

Daphné CORDEIRO HUON
Adrien LE SAUX
TP1B

Université de Rouen Normandie, Laboratoire ECODIV

Titre du rapport : Réponse de la macrofaune du sol à la préparation mécanisée des sols lors de la reconstitution des peuplements forestiers par plantation

Référent de la filière : Ludovic HENNERON
Maître de Stage : Pierre GANAULT
Tuteur Universitaire : Fabrice BUREAU

Adresse laboratoire d'accueil : 1er étage Bâtiment Blondel, Place E. Blondel, UFR Sciences et Techniques- Université de Rouen, F-76821 Mont Saint-Aignan CEDEX France



Daphné CORDEIRO HUON
Adrien LE SAUX
TP1B

**Réponse de la macrofaune du sol à la préparation mécanisée des sols lors de
la reconstitution des peuplements forestiers par plantation**



Source photo : drone (BEF)



SOMMAIRE

Présentation de la structure d'accueil	4
Introduction	5
Contexte général.....	5
Objectif du stage.....	8
Démarche adoptée.....	9
Matériel et Méthodes	10
Historique du site d'étude.....	10
Préparation mécanique du sol.....	11
Échantillonnage de la macrofaune.....	12
Identification de la macrofaune.....	14
Analyses statistiques.....	15
Résultats	16
Discussion	19
I. Abondance et richesse.....	19
a. Abondance.....	19
Richesse spécifique.....	20
II. Régime trophique des carabes.....	21
III. Masse des individus.....	23
a. Masse individuelle moyenne.....	23
b. Masse moyenne chez les carabidés.....	23
IV. Relation des différentes métriques étudiées.....	24
V. Limites méthodologiques.....	24
Conclusion et perspective	25
Bilan du stage	26
Bibliographie	27
Clés de détermination :.....	29
Webographie	30
Annexes	31
Résumé	32
Mots clés :.....	32

Présentation de la structure d'accueil

Le déroulement du stage s'est effectué au laboratoire ECODIV situé dans l'enceinte de l'Université de Rouen Normandie à Mont Saint Aignan. Le laboratoire ECODIV a été créé en 1997 et est dirigé par Mme Estelle Langlois. Au sein du laboratoire ECODIV, diverses recherches y sont consacrées en particulier sur les relations biodiversité-fonctionnement à l'interface sol-végétation des écosystèmes terrestres. Les recherches sont notamment tournées vers l'étude des mécanismes d'assemblages des espèces ainsi que sur la dynamique des populations et communautés au sein des compartiments aérien et souterrain et sur la dynamique de la matière organique. Le laboratoire est guidé par de nombreux enseignants chercheurs exerçant des spécialités variées telles que la mycologie, la botanique, ou encore l'entomologie. L'ensemble de ces études permettent de participer à la mise en place de stratégies de gestion afin de répondre aux enjeux d'adaptation des écosystèmes aux changements globaux. La structure se décline en plusieurs étages, l'étage 1 où on y retrouve l'ensemble des bureaux des enseignants-chercheurs, des doctorants et des techniciens ainsi que des salles communes pour les présentations de projets d'études. De nombreux laboratoires où sont assurées l'analyse des échantillons comme une salle de tamisage, une salle de faune et de flore dédiée à l'identification etc... De nombreux équipements y sont présents comme des outils de mesure (pH, CO₂ etc...), des broyeurs, des chambres froides, des étuves, des microscopes etc.. Le sous-sol correspond à l'endroit de réception des différents échantillons prélevés sur le terrain qui seront par la suite triés et classés. Ce laboratoire est en coordination et en coopération avec d'autres laboratoires au sein de l'Université de Rouen ainsi que d'autres universités françaises, des collectivités locales et des organismes comme l'ONF. De nombreuses personnes présentes à ECODIV assurent également un travail d'enseignement à l'université en plus des travaux de recherches. On y retrouve également des personnes assurant la sécurité des lieux.

Introduction

Contexte général

Les forêts françaises sont considérées comme l'un des piliers stratégiques les plus importants dans la lutte contre le changement climatique (Michel Déqué, 2021). Elles permettent de combiner l'effet de stockage de carbone dans les écosystèmes forestiers et dans les produits-bois. Les forêts jouent également un rôle dans la substitution du bois à des matériaux et énergies fossiles plus largement émetteurs de GES. La majorité des forêts sont gérées de telle manière à assurer la production de bois nécessaire pour répondre aux nombreux besoins de la société. Ce type de gestion forestière agit de façon directe sur le bilan carbone de la forêt française si elle ne fait pas l'objet d'une gestion durable (Alice Roux et Jean-François Dhôte 2017). Toutefois, certains facteurs de perturbations tels que l'évolution du climat ou les événements extrêmes pourraient affecter la capacité de stockage de carbone dans l'écosystème forestier et ainsi venir modifier considérablement le bilan carbone de la production de bois des filières (Alice Roux et Jean-François Dhôte 2017). D'autre part, l'existence d'autres événements extrêmes climatiques ou non tels que la sécheresse, les incendies, les tempêtes pourrait agir de façon drastique sur la force du puits forestier national (Alice Roux et Jean-François Dhôte 2017).

Ce contexte favorise une gestion plus active des forêts, notamment par l'ONF (office national des forêts) qui cherche à préserver les forêts françaises face aux différents défis imposés notamment par le changement climatique. Néanmoins, la gestion actuelle des forêts n'est pas suffisante pour assurer une pleine continuité des forêts dans leur globalité afin d'assurer leur rôle dans le stockage du carbone. C'est pourquoi, un plan a été établi en 2020 nommé "Le plan France Relance" qui dédie 150 millions d'euros pour engager le renouvellement forestier dans le contexte du changement climatique (<https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance>). La finalité est d'adapter des peuplements montrant des signes de vulnérabilités, avec comme but de renforcer les puits de carbones forestiers par l'intermédiaire de l'assurance la résistance et résilience des peuplements forestiers.

Lors d'un reboisement forestier, il est courant de réaliser une préparation mécanique du sol (PMS). La PMS est réalisée après une coupe pour assurer une meilleure capacité de régénération naturelle (Amira Fetouab,2023). Le rôle de ces PMS est d'enlever un maximum de déchets de coupes et de réduire également la végétation concurrente. Ceci a pour but premier de former un environnement favorable à la formation et à la croissance des jeunes plants (Amira Fetouab, 2023). De plus, elle favorise la création de conditions de température et d'humidité optimales pour la régénération à la surface du sol. Enfin, la PMS permet également de réduire la compaction du sol et ainsi favoriser la croissance des racines dans le sol.Ces pratiques contribuent à l'établissement de conditions relativement homogène sur le terrain afin de faciliter le reboisement et l'entretien des plantations.

Ce type d'usage peut toutefois avoir un impact sur l'ensemble du compartiment sol. En effet, il existe diverses pratiques de PMS réalisées selon les objectifs souhaités et les conditions de terrain (Amira Fetouab 2023). Généralement, la majorité des méthodes enlèvent une partie ou l'entièreté de l'horizon organique pour retirer la banque de graine. Cette préparation a une influence sur les caractéristiques du sol comme la régulation des températures, la disponibilité en eau et d'une manière plus générale, le milieu de vie des organismes décomposeurs (Amira Fetouab 2023). Dans la majorité des cas, le travail du sol modifie les propriétés structurales du sol, sa porosité et la répartition des matières organiques fraîches restituées ou apportées (A.Bouthier et al. 2014). En effet, l'export de la matière organique induit à la fois une diminution de ressources pour les organismes détritivores mais également une perte d'habitat pour les organismes vivant dans ce même milieu. De plus, elle induit une perte importante de biomasse végétale qui entraîne des changements importants de microclimats pour les organismes du sol. En effet, un sol dépourvu de plantes herbacées constitue un environnement plus sec et plus chaud par l'absence d'ombre par les plantes ainsi que l'absence des plantes elles-mêmes qui assurait une rétention de l'eau sur leur surface.

