand merci à **MAAROUF.H**, Qui a nous accompagné le long de notre prélèvement des échantillons, pour ses efforts et son aide.*

*Nos vifs remerciements s'adressent, plus particulièrement, au **Dr. MESSAADIA. H**, pour l'intérêt qu'il est porté à notre étude et ses conseils très précieux tout au long de réalisation de cette étude.*

TABLE DES MATIERES	
Résumés	
Introduction	
Revue Bibliographique	
I. La pédodaune	
1. Le sol, un milieu vivant et multifonctionnel	1
2. Fonctions et services assurés par le sol	1
3. La faune du sol	2
3.1. Principaux représentants de la Macro-pédofaune	4
3.2. Action de la faune sur le sol	10
3.3. Rôle des macro-organismes dans le sol	10
4. Le réseau trophique du sol	13
5. Les facteurs affectant La biodiversité de la macrofaune du sol	15
6. Implication de la faune du sol pour la production primaire	17
II. Les écosystèmes agricoles et agro-forestiers	18
1. Écosystèmes	18
2. Les types des écosystèmes	20
2. 1. Ecosystème agricole	21
2. 2. Ecosystème agro-forestier	23
Matériels et Méthodes	
1. Situation de la zone d'étude	26
1. 1. Choix de station	27
2. Echantillonnage de la macrofaune du sol	29
3. Méthodes d'analyse des paramètres pédologiques	29
- Analyse de l'activité biologique (respirométrie classique)	32
Résultats et Discussion	
Conclusion	
Références Bibliographiques	

LISTEDES FIGURES

Titres	Pages
Figure 1. Relations entre fonctions et services écosystémiques assurés par les sols	1
Figure 2. Classement des organismes du sol par la taille	3
Figure 3. Rôle de la pédofaune dans la décomposition de la matière organique	14
Figure 4. Réseau trophique simplifié du sol	15
Figure 5. Modèle hiérarchique des facteurs déterminant le fonctionnement du sol	16
Figure 6. Impacts direct et indirect de la faune du sol sur la production primaire dans les agro-écosystèmes	17
Figure 7. L'écosystème. Un ensemble d'espèces vivantes en interaction dans un milieu	18
Figure 8. Exemples de services écosystémiques d'approvisionnement, de régulation et culturels fournis par les écosystèmes d'un territoire à des bénéficiaires à différentes échelles	19
Figure 9. Représentation d'un écosystème agricole	21
Figure10. Schéma rendant des relations entre mode de gestion de sol et services écosystémiques	23
Figure 11. Schéma d'un système agroforestier avec ses trois composantes essentielles : l'homme, l'arbre et les autres plantes	24
Figure12. Systèmes agro-forestiers classifiés selon la nature de leurs composantes	25
Figure 13. Localisation du périmètre d'étude	27
Figure 14. Diagramme ombro-thermique d'El Hamma (période 2006- 2018)	28
Figure 15. Schéma du protocole de prélèvement de la faune du sol utilisé dans chaque site	30
Figure 16. Quelques étapes des prélèvements du sol avec cylindre pour la mesure de la densité apparente du sol	31
Figure 17. Quelques étapes des analyses physicochimiques et biologiques réalisées au niveau du laboratoire	33
Figure 18. Variation de la température du sol dans les deux sites et pour les deux compagnes de prélèvement	34
Figure 19. Variation de la porosité du sol dans les deux sites et pour les deux compagnes de prélèvement	35

Figure 20. Variation de la teneur en eau du sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement	37
Figure 21. Variation de pH du sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement	38
Figure 22. Variation de la CE du sol dans les deux sites et pour la campagne de l'automne	39
Figure 23. Variation de la teneur en MO du sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement	41
Figure 24. Variation de l'abondance de la macro-pédofaune dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement	42
Figure 25. Variation de l'activité respirométrique dans les deux sites en automne	44
Figure 26. Variation de l'activité respirométrique dans les deux sites au printemps	44

LISTE DES TABLEAUX

Titres	Pages
Tableau 1. Quelques macrofaunes du sol : ordres de grandeur par famille	3
Tableau 2. Synthèse des fonctions essentielles jouées par les organismes vivants du sol	12
Tableau 3. Rôles de la pédofaune dans l'écosystème sol	13
Tableau 4. Biodiversité et biodiversité agricole	22
Tableau 5. Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations et températures Station d'El Hamma (période 2006-2018)	28
Tableau 6. Les résultats de l'analyse de la granulométrie des sites d'étude en automne	36
Tableau 7. Les résultats de l'analyse de la granulométrie des sites d'étude au printemps	36
Tableau 8. Echelle d'interprétation du pH (Baize, 1989)	37
Tableau 9. Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand (1983)	39
Tableau 10. Qualification des sols selon leurs taux de la M.O (Soltner, 1992)	40
Tableau 11. La macro-pédofaune récolté en automne dans les deux sites	42
Tableau 12. La macro-pédofaune récolté au printemps dans les deux sites	43

Résumé

La macrofaune du sol est considérée comme un élément important des écosystèmes qui peut être utilisée comme un élément d'évaluation de la qualité du sol et reflète l'état d'un sol. Le but de ce travail est de déterminer la différence saisonnière de l'abondance des macrofaunes dans deux écosystèmes agroforestiers (S1) et agricoles (S2). La station d'étude est située en zone semi-aride (Tamza, Khenchela). En automne, le total des individus récoltés est de 129 individus en S1 contre 116 individus en S2, tandis qu'il est de 157 individus en S1 et 266 individus en S2 au printemps. Par ailleurs, la différence varie très significativement d'une saison à l'autre. En outre, il existe un effet progressif de la macrofaune sur les deux écosystèmes. D'un point de vue biologique, nos résultats indiquent que l'abondance de la macrofaune joue un rôle primordial dans les sols, dont elle contribue à l'amélioration et le développement de la qualité biologique et même physico-chimique du sol.

Mots Clés : Macrofaune du sol, Abondance, Ecosystèmes agricole, Ecosystème agroforestier, activité biologique du sol.

Abstract

Soil macrofauna is considered an important component of ecosystems. It can be used as part of the assessment of soil quality and reflects the condition of a soil. It contributes to the regulation and balance of physical, chemical and biological characteristics, and better expresses ecological variations and changes that can affect the soil. The aim of this work is to determine the seasonal difference in the abundance of macrofauna in the two ecosystems (agricultural and agro-forestry). The study station is located in a semi-arid zone (Tamza, Khenchela). The autumn number of individuals collected is (129 species); (116 species), while it is (157 species); (266 species) in spring respectively in (S1; S2). In addition, there is a progressive effect of macrofauna on both ecosystems. In fact, the increase in the characteristics studied (porosity, organic matter content, ET) depends on the abundance of macrofauna. From a biological point of view, our results indicate that the abundance of macrofauna plays a primordial role in soils, of which it contributes to the improvement and development of the biological and even physicochemical quality of the soil.

Key words: macrofauna, abundance, species, individuals, ecosystems, quality, soil biology

ملخص

تعتبر الحيوانات الكبيرة في التربة مكوناً مهماً للنظم البيئية، يمكن استخدامها لتقييم جودة التربة وعكس حالتها. حيث أنها تساهم في تنظيم وتوازن الخصائص الفيزيائية، الكيميائية والبيولوجية، وتعتبر بشكل أفضل عن الاختلافات والتغيرات البيئية التي يمكن أن تؤثر على التربة.

الهدف من هذا العمل هو تحديد الاختلاف الموسمي في وفرة حيوانات التربة الكبيرة في النظامين البيئيين (الزراعي والزراعي الغابي). حيث تقع محطة الدراسة في منطقة شبه قاحلة (طامزة، خنشلة).

عدد الأفراد التي تم جمعها في الخريف هو [129 نوعاً]؛ [116 نوعاً] بينما [157 نوعاً]؛ [266 نوعاً] في الربيع في النظام البيئي 1 و النظام البيئي 2 على الترتيب، علاوة على ذلك، الفارق كبير من موسم إلى آخر.

بالإضافة إلى ذلك، هناك تأثير متزايد ملحوظ للحيوانات الكبيرة على كلا النظامين البيئيين.

في الواقع، تعتمد الزيادة في الخصائص المدروسة (المسامية، كمية المادة العضوية في التربة، محتوى الماء في التربة) على وفرة الحيوانات الكبيرة.

من وجهة نظر بيولوجية، تشير نتائجنا إلى أن وفرة الحيوانات الكبيرة تلعب دوراً أساسياً في التربة، حيث تساهم في تحسين و تطوير الجودة البيولوجية و حتى الفيزيائية و الكيميائية للتربة.

الكلمات المفتاحية: الحيوانات الكبيرة، الوفرة، الأنواع، الأفراد، النظم البيئية، جودة التربة البيولوجية

Introduction

INTRODUCTION

Le sol est considéré comme une composante essentielle de l'écosystème terrestre. Cette couverture pédologique abrite une faune variée et abondante numériquement et pondéralement (**GOBAT ET AL., 2003**). La majorité de la pédofaune se localise essentiellement où se situe le potentiel énergétique des apports végétaux, toute fois les animaux fousseurs pouvant s'en éloigner quand les circonstances l'exigent (**BACHELIER, 1978**). Ces organismes du sol sont extrêmement diverses et contribuent à une large gamme de services écosystémiques qui sont essentiels à la fonction durable des écosystèmes naturels et aménagés (**BARRIOS, 2007**).

Le fonctionnement biologique du sol correspond à un système d'interaction entre différents compartiments de la couverture pédologique qui font intervenir un acteur biologique (faune, micro-organisme ou racine), ces interactions induisent un certain nombre de fonctions écologiques, agronomiques ou environnementales de la couverture pédologique (**GIRARD ET AL., 2005**).

La faune du sol participe à la fonction de tous les écosystèmes. Les vers de terre sont une composante majeure des communautés de la faune du sol dans la plupart des écosystèmes et comprennent une grande proportion de la biomasse des macrofaunes (**Bhadauria et Saxena, 2010**). **Hutha, (2007)**, les considèrent comme des organismes clé du fonctionnement des sols.

L'étude de l'activité biologique du sol, faisant suite à la caractérisation physico-chimique de celui-ci, devra donc s'intéresser aux points suivants **(i)** Numération totale des macroorganismes ; répartition au sein des groupes taxonomiques et, éventuellement, détermination, identification des espèces, **(ii)** Evaluation des groupements fonctionnels au niveau de l'activité microbienne (la respiration microbienne).

Dans notre étude, l'objectif est de déterminer la différence entre deux écosystèmes, d'une part sur les caractéristiques physicochimique des sols et d'autre part sur la composante biologique caractérisée par l'abondance de la macrofaune du sol et la respiration du sol.

Après notre investigation, nos mesures sur terrain, et nos travaux aux laboratoires, nous avons élaboré un manuscrit sur l'étude des macro-organismes tellurique dans un sol agricole et agroforestier.

Ce manuscrit s'articule autour de trois parties excepté l'introduction et la conclusion :

La première partie est consacrée à une revue bibliographique : c'est une brève présentation où nous avons mis l'accent sur les principaux axes de notre recherche,

La deuxième partie regroupe les détails sur les matériels et méthodes employés pour la réalisation de cette étude.

Enfin la dernière partie portant sur la présentation et l'analyse et l'interprétation des résultats récoltés aux différents niveaux d'étude : l'analyse des sols, dénombrement de la macro-pédofaune, et la respiration du sol.

Revue

bibliographique

I. La pédofaune du sol

1. Le sol, un milieu vivant et multifonctionnel

Le sol est un écosystème où les êtres vivants, faune et flore, sont les maillons d'une chaîne alimentaire qui interagissent entre eux et pour comprendre le caractère fondamental d'un sol vivant, il faut s'intéresser aux processus écologiques qui se jouent dans le sol (**Anonyme, 2013**). En effet, le sol est un réservoir de ravageurs, mais aussi de leurs prédateurs et d'animaux dont l'action dans le sol est essentielle à son bon fonctionnement (**Deprince, 2003**). **Lavelle et al., (2006)** affirme que lorsqu'un organisme devient nuisible, c'est souvent parce qu'une bonne partie de la biodiversité a chuté. La **FAO (2015)** rappelle à présent que « les communautés du sol et leurs activités sont fondamentales pour la fertilité des sols et la productivité agricole ».

2. Fonctions et services assurés par le sol

Le sol, est un système écologique vivant, complexe et dynamique, aux nombreuses fonctions, ces fonctions interviennent dans la majorité des services écosystémiques énoncés dans le cadre de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire (**Fig.1**) (**MEA, 2005**). Il s'agit des :

- * Services d'approvisionnement.
- * Services de régulation.
- * Services culturels.
- * Services de support.

Ces derniers reposent sur les interactions multiples et variées existant entre le sol et la faune qui réside (**Brussaard, 2012**).

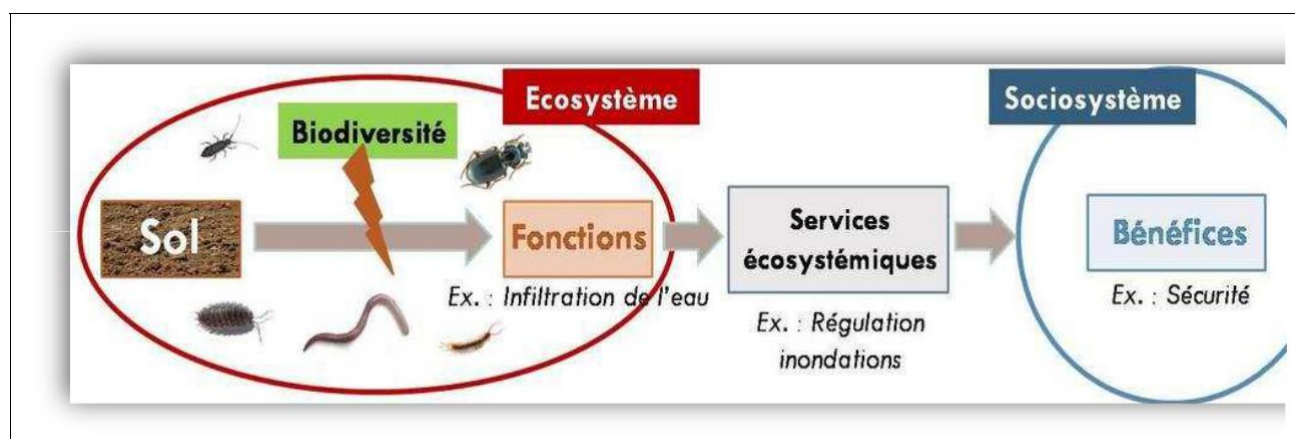


Figure 1. Relations entre fonctions et services écosystémiques assurés par les sols (Müller et al., 2010 ; Crossman et al., 2013)

3. La faune du sol

La faune du sol représente l'ensemble des animaux qui passe toute ou une partie de leur cycle biologique dans le sol (faune endogée) ou sur sa surface immédiate (faune épigée), ceci incluant la litière **(Theurillat et al., 1998)**. Elle est représentée par de nombreux taxons renfermant plusieurs espèces comprenant eux-mêmes des centaines voire des milliers d'espèces pas toujours bien connues **(Decaens et al., 2006; Gobat et al., 2013)**.

La faune du sol peut être classée selon l'impact des organismes sur le système sol - plante **(Brown et al., 2002)**, en fonction de leur activité et leur effet au sein de l'écosystème naturel **(Brussaard, 1998)** ou de la taille des organismes vivants **(Bachelier, 1978)**. Suivant cette dernière classification, quatre groupes se distinguent **(Fig.2)**.

- **La microfaune** : comprend les individus mesurant moins de 0,2 mm et appartenant essentiellement aux groupes des protozoaires et des nématodes, auxquels on peut ajouter les rotifères, les tardigrades et certains petits turbellariés **(Bachelier, 1978)**.

- **la mésofaune** : renferme les individus mesurant entre 0,2 et 4 mm. L'essentiel de cette mésofaune est constitué des deux grands groupes de microarthropodes que sont les collemboles et les acariens **(Bachelier, 1978)**.

On peut ajouter d'autres hexapodes aptérygotes de moindre importance (protoures, diploures et thysanoures) ainsi que les enchytréides (petits vers oligochètes), les symphiles (myriapodes) et les plus petits insectes et leurs larves. **(Bachelier, 1978)**.

- **la macrofaune** : comporte les individus mesurant entre 4 et 80 mm : vers de terre, insectes supérieurs, myriapodes, arachnides, mollusques (Limaces, Escargots), quelques crustacés isopodes. Appelée aussi « ingénieurs du sol ou de l'écosystème » **(Lavelle et al., 2006)**, **(Tab.1)**.

- **la mégafaune** : regroupe les individus mesurant plus de 80 mm. On trouve à la fois des micro-mammifères (insectivores et rongeurs), des reptiles et des amphibiens **(Bachelier, 1978)**.

