

Travail de Bachelor

Le taux d'activité des vers de terre dans les différents écosystèmes de la Grande Cariçaie

Audrey Demont

Sous la direction du Dr Pascal Vittoz et de Lila Siegfried





Table des matières

Table des illustrations	3
Résumé	4
Introduction	5
Site d'étude	5
Vers de terre	5
Catégorie écologique des vers de terre	
Structures biogéniques	6
Mésologie	7
Facteurs hydriques	7
Facteurs nutritifs	
Texture du sol	
Milieux écologiques	
Zone alluviale	
Alnion glutinosae	
Alnion incanaeFraxinion	
Milinio-Pinion	
Molinion	
Motivation – problématique	
Méthodologie de la recherche	
Terrain	
Bait Lamina Test	
Structures biogéniques	
Analyse des données	15
Bait Lamina Test	
Structures biogéniques	16
Résultats	17
Activité biologique	17
Profondeur en fonction de la surface du sol	18
Structures biogéniques	20
Discussion	22
Activité biologique	22
Profondeur en fonction de la surface du sol	24
Structures biogéniques	26
Limites	29
Conclusion	
Bibliographie	
Filmographie	
Annexes	



Table des illustrations

Figure 1: Carte des stations de la Grande Cariçaie.
Figure 2: Récolte des Bait Lamina avec un vers de terre dans l'un des trous dans la Grande
Cariçaie
Figure 3: Récolte de turricules dans la Grande Cariçaie
Figure 4: Taux d'activité biologique en fonction des milieux écologiques de la Grande
Cariçaie
Figure 5: Taux d'activité biologique en fonction des milieux écologiques de la Grande
Cariçaie
Figure 6: Taux d'activité biologique des milieux cumulés en fonction de la distance à la
surface du sol dans la Grande Cariçaie
Figure 7: Taux d'activité biologique par milieux en fonction de la distance à la surface du
sol dans la Grande Cariçaie
Figure 8: Masse des turricules par station en fonction des milieux de la Grande Cariçaie.
21
Figure 9: Taux d'activité des vers de terre en fonction de la masse des turricules pour
chaque station
Figure 10: Hauteur movenne de la nappe phréatique par rapport au sol [m]23



Résumé

La forêt s'est récemment développée sur la rive sud du lac de Neuchâtel à la suite de la correction des eaux du Jura, permettant la formation de la Grande Cariçaie. Au sein de ces milieux spécifiques, des ingénieurs écosystémiques s'y trouvent, comme les vers de terre, qui jouent un rôle important dans la qualité des sols. L'abondance des vers de terre est influencée par divers facteurs, notamment la saturation en eau du sol, la disponibilité en nutriments et la texture du sol. Cette étude portera sur l'observation de l'activité biologique du sol au sein de la Grande Cariçaie.

Dans le cadre de cette étude, 15 stations ont été examinées, comprenant cinq milieux différents, à savoir les aulnaies noires, les aulnaies blanches, les frênaies humides, les pinèdes et les molinaies. Les données ont été collectées à l'aide de deux méthodes: la méthode des baits lamina, qui permet d'obtenir des informations sur le taux d'activité biologique, et la récolte des turricules, qui permet de quantifier leur masse dans chaque station, donnant une représentation de l'activité des lombrics.

Les résultats selon la méthode des baits lamina est que l'activité biologique est plus importante dans les deux types d'aulnaies. Ce résultat est potentiellement dû à la sécheresse importante survenue pendant l'été 2022, entraînant une migration des vers de terre vers des forêts plus sèches (frênaies et pinèdes) vers des zones plus humides ou en profondeur. De plus, il a été observé une activité biologique plus élevée dans les premiers centimètres du sol. Cette observation s'explique par une meilleure accessibilité à l'oxygène et une plus grande proximité des nutriments. En ce qui concerne les structures biogéniques, les résultats ont aussi montré une grande diversité de masse de turricules au sein des différentes stations. Cela peut s'expliquer par l'influence de l'humidité relative élevée lors des jours de récolte, ainsi que par les variations de texture du sol entre les différents milieux.