Ces techniques ont également un impact direct sur la macrofaune du sol. Ceci affecte directement les organismes du sol en les blessant, les tuant ou les exposant au risque de prédation (A.Bouthier.et al,2014). En effet, l'utilisation de ces machines entraîne la mise à nu du sol par le passage de la dent de sous-solage, blessant ainsi

la macrofaune se trouvant sur son passage ou favorisant leurs exposition face aux organismes zoophages. Ainsi, leur abondance et leur diversité diminuent dû à la mortalité et la prédation. Cette diminution est d'autant plus conséquente en fonction de la fréquence et de l'intensité de la PMS (A.Bouthier.et al,2014). Cela impacte également de façon indirecte la macrofaune par la modification de leurs habitats physique et la localisation de leurs sources nutritives (A.Bouthier.et al,2014). Par la suite, ces changements de milieu peuvent s'exprimer par une perte de richesse et d'abondance des détritivores du sol. Cette perte peut entraîner une baisse de la qualité du sol pour les plantes ou d'autres organismes. Cela entraîne des changements des propriétés physico-chimiques du sol, ces changements étant induits par une baisse de l'activité de ces organismes du sol (Elie et al. 2018). De plus, le travail du sol peut devenir rapidement néfaste s' il est réalisé dans un milieu inapproprié comme un milieu fortement humide. Il provoque par passage répété d'importante compaction du sol entraînant un tassement de ce dernier. Ainsi les organismes du sol ont plus de difficulté à se déplacer notamment en fonction de leur taille. Par ailleurs, le fait d'enlever la végétation concurrente favorise certes le développement des plants mais engendre des pertes de ressources pour la macrofaune ayant un régime trophique principalement phytophage. Or, les organismes présents contribuent au fonctionnement des sols tant par leurs activités propres que leurs interactions (notamment trophiques). En effet, ils jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique, le recyclage des nutriments, mais également à la redistribution des constituants organiques du sol (M. Traore, 2012).

Bien que la préparation mécanisée du sol favorise un meilleur rendement sylvicole, il est toutefois important de mesurer l'impact de cette pratique sur les différentes propriétés du sol qu'elles soient biologiques ou bien physiques afin de mesurer l'impact total de la PMS et de choisir la modalité la plus adaptée de préparation du sol en fonction du contexte. A ce jour de nombreuses études se sont penchées sur l'influence de préparations mécanisées du sol comme le labour sur les différentes propriétés du sol ainsi que l'impact sur la macrofaune en milieu agricole. La pratique des PMS en contexte sylvicole étant plutôt récente, peu de données sont disponibles quant à l'impact de ces dernières en contexte de sylviculture.

Objectif du stage

C'est dans l'optique de mieux comprendre comment les PMS affectent les peuplements forestiers et la macrofaune du sol que le Projet CASTOR (Comportement du CARbone STOcKé dans les sols lors de la Reconstitution des peuplements forestiers par plantation avec préparation mécanisée du site) a vu le jour. Ce dernier est piloté par l'ONF (Office National des Forêts) et financé par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). L'objectif principal du projet est de tester les effets des PMS sur les propriétés des sols forestiers, notamment au niveau de leur fertilité sur le long terme mais également la dynamique du stock de carbone, la biodiversité et leur fonctionnement biologique. C'est à travers ce projet, que de nombreux scientifiques ont réalisé un dispositif expérimental plein champ. Le but de cette étude est de tester 3 modalités de renouvellement forestier avec PMS et 2 modalités sans PMS.

L'objectif du stage était d'étudier l'effet des PMS sur la richesse spécifique et l'abondance et la masse de la macrofaune du sol. Dans le temps imparti du stage, nous nous sommes concentrés sur trois groupes taxonomiques : les isopodes, les carabidés et les chilopodes. Nous avons également étudié plus précisément l'impact de la PMS sur les coléoptères carabidés en s'intéressant à leurs régimes trophiques. Enfin nous nous sommes intéressés aux variations de taille chez les différents individus observés en fonction de la modalité étudiée

Nous travaillerons à partir des trois hypothèses suivantes :

(H1) La macrofaune du sol tend à avoir une richesse et une abondance plus faible dans les parcelles soumises à des PMS plus intenses.

On suppose que la perturbation sur le milieu provoqué par la PMS induit un changement de milieu suffisamment important pour provoquer une baisse générale de l'abondance et la richesse sur nos taxons étudiés

(H2) Les zones de PMS plus intenses favorisent une proportion plus élevée de carabes prédateurs par rapport aux carabes phytophages.

On suppose que la perte de densité végétale observée sur les PMS plus intenses provoquerait une migration des communautés de carabes phytophages vers des zones témoins, végétation spontanée ou de PMS moins intenses.

(H3) Les individus sont plus petits dans les placettes avec des modalités de PMS plus intenses.

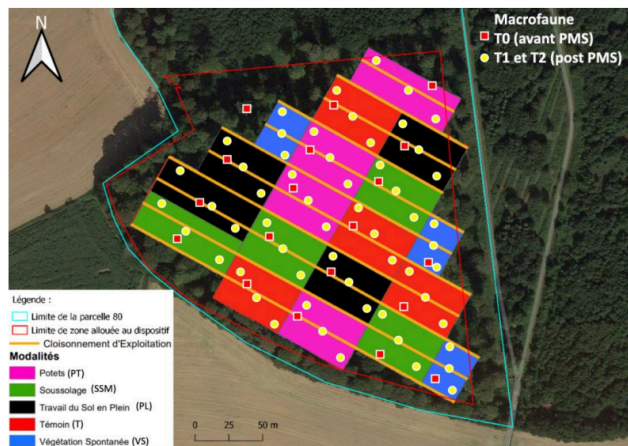
On suppose que la perte de densité végétale observée et induite par la PMS impacterait la taille des individus par la quantité de ressources trophiques diminuée. L'exportation de la matière organique lors de la PMS pourrait également impacter les détritivores par une baisse de la disponibilité en ressources trophiques. Enfin les prédateurs seraient impactés par la baisse de masse de leurs proies dues aux changements évoqués précédemment.

Démarche adoptée

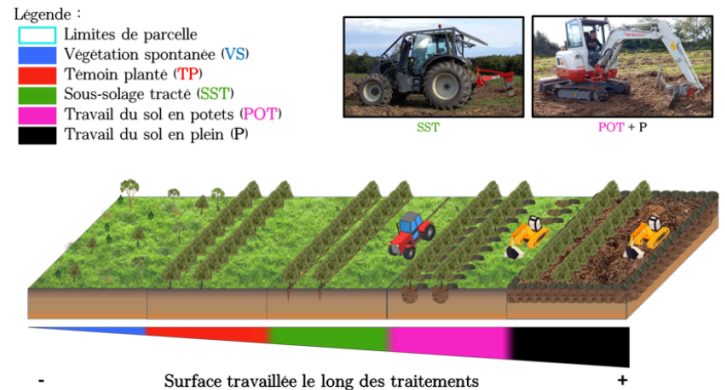
Afin de pouvoir répondre à nos hypothèses, plusieurs étapes vont être réalisées. Tout d'abord, une phase d'échantillonnage de manière à pouvoir prélever la macrofaune du sol qui permettra d'alimenter nos données. S'ensuit d'une période d'identification en laboratoire à l'aide de clés de détermination dans le but d'associer de façon précise les différents individus prélevés à leurs taxons. Ceci contribuera à établir des données nécessaires pour aborder l'hypothèse (H1) portant sur la richesse spécifique et l'abondance des individus. Par la suite, plusieurs logiciels devront être utilisés pour obtenir et traiter les données. La base de données BETSI apportera les données nécessaires en rapport avec le régime trophique des carabidés pour aborder l'hypothèse (H2). Le logiciel Biigle permettra d'obtenir les informations relatives à la masse afin de pouvoir traiter l'hypothèse (H3). Puis, nous poursuivrons avec l'utilisation du logiciel Rstudio qui traitera les données pour les ordonner et établir des tableaux afin de faciliter la réalisation de graphiques illustrant nos résultats. De plus, il contribuera également à l'analyse par l'intermédiaire de tests statistiques des effets des PMS sur les différentes variables réponses. Enfin, l'ensemble de ces résultats pourra être discuté et comparé à la littérature afin de pouvoir répondre à nos hypothèses. Ceci aidera également à trouver les potentiels biais rencontrés lors de l'étude qui agira sur nos résultats obtenus.