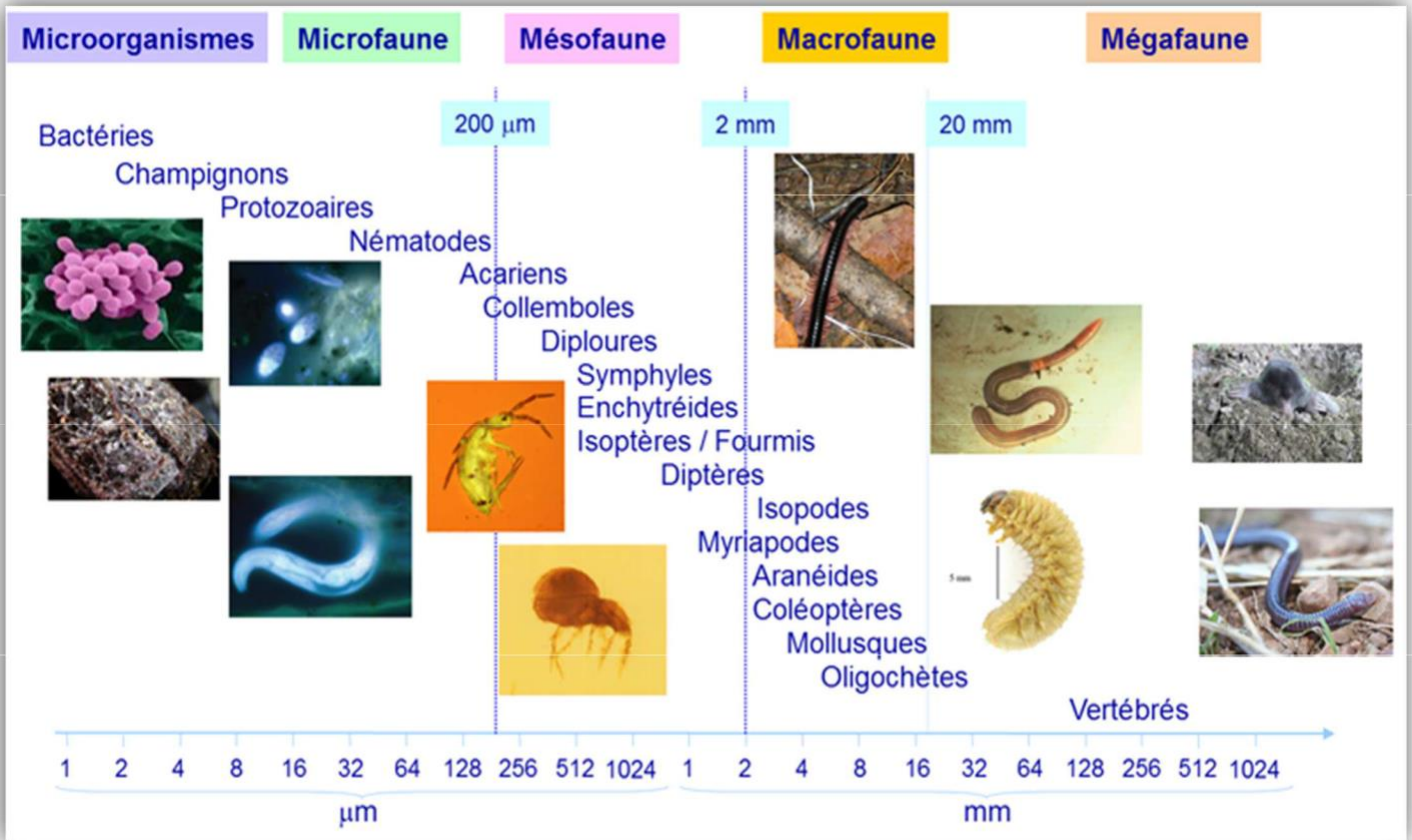


Figure 1. Classement des organismes du sol par la taille (modifié d'après Swift et al., 1979).

Tableau 1. Quelques macrofaunes du sol : ordres de grandeur par famille (Chaussod, 1996) modifié.

Catégorie	Exemples	Nombre D'espèces	Taille	Abondance	Biomasse g / m ²	Fonction	Régime Alimentaire
	Lombrics, araignées, myriapodes , fourmis ...	6	> 1cm	20 à 700 /m ²	0,5 à 12,5	Fragmentation de la matière organique + brassage avec matière minérale	Résidus de végétaux, cadavres d'invertébrés, champignons et bactéries

3.1. Principaux représentants de la Macro-pédofaune

Les vers de terre (Annélides, oligochètes)



Classe de taille : macro- mégafaune, jusqu'à 35 cm

Habitats : litière et sol

Abondance : entre 30 et 100g/m²

Régime alimentaire : détritiphages (racines morte, humus)

Intérêt agronomique : aération du sol, brassage des éléments, amélioration de la structure, dégradation des matières organiques. (**Métral, 2007**).

Les vers de terre forment entre 50 et 75% de la biomasse animale (**Bachelier, 1979**).

Bouché (1972), a distingué trois catégories :

- **Les épigés** : vivent en surface, ils sont liés à la litière, au fumier, compost ou encore bois mort
- **Les anéciques** : sont les vers verticaux, de grande taille, ils creusent un réseau de galerie. Ils ont le plus d'impact sur le sol
- **Les endogés** : vivent en profondeur et « horizontalement »

Les mollusques (escargots, limaces)



Classe de taille : macrofaune,

- Escargots (coquille) : 2 à 50 mm de haut, 1 à 50mm de diamètre

- Limaces : 20 à 200 mm de long

Habitats : dans les sols et les litières humides (10 premiers centimètres) Abondance : 110-150 individus/m²

Régime alimentaire : phytophages et quelques espèces carnivores

Intérêt agronomique : ravageurs importants des cultures (**Métral, 2007**).

Les cloportes (Arthropodes, Crustacés, Isopodes)



Classe de taille : macrofaune, 5 à 20 mm

Habitats : litière et annexes du sol

Abondance : jusqu'à 8.000 individus/m² en prairie

Régime alimentaire : phytosaprophages (feuilles, bois mort)

Intérêt agronomique : Responsable de la fragmentation : première étape de la dégradation de la matière organique, favorise l'activité des micro-organismes.

(**Métral, 2007**).

Les diplopodes (Arthropodes, Myriapodes)



Classe de taille : macrofaune, 5 à 50 mm

Habitats : litière et annexes du sol

Abondance : plusieurs centaines par mètre carré lorsque les vers de terre sont rares.

Régime alimentaire : phytosaprophages (feuilles, bois mort), coprophages

Intérêt agronomique : Responsable de la fragmentation : première étape de la dégradation de la matière organique, favorise l'activité des micro-organismes.

(Métral, 2007).

Les chilopodes (Arthropodes, Myriapodes)



Classe de taille : macrofaune, 5 à 100 mm

Habitats : milieux humides (litières, compost, habitats cryptozoïques)

Abondance : 40 à 400 individus/m²

Régime alimentaire : carnivores, peuvent ingérer de la litière

Intérêt agronomique : contrôle des populations de proies (auxiliaires comme ravageurs).

(Métral, 2007).

Les Arachnides (Arthropodes, Chélicérates)

Ils appartiennent à l'embranchement des arthropodes et sous-embranchement des chélicérates (**Métral, 2007**). La classe des arachnides comporte 11 ordres dont 5 seulement sont présents en zone tempérée : acariens, aranéides, opilions, pseudo-scorpions et scorpions (**Métral, 2007**). Les acariens ont un rôle important sur le fonctionnement du sol (**Métral, 2007**). Les aranéides et opilions évoluent en surface du sol, ce sont des prédateurs généralistes, efficaces contre les ravageurs des cultures (**Métral, 2007**).

Les aranéides et les opilions



Classe de taille : macrofaune, 0.5 à 90 mm

Habitats : litière, surface du sol

Abondance : 40 à 400 individus/m²

Régime alimentaire : prédateurs généralistes

Intérêt agronomique : contrôle des populations de proie (ravageurs) (**Métral, 2007**).

Les insectes

De l'embranchement des arthropodes et sous-embranchement des antennates ou mandibulates Ils sont classés en 42 ordres (**Métral, 2007**). Les insectes présentent des comportements et des besoins très diversifiés (**Métral, 2007**). Les 4 ordres présentés ci-dessous interviennent plus spécialement dans le sol : les collemboles, les diptères, les coléoptères et les hyménoptères (**Métral, 2007**).

Les coléoptères (larves et adultes)

Une vingtaine de familles est représentée dans le sol (**Métral, 2007**). Elles offrent des adaptations très variables aux conditions du sol, tant au niveau de la morphologique, que du régime alimentaire (**Bauer, 1986**). Leur action dans le sol se traduit par l'influence qu'ils ont sur son équilibre biologique (**Bachelier, 1978**). La diversité et l'abondance au sein de ce groupe

en fait un acteur important du fonctionnement du sol et particulièrement les sols agricoles (Métral, 2007).



Classe de taille : macrofaune

- adultes → 0.5 à 75 mm
- larves → < 1 à 100 mm

Habitats : surface du sol jusqu'à 1 m de profondeur, annexes du sol

Abondance : 10 à plusieurs centaines par mètre carré

Régime alimentaire : prédateur, nécrophage, coprophage, mycétophage, rhizophage, saproxylophage

Intérêt agronomique : prédateurs jouant un rôle dans l'équilibre biologique des sols, ravageurs des cultures, dégradation de la matière organique (Métral, 2007).

Les fourmis (Hyménoptères – Formicidés)



Classe de taille : macrofaune

Habitats : de la surface à plusieurs mètres en profondeur

Abondance : jusqu'à plusieurs millions d'individus à l'hectare regroupés en colonie ou supercolonie

Régime alimentaire : phytophages, granivores, carnivores, souvent omnivores

Intérêt agronomique : bioturbation du sol.

(Métral, 2007).

L'ordre des isoptères (termites)

Cet ordre peut également avoir un impact fort sur le sol et ces effets les plus importants sur les sols agricoles sont cependant observés sous climat tropical car elles vivent en société à l'intérieur d'un nid qu'ils construisent dans le sol, à sa surface ou dans le bois mort (Métral, 2007).

Les diptères

Les formes larvaires sont dominantes dans le sol et elles montrent une grande diversité morphologique, écologique et comportementale et peuvent utiliser les différentes ressources offertes par le sol et par ses annexes (Métral, 2007).



Classe de taille : macrofaune, 2 à 40 mm

Habitats : sol humide, litière et annexes du sol

Abondance : 10 à quelques milliers d'individus par mètre carré (souvent répartis en tache)

Régime alimentaire : prédateur, nécrophage, coprophage, mycophage+ mycétophage, phytosaprophage + microphage, microphage, phytophage souvent saproxylophage (+microphage)

Intérêt agronomique : fragmentation de la litière, dégradation des matières organiques, prédateurs jouant un rôle dans l'équilibre biologique des sols, ravageurs des cultures. (Métral, 2007).

3.2. Action de la faune sur le sol

3.2.1. Action sur les propriétés physiques du sol

L'action physique de la faune intervient sur des propriétés telles que la porosité, ou la structure ce qui peut influencer indirectement sur le sol, par l'évolution des gaz et liquides dans le milieu

qui est améliorée et cela permet également la création d'habitat et de réseaux de migration pour toute une partie de la pédofaune surtout par les organismes ingénieurs (**Métral, 2007**).

- Le macro-brassage

Le macro-brassage permet la circulation d'important volume de terre entre les horizons du sol ce qui permet la remontée en surface des horizons riches en matières minérales et l'enfouissement des horizons organiques superficiels, les litières et le fumier (**Métral, 2007**). Les mêmes auteurs ajoutent que dans nos régions tempérées les organismes concernés sont les vers de terre, les fourmis, les scarabées et certains mammifères (taupes, campagnols,).

- Le micro-brassage

L'effet du micro-brassage sur la structure est moins visible, il n'en est pas pour autant moins important (**Gobat et al., 2003**). Il y a peu de remontée de matières minérales, en revanche l'incorporation de la matière organique au sol par l'intermédiaire des déjections n'est pas négligeable (**Métral, 2007**). Cette activité se limite aux horizons superficiels mais ses effets s'observent jusqu'à 60cm de profondeur par lessivage et accumulation des crottes (**Gobat et al., 2003**).

- La formation de galeries

Les galeries sont des structures qui jouent un rôle important pour l'aération du sol et son régime hydrique et elles sont le résultat de l'activité des vers de terre et enchytréides, auxquels on ajoute les nids et déblais de fourmi (**Métral, 2007**). Chacun agit à son échelle et crée des galeries de diamètres variés et offrent des voies de pénétration préférentielle pour les racines, les éléments fins lessivés, les excréments, ou encore les invertébrés épigés qui n'ayant pas la capacité d'agir sur le sol, profitent de ces aménagements pour fuir des conditions défavorables (**Métral, 2007**).

- La fragmentation

La fragmentation est une réduction mécanique de la matière organique qui permet la multiplication des surfaces attaquables de l'ordre de 50 à 200 fois (**Bachelier, 1978**). Elle est due à l'activité successive des phytosaprophages qui ingèrent et transforment leurs aliments et ainsi, les fragmenteurs influencent fortement l'évolution de la matière organique dans le sol et permet l'intervention successive et organisée de chaque maillon (**Métral, 2007**).

- La formation d'agrégats

Les vers de terre et les macro-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 où les sécrétions intestinales et les colloïdes bactériens du tube digestif jouent le rôle de ciment sur ces agrégats et généralement la pédofaune s'associe à la microflore et participe à l'amélioration et la stabilisation de l'organisation structurale du sol (**Métral, 2007**).

3.2.2. Action sur les propriétés chimiques du sol

La faune influence les caractéristiques chimiques des sols par des voies très variées et l'effet le plus net est la modification de la nourriture durant son passage à travers la chaîne alimentaire (**Gobat et al., 2003**). Les excréta produits par la faune modifient également de manière directe la composition chimique du sol car la faune constitue en elle-même une réserve importante d'éléments qui redevient mobilisable à sa mort (**Métral, 2007**). En comparaison à la micro et mésofaune, les cadavres des macrofaunes fournissent des apports beaucoup plus élevés et il en est de même pour les vertébrés formant la mégafaune (**Métral, 2007**). Plusieurs effets indirects sur la composition chimique du sol peuvent également être observés par exemple les ingénieurs par la remontée de matériaux profonds peuvent également augmenter le potentiel chimique des sols (**Métral, 2007**).

3.2.3. Action sur les propriétés biologiques du sol

L'activité biologique d'un sol est le résultat des interactions entre les différents organismes et elle se traduit par une variation de l'activité ou de la densité de la communauté qui tend à installer un certain « équilibre » pour un fonctionnement optimal et durable des processus en cours comme la compétition, ou l'effet des prédateurs sur les ravageurs (**Tab. 2**). (**Métral, 2007**). Sans oublier le rôle joué par la pédofaune pour la dissémination des spores et bactéries qui s'effectue soit par des crottes dispersées dans le sol soit par transport sur le corps des animaux (**Métral, 2007**).

Tableau 2. Synthèse des fonctions essentielles jouées par les organismes vivants du sol (D'après Girard et al., 2005) (les représentants de la pédofaune sont indiqués en « gras »)

Fonctions	Organismes impliqués
Décomposition de la matière organique	Invertébrés détritivores , champignons, bactéries, actinomycètes
Recyclage des nutriments	Principalement micro-organismes et racines, quelques invertébrés du sol et de la litière
Echanges gazeux et séquestration du carbone	Principalement micro-organismes et racines, carbone protégé dans les agrégats créés par la méso et macrofaune
Entretien de la structure du sol	Invertébrés fouisseurs , racines, mycorhizes, autres microorganismes
Régulation des processus hydrologiques du sol	Invertébrés fouisseurs , racines
Relations symbiotiques et a symbiotiques avec les plantes et leurs racines	Rhizobium, mycorhizes, actynomycètes, autres micro-organismes de la rhizosphère, fourmis
Détoxification du sol	Principalement micro-organismes
Suppression des nuisibles, des parasites et des maladies	Plantes, mycorhizes, autres champignons, bactéries, nématodes, collemboles, vers de terre, prédateurs
Sources d'aliment et de médicaments	Racines, insectes, vers de terre, vertébrés et leurs sous-produits

3.3. Rôle des macro-organismes dans le sol

La macro-pédofaune en générale et les vers de terre en principe jouent un rôle prépondérant dans la fragmentation de la matière organique et **Ouédraogo et al., (2004)** ont indiqué que la décomposition de la matière organique est lente en absence de la macrofaune (**Tab. 3**).

Tableau 3 : Rôles de la pédofaune dans l'écosystème sol (Bachelier, 1979)

Etres vivants	Exemple de rôles écologiques
<p>Lombric (plusieurs espèces)</p> 	<p>Aération du sol en creusant les galeries, décomposition de la matière organique, meilleur accès des végétaux à l'eau et aux nutriments.</p>
<p>Larves de Diptères, de Coléoptères, de Lépidoptères... (larves de Diptères : 400 espèces) (larves de Coléoptères: 100</p> 	<p>Transformateurs de la litière, consommateurs primaires ou prédateurs, selon les espèces.</p>
<p>espèces) Coléoptères adultes</p> 	<p>Transformateurs de la litière.</p>
<p>Fourmis, Termites (très variable selon les lieux)</p> 	<p>Ingénieurs de l'écosystème.</p>
<p>Myriapodes (250 espèces très variable)</p> 	<p>Transformateurs de la litière ou Macropérateurs.</p>
<p>Cloportes (100 espèces)</p> 	<p>Transformateurs de la litière.</p>
<p>Araignées (quelques uns)</p> 	<p>Macropérateurs.</p>
<p>Limaces et Escargots (50 espèces)</p> 	<p>Consommateurs primaires.</p>

4. Le réseau trophique du sol

Dans le sol, la matière organique se décompose progressivement en substances minérales grâce aux décomposeurs (microfaune, vers de terre, bactéries, champignons...), (Fig 3).

Ces êtres vivants du sol appartiennent à plusieurs chaînes alimentaires liées entre elles : c'est un réseau trophique (Fig. 4) (Claire et al., 2019). Certains organismes, appelés décomposeurs, jouent un rôle majeur dans la décomposition de la matière organique en matière minérale dans le sol : c'est le recyclage de la biomasse (Claire et al., 2019).