En conclusion, l'étude a révélé une activité biologique plus importante dans les aulnaies noires et les aulnaies blanches, mais il est probable que les mêmes mesures faites lors d'une année normale donneraient d'autres résultats. Elle n'a toutefois pas



pu mettre en évidence une corrélation entre l'activité biologique mesurée par la méthode des baits lamina et la quantité de turricules récolté dans la Grande Cariçaie.

Introduction

Site d'étude

La Grande Cariçaie est une zone marécageuse située sur la rive sud du lac de Neuchâtel (Bonny, 2016). La formation de cet environnement unique est attribuée à la première correction des eaux du Jura réalisée à la fin du 19ème siècle (Bonny, 2016). Cette intervention a entraîné une baisse de 2,7 mètres du niveau du lac, favorisant ainsi le développement de cette zone marécageuse (Cornali, 1997). Cependant, ces écosystèmes se sont vu menacés par la deuxième correction des eaux du Jura, qui, visant à stabiliser les fluctuations du niveau de l'eau, a réduit l'amplitude des variations à seulement 1,8 mètres (Cornali, 1997). Afin de le préserver, un plan de gestion a été mis en place en 1982, conduisant à la création de réserves naturelles entre 2001 et 2002 (Bonny, 2016).

Vers de terre

Les vers de terre sont des ingénieurs écosystémiques qui jouent un rôle crucial dans la qualité des sols (Eggleton et al., 2009). Ils participent à de multiples processus tels que la décomposition de la matière organique, le recyclage des nutriments, la formation et le maintien de la structure du sol (Campiche et al., 2015). En outre, ils sont considérés comme des bioindicateurs permettant d'évaluer la biodiversité et la qualité environnementale. L'activité des vers de terre est influencée par divers attributs biologiques qui jouent un rôle essentiel dans la régulation de leur population et leur répartition spatial au sein des milieux écologiques (Bullinger-Weber et al., 2012). Par ailleurs, ils sont également sensibles à certains paramètres pédologiques tels que la saturation du sol en eau, sa texture et sa composition nutritive (Bullinger-Weber et al., 2012).

Catégorie écologique des vers de terre

Les vers de terre sont classifiés en trois catégories écologiques : les anéciques, les endogés et les épigés (Bouché, 1972). Cette classification repose sur l'utilisation de certaines caractéristiques corrélées aux contraintes environnementales (Capowiez et al., 2022). Cependant, Capowiez et al. (2022) soulignent que ces trois catégories



ne sont que des pôles entre lesquels se trouvent de nombreuses situations intermédiaires.

Les vers de terre de forme anécique présentent une coloration brune à brun-noirâtre, parfois irisée (Bouché, 1972). Ce sont des espèces vivant dans le sol qui ingèrent la litière à un emplacement donné et éjectent les résidus ailleurs, généralement en profondeur, de manière verticale. Ils se distinguent par leur activité pédogénétique intense (Bouché, 1972). Quant à la forme endogée, elle ne présente pas de pigmentation cutanée. Ces vers vivent en permanence dans le substrat minéralo-organique du sol, se nourrissant de matière organique ou de racines mortes (Bouché, 1972). Dans ce groupe, il existe des épiendogés qui se trouvent dans l'horizon supérieur du sol, tandis que les hypoendogés restent en profondeur, là où les sols sont moins oxygénés (Bouché, 1972). Les formes épigées ont principalement une coloration rouge vineux ou rosâtre en fonction de la litière environnante (Bouché, 1972). Ces vers de terre prospèrent principalement en dehors du substrat minéral du sol, tels que la litière, les terriers ou les composts (Bouché, 1972).