Matériel et Méthodes

Historique du site d'étude



Pierre Ganault



Source Lucas Pouillard

Schéma 1 : Représentation de la parcelle avec les différents point d'échantillonnage réalisé sur les placettes, T0 en rouge, T1 et T2 en jaune (à gauche). Représentation des véhicules et outils utilisés pour les 3 modalités de PMS (à droite)

C'est dans la forêt indivise d'Eu sur la parcelle 80p à Melleville, que le site d'étude expérimental a été réalisé. Avant la mise en place du protocole expérimental, il a été relevé que le site présente un sol de type limoneux positionné au-dessus d'argile à silex. De plus, le site était peuplé de hêtres datant de 150 ans. C'est en 2017, que ce même peuplement a subi une coupe suivie d'une régénération naturelle, en conservant une partie des hêtres afin qu'ils puissent assurer la mise en place de nouvelles pousses. Toutefois, en 2019, un gel a tué tous les jeunes plants de 2 ans. Cet échec a entraîné le développement de végétations compétitrices qui s'imposent ainsi dans le milieu (fougère aigle et ronce). Ceci entrave le développement des jeunes hêtres. C'est ainsi que le milieu a été utilisé comme site expérimental pour tester l'effet de différentes PMS sur le stockage du carbone et le compartiment biologique du sol. Le but est de tester 5 modalités : 3 modalités de renouvellement forestier avec PMS de différentes intensités, et 2 sans PMS. Pour cela, la préparation du sol a débuté en automne 2023, s'ensuit d'une plantation de chênes sessiles au début de 2024.

Préparation mécanique du sol

Au sein du site d'étude, on dénombre 19 parcelles, dont la majorité possède une taille de 35 x 55 mètres. Parmi les différentes modalités testées, 4 modalités (potet, sous solage, travail en plein et témoin) sont représentées chacune par 4 réplicats.

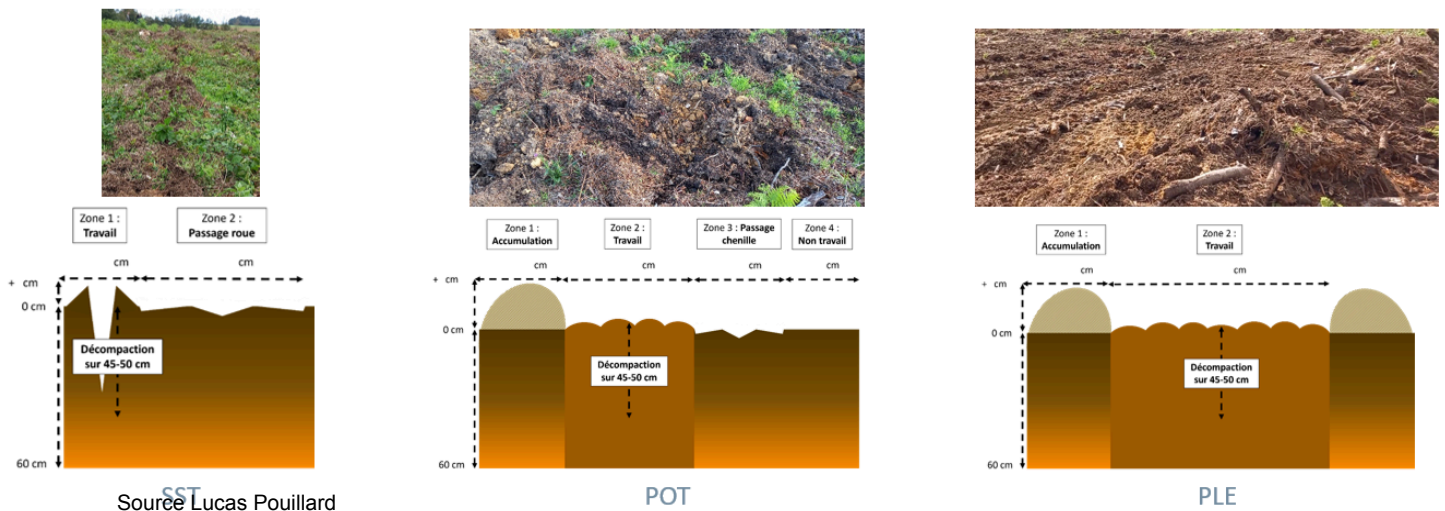


Schéma 2 : Représentation des différentes préparations mécaniques du sol. SSM (sous-solage multifonctionnel), PT (travail en potet), PL (travail en plein)

La modalité végétation spontanée, ne possède que 3 réplicats. L'ensemble des parcelles pour chaque modalité sont réparties de manière hétérogène sur le site. Chacunes de ces modalités ont été standardisées et se distinguent entre elles par l'intensité du travail du sol.

La première modalité est la végétation spontanée (VS), où aucun arbre n'a été planté. La modalité suivante est le témoin (T), où la plantation des arbres s'est effectuée à la bêche. La modalité sous-solage en ligne (SSM) a été réalisée par l'utilisation d'une dent de sous-solage tirée par un tracteur, sur l'ensemble de la longueur de la parcelle, à une profondeur de 45 centimètres. C'est sur ces lignes que les arbres ont été plantés. Le but de cette réalisation est de décompacter très localement le sol afin de favoriser la croissance des racines sans que les horizons ne soient mélangés. Cela permet ainsi de maintenir l'organisation de la structure du sol, de favoriser le passage de l'eau et des nutriments nécessaires pour les jeunes plants. S'ensuit la modalité potet (PT), qui s'appuie sur l'utilisation d'une minipelle

sur chenilles en caoutchouc, équipée d'un sous-soleur multifonction Becker composé d'un peigne, ainsi qu'une dent de sous-solage. Lors de cette étude, l'opérateur devait limiter la profondeur du travail à 45 centimètres pour avoir la même profondeur sur toutes les modalités. Il devait utiliser le peigne pour enlever les rémanents, racler la végétation et les horizons humifères et les déposer sur le côté permettant la création d'andains. Après l'action du peigne, le sol a été décompacté sur une surface d'un mètre carré pour chaque arbre planté, par trois coups de dents de sous-solage et une ligne d'andain a été formée à côté de la ligne de décompaction (schéma 2). Ainsi cette modalité a permis la création d'un microhabitat pour les organismes du sol et ainsi permettre la continuité de leur activité dans le sol. Cette activité favorise également l'apport de ressource pour le développement des plants. Enfin pour la modalité du travail en plein, la placette a été travaillée avec le sous-soleur multifonction d'une manière similaire au travail en potet, elle diffère par l'usage du sous-soleur sur une plus grande surface de la placette mais également par la formation de deux andains, un andain par côté. La réalisation de cette modalité à favoriser l'apport plus important de matière organique pour les organismes et donc potentiellement des meilleurs apports pour les plantes.

Échantillonnage de la macrofaune

3 phases d'échantillonnages ont été réalisées : T0 en octobre (avant plantation), T1 en novembre (après travail du sol PMS et plantation) et T2 en avril (après la plantation des arbres en Février), nous avons travaillé sur les prélèvements effectués le 16 avril de 2024 par 3 étudiants de Master, Céleste Rousseau, Nathanaël Almeida Streveler et Rozenn Bourquin sous la direction de Monsieur Pierre Ganault, enseignant chercheur à l'université de Rouen Normandie. Cet échantillonnage a été réalisé en début de printemps, du fait de la période favorable au développement de la macrofaune du sol.

Concernant la répartition des points d'échantillonnages, lors du T0, la réalisation de la PMS n'était pas encore établie, et un point d'échantillonnage a été réalisé par future parcelle. Un point a été fait proche du centre de chaque future parcelle tandis que pour le T1 et le T2, 3 points d'échantillonnages (a,b et c) ont été faits dans chaque parcelle selon une diagonale Nord-Est/Sud-Ouest (schéma 1), afin de

caractériser l'hétérogénéité du milieu qui peut affecter la macrofaune et ses déplacements. Concernant l'échantillonnage du sol, la méthode est similaire pour les 3 sessions. Pour chaque point d'échantillonnage, la litière a été prélevée en premier. Ce prélèvement s'est effectué à l'aide d'un cadre de bois de 25cm par 25cm placé sur le sol au niveau d'une zone considérée comme représentative de la végétation de la parcelle et dans les différents microhabitats créés (interligne, andain, ou zone décompactée) suivant les modalités de PMS. Par la suite, la végétation morte et vivante a été récupérée. Les arbres ayant été coupés il y a près de 10 ans, la litière forestière n'existait plus et le sol était majoritairement occupé par des poacées et le broyage des ronces et fougères. Pour l'horizon A (organo-minéral), la même technique de prélèvement a été effectuée au même endroit. La saisie du monolithe s'est faite à l'aide d'un couteau à pain afin d'assurer la prédécoupe de ce dernier en suivant le bord du cadre (25 x 25 cm). Ensuite, le monolithe de terre a été prélevé à l'aide d'une bêche en suivant le découpage du couteau, sur une profondeur de 15 centimètres. La méthode utilisée est standardisée selon le protocole TSBF (Anderson & Ingram, 1993). Les deux horizons A et L (organique) ainsi prélevés, ont été mis dans des sacs poubelles puis transportés jusqu'à la chambre froide du laboratoire ECODIV.