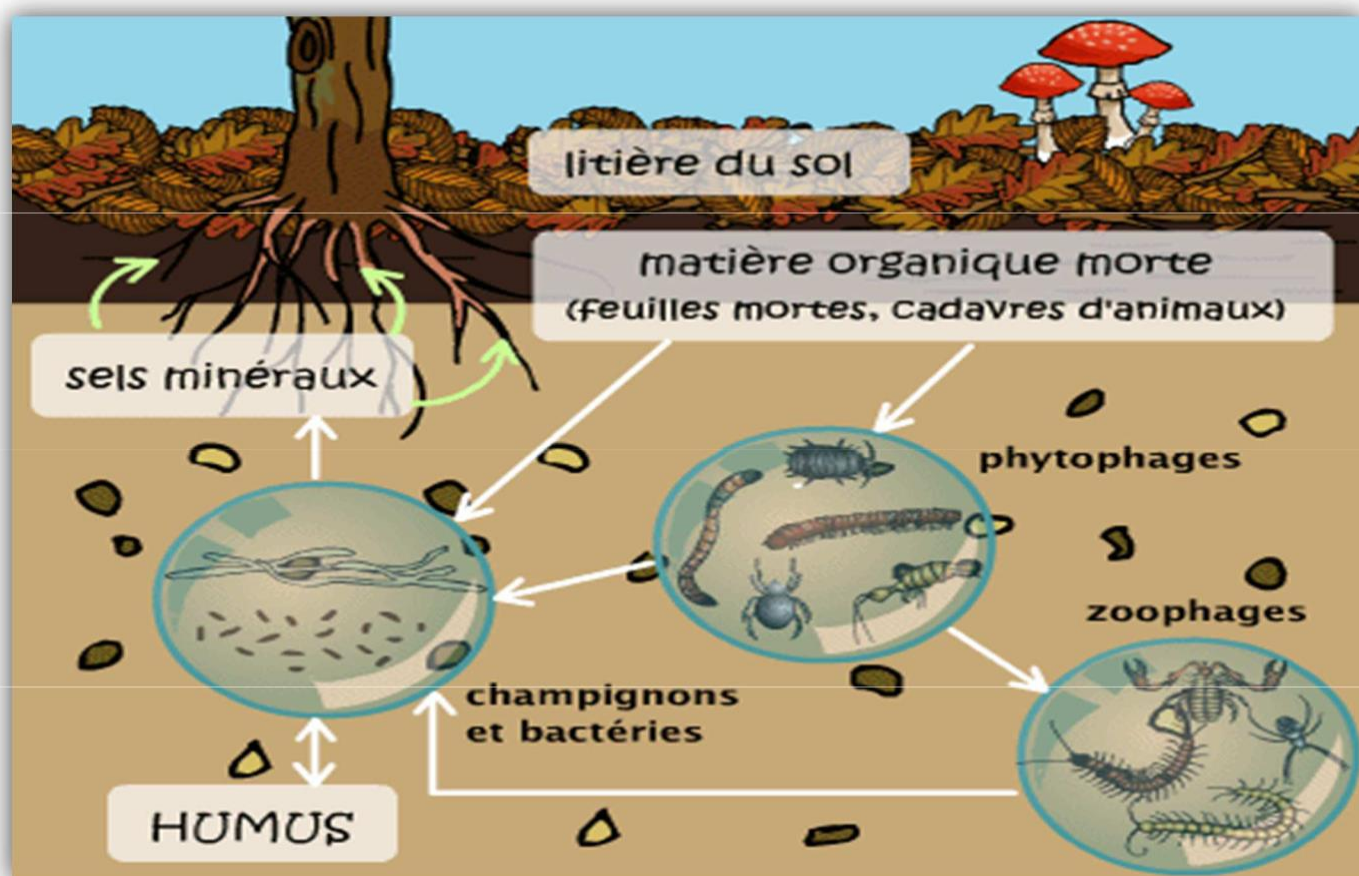


Figure 3. Rôle de la pédofaune dans la décomposition de la matière organique (Anonyme, 2020).

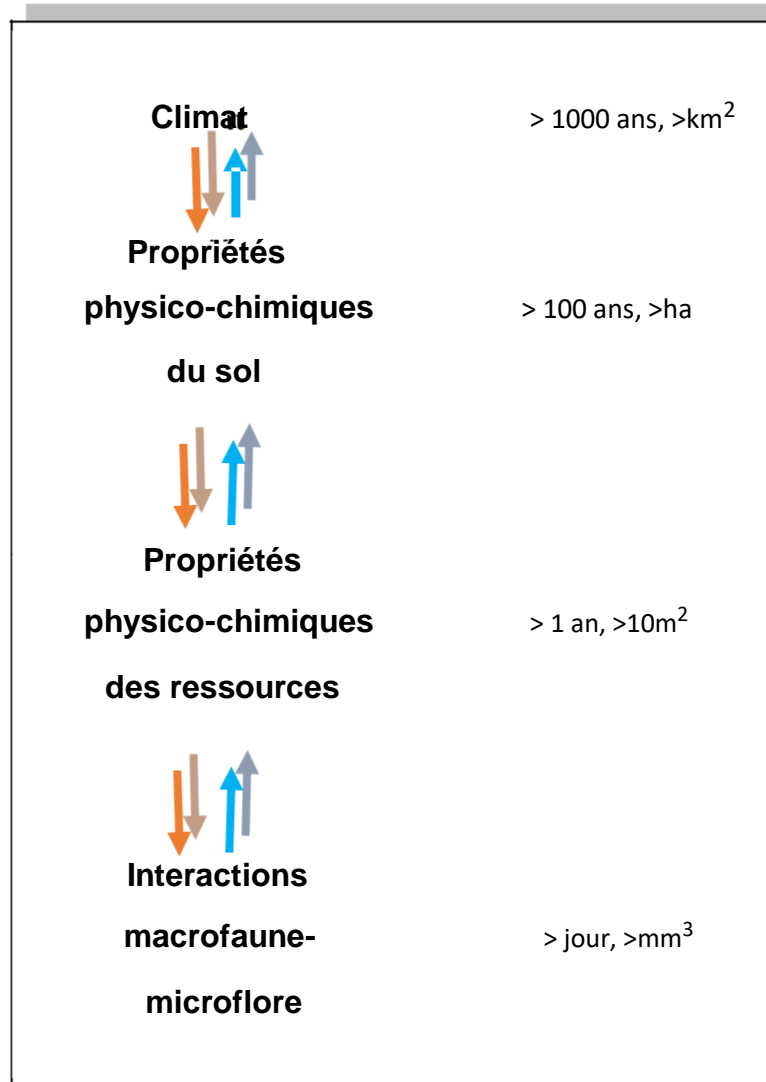


Figure 5. Modèle hiérarchique des facteurs déterminant le fonctionnement du sol (Lavelle et al., 1993).

D'ans ce modèle hiérarchique, les facteurs interviennent par ordre d'importance, le climat, les propriétés physico-chimiques du sol, les propriétés physico-chimiques des ressources (végétales ou animales), et enfin les interactions entre la macrofaune du sol et la microflore (Lavelle et al., 1993).

6. Implication de la faune du sol pour la production primaire

La présence de vers de terre augmente significativement le rendement (+ 25 %) et la biomasse (totale, aérienne et souterraine, d'environ + 20 % chacune) des plantes cultivées, ainsi plus généralement, l'impact de la faune du sol sur la production primaire peut être vu au travers de

ses effets sur les fonctions de recyclage des nutriments, entretien de la stabilité/structure du sol, contrôle des bioagresseurs et support de biodiversité (Hedde et Zwicke, 2020). (Fig.6).

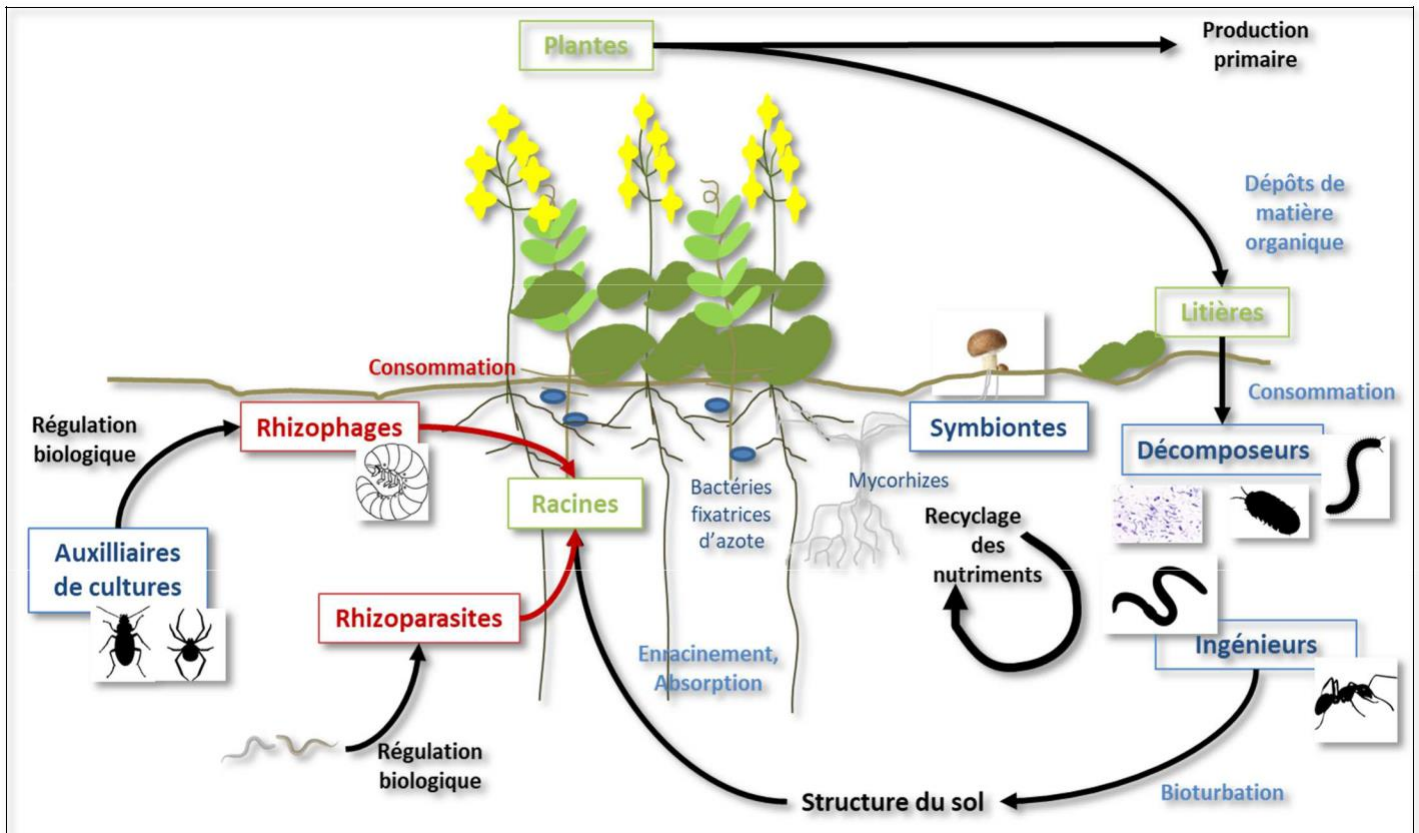


Figure 6. Impacts direct et indirect de la faune du sol sur la production primaire dans les agroécosystèmes (Hedde et Zwicke, 2020).

Les boites indiquent les différents groupes fonctionnels impliqués dans les services écosystémiques (en noir), les éléments bleus représentent les processus à effets positifs sur les plantes, les éléments en rouge représentent les processus à effets négatifs (Hedde et Zwicke, 2020).

II. Les écosystèmes agricoles et agro-forestiers 1. Écosystèmes

L'écosystème représente l'unité fondamentale de l'environnement. D'après le botaniste anglais **Tansley (1940)**, l'écosystème est un ensemble relativement homogène et stable (en absence de perturbation) constitué par une communauté d'être vivants (animaux, végétaux, champignon et microbes) appelé biocénose, en relation avec le biotope (facteurs physicochimiques déterminés par le climat, la topographie, la nature de sol, l'humidité...etc).

Ecosystème = biocénose + biotope (Fig. 7).

En absence de perturbation d'origine naturelle ou humaines, l'écosystème évolue vers un état d'équilibre appelé climax, cependant la plupart des écosystèmes terrestres ou aquatiques sont perturbés par les activités humaines (**Matagne, 2003**).

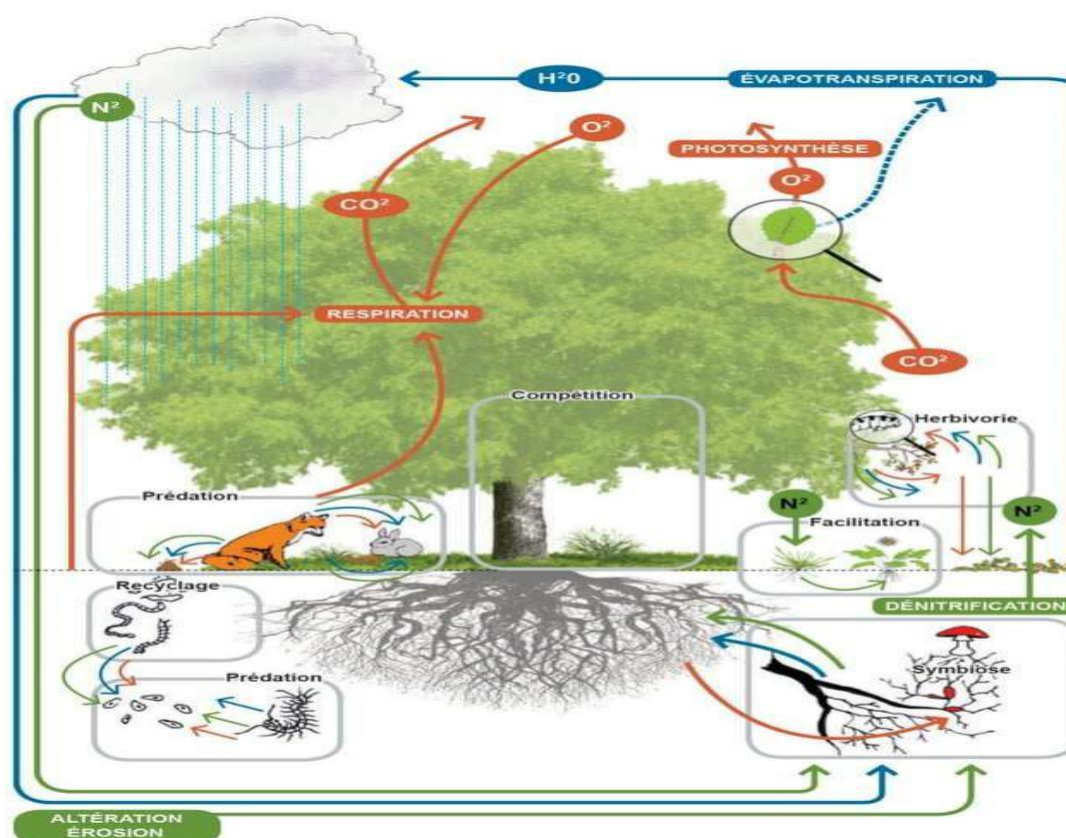


Figure 7. L'écosystème. Un ensemble d'espèces vivantes en interaction dans un milieu (**Prévost, 2016**)

Les services éco-systémiques correspondent aux bénéfices retirés par l'homme des processus biologiques depuis le milieu des années 1990, les notions de services écosystémiques et

environnementaux ont connu une popularité croissante tant académique qu'opérationnelle (CGDD, 2010). Karsenty et al. (2009), indiquent que ces services sont classés en quatre catégories : les services d'approvisionnement (aliments, énergie, etc...), les services de régulation (du climat global, de la quantité et qualité de l'eau, etc.), les services d'appui ou de soutien (formation de sols, développement du cycle nutritionnel, etc.), et les services culturels (bénéfices d'agrément, d'ordre spirituel, religieux, etc.). Les mêmes auteurs ajoutent que ces services incluent les bénéfices matériels et non matériels tirés des écosystèmes dans leur état naturel ou modifiés par les pratiques humaines (Fig. 8).

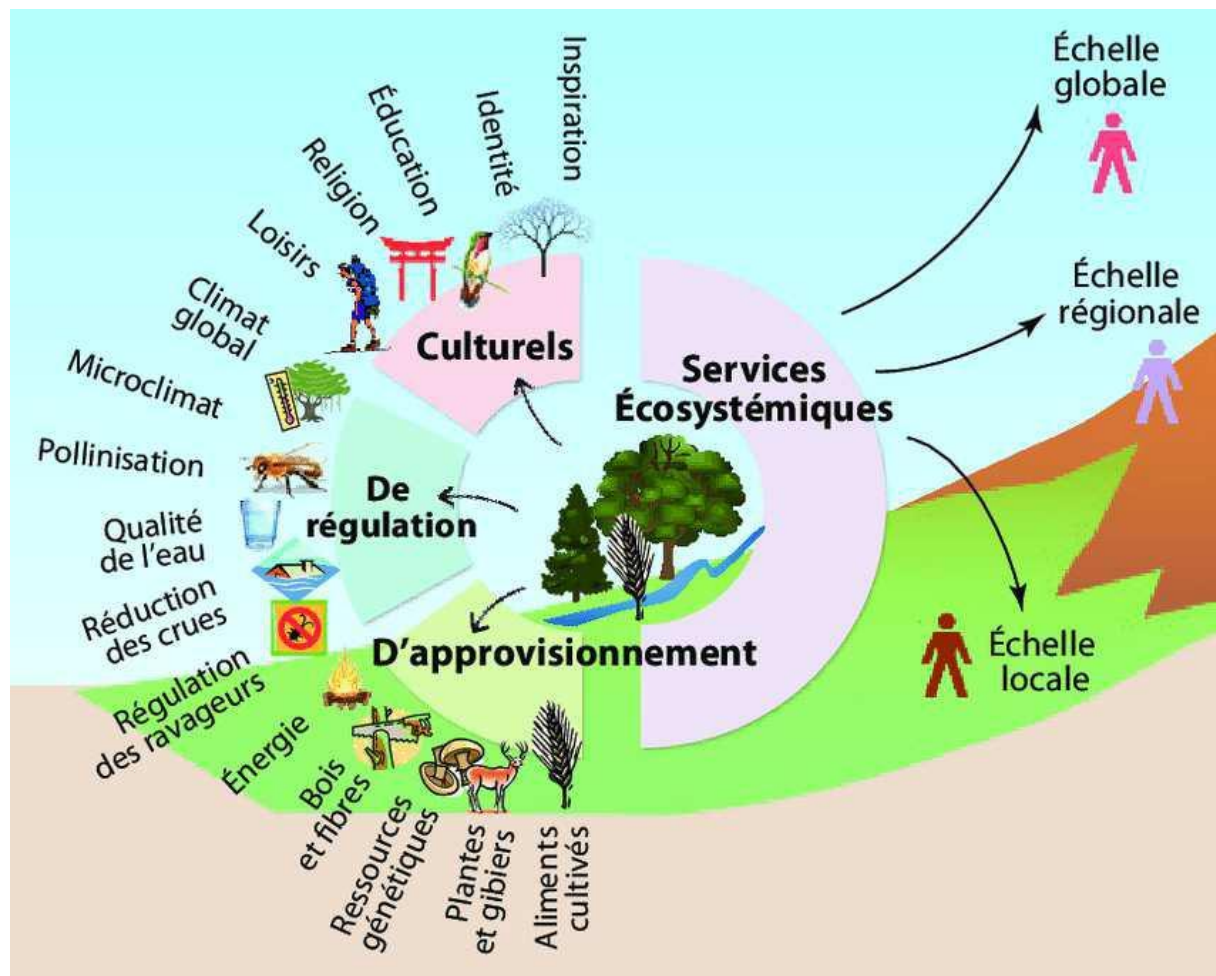





Figure 8. Exemples de services écosystémiques d'approvisionnement, de régulation et culturels fournis par les écosystèmes d'un territoire à des bénéficiaires à différentes échelles. (Locatelli et al., 2017)

2. Les types des écosystèmes

La classification des écosystèmes se fait en fonction des caractéristiques climatique, physique et biologique de l'écosystème. Voici un exemple de classement des différents types :

Biotope		Écosystème	
Forêts tempérées, humides, tropicales	forêts → forêts	Écosystèmes forestiers	
Prairies, cultures, steppes et savanes		Agro-écosystèmes	
Océans et mers	→	Écosystèmes océaniques	
Rivières et fleuves	→	Écosystèmes lotiques	
Lacs et étangs	→	Écosystème lenticques	

Source (<https://www.teteamodeler.com/ecologie/biologie/ecosysteme/classement.asp>)

2. 1. Ecosystème agricole

L'écosystème agricole est identifié dans l'étude comme le compartiment biophysique support de la production agricole, il est inscrit dans une matrice paysagère et au sein de celle-ci, est en interaction avec d'autres écosystèmes (ex forestiers, aquatiques) (Thernod et al., 2017).

