Université de Poitiers
Laboratoire EBI - UMR CNRS 7267
Batiment B31
3 rue Jacques Fort
TSA 51106
F-86073 POITIERS Cedex 9

2022-2023

Effet des différents modes de gestion sur la faune du sol au sein de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail

NOUALHIER JULIE
Première année de Master « Biodiversité Écologie Évolution » (BEE), parcours « Génie Écologique » (GE)

Pour toute diffusion, ce mémoire doit être obligatoirement accompagné de l'attestation de soutenance

Sous la direction de Kevin LELARGE
Conservateur Réserve Naturelle Nationale du Pinail
Moulin de Chitré - 86210 Vouneuil-Sur-Vienne.

En collaboration avec Julia CLAUSE
Laboratoire écologie et biologie des intéractions (EBI)
3 rue Jacques Fort - 86073 Poitiers

du 11 avril 2023 au 09 juin 2023

Attestation de soutenance & Appréciations du jury

Mlle /Mme /Mr .... ,

étudiant(e) en M1 EBP, a soutenu ce jour le présent mémoire, devant un jury composé d'enseignants-chercheurs et de chercheurs de l'Université de Poitiers.

Le jury, après délibération, a donné les appréciations suivantes :

- **Qualité générale du mémoire** :

Rédaction	Richesse du contenu	Qualité de l'analyse
❑ Excellente	❑ Excellente	❑ Excellente
❑ Très bonne	❑ Très bonne	❑ Très bonne
❑ Bonne	❑ Bonne	❑ Bonne
❑ Moyenne	❑ Moyenne	❑ Moyenne
❑ Médiocre	❑ Médiocre	❑ Médiocre

- **Qualité générale de la présentation orale** :

Prestation	Esprit de synthèse	Qualité de l'illustration
❑ Excellente	❑ Excellent	❑ Excellente
❑ Très bonne	❑ Très bon	❑ Très bonne
❑ Bonne	❑ Bon	❑ Bonne
❑ Moyenne	❑ Moyen	❑ Moyenne
❑ Médiocre	❑ Médiocre	❑ Médiocre

- **Déroulement du stage** (*Appréciations du Maître de stage*) :

Insertion dans l'équipe	Qualité d'assimilation	Implication personnelle
❑ Excellente	❑ Excellente	❑ Excellente
❑ Très bonne	❑ Très bonne	❑ Très bonne
❑ Bonne	❑ Bonne	❑ Bonne
❑ Moyenne	❑ Moyenne	❑ Moyenne
❑ Médiocre	❑ Médiocre	❑ Médiocre

En conséquence, les appréciations du jury, en l'état actuel du mémoire, sont les suivantes :

- Note sur le mémoire : / 20 (coeff. 0.6)
- Note sur l'oral : ..... / 20 (coeff. 0.4)
- Avis sur la divulgation du mémoire en l'état actuel :

❑ Autorisée sans modification.
❑ Autorisée après modifications majeures.
❑ Autorisée après modifications mineures.
❑ Non autorisée.
❑ Non divulgation pour clause de confidentialité

Fait à Poitiers, le :..... Signature et cachet du président du Jury :

Résumé

La réserve naturelle du Pinail, unique réserve du département de la Vienne, en région Nouvelle-Aquitaine, a été créée en 1980, sur la commune de Vouneuil-sur-Vienne. La réserve est composée de diverses habitats de lande et de plus de 6 000 mares. Le site a donc un intérêt écologique important au travers de l'oligotrophie et le caractère humide du milieu (Lelarge et al., 2018). De plus, la réserve abrite également une importante biodiversité floristique et faunistique. Dans l'objectif de comprendre au mieux les effets des différents modes de gestion sur les invertébrés du sol, un inventaire (faune épigée et endogée) a été réalisé sur ce site. Certains invertébrés du sol, au travers de différents groupes écologiques tels que les ingénieurs du sol et les détritivores, jouent un rôle dans la structuration et la porosité du sol. Deux paramètres importants pour la conservation du caractère humide du site.

Les quatre modes de gestion appliqués au sein de la réserve sont i) la non-intervention, ii) la fauche, iii) le brûlis et iv) le pâturage, pouvant avoir un impact sur le bon développement de la faune du sol. Cette étude a donc pour objectif de mesurer l'effet des modes de gestion sur la faune du sol au sein de cette réserve. Une importante diversité faunistique a été inventoriée et, grâce aux analyses préliminaires, nous avons pu observer un effet significatif des modes de gestion seulement sur la faune endogée (vers de terre), avec une diversité plus importante au sein des zones de fauche contrairement au pâturage. Aucune différence significative n'a pu être observée entre les différents modes de gestion pour ce qui est de la pédofaune épigée. Il serait également intéressant de poursuivre cette expérimentation sur le long terme, en réalisant des analyses complémentaires sur la composition du sol, afin de déterminer plus clairement, quelle mode de gestion favorise au mieux la biodiversité du sol, tout en prenant compte des facteurs abiotiques du milieu.

Mots clés

Biodiversité, Pédofaune, Zone humide, Conservation, Inventaire, Porosité, Changements climatique

Abstract

The Pinail nature reserve, the only reserve in the Vienne department of the Nouvelle-Aquitaine region, was created in 1980, in the commune of Vouneuil-sur-Vienne. The reserve comprises a variety of moorland habitats and over 6,000 ponds. The site, therefore has significant ecological interest through the oligotrophic, and wet, character of the environment (Lelarge et al., 2018). Furthermore, the reserve is also home to significant floral and faunal biodiversity. In order to better understand the effects of different management methods on soil invertebrates, an inventory (of epigeous and endogeous fauna) was carried out on site. Certain soil invertebrates, through different ecological groups such as soil engineers and detritivores, play a role in soil structuring and porosity. These are two important parameters for preserving the site's wetland character.

The four management methods applied within the reserve are i) non-intervention, ii) mowing, iii) burning and iv) grazing, all of which can have an impact on the development of soil fauna. The aim of this study is therefore to measure the effect of management methods on soil fauna within the reserve. A wide range of fauna was inventoried and, thanks to preliminary analyses, we were able to observe a significant effect of management methods only on endogeous fauna (earthworms), with greater diversity in mowed areas than in grazed areas. No significant difference was observed between the different management methods for epigeous soil fauna. It would also be interesting to continue this experiment over the long term, by carrying out additional analyses of soil composition, in order to determine more clearly which management method best favours soil biodiversity, while taking abiotic environmental factors into account.

Keywords

Biodiversity, Pedofauna, Wetland, Conservation, Inventory, Porosity, Climate Change

Remerciements

Avant tout propos, je souhaite remercier mon maître de stage, Mr Kevin LELARGE de m'avoir offert la possibilité d'effectuer mon stage au sein de son équipe et de m'avoir fait confiance en me proposant cette mission au sein de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail. Merci de ta confiance et de ton soutien durant toute cette période. Je te remercie également de m'avoir laissé prendre des initiatives et de l'autonomie durant le stage.

Je souhaite également remercier ma maître de stage au sein du laboratoire EES, Mme Julia CLAUSE de m'avoir offert la possibilité d'effectuer ce stage en collaboration avec l'équipe EES du laboratoire EBI. Merci de ta confiance et de toutes les connaissances que tu m'as permis de développer durant toute cette formation. Je te remercie également de m'avoir accompagnée sur le terrain pour les phases d'échantillonnages.

Je tiens également à sincèrement remercier l'ensemble de l'équipe de GEREPI. J'ai eu l'honneur de pouvoir côtoyer des personnes passionnées, bienveillantes et soucieuses de la biodiversité présente au sein de la réserve. Je les remercie également de la bonne ambiance au sein de l'équipe, durant l'entièreté du stage. J'ai été touchée par l'accueil qui m'a été offert et à l'avenir, j'espère pouvoir continuer à côtoyer les personnes qui composent cette équipe. Merci également de m'avoir permis de pouvoir participer aux différentes activités organisées par l'équipe, cela a été très intéressant et formateur.

Je souhaite également remercier Mathias et Louis, mes collègues de stage au sein du laboratoire EBI, qui ont réalisé leur stage en même temps que moi. Merci pour votre bonne humeur et de votre gentillesse. Nous avons partagé nos connaissances durant le stage, afin de nous entraider dans la détermination taxonomique.

Glossaire

ANOVA : analyses de variances

CNRS : centre national de la recherche scientifique

EBI : écologie et biologie des interactions

EES : écologie, évolution, symbiose

InEE : institut écologie et environnement

GEREPI : gestion de la réserve du Pinail

GLMM : modèles linéaires mixtes généralisés

LMM : modèles linéaires mixtes

MO : matière organique

NMDS : analyses multivariées de positionnement multidimensionnel non-métrique

OPVT : observatoire participatif des vers de terre

Qubs : qualité biologique des sols

RAMSAR : convention sur les zones humides

RNN : réserve naturelle nationale

UMR : unité mixte de recherche

ZSC : zone spéciale de conservation

Avant-propos

Mon stage se réalise au sein de l'association GEREPI (GEstion de la REserve du PInail), association loi 1901 créée en 1988. Elle est gestionnaire avec des acteurs locaux de la Réserve Naturelle Nationale (RNN) du Pinail. À partir de 2001, GEREPI développe son volet associatif, en fixant des objectifs à la fois d'accompagnement et d'expertises en lien avec les problématiques environnementales au travers de divers points (*Gestion – Réserve Naturelle Nationale du Pinail*, 2023).

L'association est présidée par Mr. Roland Raimond depuis 2017 et est composée d'une équipe de 4 permanents avec des compétences complémentaires : un conservateur, un chargé d'études scientifiques, un technicien et une éco-animatrice. Une secrétaire à temps partiel travaille également avec l'équipe pour les démarches administratives (Lelarge et al., 2018). Cette équipe se voit souvent rejointe par de jeunes actifs ou en formation (*Gestion – Réserve Naturelle Nationale du Pinail*, 2023). L'objectif de l'association, à travers son rôle de gestionnaire, est de pouvoir mettre en place divers suivis et études scientifiques afin de perfectionner ses connaissances sur le patrimoine naturel de la réserve et de mettre en œuvre des travaux de gestion pour protéger ce dernier (Lelarge et al., 2018). Au travers de son volet de sensibilisation sur les enjeux environnementaux et la protection du patrimoine naturel, l'association met également en place diverses actions de communication et d'éducation à l'environnement (Lelarge et al., 2018).