Durant les 10 jours qui ont suivi les prélèvements, l'extraction de la macrofaune pour chaque échantillon a été réalisée à la main et à l'œil nu. Les taxons présents sont les isopodes, les gastropodes, les arachnides, les coléoptères, formicidés, diptères, lombricidés et les chilopodes, les hémiptères, les acariens, les enchytréides et les collemboles. Certains individus font partie de la mésofaune comme les collemboles et les enchytréides, la méthode de prélèvement utilisée n'est pas la plus judicieuse pour prélever de la mésofaune alors d'autres méthodes notamment de filtres devront être utilisées pour étudier cette mésofaune si besoin. La conservation de l'ensemble des individus a été faite dans des piluliers contenant une solution d'éthanol à 70%. Sur chacuns de ces derniers étaient inscrits la modalité, le numéro du réplicat, le numéro du point d'échantillonnage ainsi que l'horizon.

Identification de la macrofaune

L'identification de la macrofaune s'est réalisée en 2 étapes. La première était de faire une identification générale de l'ensemble des taxons présents par l'intermédiaire du logiciel Biigle (Potapov et al 2022). Ce dernier est un logiciel d'annotation qui est en développement. Son fonctionnement et son évolution est donc permis par l'intermédiaire de l'ajout continu d'individu afin qu'il puisse à terme identifier de manière autonome la macrofaune du sol qu'on lui présente. L'identification s'est faite à l'aide de photos prises au préalable pour chacun des échantillons. Par la suite, l'objectif était de détourer par un polygone chaque individu et de l'assigner à son clade respectif (carabidae, araneae etc..) et d'y étiqueter son stade de vie (nymphe, larve, juvénile, adulte). De plus, cette méthode permet d'obtenir une taille en pixel pour chaque individu. Toutes les données ont été reportées par les Master et Mr Ganault sur un drive excel commun. Puis, la détermination des taxons suivants : carabidae, isopodes et chilopodes s'est réalisée sous hotte mobile afin d'éviter le plus possible le contact avec l'éthanol.

Ensuite, à l'aide d'une loupe binoculaire, de pinces, d'une boîte de pétri ainsi que de nombreux ouvrages, les identifications ont pu être effectuées. En effet, l'identification des coléoptères a d'abord été effectuée à l'aide de la clé permettant d'amener jusqu'à la famille (Clé Faune n°94, Coléoptère Carabidae de France, Jacques Coulon). Puis, les carabes adultes ont été identifiés jusqu'au genre (Clé Family Carabidae Key to genus, Mike Hackston et Tiger Beetles Ground Beetles, 1987 Trautner, Jürgen et.al). Ceci à par la suite à permis d'arriver à l'espèce (Keys to the British species of Tribe Harpalini (Coleoptera, family Carabidae), Key to the British species of tribe Pterostichini, Key Tribe Bembidiini, Key to the British species of tribe Zabryini, Mike Hackston). Pour les chilopodes, une seule clé a permis d'identifier chaque individu jusqu'à l'espèce (Clé ,Les chilopodes (Chilopoda) de la moitié nord de la France, 2022, Étienne Iorio et al, 2022) Enfin, les Isopode adultes ont pu être identifiés à l'aide d'une clé d'identification (Crustacés Isopodes terrestres du Nord de la France (Crustacea, Isopoda, Oniscidea) Noël, Franck et.al, 2021)

Par la suite, la taille des individus a été obtenue à l'aide des données récupérées sur le logiciel biigle qui en détourant les individus attribue une valeur en pixel qui est

ensuite converti en données relatif à la masse. Les groupes trophiques ont été assignés par l'intermédiaire de BETSI permettant par l'intermédiaire du renseignement de l'espèce, d'attribuer les caractéristiques propres à celles-ci. Ce dernier correspond à une base de données qui répertorie un grand nombre d'informations sur la macrofaune du sol. Il renseigne sur des informations précises comme la taille des individus, le régime trophique etc. BETSI nous a permis à travers des pourcentages de qualifier des carabes en tant que prédateurs ou phytophages, c'est à dire par exemple qu'un carabes considéré à 70% comme prédateur et à 30% comme phytophages sera à considéré comme prédateur. C'est ainsi que l'on a déterminé par habitude alimentaire le régime trophique des Carabes.

Analyses statistiques

Dans un premier temps, l'abondance moyenne a été calculée en prenant en compte le nombre d'individus par taxon étudié. Puis par la suite de faire l'abondance moyenne pour l'ensemble des taxons étudiés à l'aide du package vegan (Jari Oksanen et al.). Ensuite, le calcul de la richesse moyenne s'est effectué en effectuant une moyenne du nombre d'espèces par pilulier à l'aide du package vegan. La proportion a été calculée en prenant tout d'abord le nombre d'individus présent au sein de son régime trophique associé (zoophage ou phytophage) puis d'établir une proportion en divisant le nombre total d'individus du régime trophique associé par l'effectif total avec le package vegan. Enfin, la taille des individus a été calculée en faisant une moyenne pour l'ensemble des taxons à l'aide du package vegan.

Par la suite, l'ensemble des données ont été traitées à l'aide du logiciel R. Il a permis, dans un premier temps, de réorganiser les données brutes à l'aide du package tidyverse. (Wickham H 2019) Par la suite, nous avons testé l'effet des PMS sur l'abondance et la richesse spécifique des 3 taxons choisis (Carabidae, Isopode, Chilopode) à l'aide tout d'abord d'un test Kruskal qui permet de déterminer si les médianes de deux groupes ou plus différent. Puis un test de Wilcoxon par pair a été réalisé afin de comparer l'ensemble des modalités entre elles. Puis, nous avons testé l'effet des PMS sur la proportion des régimes trophiques des carabes (phytophages et prédateurs) à l'aide du test kruskal puis du test de Wilcoxon par

pair. Ces tests ont également été utilisés successivement pour tester la variation de la masse des individus de chaque taxons confondu en fonction des modalités.

De plus, le logiciel a permis grâce au package ggplot2 (Hadley Wickham) et ggpubr (Alboukadel Kassambara), la réalisation de graphiques type boxplot mais également des tableaux de proportions (stacked barplot) afin de pouvoir analyser les données réorganisées en fonction des hypothèses testées.

Pour l'ensemble des tests statistiques effectués, une vérification de la normalité des résidus du modèle a été réalisée. Ici, les données n'étaient pas distribuées normalement ce qui a entraîné la réalisation de tests non paramétriques pour échantillons indépendants : test de Wilcoxon par pair (`pairwise.wilcox.test`) et le test de Kruskal Wallis.

Résultats

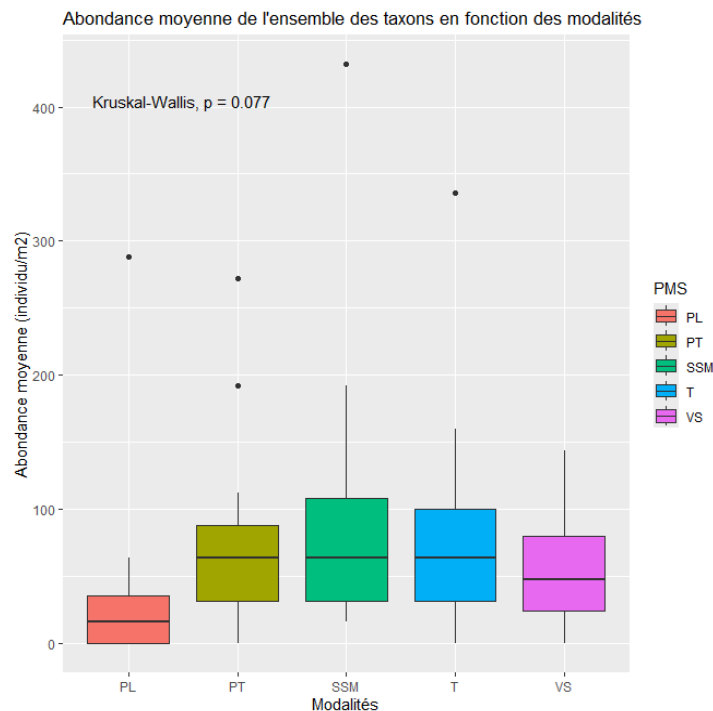


Figure 1 : Boxplots représentant l'abondance moyenne en individus par mètre carré sur l'ensemble des taxons étudiés réunis (Carabidés, Isopodes, Chilopodes) en fonction des modalités de PMS (PL : travail en plein, PT : travail en potet, SSM = sous-solage, T = témoin, VS = végétation spontanée)

L'abondance des différents taxons ne varie que marginalement en fonction de modalités de PMS (figure 1, pvalue = 0,077).