□ La biodiversité et l'agriculture

La biodiversité est la variabilité des organismes vivants et des complexes écologiques dont ils font partie, y compris la diversité au sein des espèces, entre espèces et des écosystèmes et elle fournit à la fois la base de l'agriculture (Anonyme, 2008) (Fig. 9). La biodiversité agricole est un terme qui englobe toutes les composantes de la biodiversité aux niveaux génétique, des espèces et des écosystèmes qui sont pertinentes à l'alimentation et l'agriculture et qui soutiennent les écosystèmes dans lesquels l'agriculture se déroule, celle-ci comprend les espèces de cultures et de bétail, les variétés et les races au sein de celles-ci, et elle inclut également inclus les vers de terre et les champignons qui contribuent à la disponibilité et au cycle des nutriments des plantes à travers la décomposition de matière organiques agricole (Anonyme, 2008). (Tab.4)

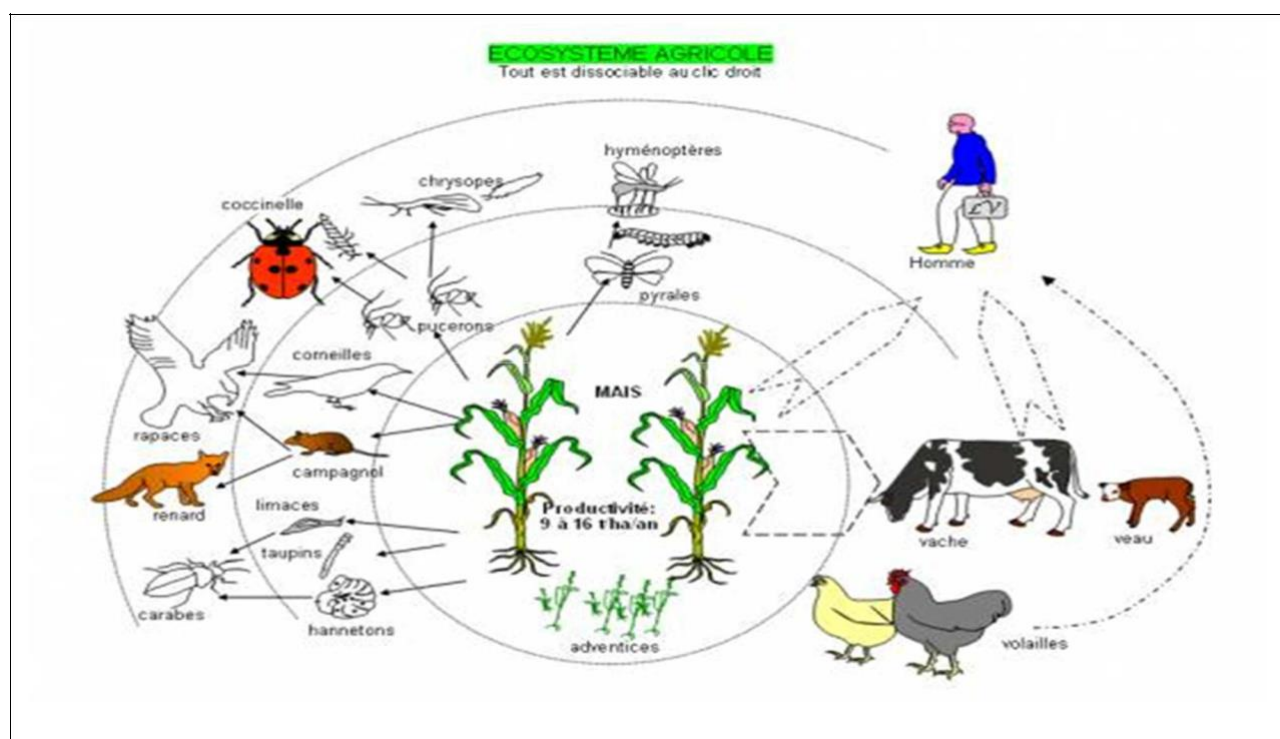


Figure 9. Représentation d'un écosystème agricole (<https://agriculture-eco-performante.com/2017/10/29/lecosysteme-agricole/>)

Tableau 4. Biodiversité et biodiversité agricole (Anonyme, 2008).

Niveau de diversité	Biodiversité	Biodiversité agricole
Ecosystème	Un écosystème est un complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant interagissant comme une unité fonctionnelle. Les différents types d'écosystèmes comprennent des forêts, des prairies, des zones humides, des montagnes, des zones côtières, des lacs et des déserts.	La diversité d'agroécosystèmes provient, en partie, à la fois des utilisations des terres agricoles et non agricoles et de l'eau. Des exemples d'agroécosystèmes comprennent des rizières, des systèmes pastoraux, des systèmes aquacultures, des systèmes de culture de l'ensemble des écosystèmes dans lesquels ils se trouvent. Des éléments de ces systèmes peuvent être combinés pour former des systèmes mixtes.
Espèce	Une espèce est un groupe d'organismes morphologiquement semblables qui sont en mesure de se croiser et de produire des descendants fertiles. Un certain nombre d'espèces variées existe chez les plantes, les animaux et les micro-organismes.	La diversité des plantes et des animaux utilisés dans l'agriculture résulte de la gestion humaine de la biodiversité pour l'alimentation, la nutrition et des objectifs médicaux par exemple, la domestication, du bétail comprend les bovins, les moutons, les poules et les chèvres, des exemples d'espèces cultivées comprennent le blé, la pomme ...
Génétique	La diversité génétique est la variation des gènes pour tous les individus au sein d'une espèce elle détermine le caractère unique de chaque individu, ou population au sein de l'espèce. L'expression de l'ADN dans les traits comme sa capacité à tolérer la sécheresse ou le gel, facilite l'adaptation à des conditions changeantes.	La diversité au sein des espèces découle en partie de la sélection réalisée par des agriculteurs, fonction de certains traits, pour faire face à des conditions environnementales ou autres, par exemple, de nombreuses variétés de maïs, ont été développées sur la base de traits tels que le goût, la hauteur, la couleur et la productivité.

Les relations entre mode de gestion de sol et services écosystémiques sont représentées sur la **figure (10)**.

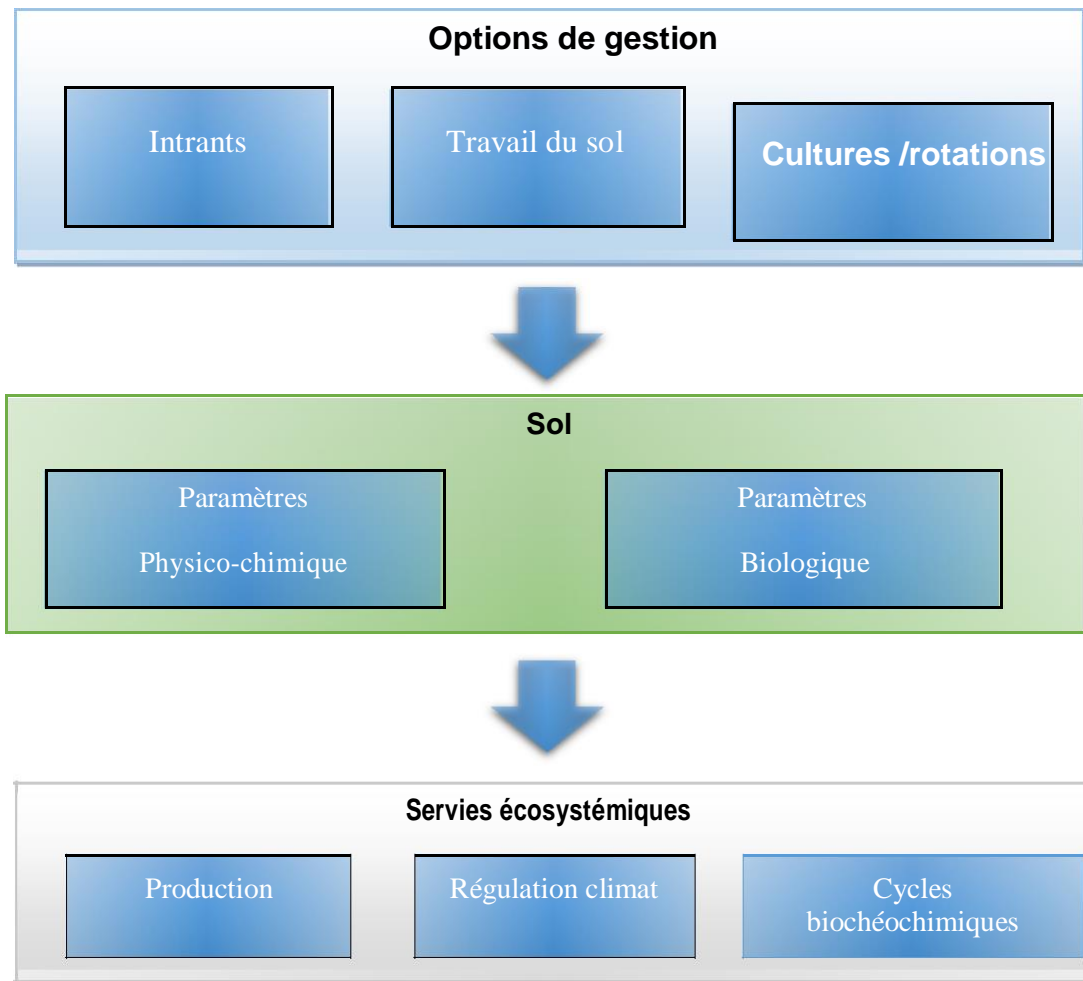


Figure 10. Schéma rendant des relations entre mode de gestion de sol et services écosystémiques (Bispo et al., 2012)

2. 2. Ecosystème agro-forestier

La conjugaison des deux écosystèmes agricole et forestier peut donner naissance à un nouvel écosystème c'est le cas d'un écosystème agro-forestier.

Dérivé du néologisme anglophone agroforestry apparu dans les années 1970, l'agroforesterie peut se définir comme une « mise en valeur du sol par l'association simultanée ou séquentielle de ligneux et de cultures saisonnières ou d'animaux, afin d'obtenir des produits ou des services utiles à l'homme ». Les agro-forêts sont caractérisées par « une composante arborée multi-

étagée, dense et diversifiée », qui confère à la parcelle cultivée une « physionomie typiquement forestière » (Torquebiau, 2015).

Les origines de l'agroforesterie proviennent de la combinaison entre savoirs traditionnels et modernes cependant le terme forestier est impropre à l'arbre fruitier qui par essence a subi la pression de la sélection humaine tandis que le terme forestier s'apparente davantage à l'espèce botanique (Leterme, 2014).

La figure (11) résume les trois composantes essentielles pour un système agroforestier.

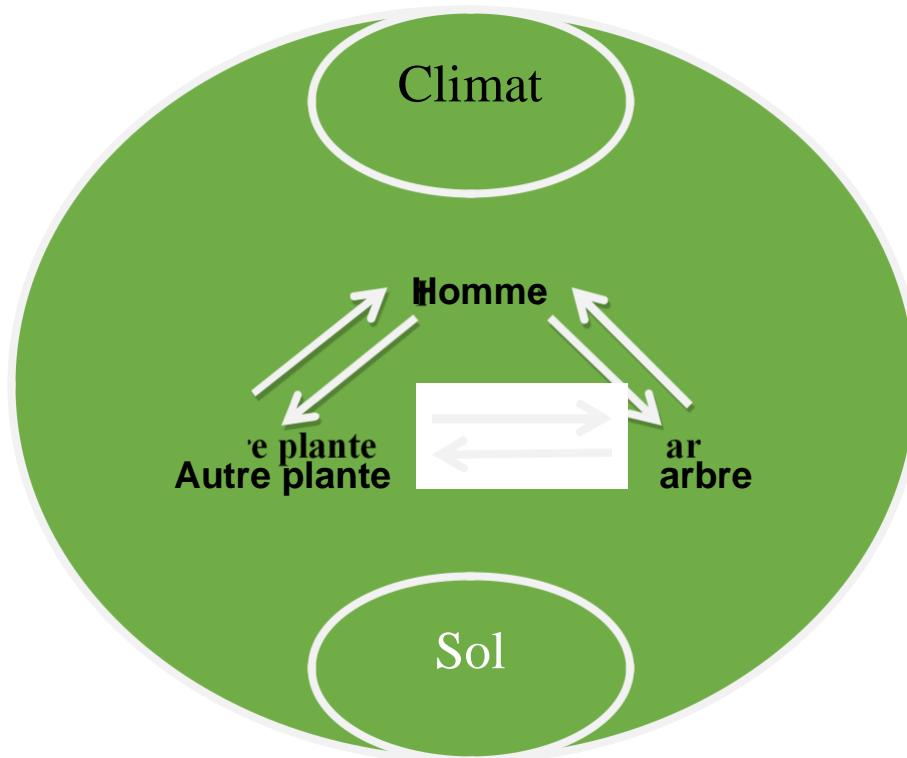


Figure 11. Schéma d'un système agroforestier avec ses trois composantes essentielles : l'homme, l'arbre et les autres plantes (Alexandre, 2002)

La classification la plus simple des systèmes agro-forestiers se base sur la nature de leurs composantes (Dussault, 2008) (Fig.12).

Les trois composantes principales retrouvées en agroforestier sont la strate arborée, les cultures agricoles et les animaux d'élevage selon le type d'association entre les différentes composantes, on retrouve quatre systèmes agro-forestier principaux : l'agri-sylviculture, le sylvo-pastoralisme, l'agro-sylvo-pastoralisme et les autres systèmes (Dussault, 2008).

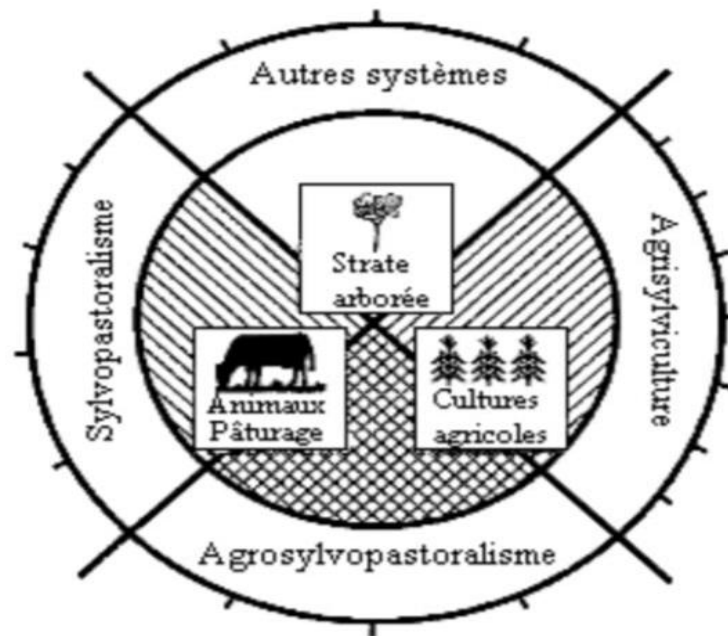


Figure 12. Systèmes agro-forestiers classifiés selon la nature de leurs composantes (Nair, 1993)

Matériel et Méthodes

Matériel et méthodes

Cette partie est consacrée à la présentation de la région d'étude et des matériels et des méthodes employées sur le terrain et au laboratoire. Après le choix des stations d'étude selon notre objectif, nous avons utilisé la technique du tri manuel des blocs de sol (méthode physique) pour l'extraction de la macro-pédofaune. Et nous avons prélevé du sol pour effectuer les analyses physico-chimiques de routine ainsi que de l'activité biologique. D'autres paramètres comme la température du sol et la densité apparente ont été réalisés sur le terrain lors de l'extraction de la macro-pédofaune.

1. Situation de la zone d'étude

Il sera question dans cette partie de traiter la localisation de notre périmètre d'étude, il s'agit de deux vergers de pommier localisés au niveau de la commune de Tamza. Une commune à vocation agricole possédant des écosystèmes agricoles et agroforestiers. Elle est située à 22 km au sud de la wilaya de kenchela entre coordonnées géographiques latitude : 35.3167 et longitude : 6.83333. La commune de Tamza recouvre une superficie de 38 700 hectares /387,00 km² avec une altitude de 1259 m. Un espace forestier important est situé sur le territoire de la commune de Tamza, c'est la forêt de Ouled yagoub (**Fig. 13**).

Le climat est semi-aride chaud en été et froid en hiver, la moyenne annuelle des précipitations de la période étalée de 2006 à 2018, représentée sur le tableau (5) révèle que le total est de 487.50 mm et que mai est le mois le plus pluvieux avec 65.78 mm suivi par le mois de septembre avec 56.14 mm, tandis que le mois de juillet est le plus sec avec 18.18 mm.

L'analyse des températures de la période de 12 ans (2006-2018), représentée sur le tableau (5) révèle que le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne de températures minima de 2.05 C°, alors que le mois de juillet a enregistré la moyenne des températures maxima la plus élevée avec 35.08 C°.

L'analyse des températures et les précipitations permet de tracer le diagramme ombro-thermique (**Fig. 14**), qui met en évidence la durée de la période de sécheresse pour la station.

La **figure (14)** qui illustre le diagramme ombro-thermique, nous révèle que la période sèche s'étale du mois de Juin jusqu'au mois d'août.