Ce stage se déroule également en collaboration avec le laboratoire d'Écologie et Biologie des Interactions (EBI), et plus particulièrement avec l'équipe Écologie, Évolution, Symbiose (EES). Ce laboratoire est une Unité Mixte de Recherche (UMR) de l'Université de Poitiers rattachée à l'Institut Écologie et Environnement (InEE) du CNRS créée en 2012 (*Laboratoire EBI – Université de Poitiers*, 2022). Les activités de recherche de l'équipe EES sont portées sur l'analyse des associations symbiotiques et sur l'étude des interactions entre crustacés et les microorganismes afin d'analyser les conséquences de cette interaction à différents niveaux. L'ensemble de leurs travaux est réalisé selon trois grands thèmes de recherche étroitement liés et complémentaires qui sont : i) impact évolutif de la symbiose ; ii) interactions dans l'holobionte ; iii) biodiversité et agrosystèmes. Ce dernier thème est celui qui est le plus en lien avec ma thématique de recherche (*Ecologie, Evolution, Symbiose – Laboratoire EBI*, 2022). Les deux structures sont complémentaires et permettent d'une part de travailler au sein d'un milieu riche en biodiversité et d'autre part de participer à l'élaboration d'une étude scientifique inédite au sein de ces deux structures.

Table des matières

Introduction 1

Matériels et méthodes 3

i. Sites d'échantillonnages sur la réserve du Pinail 3

ii. Protocoles d'échantillonnages 6

a. Protocole vers de terre 6

b. Protocoles pédofaune épigée 7

c. Propriétés du sol et rétention de l'eau 8

iii. Analyses des données 9

Résultats 10

i. Protocole vers de terre 10

ii. Effet sur la pédofaune épigée 13

Discussion 15

i. Diversité de la faune du sol au sein de la réserve du Pinail 15

ii. Effet des modes de gestion sur les populations de vers de terre 16

iii. Effet des modes de gestion sur la pédofaune épigée 18

Conclusion 20

Références bibliographiques 22

Annexes 27

Annexe 1 : Tableau représentant les différents protocoles OPVT (*OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre*, 2023) 27

Annexe 2 : photographie montrant le pot F2.b.1 placé en Fauche 2 qui a été impacté par les forte pluie et le fort engorgement du sol 28

Annexe 3 : Tableau représentant les moyennes par groupes écologiques pour la faune endogée et par ordre pour la faune épigée en fonction des modes de gestion. 29

Table des figures

Figure 1: Carte représentant les différents modes de gestion avec les neuf quadrats de 1 ha au sein de chaque zone de gestion de la Réserve Naturelle du Pinail, ainsi que l'emplacement des points d'échantillonnages des différents protocoles (d'après Dupont & Sellier, 2017). ……..5

Figure 2 : Influence des modes de gestion sur l'abondance (A), la richesse spécifique(B) et l'indice de diversité de Shannon(C) des vers de terre. Les modes de gestion étudiés sont la non-intervention (vert clair), la fauche (orange), le brulis (jaune), et le pâturage (rouge). Modèle généralisé linéaire mixte (GLMM, α =0.05). Des lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes (Tukey, alpha = 0.05)……..……..11

Figure 3 : Influence des habitats sur l'abondance des vers de terre. Les habitats étudiés sont mésophile (rouge), méso-sec (orange), sec (jaune), et sec à ptéridaie (vert). Modèle généralisé linéaire mixte (GLMM, α =0.05). Des lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes (Tukey, alpha = 0.05)……12

Figure 4 : Graphique des deux premiers axes de l'analyse de positionnement multidimensionnel non-métrique (NMDS) réalisé à partir de la composition spécifique de la pédofaune endogée (14 espèces sur 16, représentées par les flèches). Les ellipses incluent les 'n' échantillonnages de chaque mode de gestion (niveau de confiance : 0.95). Stress =0,21……..…..13

Figure 5 : Influence des modes de gestion sur l'abondance(A), la richesse spécifique(B) et l'indice de diversité de Shannon(C) de la pédofaune épigée. Les modes de gestion étudiés sont la non-intervention (vert clair), la fauche (orange), brulis (jaune), et le pâturage (rouge). Modèle généralisé linéaire mixte (GLMM, α =0.05). ……..14

Figure 6 : Graphique des deux premiers axes de l'analyse de positionnement multidimensionnel non-métrique (NMDS) réalisé à partir de la composition spécifique de la pédofaune épigée (33 morphotypes sur 49, représentées par les flèches). Les ellipses incluent les 'n' échantillonnages de chaque mode de gestion (niveau de confiance : 0.95). Stress =0,08……15

Table des tableaux

Tableau 1 : Nombre total d'individus et d'espèces de vers de terre par groupe écologique……..10

Tableau 2 : Nombre total d'individus et de morphotypes identifiés par Ordre en fonction de la méthode d'échantillonnage (les valeurs en gras représentent les pots qui ne sont pas inclus dans les analyses)……13

Introduction

Le site de la réserve naturelle du Pinail a subi plusieurs perturbations (défrichement de bois, pâturage et chasse par exemple) et la pierre meulière représente une grande partie de l'histoire de sa gestion, qui a été exploitée probablement de l'époque gallo-romaine jusqu'au XIXème siècle (Lelarge et al., 2018). Cette exploitation s'est traduite par l'existence de nombreuses fosses séparées les unes des autres par des monticules de déblais qui ont évolué en mares et en tourbières (Lelarge et al., 2018). Ainsi, l'extraction de la pierre (sous forme de meule ou de matériaux de construction) ainsi que les pratiques traditionnelles de prélèvements des végétaux ont constamment générés des sols remaniés et propices au développement d'une flore et d'une faune oligotrophe (Lelarge et al., 2018).

Aujourd'hui, le site du Pinail contient la Réserve naturelle nationale (RNN) du Pinail, créée par décret ministériel en 1980. Ce dernier fixe la délimitation et la réglementation de l'espace protégé dont l'instauration a été motivée par la mise en défens d'un secteur des landes du Pinail, celui concentrant les anciennes fosses d'extraction de pierres meulières, alors soumises à une politique de réhabilitation sylvicole (Lelarge et al., 2018). Le site du Pinail n'est pas épargné par le changement climatique et est soumis à des sécheresses de plus en plus fréquentes et intenses, ce qui est problématique pour une zone humide. Aujourd'hui, l'un des principaux enjeux de la réserve est de comprendre comment favoriser la rétention de l'eau dans le cadre de la préservation des écosystèmes présents. Pour ce faire, diverses études sur la géologie de la réserve ont été effectuées (Lelarge et al., 2018). Le milieu est oligotrophe avec un sol perturbé composé en grande majorité d'argile, d'une marne calcaire et de pierre meulière (Lelarge et al., 2018). De plus, des suivis biologiques ont déjà mis en évidence une biodiversité exceptionnelle, principalement concentrés sur la faune aérienne et aquatique. Dans l'objectif d'élargir les connaissances sur cette biodiversité, et plus précisément sur les invertébrés du sol, un inventaire de la faune épigée et endogée a été réalisé sur ce site, afin d'observer une relation entre les différentes communautés d'invertébrés présents sur la réserve et la porosité des sols.

La structure du sol évolue à cause des changements de facteurs exogènes comme le climat ou la gestion des terres, mais est également influencée par divers processus biologiques et physiques (Meurer et al., 2020). À long terme, le changement climatique ou l'adoption de pratiques de gestion défavorable peuvent affecter négativement la structure du sol (Meurer et al., 2020). Ainsi, le développement des communautés de la faune du sol dépend de diverses variations

structurelles, tel que de la végétation ou des propriétés du sol. (Clause et al., 2022). Ainsi, le pH a un effet sur les communautés de vers de terre et plus spécifiquement sur la biomasse (Nordström & Rundgren, 1974), mais pour les arthropodes, les données expérimentales permettant de visualiser une influence du pH en fonction des espèces font défaut (Van Straalen & Verhoef, 1997). D'autres facteurs abiotiques peuvent également influencer la présence des invertébrés du sol comme des niveaux élevés de zinc dans le sol ou la pollution atmosphérique (SO_2) (Van Straalen, 1998). L'assèchement de certains milieux et l'accumulation de matière organique (MO) devraient influencer la fonctionnalité du milieu comme la décomposition de la MO et la porosité des sols, accélérant ou freinant potentiellement les modifications du milieu (Coyle et al., 2017).

Certains groupes fonctionnels, composant la faune du sol, jouent des divers rôles sur la structuration du sol, comme : les ingénieurs du sol, les décomposeurs ou détritivores, etc… Ainsi, les ingénieurs du sol modifient la structure du sol, la composition des matières minérales et organiques et l'hydrologie (par exemple les vers de terre, fourmis et termite) en réalisant un réseau souterrain de tunnels et galeries (Culliney, 2013). Cela permet d'améliorer la porosité des sols en assurant une aération et une capacité de rétention d'eau adéquates dans les sous-sols, tout en faciliter la pénétration des racines, d'empêcher la formation de croûtes en surface et de limiter l'érosion de la couche arable (Culliney, 2013). Les détritivores, quant à eux, affectent la transformation de la MO directement en la fragmentant et la digérant (Auclerc et al., 2022). Dans l'ensemble, ils peuvent favoriser la perte de masse de litière et son incorporation dans le sol sous-jacent (Auclerc et al., 2022). Les invertébrés détritivores (myriapodes et isopodes par exemple) ont un impact direct sur la transformation de la MO (Auclerc et al., 2022).

Les propriétés du sol peuvent également dépendre des modes de gestion, et donc influencent le développement de la biodiversité (Clause et al., 2022). En effet, d'après des résultats précédents, les modes de gestion impactent la biodiversité aérienne et aquatique sur la réserve de différentes façons (Lelarge et al., 2018). Le brûlage et le pâturage sont les deux modes qui préservent le mieux la biodiversité des landes et mares (Lelarge et al., 2018). Le brûlis élimine l'entièreté de la végétation et pourrait rendre la terre défavorable à la pédofaune, via la hausse de température et la présence de cendres et de charbon sur le sol. Cependant, la température du sol n'est pas affectée par le feu au-delà des premiers centimètres de la surface, et la présence de cendres et charbon sur le sol et dans les mares n'a pas d'effet significatif pressenti sur la pédofaune autre qu'épigée (K. Lelarge, comm. pers.). La coupe avec export de la végétation, quant à elle, est un autre mode de gestion qui permet, dans une moindre mesure, de préserver la faune aérienne et aquatique (Lelarge et al., 2018). En comparaison, le site Natura 2000 Landes et zones humides de la

Haute Vézère (19) ont des pratiques de gestion qui sont similaire à celle pratiquées à la RNN du Pinail comme le pâturage et la fauche (GUITTONNEAU, 2023).

Ainsi, l'étude porte sur la détermination des effets des différents types de gestions sur la faune du sol au sein de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail. Quatre modes de gestion des habitats sont présents sur le site : 1) le pâturage, 2) la coupe de brande, 3) le brûlis, 4) la non-intervention. Ainsi, les objectifs sont : i) de dresser une première liste d'espèces d'invertébrés du sol sur la réserve, ii) d'évaluer l'impact des modes de gestion sur leur diversité et répartition, et iii) d'initier l'établissement d'un lien entre ces communautés et des fonctionnalités-clés du milieu.