Pour plus de précision, on réalise un test non paramétrique de Wilcoxon par paire (Annexe 1). Grâce à ce dernier, on peut observer de manière plus précise, la présence de résultats non significatifs entre les différentes modalités testées. Cependant, on observe une abondance plus faible en PL comparé aux autres modalités (figure 1).

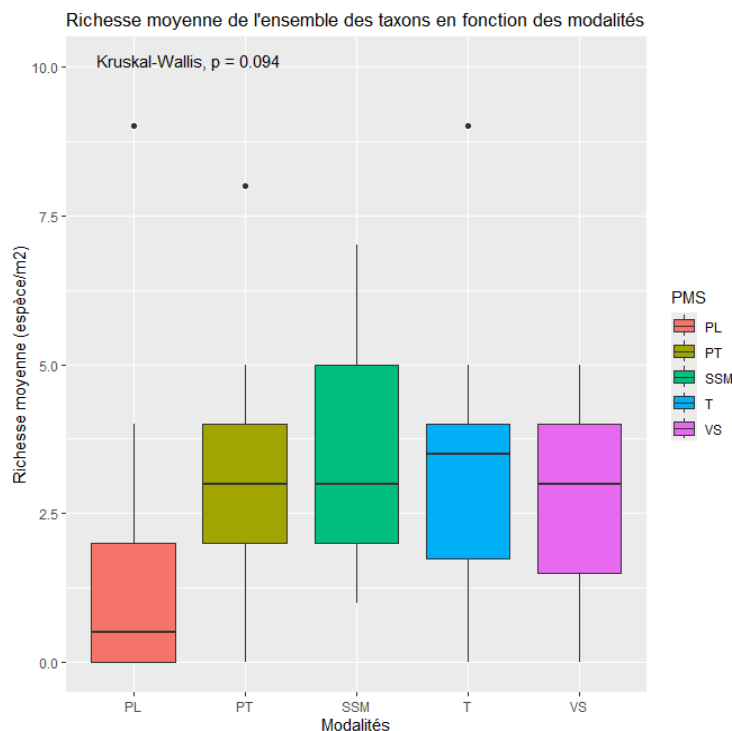


Figure 2 : Boxplots représentant la richesse spécifique moyenne en espèces par mètre² sur l'ensemble des taxons étudiés (Carabidés, Isopodes, Chilopodes) en fonction des modalités de travail du sol (PL : travail en plein, PT : travail en potet, SSM = sous-solage, T = témoin, VS = végétation spontanée)

On peut observer une richesse marginalement moins importante en PL comparé aux autres modalités (Figure 2, pvalue = 0,094). On peut également souligner une richesse plus importante en SSM tandis que l'on remarque une stabilité entre les modalités PT, T et VS. Par la suite, la réalisation d'un test non paramétrique de Wilcoxon par pair (Annexe 1), nous montre qu'il n'y a aucune différence significative de la richesse entre ces différentes variabilités.

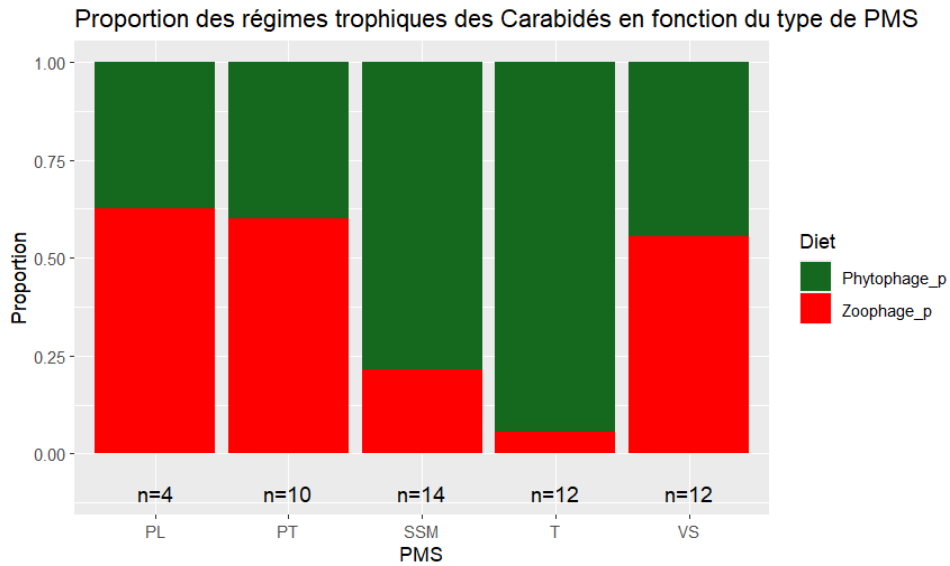


Figure 3 : Stacked barplot représentant la proportion des deux régimes trophiques observés chez les coléoptères carabidés en fonction des modalités de travail du sol (PL : travail en plein, PT : travail en potet, SSM = sous-solage, T = témoin, VS = végétation spontanée). L'indice "n" indique l'abondance totale des carabidés mesurée pour chaque modalité de PMS.

On constate une baisse importante de carabes phytophages dans les modalités PL et PT par rapport aux modalités SSM et T. Cependant, une tendance similaire est observée pour la modalité VS. La réalisation de tests statistiques n'a pu aboutir du fait d'un nombre trop faible d'individus.

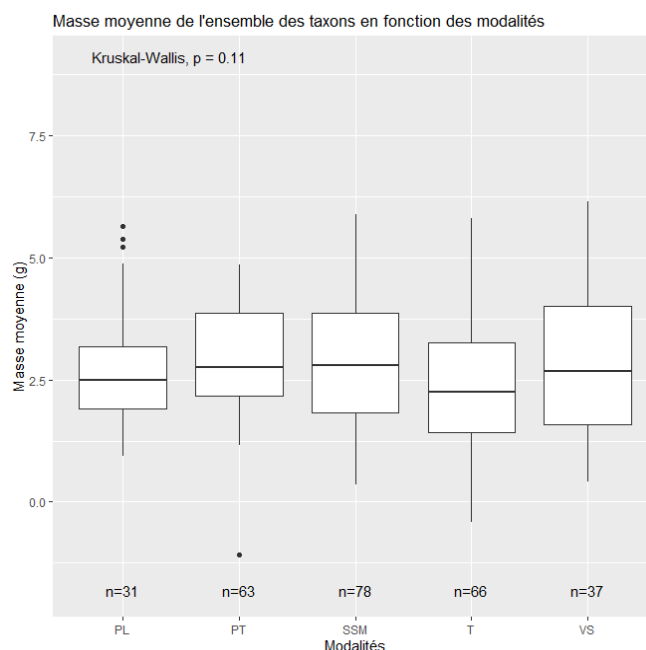


Figure 4 : Boxplots représentant la masse moyenne par individu en gramme sur l'ensemble des taxons étudiés (Carabidés, Isopodes, Chilopodes) en fonction des modalités de travail du sol (PL : travail en plein, PT : travail en potet, SSM = sous-solage, T = témoin, VS = végétation spontanée)

On peut voir que pour chaque modalité, la masse semble rester stable. On peut noter une légère baisse dans la modalité PL et T.

De plus, la réalisation du Test Kruskal Wallis, nous indique une p value de 0,11, ceci nous montre bien qu'aucune significativité n'est observée à travers ces résultats.

Par la suite, la réalisation du test non paramétrique de Wilcoxon par pair, nous montre davantage cette absence de résultats significatifs à travers nos boxplots.

Discussion

I. Abondance et richesse

a. Abondance

Sur l'ensemble des tests statistiques effectuées, on constate qu'ils sont marginalement significatifs. Cependant, par observation de la figure 1, on peut noter la présence d'une baisse d'abondance au niveau de la modalité PL qui représente la modalité de PMS la plus intense. Ce constat tend à valider l'hypothèse (H1) qui affirme que l'abondance diminue dans les zones où l'intensité des PMS est la plus importante. Ceci prouve bien que le travail du sol engendre des modifications de l'écosystème entraînant ainsi la modification de l'abondance des espèces, comme il a été montré à travers une étude, notamment lorsque la fréquence et l'intensité du travail est élevée (A.Bouthier.et al,2014).