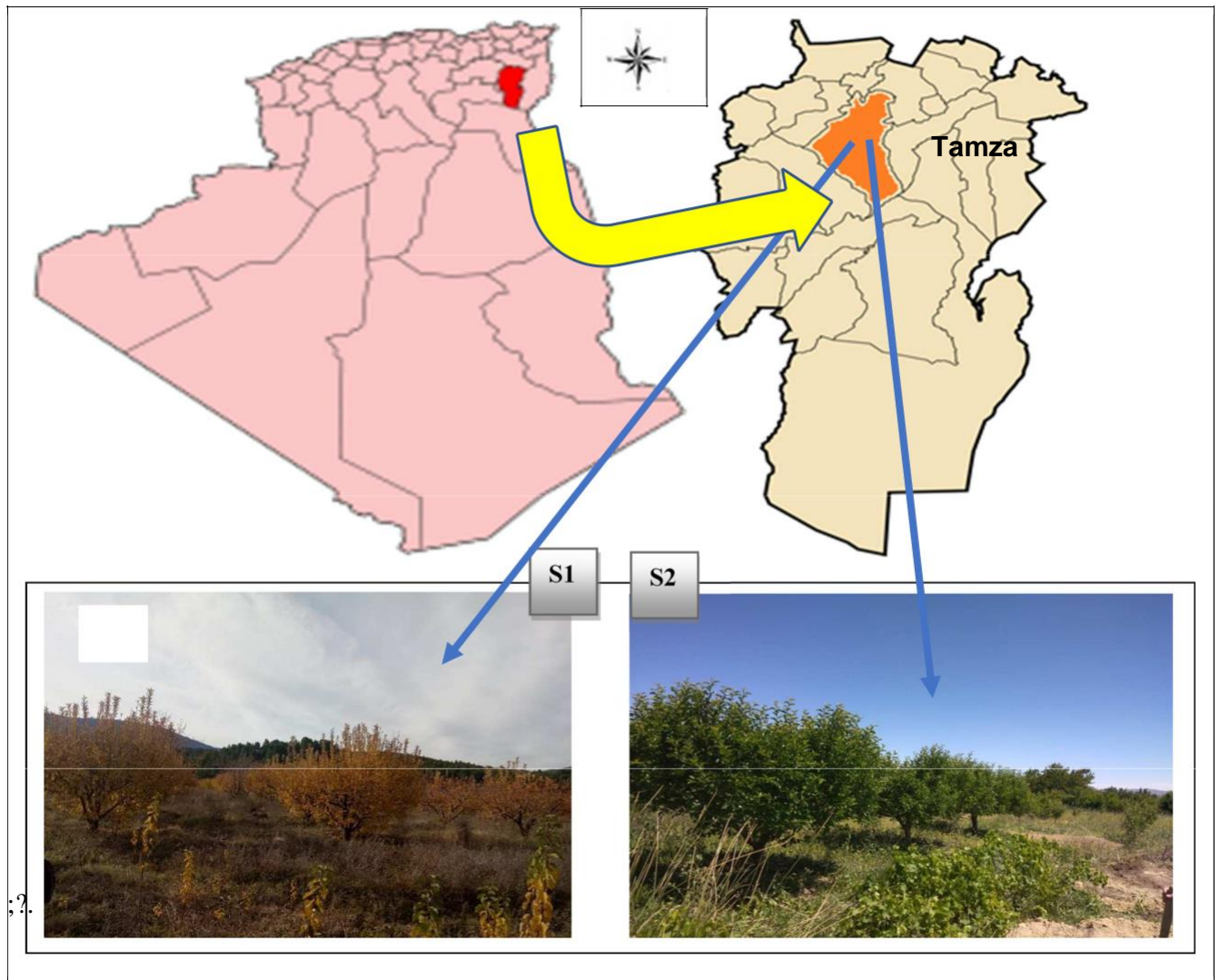


Figure 13. Localisation du périmètre d'étude. S1 Verger Écosystèmes Agroforestier, S2 Verger Écosystème Agricole.

1. 1. Choix de station

Pour réaliser cette étude deux sites ont été choisis, selon notre objectif. Ce choix nous permettra de faire une approche comparative sur la répartition des différentes espèces macro-pédo-fauniques, dans ces deux biotopes différents.

- Le premier site représente un écosystème agroforestier, il s'agit d'un verger de pommier irrigué (Oued), situé dans la forêt de Ouled yaagoub. Un amendement du sol est appliqué par l'utilisation

Matériel et méthodes

du fumier, ainsi des traitements phytosanitaires sont appliqués par l'utilisation de Mospilan (**Fig. 13**).

- Le deuxième site représente un écosystème agricole, un verger de pommier irrigué (puits). Un amendement du sol est appliqué par l'utilisation du fumier et contrairement au premier site aucun traitement chimique n'est utilisé, (**Fig. 13**).

Tableau 5. Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations et températures Station d'El Hamma (période 2006-2018).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T°C Moyenne mensuelle	6,78	7,03	10,15	13,9	18,2	23,2	27,2	26,1	21,4	17	11	7,39
T°C Moyenne Min (m)	2,05	2,13	4,7	7,86	11,2	15,5	19	18,5	15,4	11,6	6,3	2,99
T°C Moyenne Max(M)	11,3	11,71	15,75	20,5	24,9	29,1	35,1	33,6	28,1	22,8	16	12,2
P (mm)	44,6	37,83	49,66	50,5	65,8	23,1	18,2	35,3	56,1	48,1	25	32,9

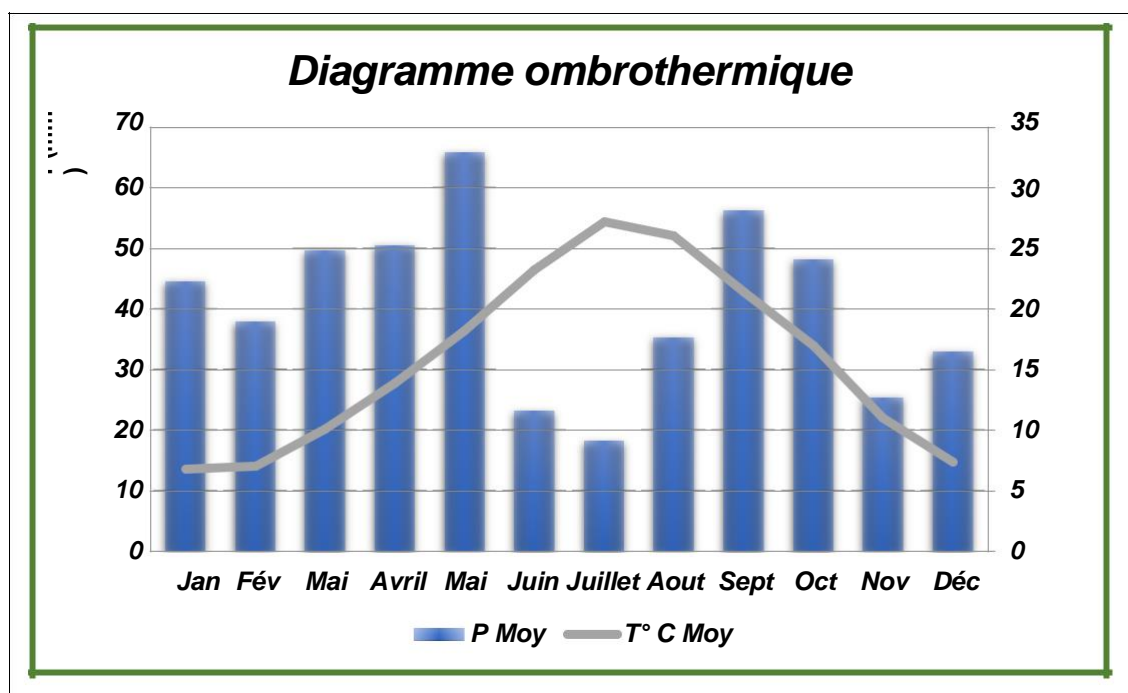


Figure 14. Diagramme ombro-thermique d'El Hamma (période 2006- 2018)

2. Echantillonnage de la macrofaune du sol

Pour l'étude de la macrofaune du sol, nous avons choisi de travailler avec la méthode du **tri manuel** qui consiste à prélever des monolithes des sols et à trier manuellement le sol afin d'y collecter la macrofaune (individus dont le diamètre est supérieur à 2 mm). Deux campagnes de prélèvement sont réalisées dans chaque site, le premier prélèvement durant l'automne et le deuxième au cours du printemps. Dans chaque site, sept échantillons de sol sous forme de monolithe de terre de 0.5x0.5x0.3m de dimension sont prélevés à dix mètres d'intervalle les uns des autres le long d'une ligne diagonale dont la direction a été choisie au hasard (**Fig. 15**). Une bêche a été utilisée pour faciliter le travail ; un tri manuel a été réalisé sur le volume de chaque bloc de sol. Nous avons collecté tous les invertébrés visibles à l'œil nu puis on les a conservés dans une solution de Pampel. Puis ces invertébrés sont nettoyés et classés en unités taxonomiques au laboratoire.

3. Méthodes d'analyse des paramètres pédologiques

En parallèle de l'extraction de la pédofaune par le tri manuel des monolithes, nous avons prélevé dans chacun, une quantité de sol de 500 g pour effectuer les analyses physico-chimiques de sol. Ainsi sur terrain, nous avons prélevé la température de sol à l'aide d'un thermomètre.

La densité apparente a été mesurée par la méthode des cylindres métalliques, sur la couche superficielle seulement, pour calculer la porosité sur la base de densité réelle égale à 2,6 g/cm³.

(Fig. 16)

Après prélèvement, les échantillons de sol sont séchés à l'air libre puis tamisés à un tamis de 2mm de diamètre pour déterminer quelques caractéristiques physico-chimiques de sol.

La teneur en eau est mesurée par séchage d'un volume du sol à l'étuve à 105C°, puis nous avons appliqué la relation suivante $TE\% = ((PH-PS) / PS) * 100$.

La granulométrie a été analysée par la méthode approximative de sédimentation (test de Bocal).

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre dans une solution de sol de 1/2.5, agitée pendant 30 minutes.

La conductivité électrique (CE) a été mesuré à l'aide d'un conductimètre dans une solution de sol de 1/5, agitée pendant 30 minutes.

Matériel et méthodes

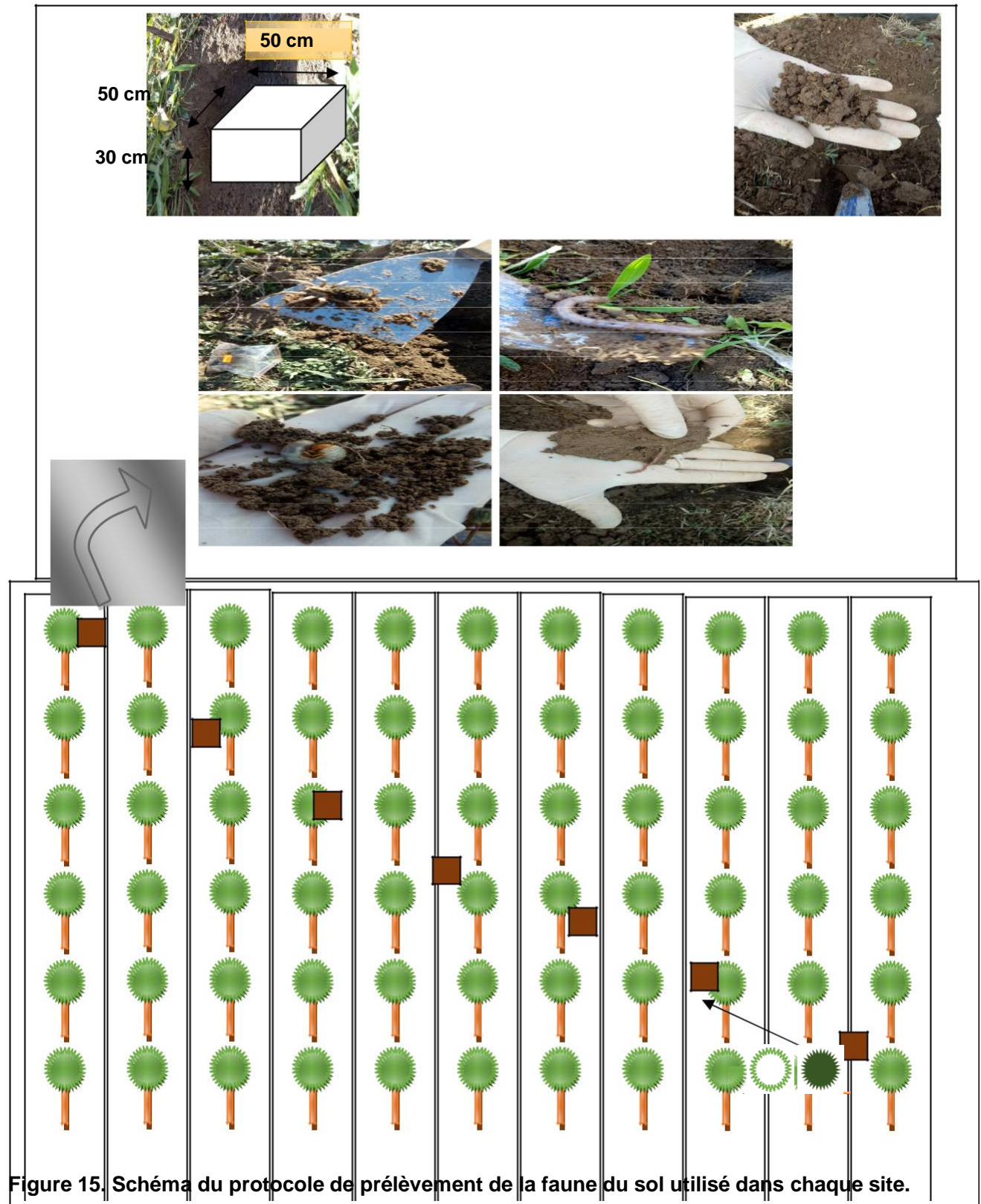




Figure 16. Quelques étapes des prélèvements du sol avec cylindre pour la mesure de la densité apparente du sol.

La matière organique (MO) a été estimée par le dosage de l'un de ses constituants : le carbone organique en utilisant la méthode de **Walkley-black** qui se base sur l'oxydation à froid du carbone par le bichromate de potassium en milieu acide. La matière organique est calculée selon la relation suivante : $MO\% = 1.75 * C\%$.

La **figure (17)** représente quelques étapes des analyses physico-chimiques réalisés au niveau du laboratoire.

Analyse de l'activité biologique (respirométrie classique)

La respirométrie d'un sol est sous la dépendance de l'activité microbienne et de l'activité racinaire. La première est influencée par trois facteurs principaux, à savoir la température et l'humidité du sol ainsi que la proportion de carbone mis à la disposition des microorganismes. La seconde est proportionnelle à la quantité de racines « actives » de la végétation (naturelle ou des plantes cultivées).

Cette méthode consiste donc on oxydation du carbone organique du sol par un puissant oxydant, c'est la soude (NaOH). Cette oxydation est renforcée par une attaque de chlorure de baryum (BaCl₂). L'excès de la soude est dosé par l'acide chlorhydrique (HCl).

L'activité biologique globale (C-CO₂ dégagé) des sols étudiés a été évaluée par la méthode du test respirométrique sur deux types de sols. Les échantillons de sols sont séchés à l'air libre et à l'ombre, puis tamisés à 2 mm.

Par la suite 25 g de sol humidifié avec deux tiers de la capacité au champ sont placés dans des bocaux d'un demi litre hermétiquement fermés et contenant un piège à CO₂, constitué de 30 ml de soude 0,2 N et un flacon d'eau pour humidifier le milieu.

Un témoin par répétition constitué uniquement d'un flacon contenant de la soude et d'un autre contenant de l'eau distillée est placé dans les mêmes conditions pour tenir compte de la carbonisation initiale de la soude dans le bocal et du dispositif randomisé.

Pour maintenir la température identique pendant la durée de l'incubation, les bocaux sont maintenus dans une étuve à 28 ° C.

Le CO₂ dégagé est dosé par colorimétrie pendant quatre semaines, avec de l'acide chlorhydrique 0,1 N en présence de phénol phtaléine (indicateur coloré). Au moment du dosage, on utilise 5 ml

Matériel et méthodes

de chlorure de baryum ($BaCl_2$) pour éviter la fixation du CO_2 atmosphérique par la soude exposée dans le bécher.



Figure 17. Quelques étapes des analyses physicochimique et biologiques réalisées au niveau du laboratoire. 1. MO, 2. Respirométrie, 3. Teneur en eau, 4. pH

Résultats et

Discussion

I. Résultats

1. Les paramètres abiotiques du sol

1.1. La température du sol

Les valeurs de la moyenne de la température du sol mesurées pendant les deux périodes de prélèvement dans les deux sites sont représentées sur la **figure (18)**. **En automne**, la température du sol varie entre $8,8 \pm 0,6\text{C}^\circ$ et $11,43 \pm 0,6\text{C}^\circ$ pour le site S1 avec une moyenne de $9,87 \pm 0,99 \text{C}^\circ$, alors que pour le site S2 la température du sol était un peu plus élevée où les valeurs varient entre $10,88 \pm 0,2 \text{C}^\circ$ et $14,13 \pm 0,06 \text{C}^\circ$ avec une moyenne de $12,38 \pm 1,44 \text{C}^\circ$. **Au printemps**, la marge de variation s'étale entre $14,8 \pm 2,25 \text{C}^\circ$ et $18,4 \pm 0,34$, avec une moyenne de $16,65 \pm 1,30 \text{C}^\circ$ pour le site S1, et entre $18,36 \pm 0,05\text{C}^\circ$ et $22,7 \pm 0,45 \text{C}^\circ$ avec une moyenne de $20,69 \pm 0,43 \text{C}^\circ$ pour le site S2.