Compte tenu de la richesse floristique et faunistique et de la diversité des habitats, nous nous attendons à trouver une pédofaune diversifiée, avec des différences en fonction des modes de gestion montrées ou potentielles, notamment liées à leur impact sur le sol et la végétation (Lelarge et al., 2018, Clause et al., 2022).

Matériels et méthodes

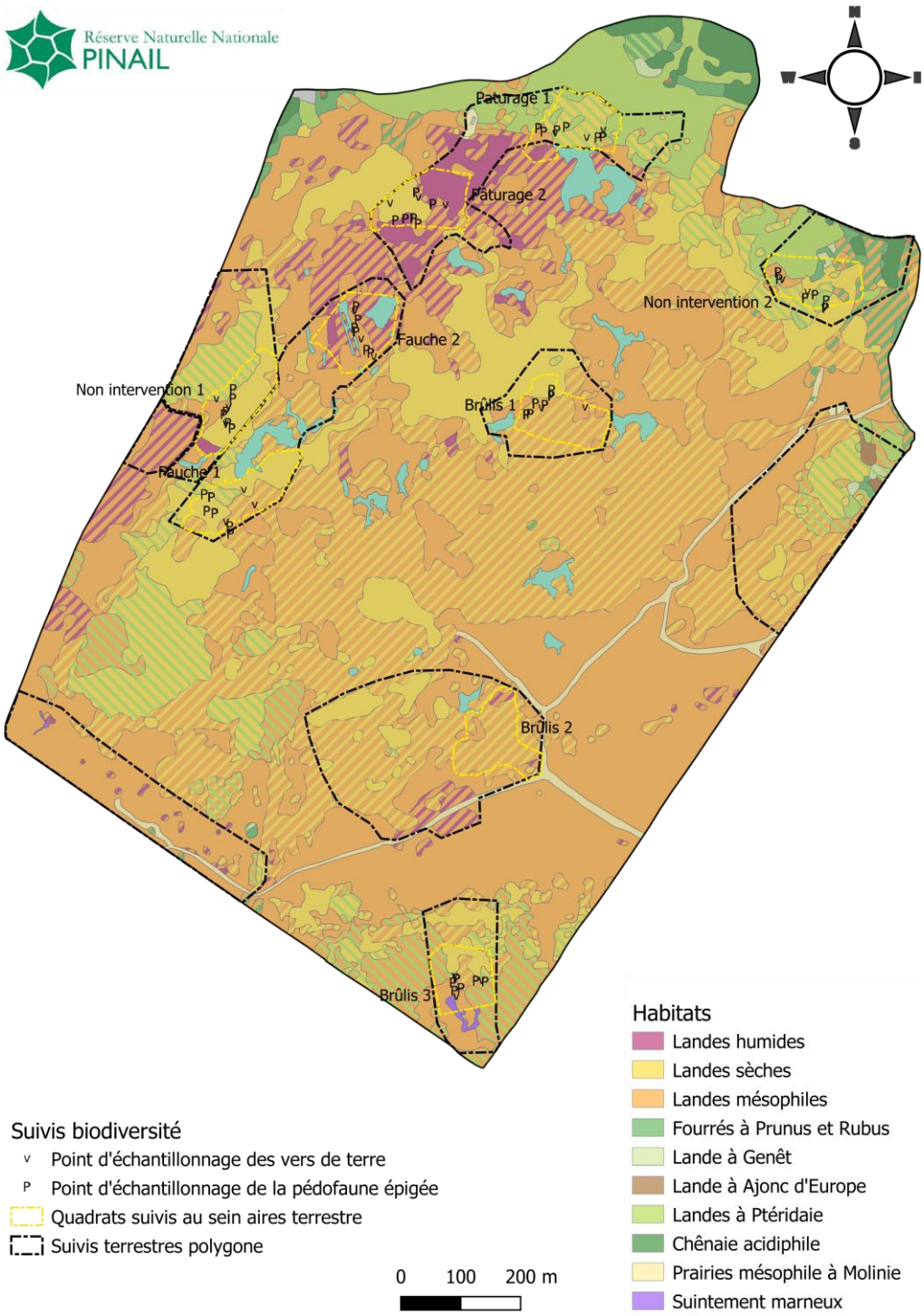
i. Sites d'échantillonnages sur la réserve du Pinail

La Réserve Naturelle Nationale (RNN) du Pinail, seule réserve naturelle nationale en Vienne (86) en Nouvelle-Aquitaine, elle est située sur la commune de Vouneuil-sur-Vienne, entre Poitiers et Châtellerault. La réserve s'étend sur 142 hectares, faisant partie des 923 hectares que constituent les landes du Pinail. C'est un site classé en zone spéciale de conservation (ZSC), et labellisé RAMSAR depuis 2021 (Lelarge et al., 2018). Le sol de ce site est principalement formé de marne et de calcaire en profondeur, avec en surface, un sol essentiellement argileux et limoneux. La présence de bancs de meulières sur le site, une roche siliceuse presque pure marque l'histoire de la réserve (Lelarge et al., 2018).

La réserve abrite divers habitats terrestres, principalement représentés par des milieux de lande (Lelarge et al., 2018). Ces habitats sont principalement composés de formations végétales de type arbustif et herbacé, définit par des milieux à sol superficiel, pauvre et acide, qui représente un recouvrement de 106,3 hectares (75% de la superficie totale)(Lelarge et al., 2018). L'habitat principalement présent sur la réserve est une lande mésophile à bruyère à balai (*Erica scoparia*)(Lelarge et al., 2018). Les landes sèches avec ou sans présence de ptéridaie représentent une part moins importante du recouvrement du site [Figure 1]. La réserve du Pinail possède un

climat à dominance océanique avec une température moyenne annuelle de 11,75 °C et des précipitations moyennes annuelles de 685,6 mm(Lelarge et al., 2018).

Tous les protocoles ont été réalisés sur des zones représentatives des quatre modes de gestion, en se limitant à deux “quadrats” par zone, soit huit quadrats au total : deux en zone de brûlis (zones 1 et 3 ; [Figure 1]), deux en pâturage (zones 1 et 2 ; [Figure 1]), deux en zone de fauche (zones 1 et 2; [Figure 1]), et deux en zone de non-intervention (zones 1 et 2; [Figure 1]). De plus, le positionnement des points les zones d’échantillonnages ont été représentés à l’aide du logiciel Qgis version 3.16.15 (Équipe de développement QGIS, 2023) et leurs données de géoréférencement ont été récupérées grâce à l’application Plans®, avec un rayon de précision de positionnement d’environ cinq mètres. La carte permet également de vérifier sur quel type d’habitat, les échantillonnages ont été réalisés [Figure 1].



<u>Figure 1</u> : Carte représentant les différents modes de gestion avec les neuf quadrats de 1 ha au sein de chaque zone de gestion de la Réserve Naturelle du Pinail, ainsi que l'emplacement des points d'échantillonnages des différents protocoles (d'après Dupont & Sellier, 2017).

La gestion mise en place au sein de la réserve est réalisée à différentes échelles, d'une surface de plusieurs hectares jusqu'à une unité de « micro gestion » pour une intervention plus spécifique à des habitats ou espèces en particulier (Lelarge et al., 2018). Les zones de non-intervention représentent 10% de la superficie de la réserve, avec une libre évolution de la végétation (Lelarge et al., 2018). 9% de la réserve sont gérés par de la fauche sélective de la bruyère

à balais avec un export de la matière organique dans l'objectif de maintenir l'oligotrophie sur le site, et ce, tous les 6 ans (Lelarge et al., 2018). Pour le brûlage dirigé, 71 % de la réserve sont gérés avec ce mode de gestion, et ce, tous les 8 ans. Cette méthode permet d'ouvrir les milieux ainsi que de maintenir la pauvreté du sol. Elle permet également le développement d'espèces pyrophytes et de réduire le risque d'incendie sur le site de la réserve (Lelarge et al., 2018). Pour terminer, la zone de pâturage représente 10% de la superficie de la réserve, avec un cheptel composé de 31 moutons solognotes et de 3 chèvres poitevines en 2022 (Lelarge et al., 2022). Cette pratique est douce et préserve au mieux la biodiversité des landes et des marres (Lelarge et al., 2018).

ii. Protocoles d'échantillonnages

Plusieurs protocoles ont été mis en place afin d'échantillonner le plus exhaustivement la biodiversité faunistique des invertébrés tout en prenant en compte des considérations éthiques. Les organismes ciblés sont les vers de terre compte tenu de leur rôle d'ingénieurs des sols, et la pédofaune épigée, impliquée dans la multifonctionnalité des habitats. Les différents échantillonnages se sont déroulés entre le 25 avril et le 10 mai 2023.

a. Protocole vers de terre

Le protocole d'extraction sélectionné provient de **l'Observatoire Participatif des Vers de Terre** (OPVT) (*OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre*, 2023). Sur les trois protocoles proposés (Annexe 1), le protocole standardisé **« Moutarde et Tri manuel »** a été retenu, car il a permis d'obtenir le plus d'exhaustivité de l'échantillonnage. Un test en amont avait permis de vérifier la bonne assimilation de l'eau par le sol et la possibilité technique de la réalisation sur le terrain (transport du matériel, accès à un point d'eau facilement etc…).

Ce protocole comporte deux étapes : i) l'arrosage du sol avec de l'eau moutardée afin de faire remonter à la surface les vers de terre irrités par la moutarde et ii) l'extraction à la pelle bêche puis le tri manuel d'un bloc de sol de 25 x 25 x 20 cm afin de récupérer les vers de terre qui ne seraient pas sortis lors des arrosages (*OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre*, 2023). Trois zones d'échantillonnages de 1 m² ont été effectuées pour chaque quadrat. Elles ont été positionnées en fonction du type d'habitat et espacées d'au moins six mètres entre chaque zone. En fonction des conditions du milieu, les zones ont été positionnées si possible sur une surface plane, homogène et représentative de la parcelle, avec une végétation coupée à ras. En fonction des quadrats, des adaptations ont dû être effectuées. L'échantillonnage comporte deux arrosages homogènes d'eau moutardée par zone suivis de 15 minutes de ramassage des vers de terre

remontés à la surface après chaque arrosage. Six arrosages sont donc à préparer en tout pour chaque quadrat. Seuls les individus qui sortent à l'intérieur de la zone repérée sont récoltés et stockés dans une bassine d'eau afin que le rinçage évite leur mort.