Structures biogéniques

Les vers de terre laissent des structures biogéniques caractéristiques qui témoignent de leur activité en surface (Le Bayon et al., 2022). Les turricules sont composés de sol et de résidus organiques qui sont ingérés par les vers de terre, mélangés dans leur système digestif pour former un complexe argilo-humique (Edwards, 2004). Ce complexe diffère du sol environnant en raison des changements dans la dynamique de la matière organique, de la porosité du sol, ainsi que de la formation et de la stabilité des agrégats (Edwards, 2004). Selon Bachelier (1978), les rejets résultant de la digestion se distinguent du sol environnant par leur couleur plus foncée, un pH plus alcalin et une microflore sélectionnée plus active.

Les turricules possèdent une variabilité liée aux espèces de vers de terre présentes, à la texture du sol et aux conditions environnementales (Bouché, 1972). En effet, Bachelier (1978) souligne que les rejets de surface sont plus importants dans les sols lourds que dans les sols légers, en raison d'une plus grande ingestion de terre nécessaire pour un même réseau de galeries dans les sols lourds. Ainsi, les quantités de masse retrouvée pour des sols humides de régions tempérées varient



généralement entre 0.6 et 8.3 kg de rejets de surface annuels par mètre carré (Kollmannsperger, 1934, 1955, cité par Bachelier, 1978).

Mésologie

Les vers de terre sont sujets à plusieurs facteurs environnementaux déterminant leur distribution ainsi que leur taux d'activité, nécessitant de prendre en compte les phénomènes physiques, chimiques et biologiques (Bouché, 1972). Au niveau mondial, la température est le facteur le plus déterminant, car elle influence leurs taux métaboliques et leurs ressources nutritives (Edwards, 2004). Cependant, dans le cas spécifique de la Grande Cariçaie, la distribution des vers de terre et leur activité sont principalement influencées par l'apport hydrique (Edwards, 2004).

Facteurs hydriques

L'activité et la répartition des vers de terre sont principalement influencées par l'humidité du sol, que ce soit en cas d'excès, de déficience ou de variations (Edwards, 2004). Les vers de terre manifestent une préférence pour les environnements humides, mais leur taux d'activité est étroitement lié à la disponibilité d'oxygène dans leur habitat (Bouché, 1972).

Les vers de terre sont capables de survivre en anaérobiose durant une certaine période en accumulant des acides qu'ils oxydent lorsque l'oxygène est à nouveau disponible (Bachelier, 1978). Cela implique que l'anaérobie stricte n'est pas viable (Bouché, 1972). Suite à cette affirmation, Bouché (1972) soutient que c'est le potentiel d'oxydo-réduction qui détermine la limite écologique, car si l'environnement est suffisamment oxygéné, même en cas d'inondation, l'activité des vers de terre ne cesse pas. De plus, la classification des vers de terre joue un rôle, car certaines espèces sont hygrophiles et prospèrent dans des milieux réducteurs (Bouché, 1972).

Selon Fründ et al (2011), les inondations réduisent considérablement l'abondance des vers de terre, mais ces impacts varient en fonction du sol, de la saison, de la durée des inondations et des espèces. En revanche, en cas de sécheresse, les vers de terre ont la capacité de migrer vers des horizons plus profonds du sol ou vers des



zones présentant des conditions environnementales plus humides, favorisant ainsi leur activité (Bachelier, 1978).

Facteurs nutritifs

La biomasse des vers de terre est principalement influencée par l'abondance et les propriétés de la litière organique apportée, à condition que les facteurs physicochimiques n'aient pas d'impact prépondérant (Edwards, 2004). Ces organismes présentent des préférences en fonction de la nature et la qualité de la matière organique associée à la litière (Edwards, 2004). Ils favorisent particulièrement la litière constituée de petits débris végétaux non aromatiques, de feuilles à faible dureté, avec une faible teneur en composés phénoliques et tanins (Bachelier, 1978). Les feuilles d'arbres sont généralement préférés aux graminées (Barot et al., 2007), avec une préférence pour la litière de frêne, suivie de celle de bouleau et d'aulne (Bachelier, 1978). Les herbes à racines denses ainsi que les aiguilles de conifères sont généralement évitées (Bachelier, 1978). Il convient de noter que les préférences alimentaires des vers de terre varient selon les espèces, les types de sols, les saisons et la couverture végétale (Bachelier, 1978).