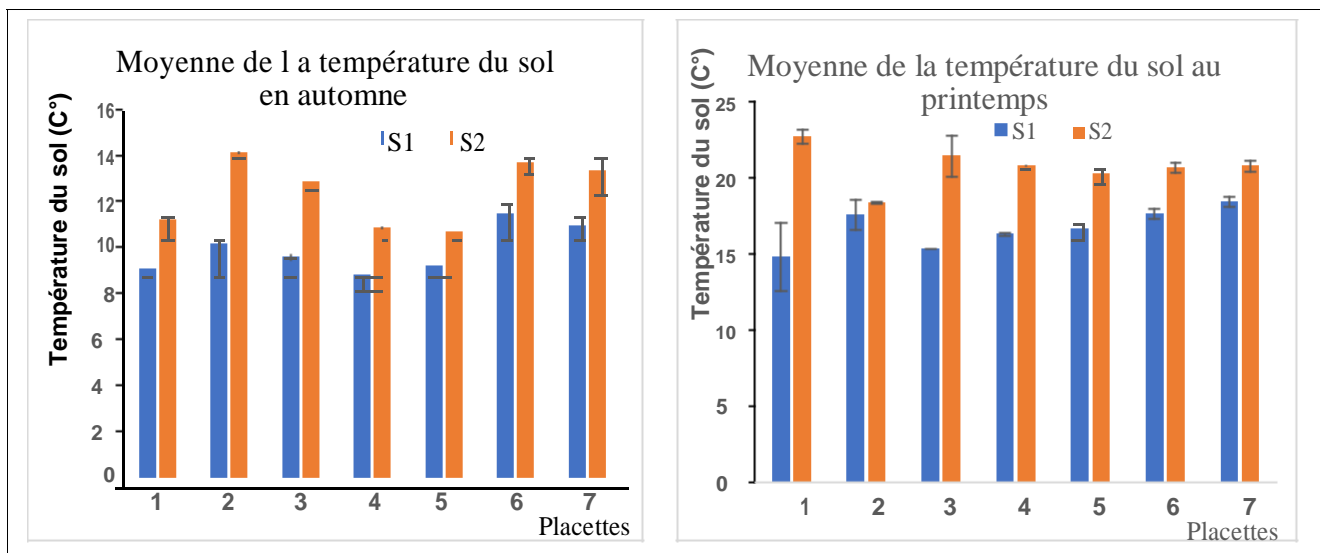


Figure 18. Variation de la température du sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement

1.2. La porosité du sol

D'après la **figure (19)**, qui représente la variation de la porosité de sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement, les valeurs indiquent en générale une bonne porosité dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement avec quelques différences. **En automne**, les valeurs de la porosité du sol pour le site S1 varient entre 41,16 % et 54,62% avec une moyenne de $49,12 \pm 5,31\%$, ce qui classe la porosité comme bonne, tandis que les valeurs de la porosité du sol sont plus élevées pour le site S2, où elles varient entre 46,16% et

Résultats et discussion

69,61%, avec une moyenne de $58,19 \pm 7,09\%$ ce qui classe le sol de ce site comme très bien poreux.

Au printemps, les valeurs de la porosité varient entre 38,32% et 61,54% avec une moyenne de $48,2 \pm 6,82\%$ ce qui indique une bonne porosité pour le site S1, ces valeurs restent faibles par rapport au valeurs enregistrées pour le site S2, où le sol était plus poreux avec des valeurs qui varient entre 52,89% et 61,36% avec une moyenne de la porosité du sol pour ce site de $56,46 \pm 2,97\%$ ce qui classe la porosité du sol du S2 comme très bonne.

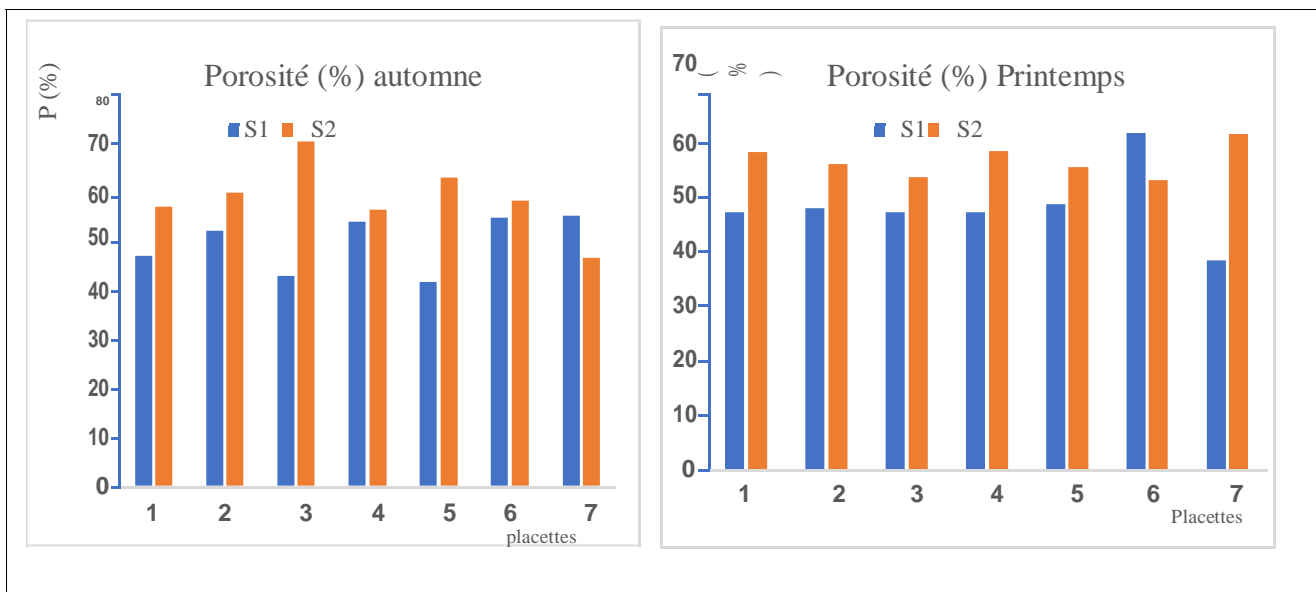


Figure 19. Variation de la porosité du sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement

1.3. La granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols prélevés des deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement sont résumés sur les deux **tableaux (6) et (7)**, globalement la texture est limono-argileuse, avec quelques variations dans les pourcentages, pour les deux sites et les deux campagnes de prélèvement.

Tableau 6. Les résultats de l'analyse de la granulométrie des sites d'étude en automne

Texture S1	Granulométrie S1			Texture S2	Granulométrie S2		
	S	L	A		S	L	A
P₁ : Limono-argileuse	28,57%	38,47%	30,95%	P₁ : Limono-argileuse	29,03%	40,32%	30,64%
P₂ : Limono-argileuse	29,72%	40,54%	29,72%	P₂ : Limono-argileuse	29,41%	41,17%	29,41%
P₃ : Limono-argileuse	27,50%	42,50%	30%	P₃ : Limono-argileuse	28,78%	40,90%	30,30%
P₄ : Limono-argileuse	32%	40%	28%	P₄ : Limono-argileuse	27,94%	41,17%	30,88%
P₅ : Limono-argileuse	28,57%	41,07%	30,35%	P₅ : Limono-argileuse	28,57%	40%	31,42%
P₆ : Limono-argileuse	31,57%	39,47%	29,94%	P₆ : Limono-argileuse	30%	40%	30%
P₇ : Limono-argileuse	31,25%	40,62%	28,12%	P₇ : Limono-argileuse	26,78%	42,85%	30,35%

Tableau 7. Les résultats de l'analyse de la granulométrie des sites d'étude au printemps

Texture S1	Granulométrie S1			Texture S2	Granulométrie S2		
	S	L	A		S	L	A
P₁ : Limono-argileuse	30,95%	40,47%	28,57%	P₁ : Limono-argileuse	27,14%	41,42%	31,42%
P₂ : Limono-argileuse	29,72%	40,54%	29,72%	P₂ : Limono-argileuse	28,12%	40,62%	31,25%
P₃ : Limono-argileuse	30%	40%	30%	P₃ : Limono-argileuse	26,56%	42,18%	31,25%
P₄ : Limono-argileuse	32,35%	38,23%	29,41%	P₄ : Limono-argileuse	27,77%	41,66%	30,55%
P₅ : Limono-argileuse	32,14%	41,07%	28,57%	P₅ : Limono-argileuse	30,35%	41,07%	28,57%
P₆ : Limono-argileuse	29,16%	37,50%	33,33%	P₆ : Limono-argileuse	24,13%	41,37%	34,48%
P₇ : Limono-argileuse	33,33%	39,58%	31,25%	P₇ : Limono-argileuse	29,62%	37,03%	33,33%

1.4. La teneur en eau

Que ce soit en automne ou au printemps les valeurs de la teneur en eau mesurées sur les sols des deux sites étaient faibles, c'est ce qui révèle la **figure (20)** qui représente la variation de la teneur en eau dans le temps et dans l'espace.

En automne, la teneur en eau était faible pour le site S1, où les valeurs varient entre 14,4% et 18,66% avec une moyenne de $16,25 \pm 1,76\%$. Pour le site S2, la teneur en eau était légèrement élevée par rapport au site S1, les valeurs varient dans une fourchette de 16,98% et 21,51%, avec une moyenne de $19,26 \pm 1,37\%$.

Au printemps, pour le site S1, les valeurs de l'humidité du sol varient entre 4,41 et 17,02% avec une moyenne de $13,11 \pm 4,07\%$. Pour le site S2, les valeurs étaient légèrement élevées où elles varient entre 11,83% et 24,77%, avec une moyenne de $16,82 \pm 4,38\%$.

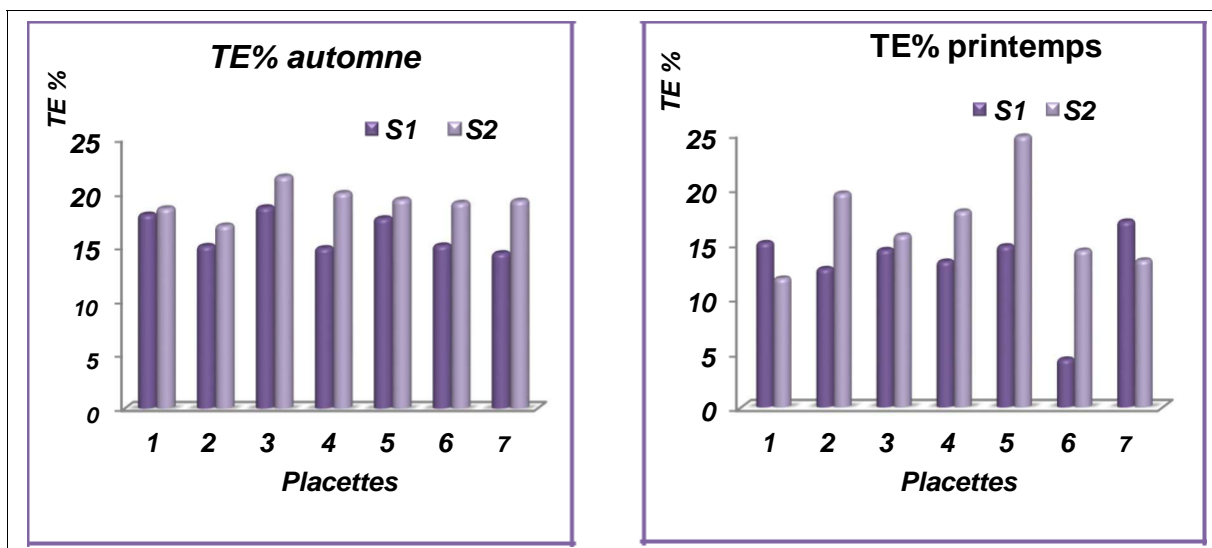


Figure 20. Variation de la teneur en eau du sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement

1.5. Le pH

D'après l'échelle d'interprétation du pH de **Baize (1989)**, représenté sur le **tableau (8)**, le pH du sol est alcalin dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement (**Fig. 21**). **En automne**, les valeurs de pH varient entre 7,9 et 8,14 pour le sol du site S1, alors que pour le site S2 elles varient entre 8,22 et 8,35 pour le site S2, avec des moyennes de $8,05 \pm 0,09$ et $8,3 \pm 0,05$ respectivement pour les deux sites S1 et S2.

Tableau 8. Echelle d'interprétation du pH (Baize, 1989)

pH eau	< 5,5	5,5 – 6,5	6,5 – 6,8	6,8 – 7,2	7,2 – 7,5	7,5 – 8,5	> 8,5
Appréciation	Fortement acide	Acide	Très légèrement acide	Voisin de la neutralité	Légèrement alcalin	Alcalin	Légèrement alcalin

Au printemps, les valeurs de pH pour le site S1 varient entre 8,09 et 8,21 avec une moyenne de $8,15 \pm 0,04$, alors que pour le site S2 les valeurs de pH varient entre 7,98 et 8,38 avec une moyenne de $8,21 \pm 0,13$.

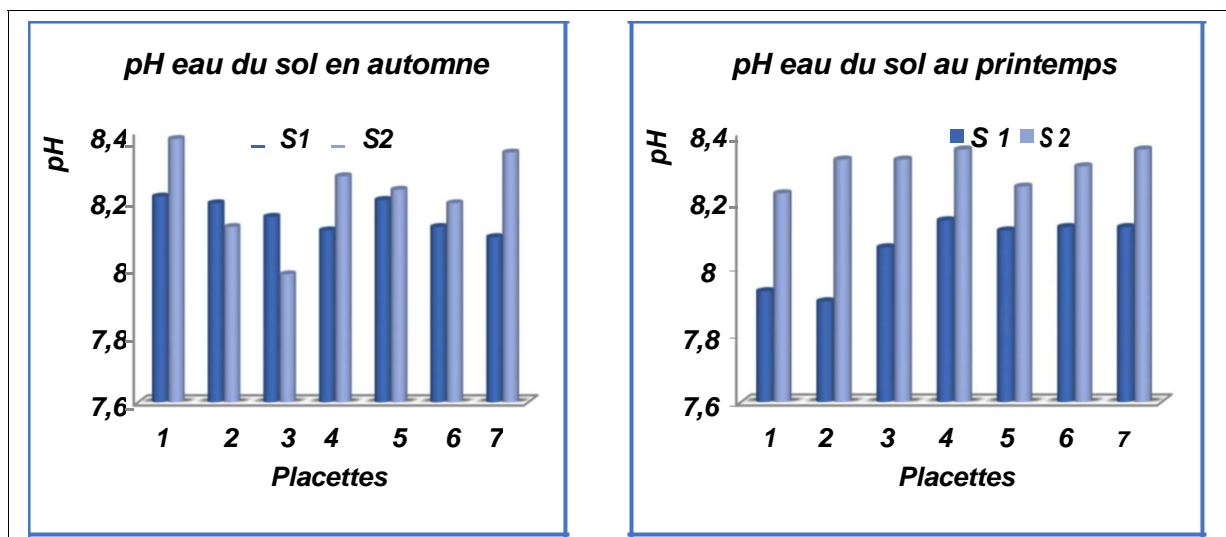


Figure 21. Variation de pH du sol dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement

1.6. La Conductivité électrique (CE)

Les résultats de la CE du sol représentés sur la **figure (22)** indiquent que le sol est généralement salé pour les deux sites en automne où les valeurs de la CE mesurées tombent dans la limite inférieure de la classe (3) des sols salés de l'échelle de Durand (1983), (**Tab. 9**). Les valeurs de la CE varient entre 1,1 et 1,23 mS/cm pour le site S1 et entre 1,19 et 1,26 mS/cm pour le site S2 avec des moyennes de $1,19 \pm 0,04$ mS/cm et $1,22 \pm 0,02$ mS/cm respectivement pour les deux sites S1 et S2.

Tableau 9. Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand (1983).

Classe	CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C	Qualité des sols
Classe 1	0 à 500	Non salé
Classe 2	500 à 1000	Légèrement
Classe 3	1000 à 2000	Salé
Classe 4	2000 à 4000	Très salé
Classe 5	Plus de 4000	Extrêmement salé

Pour le printemps nous n'avons pas mesuré la CE à cause d'une panne du conductimètre.

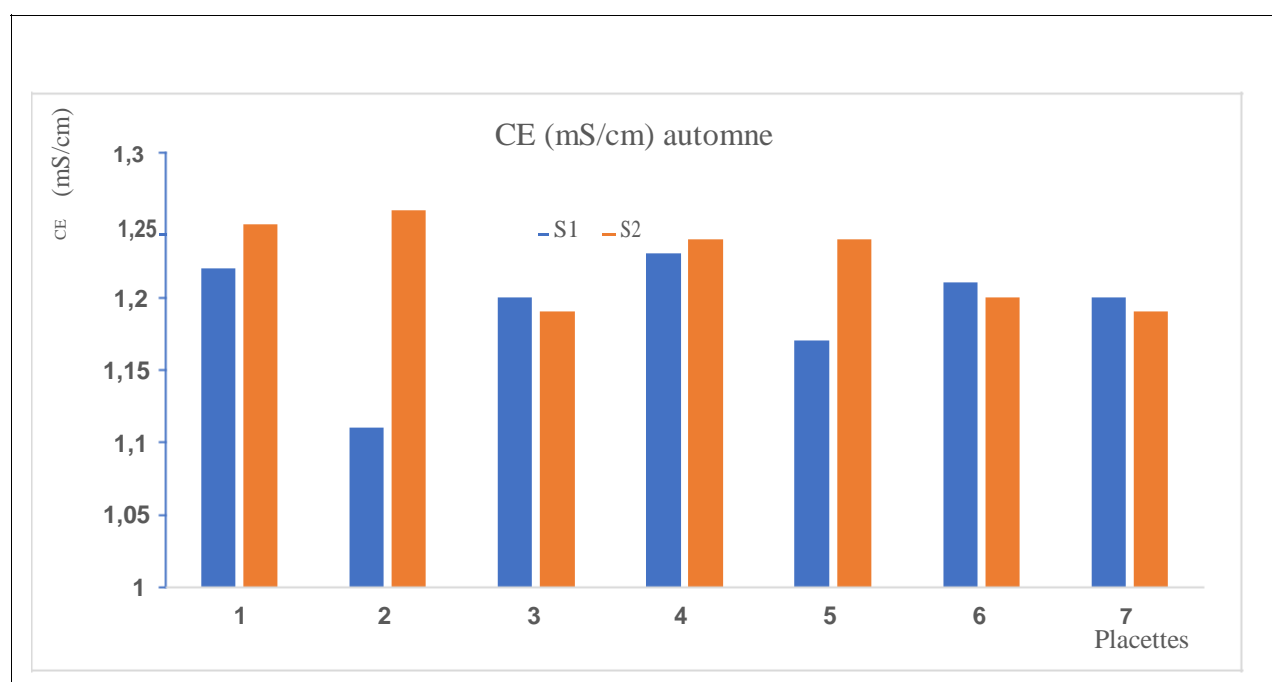


Figure 22. Variation de la CE du sol dans les deux sites et pour la campagne de l'automne

1.7. La matière organique (MO)

Les résultats du calcul de la MO à partir de l'analyse du carbone du sol sont représentés sur la **figure (23)**. Cette dernière révèle que les teneurs de la MO sont en générale faibles d'après l'échelle de la qualification des sols selon leurs taux de la MO de **Soltner (1992) (Tab. 10)** ce qui indique des sols généralement pauvres en matière organique.

En automne, les teneurs en MO varient entre 0,23 % et 1,38% avec une moyenne de $0,85 \pm 0,47$ % pour le site S1, alors que pour le site S2 les teneurs sont plus élevées où elles varient entre 0,69% et 1,83% avec une moyenne de $1,39 \pm 0,39$ %. Ces deux moyennes classes le sol des deux sites dans la classe des sols très pauvre en matière organique.