Après l'échantillonnage par la moutarde, un bloc de sol a été extrait au sein du mètre carré avec une bêche. Une fois émietté en mottes de terre assez petites, les vers de terre présents au sein du bloc ont été échantillonnés et placés dans un bac d'eau différent et comptés séparément. Les vers ont été lavés et identifiés au groupe écologique et à l'espèce sur place à l'aide de différentes clés d'identification (*OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre*, 2023). Les trois groupes écologiques utilisés étaient : épigés, endogés et anéciques (tête rouge et tête noire)(*OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre*, 2023,). Cette classification est construite autour de caractéristiques de galeries et de position dans le profil du sol différentes (Capowiez et al., 2022). La pertinence de cette classification est discutée dans la littérature, avec l'existence de catégorie intermédiaire comme les épi-anécique ou les épi-endogée (Bouché, 1977). Le nombre de vers de terre issus du tri des blocs de sol a été multiplié par 16 pour rapporter les résultats à l'échelle du mètre carré. Après avoir identifié les individus, ils ont été relâchés à distance du quadrat (*OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre*, 2023).

b. Protocoles pédofaune épigée

Deux protocoles d'échantillonnage de la pédofaune épigée ont été réalisés sur les différents quadrats de la réserve. Cependant, le sujet ne porte pas sur la comparaison des deux modes d'échantillonnages, mais plutôt de la complémentarité de ces deux protocoles, afin de pouvoir avoir une liste assez exhaustive de la diversité faunistique. Afin de réduire l'aspect destructif de la méthode scientifique traditionnelle (pots Barber), l'intention a été de combiner les deux protocoles pour diviser par deux la mortalité des individus, tout en préservant cette notion d'exhaustivité. Au sein de chaque quadrat d'échantillonnage de 1 hectare, trois pots éthiques et trois pots destructifs ont été placés a au moins 10 mètres de distance chacun. Au total, 48 pots ont été installés au sein de la réserve, soit 24 pots par protocole. Les gobelets ont été installés légèrement sous la surface du sol de sorte que ses bords ne dépassent pas du tout la surface pour permettre aux individus de petite taille de pouvoir également tomber dedans. Les gobelets ont été protégés de la pluie et de la possible prédation par un petit toit (Auclerc & Blanchart, 2019; *QUBS*, 2022). La mise en place des gobelets a été réalisé sur quatre jours, avec 24 gobelets posés dont 12 récupérés les deux premiers jours et les 24 derniers posés avec 12 pots éthiques récupérés les deux derniers jours.

- **Pot éthique**

Le protocole dit “éthique” repose sur le protocole **Qubs** (*QUBS*, 2022). Le programme de suivi participatif de la **Qualité biologique des sols** ou **Qubs** est un programme de sciences participatives accessible à tous pour évaluer la diversité et l’abondance des invertébrés actifs la nuit à la surface du sol qui renseigne sur l’état des sols. Il est inspiré et adapté du programme partenaire **Jardibiodiv** (*QUBS*, 2022). Une phase de test préalablement a été réalisée en amont afin de mesurer le temps de réalisation du protocole. Des gobelets contenant un coton humide ont été insérés dans le sol dans un endroit où ils ne risquaient pas d'être détruit. Après 24 heures, les individus récoltés ont été photographiés collectivement dans le gobelet puis individuellement dans une pochette plastique contenant du papier millimétré. Cela permet de mesurer leur taille, la pression du plastique immobile les individus et facilite la prise de photo et l'identification. Les individus ont ensuite été relâchés à l’endroit de leur capture. Chaque individu a été identifié sur photo à l’aide de clés de détermination et d’iNaturalist, un réseau social en ligne de naturalistes (*iNaturalist*, 2023).

- **Pot Barber**

Le protocole dit “destructif” correspond au protocole de piégeage Barber (Auclerc & Blanchart, 2019). Les gobelets remplis de moitié d’eau salée à saturation et de savon liquide ont été insérés dans le sol aux lieux souhaités (Auclerc & Blanchart, 2019). Les gobelets ont été laissés une semaine sur le terrain puis récupérés, le contenu est transvasé et les individus de chaque pot sont triés. Après cette première phase de tri, une seconde plus poussée a été réalisée afin d’identifier les organismes le plus précisément possible dans le temps imparti en se focalisant sur des groupes fonctionnels, en lien avec la porosité des sols, afin de conclure une première réponse. Chaque organisme identifié obtiendra un numéro de morphotype (ex : HY 01 pour HYménoptère 01). Les mouches, moustiques, papillons adultes, ainsi que les hyménoptères ailés ne font pas partie de la faune du sol, ils ne sont donc pas considérés dans les analyses (Auclerc & Blanchart, 2019).

c. Propriétés du sol et rétention de l’eau

La température et l’humidité du sol ont été relevées à proximité des lieux d’échantillonnage des vers de terre et des pièges Barber. La température est mesurée en un point par zone d’échantillonnage, soit 48 mesures, et l’humidité est relevée puis moyennée à partir de trois points autour de la zone.

Le pH a été analysé en laboratoire sur un échantillon de terre prélevé sur chaque quadrat d’échantillonnage des vers de terre. Après un tamisage à sec (maille 4 mm), 100 à 150 grammes de terre ont été séchés (à température ambiante durant 5 jours), et 10 grammes ont été dilués avec

50 mL d'eau bidistillée. Le pH-eau a ensuite été mesuré avec un pH-mètre de laboratoire Mettler Toledo®

iii. Analyses des données

Les différentes analyses ont été réalisées grâce à l'aide du logiciel R version 4.3.0 (R Core Team & R Foundation for Statistical Computing, 2023). Les échantillons de la pédofaune (éthiques et destructifs) ont été analysés ensemble et séparément de la faune endogée (vers de terre). À ce stade, tous les individus de la pédofaune épigée provenant des pièges destructifs n'ont pas encore été analysés dans leur ensemble. Par conséquent, les analyses ont été effectuées sur les ordres d'ores et déjà identifiés sur l'ensemble des pots (éthique et destructif) qui sont : les isopodes, les opilions, les myriapodes, les hyménoptères, les archaegnathes, les stylommatophores, les orthoptères, et les larves. Pour les autres ordres (coléoptères, araignées, hémiptères, collemboles et acariens) seuls les individus des pots éthiques ont été comptabilisés pour les analyses.

L'abondance, la richesse spécifique, ainsi que les indices de diversité de Shannon et Simpson ont été calculés afin d'évaluer l'influence de chaque mode de gestion sur le développement et la diversité des individus. Des analyses de variances (ANOVA) pour les deux types de faune du sol ont été effectuées sur chaque modèle, complétées par un test de Tukey lorsqu'un effet significatif a été observé. Ces analyses ont été effectuées sur des Modèles Linéaires Mixtes (LMM) et Modèles Linéaires Mixtes Généralisés (GLMM). Les résultats sont présentés sous forme de gradient présumé de l'impact croissant des modes de gestion sur la pédofaune (Non-intervention, Fauche, Brûlis, Pâturage) (J. Clause, comm. pers.). Pour la faune endogée, des ANOVA ont également été effectuées sur chaque modèle avec un test de Tukey afin de mesurer des différences en fonction des habitats. Compte tenu de l'hétérogénéité des milieux gérés, un éventuel effet "habitat" a été évalué à partir de quatre habitats différents : Mésophile, Méso-sec, Sec, Sec à ptéridaie. Un seul point d'échantillonnage réalisé au sein d'une lande Méso-hygrophile a donc été associé avec l'habitat Mésophile, le plus similaire.

Des analyses multivariées de positionnement multidimensionnel non-métrique (NMDS) basées sur des distances de Jaccard ont été effectuées sur les deux types de faune du sol afin de visualiser l'effet des modes de gestion sur les compositions morpho-spécifiques possédant au moins deux individus.

Résultats

i. Protocole vers de terre

1239 individus appartenant à 15 espèces différentes regroupés par groupe écologique ont été identifiés sur l'ensemble des modes de gestion [Tableau 1].

Tableau 1 : Nombre total d'individus et d'espèces de vers de terre par groupe écologique

Groupe écologique	Nombre total d'individus	Nombre total d'espèces
Épigée	510	3
Endogée	307	6
Anécique	281	6
Autre	141	2

L'abondance de vers de terre ne varie pas en fonction des différents modes de gestion (GLMM, df = 3, X^2 = 5.58, P = 0.13 ; Fig. 2A), contrairement à la richesse spécifique (GLMM, df = 3, X^2 = 13.81, P = 0.003** ; Fig. 2B), avec une richesse significativement plus importante dans le milieu fauché par rapport au milieu pâturé [Figure 2 A et B]. Les zones de brûlis et de non-intervention présentes une richesse spécifique intermédiaire.

Les indices de diversité de Shannon (GLMM, df = 3, X^2 = 11,67, P = 0.008** ; Fig. 2C) et Simpson (GLMM, df = 3, X^2 = 13.25, P = 0.004**) ont montré les plus fortes diversités de vers de terre dans les zones de fauche, suivie des zones de non-intervention et de brûlis et enfin les zones pâturées [Figure 2C].