Pour les modalités PT, SSM et T, on observe des tendances similaires. Ceci peut montrer qu'une plus faible intensité de travail du sol peut diminuer les conséquences des pertes des individus et que par conséquent, les modalités PT et SSM sont moins destructrices pour la macrofaune du sol. De plus, la décompaction en PT est compensée par la présence d'andain ce qui permet de favoriser la présence de ces organismes leurs permettant un meilleur accès aux ressources. De même pour la modalités SSM, où la litière n'a pas été bougée. Cette conservation de matière organique est importante car elle joue un rôle en termes d'apport sur le plan

biologique avec l'activité des organismes (bactéries, champignons macrofaune, plantes etc...) qui favorise les processus de dégradation, de minéralisation etc... Mais également sur le plan chimique avec la présence de minéraux indispensables au fonctionnement des organismes etc. (Gérald Huber, 2011). Ceci pouvant expliquer cette augmentation d'abondance dans les sols moins travaillés.

Par ces observations, on peut voir que l'abondance évolue en fonction de l'intensité des PMS. Et que celle-ci est d'autant plus marquée lorsque l'intensité des PMS est élevée, ce qui répond bien à la première hypothèse (H1). L'étude de ce paramètre a permis de nous rendre compte du constat du travail du sol sur la macrofaune. Pour appuyer ces observations, une étude complémentaire a été réalisée afin de regarder comment l'action de ces PMS agit sur la richesse spécifique des taxons étudiés.

Richesse spécifique

L'étude de ce paramètre a montré par l'intermédiaire de tests statistiques qu'il n'y avait aucune différence significative en termes de richesse entre les modalités.

Néanmoins, par observation à l'aide de la figure 2, on remarque que cette richesse est marginalement plus basse dans les parcelles soumises à une PMS en PL, soit la plus intense. Ceci répond bien à l'hypothèse (H1) stipulant que la richesse diminue lorsque l'intensité des PMS est plus élevée. Ceci a été démontré dans une étude qui montre que la diminution de l'intensité de ces interventions mécaniques du sol favorise la densité et la diversité de la macrofaune du sol (A.Bouthier.et al,2014)

Cette variation de richesse peut également s'expliquer par la présence plus ou moins forte de la diversité végétale en fonction des modalités de PMS. En effet, le but de ce travail du sol est de limiter les espèces concurrentes afin de favoriser au mieux la pousse de l'espèce désirée (ici le chêne sessile). Cependant, le fait d'enlever ces espèces végétales du milieu agit sur la richesse de la macrofaune. En effet, il a été montré à travers une étude que les communautés végétales représentent l'un des points qui déterminent la structure physique des habitats, et c'est par cette importante hétérogénéité structurale qu'ils ont pu montrer la présence d'une influence positive de celle-ci sur la richesse spécifiques des groupes faunistiques. (P.Janssen,2008)

Ainsi, à travers l'abondance et la richesse, on a pu voir un effet direct de l'action de ces PMS sur la macrofaune du sol. Maintenant, il serait intéressant de voir plus en détail l'impact de ce travail du sol sur la sélection des individus en fonction de leur régime trophique.

II. Régime trophique des carabes

Nous visons ici à se concentrer sur un taxon en particulier (les carabidés) afin d'observer l'influence des PMS sur régime alimentaire des différentes espèces de ce taxon. On remarque une baisse importante de la proportion en carabes phytophages au sein des modalités PL et PT. Si on compare la modalité PT avec la modalité SSM, on constate que cette dernière possède une plus grande proportion de carabes phytophages. Ceci serait dû au fait que plus l'intensité des PMS est importante, moins il y a de diversité végétale et donc indirectement, moins de biomasse végétale, ce qui engendre une diminution de la nourriture disponible pour les carabes phytophages. Ce résultat pourrait ainsi entraîner une diminution du nombre de carabes privilégiant la biomasse végétale en termes de nourriture. Ceci a été observé à travers une étude qui montre que l'augmentation de l'abondance de la macrofaune était fortement associée à l'augmentation de la biomasse végétale (A.Ebeling,2014)

Cependant, les carabes présentent un certain degré de généralisme/d'opportunisme alimentaire. L'abondance de chaque espèce de carabe phytophage présent et ainsi sa résilience face à la contrainte imposée par la réduction de la biomasse végétale observée dans les PMS les plus intenses se retrouve alors influencée par le comportement alimentaire de chaque espèce. C'est à dire qu'un carabe phytophage présentant plus de comportements opportunistes qu'un autre carabe phytophage sera plus adapté à la contrainte de la PMS. De plus, la plupart des carabes ayant de bonnes capacités de dispersions pour parcourir la surface du sol assez rapidement (P.Deroulers,2018), la sélection des carabes phytophages se jouera aussi sur leur aptitude à pouvoir se déplacer hors des zones PMS défavorables à leur régime trophique.

Nous pouvons relever des résultats surprenants parmi les modalités VS où on observe une proportion de carabes zoophages plus importante que celle vue au sein de la modalité T alors que l'on devrait s'attendre à des résultats similaires. Cela peut être dû au fait que les placettes VS étaient placées dans des zones de sol de composition différentes ou bien à un effet de début de pente, ces deux paramètres pouvant influencer l'abondance et la richesse des communautés des proies des carabes prédateurs, notamment des collemboles.

De plus, il a été démontré que la préparation mécanisée du sol en contexte agricole entraîne une augmentation de l'abondance en carabes prédateurs à même d'exploiter de nouvelle ressource trophique comme la présence d'organismes décomposeurs tels que les collemboles (Kosewska et al. 2023). Dans notre étude, en contexte sylvicole, l'augmentation de la proportion de zoophages peut être due à l'accumulation de matière organique dans les zones à andains, déposée par les machines lors du travail du sol dans les modalités PL et PT. Ces andains se révèlent être des zones favorables au développement des communautés de vers de terre, de cloporte et de collemboles (Elie et al. 2018). Ces mêmes andains pourraient expliquer la proportion plus élevée de carabes zoophages qui se nourriraient de ces mêmes décomposeurs ou bien d'autres organismes comme les larves de coléoptères ou de diptères présents dans le sol. Cette supposition pourrait se vérifier par une étude plus approfondie de l'abondance et la richesse des carabes consommant les organismes les plus abondants sur les andains ainsi qu'une étude sur l'abondance des individus de la communauté des proies potentielles présents sur les andains. Après identification des carabes les genres de carabes prédateurs les plus récurrents étaient *Notiophilus* et *Harpalus* et ces deux genres sont connus pour se nourrir préférentiellement de petits arthropodes notamment *Notiophilus* qui apprécie particulièrement les collemboles (Ernsting et Jansen 1978) ce qui pourrait être une piste pour valider notre supposition et ainsi comprendre ce changement de dynamique phytophage/zoophage sur les PMS les plus intenses.

À la suite de ces observations, on a pu déterminer que les PMS en fonction de leurs gradient d'intensité agissent également sur la sélection des individus d'un taxon particulier, en fonction du type de régimes trophiques leurs assurant la possibilité de se maintenir dans leurs environnement. Ceci permet de certifier à travers

l'hypothèse (H2) que les parcelles à modalités à forte intensité de PMS favorise davantage les carabes zoophages. On peut aller plus loin en se demandant si pour les 3 paramètres étudiées jusque là (abondance, richesse spécifique et régime trophique), l'évolution des résultats observés serait en lien avec la variation de la masse des individus (tous taxons étudiés confondus) contribuant plus ou moins à leurs capacités de dispersion et donc leur aptitude à pouvoir aller vers les zones favorables à leur alimentation et survivre.

III. Masse des individus

En s'intéressant à ce paramètre, on observe à l'aide des graphiques de la figure 4, des résultats contraires à nos attentes, concernant la variation de la masse pour chaque modalité. En effet, la masse semble rester stable malgré une légère baisse marginale dans les modalités PL et T. Ces observations sont confirmées par l'intermédiaire de tests statistiques qui nous amène à la même conclusion. La masse individuelle ne semble pas être un facteur qui soit impacté par le travail du sol.

a. Masse individuelle moyenne

Si on va plus loin avec la littérature, des études ont montré qu'à mesure que l'intensité du travail du sol augmente, l'utilisation de ces machines provoque un tassement du sol qui limite le déplacement de la macrofaune (P.Deroulers,2018). De plus, il a été observé sur le long terme que la macrofaune par manque de nourriture et avec plus de mortalité verrait leurs corpulence diminuer au fil des années (P.Deroulers,2018). Il serait intéressant de poursuivre notre étude sur plusieurs années afin de voir si la masse tend à diminuer chez la macrofaune.

b. Masse moyenne chez les carabidés

Il a été montré que chez les carabidés adultes, les individus de masse plus faible et donc par conséquent plus petit, ont plus de facilité à pouvoir se déplacer vers une placette plus favorable du fait de la présence de leurs ailes fonctionnelles. À contrario, les individus ayant une masse importante, possèdent des ailes atrophiées et donc ne peuvent se déplacer que par la marche (P.Deroulers,2018).