Au printemps, une légère augmentation des teneurs en MO a été observée pour les deux sites, plus importante pour le site S2. Malgré que cette augmentation des teneurs en MO, le sol du site S2 est classé dans la classe des sols pauvres en matière organique. Les valeurs de la MO varient entre 0,46 % et 1,38% pour le site S1 avec une moyenne de $0,95 \pm 0,3$ %, tandis que pour le site S2, elles varient entre 0,68% et 2,75% avec une moyenne de $1,72 \pm 0,65$ %.

Tableau 10. Qualification des sols selon leurs taux de la M.O (Soltner, 1992).

Matière organique	Qualification du sol
< 1,4	Très pauvre en MO
1,4 < MO < 2	Pauvre en MO
2 < MO < 3	Argile < 22 % Bien pourvu en MO
	22 % < Argile < 30 % Moyennement pourvu
	Argile > 30 % Pauvre en MO
3 < MO < 4	Sol bien pourvu en MO
MO > 4	Teneur élevée en MO

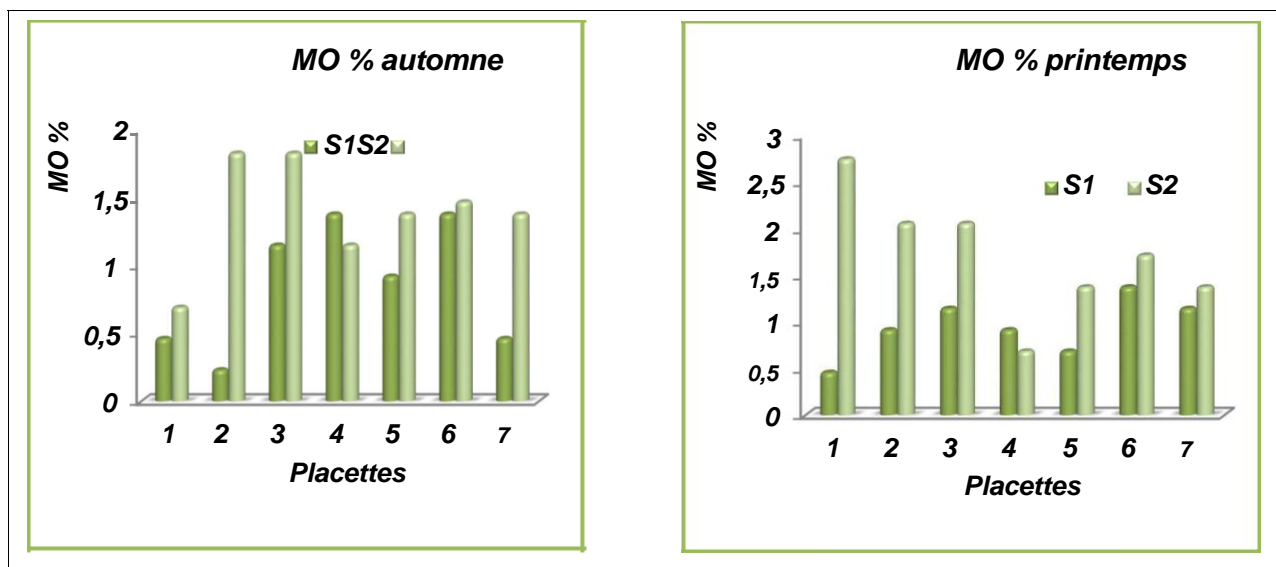


Figure 23. Variation de la teneur en MO du sol dans les deux sites et pour les deux compagnes de prélèvement.

2. Les paramètres biologiques du sol

2.1. L'abondance de la macrofaune du sol

L'abondance de la macro-pédofaune est résumée sur la **figure (24)**. Cette dernière révèle qu'en **automne**, globalement le site S1 compte le nombre le plus élevé des individus donc c'est le plus riche en macro-pédofaune avec un total de 129 individus contre 116 individus récoltés sur le site S2.

Au printemps, l'exubérance de la macro-pédofaune est plus importante qu'en automne, ainsi plus importante en S2 qu'en S1, où nous avons enregistré un total de 157 individus pour S1, alors qu'en S2, l'abondance totale est de 266 individus.

Concernant la taxonomie de la faune inventories dans notre étude, **en automne (Tab. 11)** le site S1 qui enregistré l'abondance la plus élevée avait une faible diversité en famille des individus récoltés avec seulement 7 familles avec une absence totale des fourmis considéré comme l'une des macrofaunes du sol les plus importante par leur activité de déplacement de matières. Par contre le site S2 avec une exubérance moins faible, nous avons compté 10 familles et une abondance faible en fourmis avec 6 individus seulement, avec une abondance de 19 vers de terre, contre seulement 4 individus collectés sur le site S1.

Résultats et discussion

Au printemps (Tab. 12), pour le site S1, les 157 individus collectés sont présentés par 8 familles contre 9 familles présentés par les 266 individus comptés. Avec une abondance plus importante de gastéropodes suivi par les hyménoptères dans le site S1 et les gastéropodes et diplopodes dans le site S2.

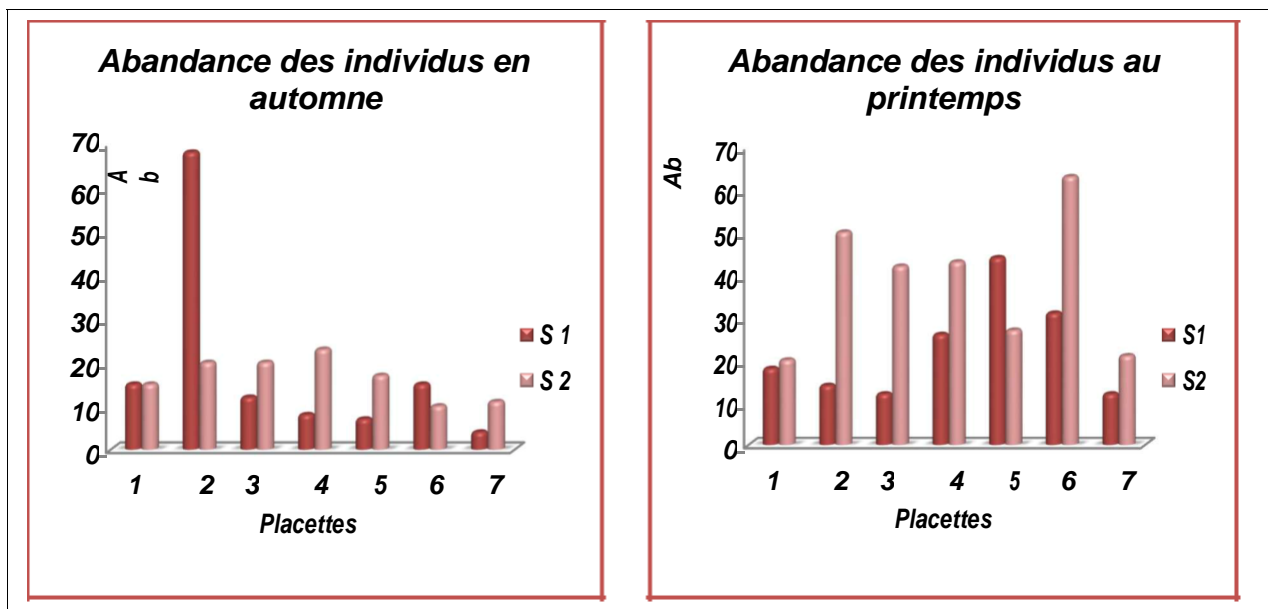


Figure 24. Variation de l'abondance de la macro-pédofaune dans les deux sites et pour les deux campagnes de prélèvement

Tableau 11. La macro-pédofaune récolté en automne dans les deux sites.

Automne		Nombre d'individus capturés	
Taxon		S1	S2
Insectes	Hyménoptères	/	6
	Coléoptères	Larve	6
		Adulte	3
	Dermaptères	/	2
Myriapodes	Chilopodes	/	2
	Diplopodes	/	4
Arachnides	Aranéides	62	3
Crustacés	Isopodes	2	2
Annélides	Lombricidés	4	19
Mollusques	Gastéropodes	39	82
Total		129	116

Tableau 12. La macro-pédofaune récolté au printemps dans les deux sites.

Printemps			Nombre d'individus capturés	
Taxon			S1	S2
Insectes	Hyménoptères		24	6
	Coléoptères	Larve	10	9
		Adulte	9	/
	Dermaptères		/	6
Myriapodes	Chilopodes		2	6
	Diplopodes		/	111
Arachnides	Aranéides		2	9
Crustacés	Isopodes		5	1
Annélides	Lombricidés		2	2
Mollusques	Gastéropodes		103	122
Total			157	266

2.2. L'activité respirométrique

Les dégagements journaliers de CO₂ sont représentés sur les **figures (25) et (26)** qui révèlent les taux de minéralisation journalière pendant 28 jours d'incubation. Les pics les plus faibles sont rencontrés au niveau du verger agroforestier (S1), résumés par des cumuls de CO₂ de 268,19 mg / kg de sol/ h, pour le printemps, alors qu'ils sont plus faibles pour l'automne avec 163,43 mg / kg de sol/ h, traduisant une activité biologique plus faible dans le sol de ce site.

Concernant le site S2, l'activité biologique est plus intense dans le printemps que dans l'automne avec respectivement des cumuls de CO₂ de 1022,48 mg / kg de sol/h contre 362,47 mg / kg de sol/ h.

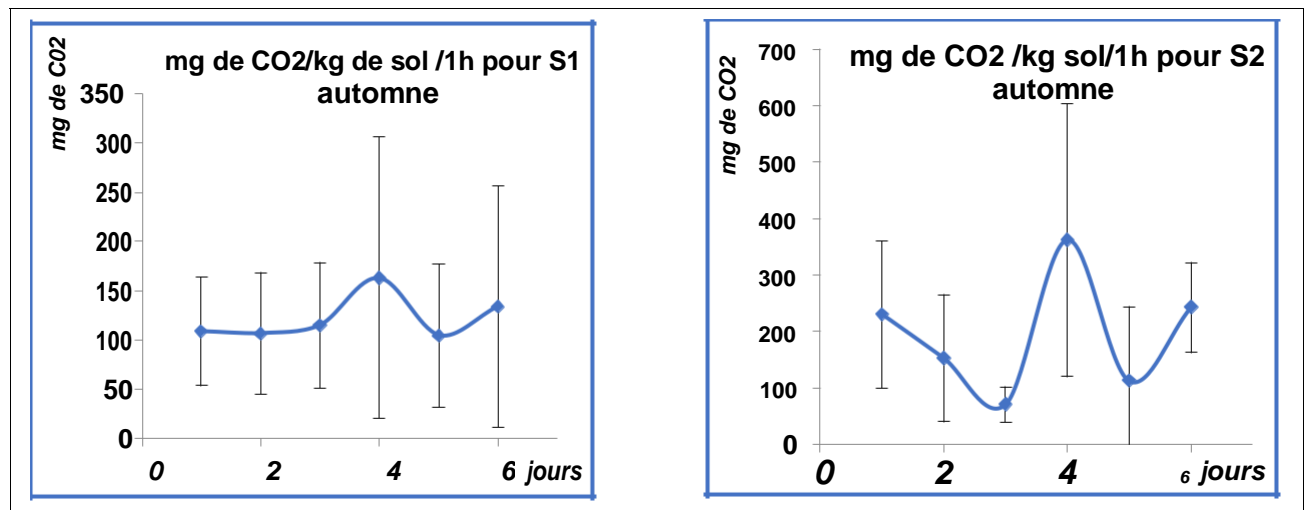


Figure 25. Variation de l'activité respirométrique dans les deux sites en automne.

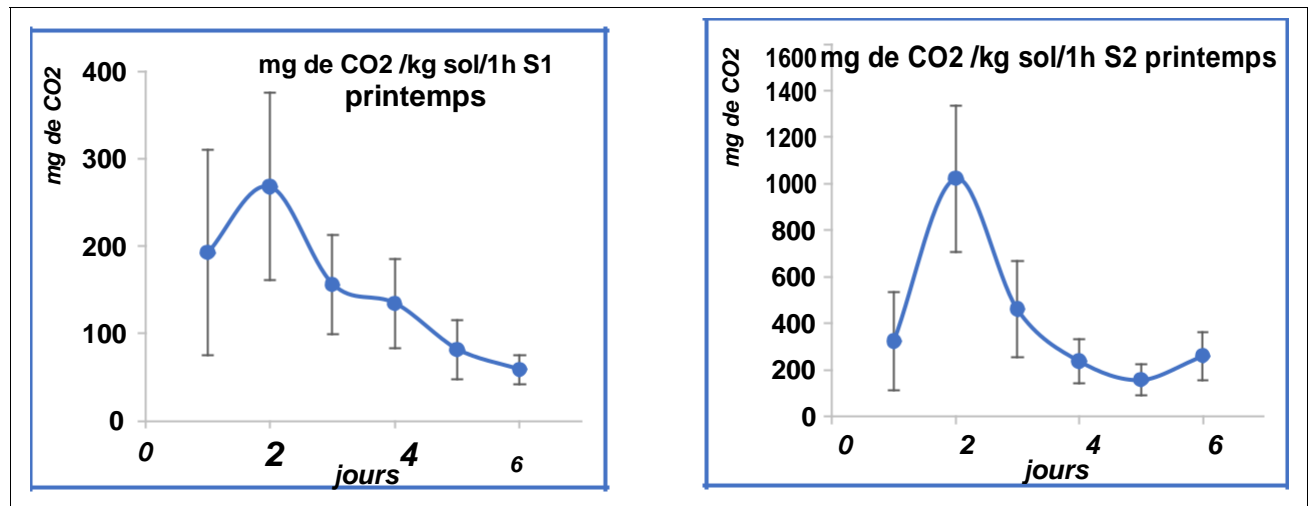


Figure 26. Variation de l'activité respirométrique dans les deux sites au printemps.

II. Discussion

L'écosystème se compose des éléments non vivants (abiotiques) et des éléments vivant (biotiques). Dans notre étude, nous intéressons aux macrofaunes du sol, qui établissent des relations avec leur milieu de vie, et dont leur répartition dépend des conditions abiotiques du milieu.

La macrofaune du sol comprend un grand nombre de taxa qui réalisent un ensemble de fonctions assurant le maintien des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (**Ruiz Camacho, 2004**). Ils associent des transformateurs de litière et des ingénieurs de l'écosystème (**Lavelle, 1997**). D'une part, la diversité de la pédofaune est un indice important pour la régulation et l'équilibre des caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques, et exprime mieux les variations et les changements écologiques qui peuvent affecter le sol (**Paolo et al., 2010**) et de l'autre le type du sol influence sur l'abondance et la diversité de cette pédofaune. Comme l'indiquent **Radford et al. (2001)**, la macrofaune du sol peut également être influencée par les propriétés physico-chimiques du sol.

La température sol est un facteur abiotique qui intervient dans plusieurs processus biogéochimiques ainsi elle influence sur la faune. En automne nous avons enregistré des moyennes plus élevées pour le site S2, alors que dans ce dernier nous avons récolté un nombre moins faible de la pédofaune par rapport au site S1, alors qu'au printemps le site S2 a enregistré une plus grande abondance et des moyennes de températures plus élevées.

La porosité agit sur le développement des racines des plantes ainsi que sur la circulation des organismes du sol (**Lamandé, 2003**). Pour notre étude dans les deux campagnes de prélèvement le sol du site S2 est plus poreux avec des valeurs moins faibles au printemps où nous avons inventoriée le nombre le plus élevé de la macro-pédofaune, cela indique une corrélation négative entre les deux paramètres, ce qui ne concorde pas avec la littérature scientifique où des expériences ont montré que l'introduction des lombriciens dans les sols dégradés (isolément ou en combinaison avec les plantes), augmente la porosité et la stabilité de la structure (**Springett et al., 1992 ; Zhang et Schrader, 1993**). Cette corrélation négative peut être justifiée par le type de la pédofaune car la faune de petite taille n'a pas la même influence que celle de grande taille, par exemple une abondance de 10 vers de terre peut avoir une influence sur la porosité plus grande qu'une abondance de 50 araignées de petite taille. L'examen des **tableaux (11) et (12)** confirme cette justification où en automne nous avons compté dans 19 vers de terre le site S2 ce dernier a enregistré la meilleure porosité.

Les vers de terre par leur activité de bioturbation, accroissent la macroporosité du sol. Les galeries creusées par les lombriciens, varient avec la taille de l'espèce lombricienne, ont un impact sur la porosité, l'agrégation et la densité du sol (**Lamparski et al., 1985**).

La texture du sol influence directement sur la distribution de la pédofaune. Une texture compactée représente un obstacle pour le déplacement de la faune du sol et peut même causer des blessures surtout pour les vers de terre. Dans notre étude la texture est limono-argileuse dans les deux sites d'étude ce qui indique qu'elle n'est pas un facteur déterminant sur l'abondance de la macro-pédofaune dans notre étude.

L'eau de sol demeure un facteur primordial pour la faune du sol, son insuffisance ou son excès peuvent être néfastes aux animaux de sol (**Bachelier, 1978**). Pour notre étude, la teneur en eau était généralement faible en automne et au printemps, avec des valeurs moins faibles enregistrées pour le site S1. Ces résultats indiquent que la teneur en eau a influencé positivement sur l'abondance au printemps seulement où le site S2 a enregistré des valeurs plus élevées que le site S1 en teneur en eau et en abondance totale de la faune. Cela peut être dû à l'intervention de d'autres caractéristiques du sol comme la nature du sol sa richesse en matière organique ainsi que de la période et de l'emplacement du prélèvement comme l'indique **Aubert (2003)**.

La conductivité électrique est un paramètre essentiel pour certaines espèces du macrofaune du sol, dans notre cas, la salinité de sol n'atteint pas le point où elle devient agressive pour l'abondance de la macro-pédofaune. Dans son étude **Bazri (2015)**, a signalé qu'une conductivité électrique élevée semble entraver l'activité des lombriciens.

Le type de sol, de par sa texture et son pH influe sur la dynamique des MO dans les sols à long terme notamment par la présence d'argiles qui assurent une protection physique de la matière organique (**Ladd et al., 1985**). Le pH est la matière organique suivent la même tendance où les valeurs les plus élevées sont enregistrées en automne concernant la variation temporelle et de même pour la variation spatiale où les valeurs élevées sont toujours enregistrées pour le site S2. Cela indique que l'augmentation des teneurs de la matière organique au printemps à influencé positivement sur l'abondance totale de la faune du sol.