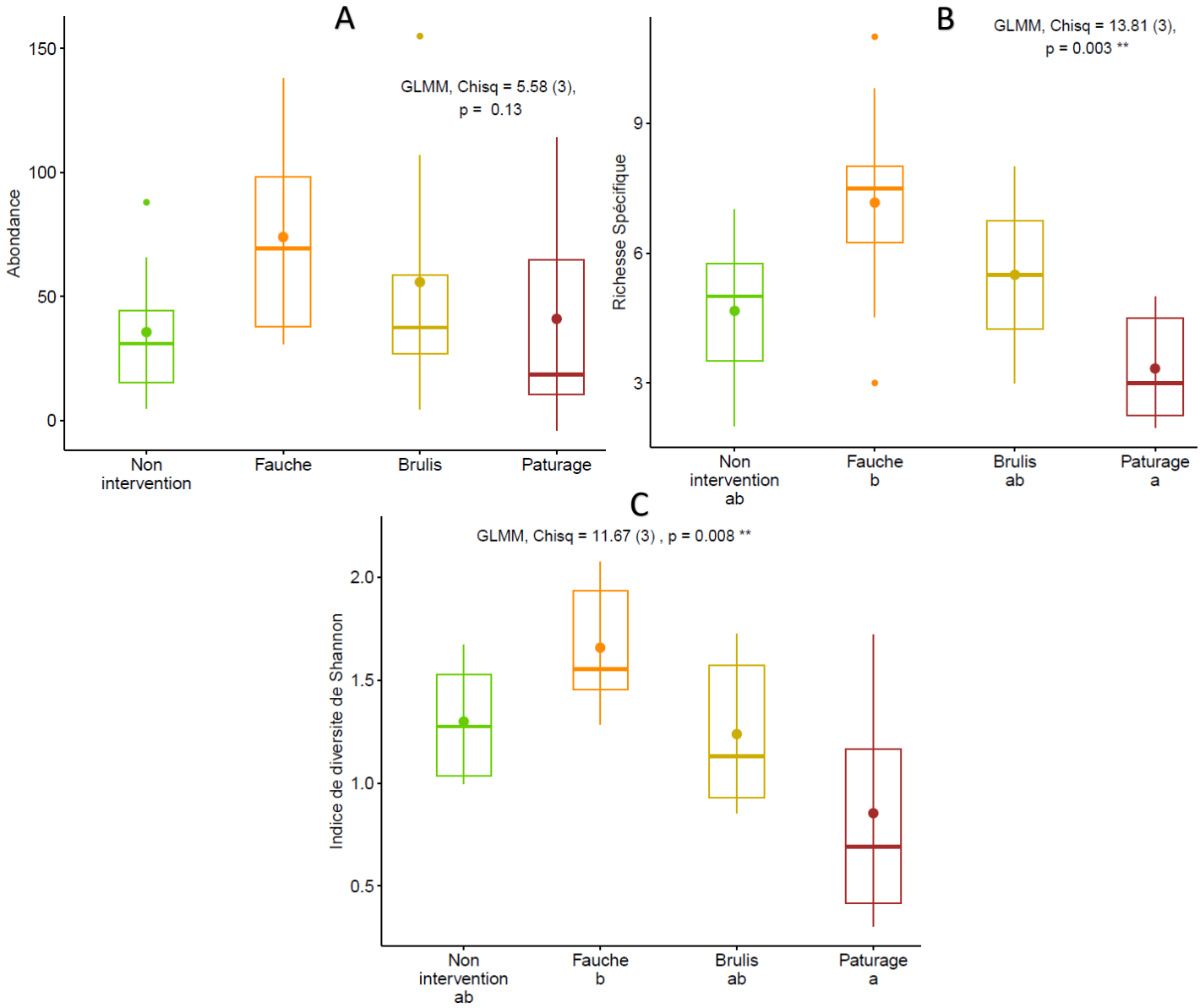


Figure 2 : Influence des modes de gestion sur l'abondance (A), la richesse spécifique(B) et l'indice de diversité de Shannon(C) des vers de terre. Les modes de gestion étudiés sont la non-intervention (vert clair), la fauche (orange), le brûlis (jaune), et le pâturage (rouge). Modèle généralisé linéaire mixte (GLMM, α =0.05). Des lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes (Tukey, alpha = 0.05).

Il n'y a pas de différences significatives des divers facteurs abiotiques entre les différents modes de gestion (l'humidité : GLMM, df = 3, X^2 = 2.70, P = 0.44 ; la température du sol : GLMM, df = 3, X^2 = 3.40, P = 0.33 ; GLMM, df = 3, X^2 = 6.15, P = 0.10).

La richesse spécifique des vers de terre (GLMM, df = 3, X^2 = 3.49, P = 0.32) ne varie pas en fonction des différents habitats. L'abondance, quant à elle, diffère significativement en fonction des habitats (GLMM, df = 3, X^2 = 11.83, P = 0.008**). On observe donc une différence significative de l'abondance de vers de terre entre les habitats mésophile et sec à ptéridaie [Figure 3].

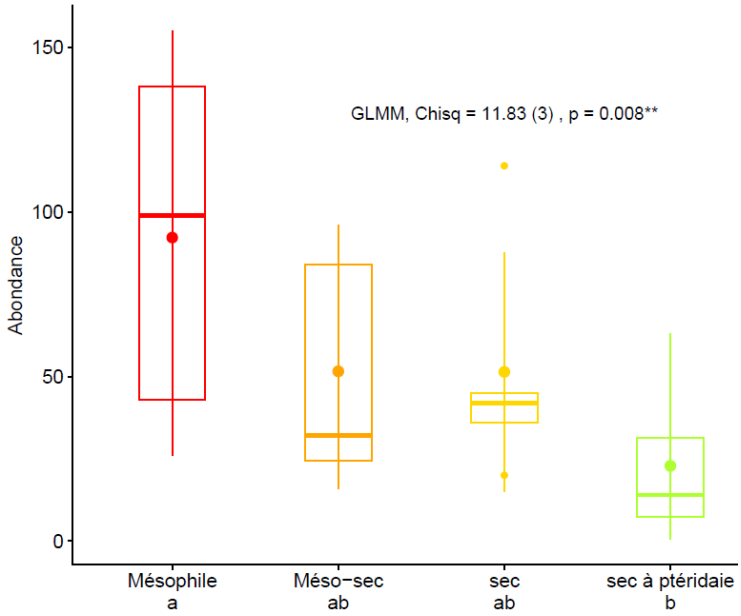


Figure 3 : Influence des habitats sur l'abondance des vers de terre. Les habitats étudiés sont mésophile (rouge), méso-sec (orange), sec (jaune), et sec à ptéridaie (vert). Modèle généralisé linéaire mixte (GLMM, α =0.05). Des lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes (Tukey, alpha = 0.05).

Pour les résultats de la NMDS, la différence entre les modes de gestion n'est pas significative, car les modes de gestion se superposent [Figure 4]. L'axe 1 traduit le gradient de gestion. On ne peut pas déterminer s'il y a une représentation différente des espèces en fonction des modes de gestion. Cependant, au sein de la zone pâturée, il semble y avoir une plus grande représentation des endogées adultes (*endo.ad*) par rapport aux autres modes de gestion. La zone de non-intervention semble avoir une plus grande représentation des espèces anéciques (*l.rubellus, a.longa, anecic.j et l.terrestris*) au sein des différents échantillons. Les zones de brûlis, quant à elles, semblent posséder une représentation plus importante de vers de terre endogées et anéciques (*o.cyaneum, a.caliginosa et a.giardi*). Il n'y a pas d'espèce caractéristique au sein des zones de fauches.

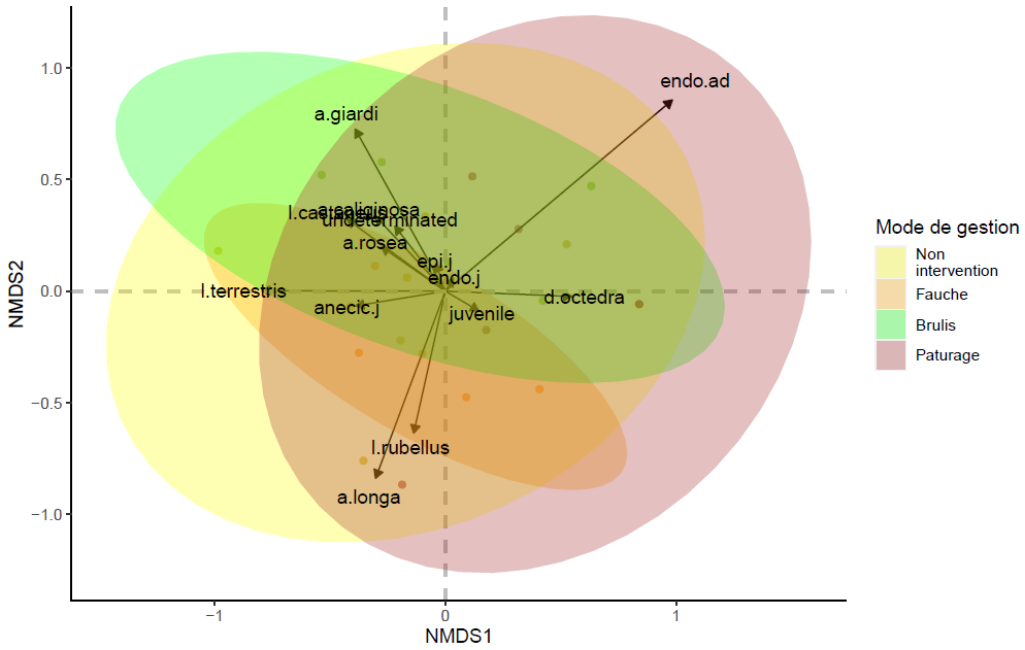


Figure 4 : Graphique des deux premiers axes de l'analyse de positionnement multidimensionel non-métrique (NMDS) réalisé à partir de la composition spécifique de la pédofaune endogée (14 espèces sur 16, représentées par les flèches). Les ellipses incluent les 'n' échantillonnages de chaque mode de gestion (niveau de confiance : 0.95). Stress =0,21.

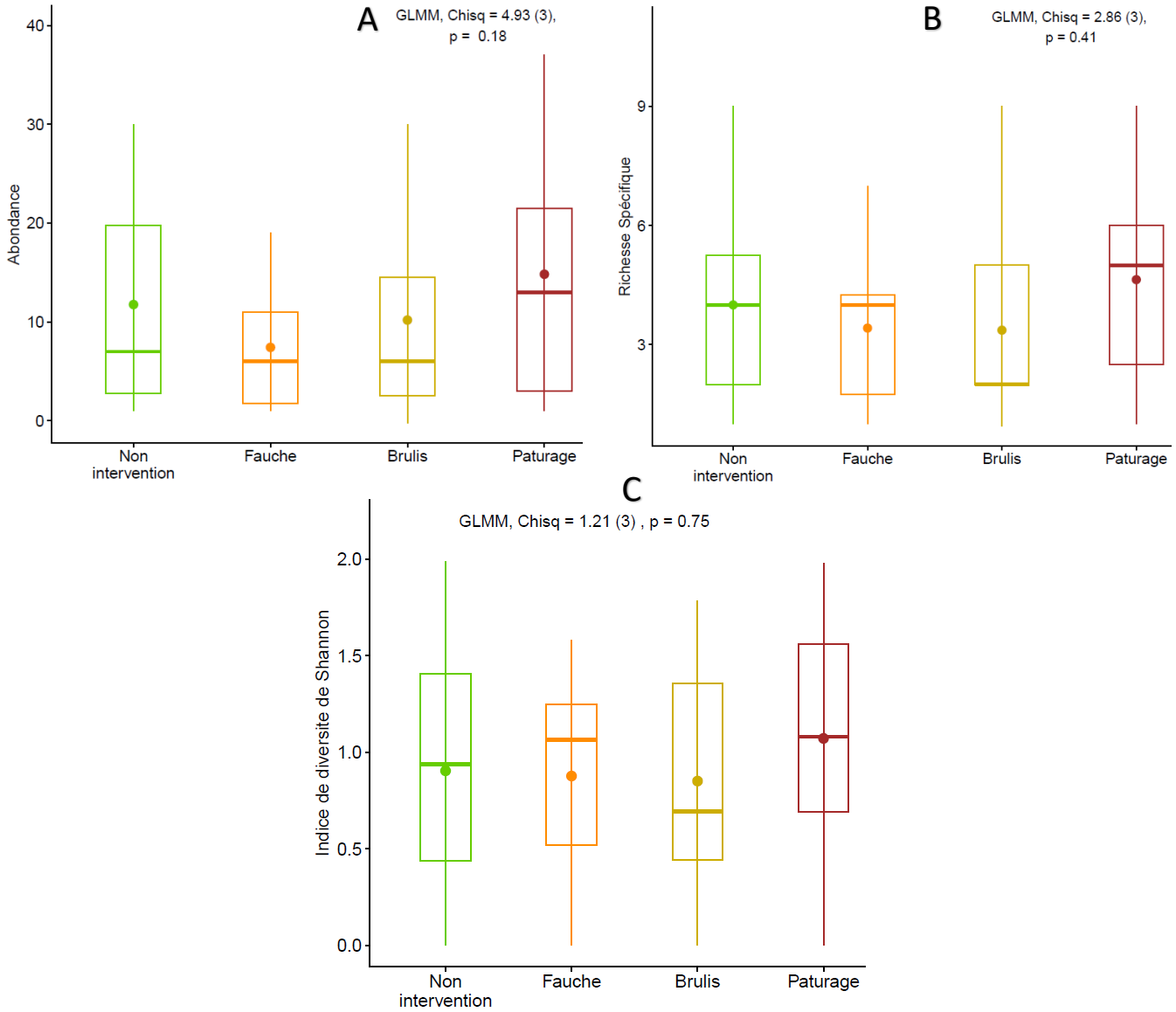
ii. Effet sur la pédofaune épigée

En date du 09 juin 2023, 504 individus appartenant à 49 morpho-espèces différentes ont été identifiés sur l'ensemble des modes de gestion. Sur l'ensemble des pots, un total de 1332 individus ont été échantillonnés. Les individus ont été classés par ordre en fonction de la méthode d'échantillonnage. [Tableau 2].