IV. Relation des différentes métriques étudiées

Une étude a montré que la diversité des régimes alimentaires retrouvés au sein de la communauté des carabidés étaient coordonnées avec la diversité morphologique des carabes (P.Deroulers,2018). Cela laisse à penser que moins il y a de nourriture, moins la diversité du régime trophique chez les carabidés est variée. Ceci pourrait entraîner une généralisation en termes de recherche de nourriture pour l'ensemble des individus et ainsi entraîner une baisse de la corpulence des individus par manque de nourriture. Cela causerait par la suite une baisse d'abondance et de richesse.

Ainsi, on a pu à travers la littérature approfondir nos résultats nous permettant d'envisager une possibilité de lien entre la masse et les variations observées au niveau de l'abondance, de la richesse et du régime trophique. Malgré le fait que nos résultats nous laissent à penser le contraire, une poursuite de notre étude pourrait nous conduire à des résultats plus concluants. Néanmoins, à ce stade, on peut dire que notre hypothèse (H3) semble ne pas être en cohérence avec ce que l'on a interprété à l'aide de nos résultats, à savoir que peu importe la modalité, la variabilité en terme de masse n'est pas impactée à mesure où on augmente l'intensité du travail du sol.

V. Limites méthodologiques

Pour clôturer cette discussion, il est important de prendre en compte la présence de biais rencontrés lors de notre étude. Tout d'abord, la présence d'une hétérogénéité du milieu notamment au niveau de l'une des placettes VS où la topographie est en début de pente, les différences de topographie en forêt peuvent induire des modifications d'habitats et de caractéristiques du sol et de la macrofaune par l'effet combiné de la pente et de la gravité sur le ruissellement, ainsi que l'accumulation de matière organique en fin de pente. Également de l'effet lisière présent avec la forêt proche de certaines placettes et la présence de la zone de régénération au centre. La disposition des placettes entre elles, est également quelque chose à prendre en compte. En effet, une placette sans travail qui se trouve à proximité de celles avec travail du sol peut fausser les résultats du fait que les individus peuvent s'y réfugier, en soit les placettes ne sont pas isolées entre elles. Ensuite, il est important de

prendre en compte la méthode d'échantillonnage effectuée. Il est vrai que pour une grande partie de la faune du sol, ce type d'échantillonnage se révèle efficace, cependant pour la capture des carabidés qui sont en général très mobiles et sont capables d'échapper au prélèvement de la macrofaune par tri manuel de bloc de sol, cette méthode est très peu adaptée, il aurait fallu privilégier des pièges Barber ou la méthode initiale combinée au piège Barber pour les échantillonner. Ceci entraîne un effectif faible en carabidés qui ne reflètent pas forcément la réalité (notamment au niveau de la modalité PL avec seulement 4 carabes prélevés). De plus, il faut prendre en compte le fait que l'étude est portée seulement sur 3 groupes taxonomiques par rapport à l'ensemble de la macrofaune prélevée par manque de temps vis à vis des identifications, ce qui ne permet pas de représenter plus justement les résultats à l'échelle des communautés présentes. À noter également, que les larves des carabidés n'ont pas été prises en compte dans notre étude à cause également d'un manque de temps et d'une difficulté encore plus importante à la détermination de ces derniers, ce qui peut représenter une perte de données statistiques. Enfin, notre manque d'expertise sur la détermination de la macrofaune a pu entraîner des résultats biaisés notamment sur le genre *Amara* chez les carabes et chez les *Geophilomorpha* qui n'étaient pas simples à identifier avec des caractères parfois microscopiques ou trop subjectifs.

Conclusion et perspective

À travers notre étude, nous avons pu voir le résultat de la PMS sur la macrofaune du sol. En effet, à mesure que le travail du sol monte en intensité, la macrofaune se retrouve davantage affaiblie, ceci étant visible sur plusieurs données tant en termes d'abondance, de richesse, mais également au niveau de son développement et de sa capacité à pouvoir se nourrir. Ceci a notamment été constaté au niveau de la modalité PL, qui est la modalité la plus intense, où pour l'ensemble de nos paramètres étudiés, leurs valeurs diminuées comparé aux autres modalités. Ceci est dû au fait que le sol est complètement mis à nu, ne laissant pas beaucoup de zone libre pour les organismes. À noter également que la disparition de la végétation concurrente entraîne une baisse de biomasse pour les organismes. Enfin, après discussion, nous avons pu voir que la masse est un paramètre qui ne semble pas impacté par les PMS.

Afin d'apporter plus de précision à nos résultats, l'étude des échantillons du T0 et T1 devra être effectuée afin de mieux se rendre compte de l'évolution de ces paramètres au cours du temps. De plus, l'étude de la mésofaune, notamment des collemboles qui font partie du régime alimentaire de certains carabidés étant en cours de réalisation, il serait intéressant de les associer à nos résultats afin de pouvoir déterminer les potentiels préférences alimentaires de nos carabidés en fonction des ressources disponibles, notamment dans les andains.

Enfin, pour répondre aux besoins des gestionnaires de forêts, nous estimons qu'il serait favorable de privilégier les modalités SSM et PT afin de limiter l'impact sur la macrofaune.

Bilan du stage

Au cours de ce stage, beaucoup de nouveautés se sont présentées. D'abord la prise de conscience d'un travail d'équipe à plus grande échelle avec plusieurs structures mais également la vie commune au sein du labo. De plus, au sein de l'équipe du laboratoire, tous étaient de bon conseil, à l'écoute et accueillant, ce qui a rendu les journées agréables. Au niveau des points forts on peut noter l'aisance de l'insertion dans le projet grâce aux bagages obtenus durant cette Licence. Un tuteur attentif et à l'écoute. Un binôme génial et très compétent. Une chance d'avoir pu assister aux réunions du projet avec les différents partenaires et avoir pu interagir avec eux. Pour les difficultés rencontrées, on peut noter la capacité à s'approprier un projet en cours de réalisation. Des difficultés également au niveau des identifications, car les organismes étaient parfois trop petits ou trop abîmés, ce qui impactait un peu le temps. Pour cette fin de bilan, j'aimerais remercier l'ensemble de l'équipe, mais également Nathanaël et Céleste qui ont été d'une grande aide et un grand soutien tout au long du stage. Je remercie également mon tuteur Monsieur Ganault pour sa confiance et son aide. Enfin merci à mon binôme Adrien qui nous a permis d'effectuer ensemble un travail efficace dans la bonne humeur.

C'est à travers tout ce chemin durant plus de 6 semaines que je souhaite poursuivre cette aventure pour le temps qui m'est permis avec 2 semaines de prolongations du stage.

-Daphné Cordeiro Huon

Au cours de ce stage, j'ai pu découvrir un milieu encore inconnu en tant qu'étudiant de licence : le milieu de la recherche en écologie. J'ai personnellement pu approfondir mes compétences d'identification des arthropodes sur les élatéridés, les carabidés, les isopodes ainsi que les chilopodes. J'ai également renforcé mes compétences en recherche de bibliographie et (enfin) appris à utiliser Zotero qui s'est révélé très pratique. J'ai pu explorer avec l'aide de mon binôme, de mes collègues et de monsieur Ganault différents tests statistiques et graphiques sur le logiciel R ainsi que la prise en main de R Studio. L'accueil était bienveillant autant de la part des enseignants que des doctorants et étudiants en master. J'ai pu travailler sur mon stage avec mon binôme Daphné dans une ambiance agréable tout au long de ces 6.5 semaines, merci à toute l'équipe d'Ecodiv. Je n'oublie évidemment pas monsieur Pierre Ganault notre tuteur de stage qui a été d'une aide précieuse et également d'une gentillesse sans limite. Je ne saurais le remercier pour cela. Je tiens à remercier également Nathanaël et Céleste nos collègues sur la macrofaune qui ont été d'une grande aide sur le traitement de nos données sur R ainsi que la partie matériel et méthodes (étant donné notre absence aux échantillonnages). Bref merci à tous ! C'est pour cette excellente expérience que j'ai décidé de prolonger le stage de deux semaines et de continuer ainsi l'aventure encore un peu !