Généralement, la macrofaune du sol permet le transfert du carbone organique du sol vers de plus grandes profondeurs de sol (**Rumpel et Kögel-Knabner, 2011**) par l'activité de bioturbation. D'après **Lee (1985)**, les lombriciens sont relativement des contributeurs mineurs

d'assimilation de carbone. Ainsi, le flux de carbone annuel augmente de 300 à 1000 kg/ha lorsque les vers de terre sont introduits **(O'Brien et Stout, 1978)**.

La respiration du sol résulte d'une part de la respiration racinaire (composante autotrophe) et d'autre part de l'activité des organismes décomposeurs de la litière (composante hétérotrophe) **(Ryan et Law, 2005)**. Dans notre étude la respiration mesurée est celle de l'activité des organismes de sol.

La respiration du sol est plus élevée dans le printemps que dans l'automne et pour ces deux campagnes de prélèvement c'est toujours le sol du site S2 qui a enregistré une activité biologique plus intense, cela est lié avec les teneurs en matières organique.

Ce phénomène respiratoire entraîne ainsi la libération de grandes quantités de carbone sous forme de CO₂. La respiration du sol est alors la principale voie du flux de carbone de l'écosystème terrestre **(Perrin et al., 2004)**, jouant ainsi un rôle important dans le cycle global du carbone **(Siyan et al., 2004)**.

La classe des gastéropodes est la mieux représentée dans les deux sites et les deux périodes de prélèvement, avec des pourcentages de 0,30 et % 0,70 % respectivement pour les deux sites S1 et S2 en automne et 0,65% pour le site S1 et 0,45% pour le site S2 au printemps, de l'abondance totale de macrofaune du sol récoltée dans cette étude. Les mollusques peuvent se trouver dans presque tous les milieux mais, en générale ils préfèrent les habitats qui offrent un abri, une humidité adéquate et une quantité abondante de nourriture **(Ruiz Camacho, 2004)**.

Etant donné que la faune du sol est considérée comme un élément important des écosystèmes **(Millard et al., 2007)** et elle est considérée comme un bioindicateur indispensable pour évaluer la qualité des sols elle reflète l'état d'un sol **(Yeates, 2003)**. Il ressort de nos résultats que globalement la qualité du sol est meilleure sur écosystème agricole (S2), surtout les deux paramètres très liés la matière organique et la faune du sol. En effet en automne l'abondance élevée enregistrée dans le site S1 est attribuée au fait que nous sommes tombés sur une niche de petite araignée noir qui compte 62 araignées.

Conclusion

CONCLUSION

Ce travail a été mené dans la zone de Tamza (Khenchela), dans le but de la connaissance des principales propriétés biologiques des sols des écosystèmes agricoles et même agroforestiers. Elle s'intéresse à la différenciation de la richesse macrofaunique entre l'écosystème agroforestier et agricole, et à leurs influences sur la qualité biologique des sols.

A la lumière des résultats obtenus, il ressort sur le plan édaphique que les sols des deux sites d'étude se caractérisent par une texture limono-argileuse. L'humidité du sol varie faiblement d'un site à l'autre, le pH est globalement alcalin avec une faible différence entre les différents échantillons analysés. Les valeurs de la conductivité électrique indiquent des sols salés dans l'ensemble des deux sites d'étude. Les taux de la matière organique sont également variables, deux classes sont représentées : classe des sols pauvres en matière organique ($< 2\%$), et la classe des sols très pauvres en matière organique ($MO < 1,4\%$), et le cumul de CO_2 dégagé traduit une bonne minéralisation au printemps.

L'analyse biologique, montrent la présence des Aranéides (62 individus pour le site S1) et les Lombricidés (19 pour S2), sur un totale de 242 individus recensées, nous avons identifié 9 familles dominées par des Gastéropodes (39, 82) pour (S1, S2), en automne.

En outre, sur un effectif de 423 individus de macrofaunes récoltés sur les deux sites, au printemps, réparties sur 9 taxons dominées par ordre décroissant des Gastéropodes (103, 122), pour les deux sites S1 et S2, suivis par les Diplopodes avec (111) pour le site S2, et (24) Hyménoptères pour (S1), tandis qu'on remarque l'absence de ces derniers en automne pour le site S1.

L'augmentation de l'abondance dans les deux sites au printemps, révèle un bon équilibre des sols étudiés, ce qui traduit par une bonne activité biologique (la respiration du sol), capable d'en maintenir efficacement les qualités physico-chimiques et biologiques.

Généralement, le bon fonctionnement des écosystèmes est essentiel à la vie sur terre, car les mécanismes mis en jeu par les organismes interviennent sur différents aspects dans le sol.

L'inventaire de la faune du sol est très important pour déterminer la qualité biologique du sol. Nous souhaitons bien approfondir ce travail par d'autres études ultérieures qui prospectent le monde microscopique du sol ainsi que les autres catégories de la faune du sol (mésafaune et microfaune).

Références

Bibliographique

Références Bibliographique

Alexandre D. Y., 2002. Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne : les arbres des champs du Plateau Central au Burkina Faso. KARTHALA Editions, 97 pages. ISBN 2-84586-247-4.

Anonyme, 2008. Secrétariat de la convention sur la diversité biologique. Biodiversité et agriculture : protéger la biodiversité et assurer la sécurité alimentaire. Montréal, 56 pages.

Anonyme, 2013. Les fonctions des êtres vivants du sol, le nez en l'air, sol vivant, biodiversité. <http://jardinieredelabiodiversite.verblog.com/les-fonctions-des-etres-vivants-du-sol>

Anonyme, 2020. La décomposition de la matière organique dans le sol, Maxicours.com. <https://www.maxicours.com/se/cours/la-decomposition-de-la-matiere-organique-dans-le-sol>.

Aubert G., 2003. Biodiversité et processus écologique à l'interface sol- végétation dans les hêtraies sur limon de haute Normandie. Thèse de doctorat, Université de Rouen, France, 59 pages.

Bachelier G., 1978. La faune du sol, son écologie et son action, IDT n° 38. ORSTOM, Paris, 391 pages.

Baize D., 1989. Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris. 172.

Barrios E., 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological economics, 64(2), pp: 269-285.

Bauer T., 1986. How to capture springtails on the soil surface. The method of Loricera pilicornis F. In **den Boer PJ, Griim L, Szyszko J, eds. 1986.** Feeding Behaviour and Accessibility of Food for Carabid Beetles. Warsaw : Warsaw Agric Univ. Press. 167 pages.

Bazri K.E., 2015. Étude de la biodiversité des lombricidés et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques dans l'est Algérien. Thèse de doctorat.

Bhadoria T. and Saxena K.G., 2010. Role of earthworms in soil fertility maintenance through the production of biogenic structures. Applied and environmental soil science, 7 pages.

Bispo A., Gattin, I., Hedde M., Bodin J., Villenave C., & Peres G., 2012. Quels bioindicateurs pour la gestion durable des sols agricoles et forestiers. Compte rendu des journées de restitution du projet «Bioindicateur pour la caractérisation des sols», Paris, 16 pages.

Bouché M.B., 1972. Lombriciens de France. Ecologie et Systématique Ed. INRA. Annales de Zoologie-Ecologie animale. (Vol. 72, No. 2). 671 p.

Brown G.G., Pasini A., Benito N. P., DeAquino A. M., Corrcia M. E. F., 2002. Diversity and functionalraie of soil macrofaunacommunitics in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Paper based on an oral presentation at the "international symposium on managing biodiversity in agricultural ecosystems" Montreal, Canada, 8-10. 20 pages.

Brussaard L., 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem process. Applied Soil Ecology, 9, pp:123-135. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00066-3)

Brussaard L., 2012. Ecosystem services provied by the soil biota. In Wall D.H. et al. (eds) Soil Ecology and Ecosystem Services, Oxford University Press, pp: 45-58.

Burrow C., 2015. Influence des modalités de restauration de sols dégradés sur leur colonisation par une faune du sol fonctionnelle.

CGDD., 2010. (Commissariat général au développement durable) Conservation et utilisation durable de la biodiversité et des services écosystémiques : analyse des outils économiques, Rapport de la commission des comptes et de l'économie de l'environnement, collection « Références », [En ligne] URL :

[http:// www.developpement durable.gouv.fr/IMG/pdf/Refbiodiv2.pdf](http://www.developpement durable.gouv.fr/IMG/pdf/Refbiodiv2.pdf)

Chaussod R., 1996. La qualité microbiologique des sols : évaluation implication. Forum le sol un patrimoine menacé, Paris.

Claire O., Lionel D., Baptiste F., 2019. Biodiversité du sol et ses rôles, Enseignement scientifique 1re Lyon, Lelivrescolaire.fr, DL 2019, pp : 136-137.

Crossman N.D., Burkhard B., Nedkov S., Willemen L., Petz K., Palomo I., Drakou E.G., Martín-Lopez B., McPhearson T., Boyanova K. and Alkemade R., 2013. A blueprint for mapping and modellingecosystem services. Ecosystem services, 4, pp.4-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.02.001>

Decaëns T., Jiménez J.J., Gioia C., Measey G.J. and Lavelle P., 2006. The values of soilanimals for conservation biology. European Journal of SoilBiology, 42, pp:23-38.

Deprince A., 2003. Etude La faune du sol diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. Courrier de l'environnement de l'INRA n°49, juin 2003, pp : 134. -137

Durand J.H., 1983. Les sols Irrigables. Etude pédologique. Agence de Coopération.

Dussault C.F., 2008. L'agroforesterie comme outil de développement durable dans les pays en voie de développement (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke.), 118 pages.

Ettema C.H. and Wardle D.A., 2002. Spatial soil ecology. Trends in Ecology and Evolution, 17(4), pp: 177-183.[https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02496-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02496-5)

FAO., 2015. Learning tool on Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) in the agriculture, forestry and other land use (AFOLU) sector. Rome: FAO.

Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J., Morel J.L., 2005. Sols et Environnement, 2ème édition, Editions DUNOD, 2005. 816 pages.

Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2003. Le sol vivant. Bases de pédologie – Biologie des sols, Lausanne, Presses Polytechniques et universitaires romandes. Gérer l'environnement, 568 pages.

Gobat J.M., 2013. Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. 3^e édition revue et augmentée. Presses polytechniques et universitaires romandes, 519 pages.

Hedde M., Zwicke M., 2020. Faune du sol et production végétale, 10.01.2020. <https://planet-vie.ens.fr>

Hutha N.I., 2007. An electromagnetic induction method for monitoring variation in soil moisture in agroforestry systems. Australian Journal of Soil Research, 45, pp: 63-72. **Karsenty**

A., Sembrès T., Perrot-M D., 2009. Paiements pour services environnementaux et pays du Sud. La conservation de la nature rattrapée par le développement ?, communication 3èmes journées de recherches en sciences sociales INRA SFER CIRAD, Montpellier.

Ladd J., Amato M., Oades J., 1985. Decomposition of plant material in Australian soils. III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. Soil Res. 23, pp : 603–611.

Références bibliographique

Lamandé M., 2003. Effets de l'interaction des pratiques culturales et des communautés lombriciennes sur la structure du sol et son fonctionnement hydrique. Thèse de Doctorat., E. N. S. A. R, Rennes. 109 pages.

Lamparski F., 1985. Einfluss der regenurmart Lumbricus badensis auf waldböden den in Schwarzwald.

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., Blanchart E., Martin A., Martin S. and Spain A., 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, pp : 130-150, DOI: 10.2307/2389178

Lavelle P., 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv. Eco1. Res.*, 27, pp : 93-132. Culturelle et Technique. 338 pages.

Lavelle P., Decaens T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P., Rossi J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. ICSZ - Soil Animals and Ecosystems Services, Proceedings of the XIVth International Colloquium on Soil Biology. *European Journal of Soil Biology*, 42, pp :3-15.

Lee K.E., 1985. Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Sydney. 411 pages. ISBN : [0124408605](https://www.isbn-international.org/product/0124408605)

Leterme E., 2014. La biodiversité, amie du verger. Editions du Rouergue, Arles, 208 pages.

Locatelli B., Vallet A., Fedele G. & Rapidel B., 2017. Chapitre 17 - Analyser des services écosystémiques pour gérer des territoires. In : Paton atrick Caron éd., Des territoires vivants pour transformer le monde, pp.108-113. Versailles, France: Editions Quæ. doi:10.3917/quæ.caron.2017.01.0108.

Marichal R., Grimaldi M., Feijoo A., Oszwald J., Praxedes C., Cobo D.H.R., del Pilar Hurtado M., Desjardins T., da Silva Junior M.L., da Silva Costa L.G. and Miranda I.S., 2014. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Applied Soil Ecology*, 83, pp: 177-185.

Matagne P., 2003. Aux origines de l'écologie. *INNOVATIONS*, (2), pp.27-42. ISSN 1267-4982.

MEA., 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis (Millennium Ecosystem Assessment Series). Technical Report Island Press, Washington, DC, U.S.A.

Métral R., 2007. Synthèse sur la diversité de la pédofaune en système agroforestier Programme CAS DAR Agroforesterie 2006/2008, R 6.3,65 pages.

<https://www.agroforesterie.fr/CASDAR/20062008/rapports0608/R63.pdf>

Millard P., Sommerkorn M. and Grelet, G.A., 2007. Environmental change and carbon limitation in trees: a biochemical, ecophysiological and ecosystem appraisal. *New Phytologist*, 175(1), pp: 11-28.

Müller F., de Groot R. and Willemsen L., 2010. Ecosystem services at the landscape scale: the need for integrative approaches. *Landscape Online*, 23, pp: 1-11.

Nair P.R., 1993. An introduction to agroforestry. Springer Science & Business Media, 429 pages. ISBN0-7923-2135-9.

O'brien B.J. and Stout J.D., 1978. Movement and turnover of soil organic matter as indicated by carbon isotope measurements. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(4), pp: 309-317.

Ouédraogo K., Mando A., Hrusaard 1., 2004. Soil macrofaunal-mediated organic resource disappearance in semi-arid West Africa. *Applied Soil Ecology* 27, pp: 259-267.

Paolo A.G., Raffaella B., Danio A., Attilio D.R.A.M. and Ettore C., 2010. Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation in Northern Italy. *Ecological Indicators* 10, pp: 129-135.

Perrin D., Laitat E., Yernaux M. and Aubinet M., 2004. Modélisation de la réponse des flux de respiration d'un sol forestier selon les principales variables climatiques. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 8, pp : 15-25.

Prévost P., 2016. Les bases de l'agriculture, comprendre la pratique s'initier à l'agronomie 4^{ème} édition, 352 pages. ISBN : 978-2-7430-2142-9.

Radford B.J., Wilson-Rummenie A.C., Simpson G.B., Bell K.L. and Ferguson M.A., 2001. Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(12-13), pp : 1869-1872.

Ruiz Camacho N., 2004. Mise au point d'un système de bio indication de la qualité du sol base sur l'étude des peuplements de macro invertébrés. Thèse doc. Université Paris 6, 262 pages.

Rumpel C., Kögel-Knabner I., 2011. Deep soil organic matter- a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil*, 338 (1-2), pp :143-158.

Ryan M.G. and Law B.E., 2005. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*, 73(1), pp: 3-27.

Siyan M., Chen J., North M., Erickson II. E., Bresee M. & Le Moine J., 2004. Short term effects of experimental burning and thinning on soil respiration in an old – growth, mixed-conifer forest. *Environmental Management* 33(1), pp: 148-S159.

Soltner D., 1992. Phytotechnie générale : les bases de la production végétale. Tome 1 : le Sol et son amélioration. Tome 2 : Climat, Météorologie, Pédologie, Bioclimatologie. Série Agronomie.

Springett J.A., Gray R.A.J. et Reid J.B., 1992. Effect of introducing earth worms into horti-cultural land previously denuded of earth worms. *Soil Biology & Biochemistry*. 24 (12), pp: 1615-1622.

Swift M.J., Heal O.W., Anderson J.M. and Anderson J.M., 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems (Vol. 5). Univ of California Press. ISBN :0520 04001 5

Tansley A.G., 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16 (3), pp : 284-307. DOI: 10.2307/1930070

Therond O. Tichit M., Tibi A., Accatino F., Biju-Duval L., Bockstaller C., Bohan D., Bonaudo T., Boval M., Cahuzac E., Casellas E., Chauvel B., Choler P., Constantin J., Cousin I., Daroussin J., David M., Delacote P., Derocles S., De Sousa L., Domingues Santos J.P., Dross C., Duru M., Eugène M., Fontaine C., Garcia B., Geizendorffer I., Girardin A., Graux A-I., Jouven M., Langlois B., Le Bas C., Le Bissonnais Y., Lelièvre V., Lifran R., Maigné E., Martin G., Martin R., Martin-Laurent F., Martinet V., McLaughlin O., Meillet A., Mignolet C., Mouchet M., Nozières-Petit M-O., Ostermann O.P., Paracchini M.L., Pellerin S., Peyraud J-L., Petit-Michaut S., Picaud C., Plantureux S., Poméon T., Porcher E., Puech T., Puillet L., Rambonilaza T., Raynal H., Resmond R., Ripoche D., Ruget F., Rulleau B., Rush A., Salles J-M., Sauvant D., Schott C., Tardieu L. (2017). Volet

"écosystèmes agricoles" de l'Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques. Rapport d'étude, Inra (France), 966 pages.

Theurillat J.P., Felber F., Geissler P., Gobat J.M., Fierz M., Fischlin A., Küpfer P., Schlüssel A., Velluti C., Zhao G.F. and Williams J., 1998. Sensitivity of plant and

Références bibliographique

Soil ecosystems of the Alps to climate change. Views from the Alps: regional perspectives on climate change, pp: 225-308.

Tourquebiau E., 2015. Agroforesterie. Les mots de l'agronomie. Histoire et critique / Revue en ligne de l'INRA, http://mots-agronomie.inra.fr/mots_agronomie.fr/index.php/Agroforesterie

Virginie M., 2014. Les êtres vivants dépendent les uns aux autres. 27 pages.
<https://lewebpedagogique.com/michelsvt/>

Yeates G.W., 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. Biology and Fertility of Soils, 37(4), pp: 199-210.

Zhang H. and Schrader S., 1993. Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. Biology and fertility of soils, 15(3), pp: 229-234.

Sites internet

(<https://www.teteamodeler.com/ecologie/biologie/ecosysteme/classement.asp>)

(<https://agriculture-eco-performante.com/2017/10/29/lecosysteme-agricole/>)