Tableau 2 : Nombre total d'individus et de morphotypes identifiés par Ordre en fonction de la méthode d'échantillonnage (les valeurs en gras représentent les pots qui ne sont pas inclus dans les analyses)

Ordre	Nombre total d'individus par type de pot		Nombre total de morphotypes identifiés dans la totalité des pots
	Pots éthiques	Pots destructifs	
Acarien	9	**40**	3
Araignée	15	**158**	10
Archaeognathe	1	12	2
Coléoptère	1	**18**	1
Collembole	28	**445**	5
Hémiptère	0	**162**	
Hyménoptère	9	356	12
Isopode	1	5	2
Larve	0	37	10
Myriapode	3	3	2
Opilion	2	16	3
Orthoptère	0	6	4
Stylommatophore	0	5	3
Total	**69**	**1258**	**1327**

L'abondance (GLMM, df = 3, X^2 = 5.07, P = 0.17 ; Fig. 5A) ainsi que la richesse spécifique (GLMM, df = 3, X^2 = 3.09, P = 0.38 ; Fig. 5B) de la pédofaune épigée ne varient significativement pas en fonction des différents modes de gestion [Figure 5, A et B]. Les indices de diversité de Shannon (GLMM, df = 3, X^2 = 1.20, P = 0.75) et Simpson (GLMM, df = 3, X^2 = 0.51, P = 0.92) ne montrent pas de différences significatives de diversité de la pédofaune épigée [Figure 5C].



<u>Figure 5 :</u> Influence des modes de gestion sur l'abondance (A), la richesse spécifique (B) et l'indice de diversité de Shannon (C) de la pédofaune épigée. Les modes de gestion étudiés sont la non-intervention (vert clair), la fauche (orange), brûlis (jaune), et le pâturage (rouge). Modèle généralisé linéaire mixte (GLMM, α =0.05).

Les modes de gestion n'ont pas d'effet significatif sur la composition de la faune épigée [Figure 6]. On ne peut pas affirmer s'il y a une représentation différente des espèces en fonction des modes de gestion. Les zones de non-intervention, de fauche et de brûlis semblent être représentées par les mêmes morphotypes, avec une représentation plus importante d'un morphotype (AR.04 *: Alopecosa* sp.) au sein des zones fauchées. Pour ce qui est des zones pâturées,

elle semble être représentée par des morphotypes différents avec une forte représentation de *Pardosa nigriceps* (AR.05), *Poduromorpha* (CL.05), et *Dilta* sp. (ARC.01).

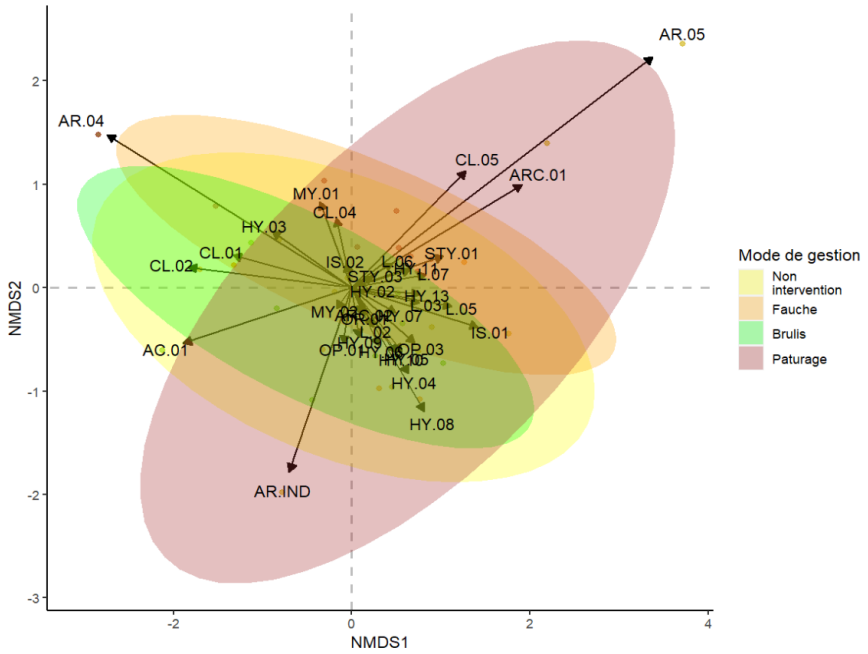


Figure 6 : Graphique des deux premiers axes de l'analyse de positionnement multidimensionel non-métrique (NMDS) réalisé à partir de la composition spécifique de la pédofaune épigée (33 morphotypes sur 49, représentées par les flèches). Les ellipses incluent les 'n' échantillonnages de chaque mode de gestion (niveau de confiance : 0.95). Stress =0,08.

Discussion

i. Diversité de la faune du sol au sein de la réserve du Pinail

Cette étude a permis d'avoir un premier aperçu de la faune du sol (épigée et endogée) présente sur le site. Avec un total de 2571 individus échantillonnés appartenant à au moins 66 morphotypes différents, cela permet de visualiser la diversité faunistique du sol de la réserve du Pinail. Cependant, la réserve du Pinail, étant une zone humide, composée principalement d'un paysage de landes mésophile se développant sur un sol perturbé, il n'existe pas encore de comparatif de diversité de la faune du sol existant au sein de la littérature. À écosystème équivalent avec un climat similaire, il n'existe pas encore d'étude pouvant nous informer sur l'importance de l'abondance des individus échantillonnés. Selon une étude similaire s'étant réalisée au alentour de l'Université de Poitiers en Vienne (86), sur un milieu ouvert et impacté par les activités humaines, environ 800 individus de la pédofaune épigée avaient été échantillonnés (Clause et al., 2022). En comparaison, 1327 individus de la pédofaune épigée ont été échantillonnés sur la réserve du Pinail. Cela pourrait éventuellement permettre de mettre en évidence une certaine abondance d'individus au sein de la réserve pour un climat équivalent.

ii. Effet des modes de gestion sur les populations de vers de terre

Les résultats montrent une richesse spécifique ainsi que d'indice de diversité de Shannon et de Simpson significativement plus faible pour les zones pâturées par rapport aux zones de fauche. On peut donc en conclure que le mode de gestion qui favorise le plus le développement des vers de terre est la fauche. Ce mode de gestion consiste à réaliser une coupe dirigée avec export de la bruyère à balai dans ces zones. Par conséquent, il y a une ouverture du paysage avec un apport de litière à dégrader faible, à cause de l'export. L'ouverture du milieu par la fauche peut donc permettre le développement d'espèces végétales pionnières. Le développement de ce genre de végétaux avec une croissance rapide augment la teneur en éléments nutritifs dans le sol (Rodríguez et al., 2007). C'est donc peut-être pour cette raison que les vers de terre se développent plus dans ces zones. En effet, les espèces appartenant au genre Lumbricus sont détritivores contrairement aux espèces du genre Aporrectodea qui sont géophages (Hendriksen, 1990). Ainsi, un apport d'éléments nutritifs permettrait le développement d'espèces de vers de terre détritivores et plus particulièrement de Lumbricus terrestris. Cette espèce peut, en effet, exercer un contrôle majeur sur la décomposition de la litière en influençant la gestion des éléments nutritifs de surface (Bohlen et al., 1997).

De plus, d'après les inventaires effectués sur la biodiversité aérienne et aquatique, le brûlage et le pâturage sont les deux modes qui préservent le mieux la biodiversité des landes et mares (Lelarge et al., 2018). La fauche, quant à elle, permet, dans une moindre mesure, de préserver la faune aérienne et aquatique (Lelarge et al., 2018). Il est donc intéressant d'observer que les conclusions qui ont pu être obtenues sur la faune endogée ne vont pas dans cette direction. Cette divergence peut être expliquée par des variations des facteurs abiotiques au sein des différents modes de gestion, comme la température, l'humidité et le pH du sol. Or, il n'y a pas de différence observable de ces facteurs entre les modes de gestion. Ce n'est donc pas de là que provient l'explication de l'effet des zones pâturées sur les vers de terre.

Les zones pâturées, quant à elles, possèdent une diversité de vers de terre plus faible due à la présence du troupeau. En effet, le cheptel était composé de 31 moutons solognots et de 3 chèvres poitevines en 2022, pouvant se déplacer sur une superficie d'environ 13 hectares. Même si la superficie des zones pâturées est importante, les ovins et caprins sont des animaux grégaires qui se déplacent en troupeau. De plus, un des deux quadrats échantillonné se trouve entre les deux bergeries (Pâturage 2), et c'est ce dernier qui possède la richesse spécifique la plus faible (2,3 espèces inventoriées en moyenne). Il est possible que le passage répété du cheptel dans cette zone

en particulier ait fortement influencé le développement des populations de vers de terre. D'après la littérature, le piétinement par des herbivores peut endommager directement les plantes, les animaux, mais aussi provoquer un compactage du sol par l'application d'une pression sur la surface du sol (Van Klink et al., 2015). Ce compactage du sol diminue l'espace interstitiel, la connectivité, et donc le transport de l'oxygène et de l'eau (Horn et al., 1995; Hamza & Anderson, 2005; Cole et al., 2008), et peut nuire à l'abondance de la faune du sol (Chan & Barchia, 2007; Stovold et al., 2004; Van Klink et al., 2015). Par ailleurs, les effets du compactage du sol par le piétinement sur les vers de terre sont plus importants dans des conditions humides, car l'apport en oxygène est particulièrement réduit (Van Klink et al., 2015; Whalley et al., 1995). Ainsi, les vers de terre privilégient les sols meubles et peu compactés (Stovold et al., 2004). Le piétinement et son impact sur les populations de vers de terre joueront potentiellement un rôle dans la réalisation de réseaux souterrains de tunnels et de galeries par ces derniers, et sur la porosité des sols en limitant l'aération et la capacité de rétention d'eau adéquates dans les sous-sols (Culliney, 2013).