-Adrien Le Saux

Bibliographie

Bouthier, Alain, Céline Pelosi, Cecile Villenave, Guenola Peres, Mickael Hedde, Lionel Ranjard, Jean Francois Vian, Jordan Peigne, Jacques Cortet, et Antonio Bispo. 2014. « Impact du travail du sol sur son fonctionnement biologique ». *Faut-il travailler le sol*, 85-108.

Déqué, Michel. 2000. « Modélisation numérique de l'impact climatique d'une augmentation de l'effet de serre. » *Revue forestière française* 52 (sp): 21-26.

Deroulers, Paul. 2017. « Étude des interactions trophiques entre les communautés de carabes et de graines adventices sous l'angle d'un système proie-prédateur ».

- Fetouab, Amira. 2023. « Effet de la densité de plantation et de la préparation mécanique du sol sur la diversité et la composition du sous-bois et la croissance des épinettes noires plantées dans la forêt boréale ».
- Huber, Gérald, et Christiane Schaub. 2011. « La fertilité des sols: L'importance de la matière organique ». *Agriculture et terroir, chambre d'agriculture Bas Rhin*.
- Ebeling, Anne, Sebastian T Meyer, Maike Abbas, Nico Eisenhauer, Helmut Hillebrand, Markus Lange, Christoph Scherber, Anja Vogel, Alexandra Weigelt, et Wolfgang W Weisser. 2014. « Plant diversity impacts decomposition and herbivory via changes in aboveground arthropods ». *PloS one* 9 (9): e106529.
- Janssen, Philippe. 2008. « Influence de l'hétérogénéité de l'habitat sur la richesse spécifique des coléoptères en forêt boréale/Janssen Philippe. »
- Alice Roux et Jean-François Dhôte. 2017. « Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050. »
- Traore, Mamoudou. 2012. « Impact des pratiques agricoles (rotation, fertilisation et labour) sur la dynamique de la microfaune et la macrofaune du sol sous culture de sorgho et de niébé au Centre Ouest du Burkina Faso ».
- Ernsting, G, et JW Jansen. 1978. « Interspecific and intraspecific selection by the predator *Notiophilus biguttatus* F.(Carabidae) concerning two collembolan prey species ». *Oecologia* 33:173-83.
- Elie, François, Lucie Vincenot, Thierry Berthe, Edouard Quibel, Bernhard Zeller, Laurent Saint-André, Matthieu Normand, Matthieu Chauvat, et Michaël Aubert. 2018. « Soil Fauna as Bioindicators of Organic Matter Export in Temperate Forests ». *Forest Ecology and Management* 429 (décembre):549-57. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.053>.
- Kosewska, Agnieszka, Renata Kędzior, Mariusz Nietupski, et Jakub Borkowski. 2023. « Epigeic Carabids (Coleoptera, Carabidae) as bioindicators in

different variants of Scots pine regeneration: implication for forest landscape management ». *Sustainability* 15 (18): 13322.

Manetti, Pablo L., Ariel J Faberi, Natalia L Clemente, et Alicia N López. 2013. « Macrofauna activity density in contrasting tillage systems in Buenos Aires province, Argentina ». *Agronomy Journal* 105 (6): 1780-86

Clés de détermination :

- Coulon, Jacques, Faune n° 94 – Coléoptères Carabidae de France, s. d.
- Hackston, Mike (2016), Family Carabidae (adapted from Lindroth (1974), Key to genus)
- Hackston, Mike (2019) adapted from Lindroth (1974), Wrase (2004) and Baehr (2004), Keys to the British species of Tribe Harpalini (Coleoptera, family Carabidae)
- Hackston, Mike (2020), adapted from Lindroth (1974), Key to the British species of tribe Pterostichini
- Hackston, Mike, Tribe Bembidiini, Translated and adapted for the British fauna by M Hackston, Müller-Motzfeld (2004) in Die Käfer Mitteleuropas, Band 2 Adephaga 1: Carabidae Edited by Freude, Harde Lohse & Klausnitzer., Müller (1918) Koleopterologische Rundschau Bd. 7 Bestimmungstabelle der Bembidion-Arten Europas und des Mittelmeergebietes
- Hackston, Mike (2020). Translated and adapted from Lompe (2018), Key to the British species of tribe Zabryini
- Iorio, Étienne et al, 2022, Les chilopodes (Chilopoda) de la moitié nord de la France : toutes les bases pour débiter l'étude de ce groupe et identifier facilement les espèces. Version 2. Document inédit basé sur la première version parue dans la revue « Invertébrés Armoricaains » n°13 (épuisée), décembre 2022, 90 p.
- Noël, Franck et al, 2021, Crustacés Isopodes terrestres du Nord de la France (Crustacea, Isopoda, Oniscidea)
- Trautner, Jürgen et al, 1987, Tiger Beetles Ground Beetles (illustrated key to the Cicindelidae and Carabidae of Europe)

Webographie

- <https://www.onf.fr/onf/lonf-agit/+/15::gerer-les-forets.html> , site officiel de l'ONF
- <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance>, site officiel du Ministère des économies et des finances et de la souveraineté industrielle et numérique
- <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>, INPN, page d'accueil officiel
- <https://portail.betsi.cnrs.fr/> , BETSI, page d'accueil officiel
- **Package tidyverse** : Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, François R, Golemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E, Bache SM, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H (2019). "Welcome to the tidyverse." Journal of Open Source Software, 4(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686.
- **Package vegan** : Jari Oksanen and Gavin L. Simpson and F. Guillaume Blanchet and Roeland Kindt and Pierre Legendre and Peter R. Minchin and R.B. O'Hara and Peter Solymos and M. Henry H. Stevens and Eduard Szoecs and Helene Wagner and Matt Barbour and Michael Bedward and Ben Bolker and Daniel Borcard and Gustavo Carvalho and Michael Chirico and Miquel {De Caceres} and Sebastien Durand and Heloisa Beatriz Antoniazzi Evangelista and Rich FitzJohn and Michael Friendly and Brendan Furneaux and Geoffrey Hannigan and Mark O. Hill and Leo Lahti and Dan McGlenn and Marie-Helene Ouellette and Eduardo {Ribeiro Cunha} and Tyler Smith and Adrian Stier and Cajo J.F. {Ter Braak} and James Weedon)
- **Package ggpubr** : Hadley Wickham
- **Package ggplot2** : Alboukadel Kassambara

Annexes

Annexe 1 : Les différentes test stats

Figure 1 :

Test pairwise.wilcox :

	PL	PT	SSM	T
PT	0.22	-	-	-
SSM	0.14	1.00	-	-
T	0.28	1.00	1.00	-
VS	1.00	1.00	1.00	1.00

Figure 2 :

Test pairwise.wilcox :

	PL	PT	SSM	T
PT	0.18	-	-	-
SSM	0.12	1.00	-	-
T	0.49	1.00	1.00	-
VS	1.00	1.00	1.00	1.00

Figure 4 :

Test pairwise.wilcox :

	PL	PT	SSM	T
PT	1.00	-	-	-
SSM	1.00	1.00	-	-
T	1.00	0.11	0.37	-
VS	1.00	1.00	1.00	1.00

Résumé

La préparation mécanisée du sol est un sujet déjà très étudié en contexte agricole autant sur les caractéristiques du sol que sur l'impact de la macrofaune. De nombreuses études montrent que la préparation mécanisée du sol impacte négativement l'abondance et la richesse de la macrofaune du sol par la modification de l'habitat et l'exportation des ressources trophiques. En contexte sylvicole cette pratique est à l'inverse très peu renseignée. Notre étude dans le projet CASTOR cherche à caractériser la faune du sol en fonction de différentes modalités de PMS sur un site expérimental situé en forêt domaniale d'Eu, une forêt tempérée. Nous nous intéressons dans ce rapport au temps T2 de l'expérience soit un échantillonnage 6 mois après la PMS et 2 mois après plantation des arbres. Nous observons que le travail en plein (PL) semble la plus influente sur la macrofaune du sol avec une richesse et une abondance significativement plus faible dans ces deux modalités.

Nous avons également réalisé une approche par les traits et observé une tendance à une baisse de la proportion de carabes phytophages dans les modalités en potet et en plein (PT et PL), cependant l'abondance en carabes étant plutôt faibles, des échantillonnages supplémentaires devront être réalisés pour confirmer ou non cela. Notre approche sur les traits s'est poursuivie sur une étude de la masse des individus ou nous n'avons pas observé de différences significatives de masses moyennes par individus sinon une légère tendance à la baisse dans les modalités PT et PL.

Mots clés :

Perturbation forestière, Régimes trophiques, Abondance, Richesse spécifique, Masse moyenne.