On observe également une différence significative entre la richesse spécifique des vers de terre et les différents habitats. En effet, il existe une richesse spécifique plus faible au sein des habitats sec à ptéridaie par rapport à l'habitat mésophile. Cependant, sur les cinq habitats secs à ptéridaie qui ont été échantillonnés, trois proviennent du pâturage et plus précisément du quadrat « Pâturage 2 ». Il existe donc bien un lien entre la différence significative de la richesse spécifique en fonction des modes de gestion et celle en fonction des habitats. D'après Cameron et al., 2021, l'abondance des principales espèces endogées, comme *Apporectodea rosea*, était corrélé avec la présence notamment de fougères. Or, il est donc possible que l'abondance de fougère favorisant le développement d'individus endogées, associée au fort compactage de cette zone, pourrait grandement limiter le développement des vers de terre au sein de cette zone.

Cette différence de diversité de vers de terre en fonction des modes de gestion pourrait également être expliquée par une différence de perturbation du sol entre les modes de gestion. La réserve étant située dans une ancienne carrière de pierre meulière, le sol a fortement été modifié lors de l'extraction des pierres. Cette extraction n'a pas été réalisée de façon homogène sur toute la surface de la réserve. Il y a une forte différence de composition du sol en fonction de l'importance de la perturbation. Les zones de fauche ont une profondeur moyenne légèrement plus importante que les autres modes de gestion. De plus, une des deux zones de fauche (Fauche 2) était principalement composée d'argile avec un sol très engorgé. D'après la littérature, des relations positives ont été démontrées entre les vers de terre et la teneur en argile du sol (Cameron et al.,

2021). D'autres zones d'échantillonnages ne nous permettaient pas de pouvoir creuser plus en profondeur, à cause de la forte présence de roche plus ou moins dense. Cette présence de roche pourrait exercer une influence sur la présence de vers de terre en limitant leur possibilité de se déplacer au sein des différents horizons du sol.

iii. Effet des modes de gestion sur la pédofaune épigée

Aucune différence d'abondance n'a été démontrée entre les modes de gestion sur l'ensemble des pots, incluant les résultats des deux protocoles. Aucune différence n'a été montrée non plus pour la richesse spécifique et les indices de diversité. Cependant, les analyses ont été réalisées sur seulement une partie des individus, ce qui n'inclue pas les coléoptères, araignées, hémiptères, collemboles et acariens des pots Barber. Ces analyses pourront être complétées, par la suite, pour plus de précision. En effet, seulement 509 individus sur les 1327 échantillonnées ont été identifiés et ont servi pour les analyses, soit moins de la moitié des individus récoltées. Parmi les ordres qui n'ont pas pleinement été représentés, l'on retrouve les collemboles et les acariens, au sein desquels certaines espèces sont détritivores. Leur ajout dans les analyses permettrait d'affiner le rôle des détritivores dans la porosité du sol en fonction des modes de gestion. De plus, les coléoptères et les araignées sont principalement des prédateurs, et leur abondance permettrait de mettre en évidence une abondance indirecte de leurs proies au sein de la réserve. L'ajout de l'ensemble des individus échantillonnés permettrait d'avoir une vision plus globale de la faune du sol. Cependant, on peut observer une forte hétérogénéité en zones de non-intervention et de pâturage, qui tire la moyenne vers le haut.

Nous avions émis l'hypothèse que la réserve allait posséder une diversité faunistique différente en fonction des modes de gestion, en relation avec les effets déjà mesurés sur la faune des landes et des mares. En effet, le brûlage dirigé et le pâturage sont les deux modes de gestions qui préservent au mieux cette biodiversité (Lelarge et al., 2018). Or, le brûlage, de par son action, a un fort impact sur la surface du sol, avec une augmentation de sa température ainsi que la possible destruction de ressources pour la faune épigée (Lelarge et al., 2018). De même, nous aurions pu nous attendre à obtenir des résultats similaires entre la pédofaune endogée et épigée, avec donc une diversité faunistique plus faible au sein des zones pâturées. En effet, d'après Van Klink et al., 2015, le compactage du sol peut nuire à l'abondance de la faune du sol. De plus, la défoliation des végétaux par les herbivores peut entraîner une augmentation de la couverture végétale basse et une diminution de l'abondance de la faune épigée (Van Klink et al., 2015).

On aurait également pu s'attendre à observer une diversité faunistique plus importante au sein des zones fauchées, de par l'ouverture du milieu grâce à la coupe et l'export de la bruyère à balai. Cependant, il semble qu'au contraire, les zones fauchées ait une diversité plus faible par rapport aux autres. En effet, avec l'ouverture du milieu et l'apparition d'espèces végétales pionnières, la présence potentiellement importante de litière au sein de ces zones aurait pu induire la présence assez importante d'individus détritivores (isopodes et myriapodes). Cependant, sur les douze pièges (éthiques et destructifs) posés au sein des deux quadrats, seulement un isopode et un myriapode ont été récoltés. Cette absence de détritivores au sein de ces zones peut être expliquée par la forte présente d'espèces de vers de terre détritivores tels que *Lumbricus terrestris*. En effet, d'après Patoine et al.;(2017), la masse de litière diminue significativement plus rapidement en présence de vers de terre qu'en présence de détritivores tels que celle d'isopodes. De plus, les effets synergique des mélanges de macro-détritivores n'ont pas été constatés (Patoine et al., 2017). De par leur grande taille et leur grande agilité, les vers de terre peuvent accéder plus efficacement aux ressources du sol (Gutiérrez López et al., 2020). Dans le cas où les ressources en litière disponibles seraient limitées, il est possible que les vers de terre consomment une part importante de la MO disponible, ce qui aurait tendance à induire la migration des arthropodes vers des milieux sans vers de terre (Gutiérrez López et al., 2020). Il est donc possible qu'il y ait une compétition pour la ressource entre la faune épigée et endogée au sein de ces zones.

Il est important de souligner le fait qu'une des deux zones de fauche se trouve dans une zone avec un sol fortement engorgé en eau. Il est donc possible que la forte présence de l'eau limite le bon développement de certains morphotypes de la pédofaune épigée. De plus, l'un des pots destructifs présent au sein de cette même zone de fauche a été impacté par ce fort engorgement du sol, ce qui a fait sortir légèrement le pot de son trou, impactant possiblement sa capacité d'échantillonnage (Annexe 2). Puisque nous ne savons pas depuis quand ce pot était défaillant, les individus récoltés par ce dernier ont quand même été pris en compte dans les analyses.

Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux groupes écologiques au sein de la pédofaune épigée, on constate qu'au sein de notre échantillonnage, nous avons identifié dix détritivores sur l'ensemble des quadrats (quatre isopodes et six myriapodes). Ils sont principalement présents en zones de non-intervention et ils sont quasiment absents au sein des zones de brûlis (Annexe 3). Pour ce qui des ingénieurs du sol, 363 fourmis ont été récoltés, avec une présence plus importante au sein des zones pâturées et plus faible dans les zones de fauches (Annexe 3). Sachant que les fourmis se développent principalement dans des espaces ouverts (Culliney, 2013), ce résultat correspond

bien à leur habitat naturel. Il est également possible que cette répartition spatiale soit induite par une relation interspécifique entre les fourmis et les vers de terre. En effet, il existe une relation entre la présence d'une communauté de vers de terre (*Dendrobaena* sp.) et celle des fourmis. Ces dernières peuvent prédater les vers de terre, ce qui peut être contré par la production d'un mucus repoussait les fourmis (Laakso & Setälä, 1997).

Conclusion

Ce travail a permis d'obtenir un premier aperçu de l'abondance et de la diversité de la faune du sol de la réserve du Pinail, avec un total de 2571 individus échantillonnés appartenant à au moins 66 morphotypes différents. Il serait très intéressant de reconduire ce travail afin de compléter l'inventaire de la diversité faunistique du sol de la réserve du Pinail. Le suivi de l'évolution de ces espèces au cours du temps, à période identique, permettrait également d'entrevoir un impact du changement climatique sur cette faune. En effet, les invertébrés sont affectés par les modifications directes des conditions abiotiques et indirectes des relations biotiques induites par changement climatique (Prather et al., 2013).

Les modes de gestion ont un effet sur les invertébrés du sol au sein de la réserve du Pinail mais, il n'est pas visible sur toutes les espèces collectées. La différence est visible entre les zones de fauches et de pâturage au sein de la pédofaune endogée. Aucune différence significative n'a été observée au sein de la pédofaune épigée, ce qui peut être expliqué par l'absence d'identification complète pour quelques ordres, ou l'hétérogénéité du site. Néanmoins, les groupes écologiques jouant un rôle dans la porosité et la structuration des sols ont été pris en compte dans les analyses. Ainsi, le mode de gestion qui semble favorisé le plus les groupes écologiques d'intérêt est la fauche.

Ensuite, il serait intéressant de compléter cette expérimentation avec des analyses pédologiques tel que la texture du sol, la fragmentation de la matière organiques, mais également la capacité du sol à infiltrer l'eau. Ces analyses sont importantes pour comprendre et mettre en évidence les relations entre le sol très perturbé de la réserve et les individus qui parviennent ou non à s'y développer. Cela permettra de nuancer l'effet des modes de gestion et de prendre en compte tous les facteurs qui peuvent jouer sur le développement des invertébrés du sol. Pour la pédofaune épigée, il est possible que ce type d'analyse puisse expliquer l'absence de différence de diversité faunistique.

Pour conclure, il serait intéressant pour les invertébrés du sol, de continuer et possiblement de développer la fauche au sein de la réserve. De même, il serait intéressant de parvenir à limiter l'impact du pâturage sur cette faune, afin de permettre son développement sans pour autant

complétement abolir ce mode de gestion. En effet, le pâturage permet une préservation favorable de la biodiversité des landes et des mares, qui est moins observable au sein des zones de fauche (Lelarge et al., 2018). Afin de favoriser l'ensemble de la biodiversité de la réserve, il pourrait être intéressant de réaliser des roulements afin de permettre aux invertébrés de se développer le temps que le cheptel est présent dans une autre partie du pâturage, tout en préservant son effet positif sur le reste de la biodiversité du Pinail.

Références bibliographiques

Auclerc, A., Beaumelle, L., Barantal, S., Chauvat, M., Cortet, J., De Almeida, T., Dulaurent, A.-M., Dutoit, T., Joimel, S., Séré, G., & Blight, O. (2022). Fostering the use of soil invertebrate traits to restore ecosystem functioning. *Geoderma*, *424*, 116019. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116019

Auclerc, A., & Blanchart, A. (2019). Jardibiodiv, un outil de sciences participatives sur la biodiversité des sols urbains. *Etude et Gestion des Sols*.

Bohlen, P. J., Parmelee, R. W., McCartney, D. A., & Edwards, C. A. (1997). Earthworm Effects On Carbon And Nitrogen Dynamics Of Surface Litter In Corn Agroecosystems. *Ecological Applications*, *7*(4), 1341-1349. https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[1341:EEOCAN]2.0.CO;2

Bouché, M. B. (1977). Strategies lombriciennes. *Ecological Bulletins*, *25*, 122-132. JSTOR.

Cameron, A., Boilard, G., Dubois, R., Bradley, R., Benetková, P., Józefowska, A., Thevathasan, N., Whalen, J., & Šimek, M. (2021). Distribution of earthworm communities in agroecosystems with forested riparian buffer strips : A multiscale study. *Applied Soil Ecology*, *167*, 104035. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104035

Capowiez, Y., Decaëns, T., Hedde, M., Marsden, C., Jouquet, P., Marchan, D. F., Nahmani, J., Pelosi, C., & Bottinelli. (2022). Faut-il continuer à utiliser les catégories écologiques de vers de terre définies par Marcel Bouché il y a 50 ans ? : Une vision historique et critique. *Etude et Gestion des Sols*, *29 (spécial)*, pp.51-58.

Chan, K. Y., & Barchia, I. (2007). Soil compaction controls the abundance, biomass and distribution of earthworms in a single dairy farm in south-eastern Australia. *Soil and Tillage Research*, *94*(1), 75-82. https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.006

Clause, J., Leblanc, D., & Deguines, N. (2022). La biodiversité du sol au cœur d'un projet pédagogique sur le campus de l'Université de Poitiers, France. *Etude et Gestion des Sols*, *Biodiversité des sols*(Numéro spécial), 223-238.

Cole, L., Buckland, S. M., & Bardgett, R. D. (2008). Influence of disturbance and nitrogen addition on plant and soil animal diversity in grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(2), 505-514. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.09.018

Coyle, D. R., Nagendra, U. J., Taylor, M. K., Campbell, J. H., Cunard, C. E., Joslin, A. H., Mundepi, A., Phillips, C. A., & Callaham, M. A. (2017). Soil fauna responses to natural disturbances, invasive species, and global climate change : Current state of the science and a call to action. *Soil Biology and Biochemistry*, *110*, 116-133. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.008

Culliney, T. (2013). Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. *Agriculture*, *3*(4), 629-659. https://doi.org/10.3390/agriculture3040629

Dupont, V., & Sellier, Y. (2017). *Cartographie des habitats naturels terrestres de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail* (p. 73). GEREPI.

Ecologie, Evolution, Symbiose – Laboratoire EBI. (2022). https://ebi.labo.univ-poitiers.fr/equipe-ees-ecologie-evolution-symbiose/

Équipe de développement QGIS. (2023). *Système d'information géographique QGIS. Projet Open Source Geospatial Foundation.* http://qgis . osgeo.org

Gestion – Réserve Naturelle Nationale du Pinail. (2023). http://www.reserve-pinail.org/reserve-naturelle-nationale-pinail/sa-gestion/

GUITTONNEAU, S. (2023). *Rapport d'activités, période 29 mars 2022 – 28 février 2023, Site Natura 2000 FR7401105 Landes et zones humides de la Haute Vézère* (p. 38) [Rapport d'activités]. Parc Naturel Régional de Millevaches en Limousin. https://www.pnr-millevaches.fr/IMG/pdf/lzhhv_rapport-activite-natura2000_2022-2023.pdf

Gutiérrez López, M., Isla García De Leaniz, M., & Trigo Aza, D. (2020). Do cryptic species of earthworms affect soil arthropods differently? The case of the Carpetania elisae complex in the center of the Iberian Peninsula. *European Journal of Soil Biology*, *96*, 103147. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.103147

Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems. *Soil and Tillage Research*, *82*(2), 121-145. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009

Hendriksen, N. B. (1990). Leaf litter selection by detritivore and geophagous earthworms. *Biology and Fertility of Soils*, *10*(1), 17-21. https://doi.org/10.1007/BF00336119

Horn, R., Domżżał, H., Słowińska-Jurkiewicz, A., & Van Ouwerkerk, C. (1995). Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research*, *35*(1-2), 23-36. https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00479-C

INaturalist. (2023). https://www.inaturalist.org/users/sign_in

Laakso, J., & Setälä, H. (1997). Nest mounds of red wood ants (Formicaaquilonia) : Hot spots for litter-dwelling earthworms. *Oecologia*, *111*(4), 565-569. https://doi.org/10.1007/s004420050272

Laboratoire EBI – Université de Poitiers. (2022). https://ebi.labo.univ-poitiers.fr/

Lelarge, K., Bernard, É., Bettie-Lou, B.-L., Léa, D., Sitarz, N., & Sellier, Y. (2022). *Rapport d'activités 2022 de la Réserve naturelle nationale du Pinail* (p. 101). GEREPI.

Lelarge, K., Sellier, Y., Dupont, V., & Préau, C. (2018). *Plan de gestion 2018-2027 de la Réserve naturelle nationale du Pinail—Diagnostic* (p. 253). GEREPI. http://www.reserve-pinail.org/wp-content/uploads/2018/02/Plan-de-gestion-RNN-Pinail-2018-2027-Diagnostic-VF.pdf

Meurer, K., Barron, J., Chenu, C., Coucheney, E., Fielding, M., Hallett, P., Herrmann, A. M., Keller, T., Koestel, J., Larsbo, M., Lewan, E., Or, D., Parsons, D., Parvin, N., Taylor, A., Vereecken, H., & Jarvis, N. (2020). A framework for modelling soil structure dynamics induced by biological activity. *Global Change Biology*, *26*(10), 5382-5403. https://doi.org/10.1111/gcb.15289

Nordström, S., & Rundgren, S. (1974). Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden—ScienceDirect. *Pédobiologie*, *14*, 1-27.

OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre. (2023). https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT_accueil.php

Patoine, G., Thakur, M. P., Friese, J., Nock, C., Hönig, L., Haase, J., Scherer-Lorenzen, M., & Eisenhauer, N. (2017). Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community. *Pedobiologia*, *65*, 29-42. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.07.003

Prather, C. M., Pelini, S. L., Laws, A., Rivest, E., Woltz, M., Bloch, C. P., Del Toro, I., Ho, C.-K., Kominoski, J., Newbold, T. A. S., Parsons, S., & Joern, A. (2013). Invertebrates, ecosystem services and climate change : Invertebrates, ecosystems and climate change. *Biological Reviews*, *88*(2), 327-348. https://doi.org/10.1111/brv.12002

QUBS. (2022). https://www.qubs.fr/

R Core Team, & R Foundation for Statistical Computing. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (4.3.0). https://www.R-project.org/

Rodríguez, N., Amils, R., Jiménez-Ballesta, R., Rufo, L., & De La Fuente, V. (2007). Heavy Metal Content in *Erica andevalensis* : An Endemic Plant from the Extreme Acidic Environment of Tinto River and its Soils. *Arid Land Research and Management*, *21*(1), 51-65. https://doi.org/10.1080/15324980601074578

Stovold, R. J., Whalley, W. R., Harris, P. J., & White, R. P. (2004). Spatial variation in soil compaction, and the burrowing activity of the earthworm Aporrectodea caliginosa. *Biology and Fertility of Soils*, *39*(5), 360-365. https://doi.org/10.1007/s00374-003-0703-5

Van Klink, R., Schrama, M., Nolte, S., Bakker, J. P., WallisDeVries, M. F., & Berg, M. P. (2015). Defoliation and Soil Compaction Jointly Drive Large-Herbivore Grazing Effects on Plants and Soil Arthropods on Clay Soil. *Ecosystems*, *18*(4), 671-685. https://doi.org/10.1007/s10021-015-9855-z

Van Straalen, N. M. (1998). Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, *9*(1-3), 429-437. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00101-2

Van Straalen, N. M., & Verhoef, H. A. (1997). The Development of a Bioindicator System for Soil Acidity Based on Arthropod pH Preferences. *The Journal of Applied Ecology*, *34*(1), 217. https://doi.org/10.2307/2404860

Whalley, W. R., Dumitru, E., & Dexter, A. R. (1995). Biological effects of soil compaction. *Soil and Tillage Research*, *35*(1-2), 53-68. https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00473-6

Annexes

Annexe 1 : Tableau représentant les différents protocoles OPVT (*OPVT-Observatoire Participatif des Vers de Terre*, 2023)

Type d'observation	Comptage des vers de terre		
Protocoles proposés	Protocole Test Béche Vers de Terre	Protocole Moutarde	Protocole Moutarde Tri Manuel
Période de mise en oeuvre	Fin d'hiver - début du printemps Une observation par an minimum		
Matériel nécessaire		Achat moutarde + 70 L d'eau	Achat moutarde + 70 L d'eau
Durée (pour 1 pers.)	2 à 4h	2h30	4 à 5h
Proportion observée des vers présents			
Comparaison des sols, des pratiques	✓	✓	✓
Suivi historique	✓	✓	✓
Etude du sol • Texture • Structure • Zones de compaction • Enracinement • ...	✓	✗	[✓]

Annexe 2 : photographie montrant le pot F2.b.1 placé en Fauche 2 qui a été impacté par les forte pluie et le fort engorgement du sol

Annexe 3 : Tableau représentant les moyennes par groupes écologiques pour la faune endogée et par ordre pour la faune épigée en fonction des modes de gestion.

	Non intervention	Fauche	Brûlis	Pâturage	Total
Pédofaune endogée					
Epigées	15,83	23,17	20,17	25,83	21,25
Endogées	1,7	16,3	30,17	3	12,8
Anéciques	14,17	18,33	5,33	9	11,71
Total	10,57	19,27	18,56	12,61	15,25
Pédofaune épigée					
Acarien	0,25	0,17	0,08	0,25	0,19
Araignée	0,33	0,33	0,08	0,42	0,29
Archaeognatha	0,33	0,17	0,25	0,25	0,25
Coléoptère	0,25	0,08	0	0,17	0,12
Collembole	0,67	0,5	0,58	0,58	0,58
Hyménoptère	8,33	4,58	7,08	10,25	7,56
Isopode	0,25	0,08	0	0,17	0,12
Larve	0,75	1,17	0,08	0,83	0,71
Myriapode	0,25	0,08	0,08	0,08	1,12
Opilion	0,42	0	0,67	0,42	0,37
Orthoptère	0,08	0	0,25	0,17	0,12
Stylommatophora	0,08	0,17	1,17	0	0,1
Total	1,00	0,61	0,86	1,13	0,96