Texture du sol

La texture du sol exerce une influence directe sur la répartition des vers de terre en raison de sa structure, ainsi qu'une influence indirecte en affectant le taux d'humidité (Edwards, 2004). Les sols avec une texture argileuse sont plus sujets à un environnement anoxique après de fortes précipitations, tandis que les sols sableux légers sont plus sujets à des conditions de sécheresse (Edwards, 2004). De plus, la répartition verticale des vers de terre dans le sol peut être influencée par la variation de la texture du sol à différents niveaux. Cette variation entraîne une organisation hétérogène de sa structure, ce qui peut avoir des conséquences sur la distribution des vers de terre (Barot et al., 2007). Ainsi, Bachelier (1978) observe que les vers de terre sont plus abondants dans les sols de composition limoneuse, argilo-limoneuse et argilo-sableuse par rapport aux sols sablonneux, caillouteux et argileux.



Milieux écologiques

Zone alluviale

L'émergence des rives du lac de Neuchâtel a permis aux espèces végétales adaptées aux milieux alluviaux de coloniser ces nouvelles zones exposées, constituant la Grande Cariçaie (Cornali, 1997). Elle est principalement composée d'un mélange d'espèce (aulnes) et de milieux (prairies humides, frênaies), le tout mis sous le couvert d'espèces. (Cornali, 1997). On y trouve également d'autres habitats, tels que les pinèdes, qui sont généralement présents dans des conditions environnementales plus extrêmes (Cornali, 1997). Ainsi, plusieurs facteurs sont nécessaires au développement de ces milieux, notamment l'intensité et la fréquence des perturbations mécaniques liées à la dynamique des crues, ainsi que le niveau moyen et les variations du niveau de la nappe phréatique (Delarze et Gonseth, 2008).

Alnion glutinosae

L'aulnaie noire est un milieu rare en Suisse, qui se développe dans des dépressions peu profondes saturées d'eau (Mandžukovski et al., 2021). A la Grande Cariçaie, il prospère particulièrement sur les cônes d'alluvions formés par les ruisseaux provenant de l'arrière-pays et se déversant dans la zone riveraine de la Grande Cariçaie (Roulier, 1980). Le sol de ces milieux est alimenté en minéraux par la nappe phréatique, qui se trouve généralement entre la surface et 10 centimètres de profondeur (Delarze et Gonseth, 2008). Cette condition hydrologique influence la structure du sol, qui est caractérisée par une faible aération et une forte teneur en matière organique (Mandžukovski ez al., 2021) entraînant des conditions anoxiques, ce qui réduit l'activité biologique et limite la disponibilité des sources nutritives (Delarze & Gonseth, 2008). De plus, la quantité de litière dans ces milieux est relativement faible, ce qui peut entraîner une diminution de l'abondance des vers de terre (Bullinger-Weber et al., 2012).

Alnion incanae

Dans les milieux de la Grande Cariçaie, les sols subissent des variations saisonnières et intra-annuelles du niveau de l'eau. Cette dynamique se traduit par une remontée du niveau de l'eau au milieu de l'automne, suivi d'une baisse au printemps (Mandžukovski et al., 2021). Cependant, des événements extrêmes tels



que des inondations ou des sécheresses peuvent occasionner des exceptions à cette régularité. Les aulnaies blanches, en particulier, sont soumises à des conditions écologiques dynamiques, caractérisées par un bon approvisionnement en eau et des inondations temporaires, comme le soulignent Delarze et Gonseth (2008). Il convient cependant de noter que ces variations sont moins prononcées au sein de la Grande Cariçaie en raison de la régulation du niveau du lac (Cornali, 1997).

Fraxinion

Les frênaies humides sont des types de forêts composées d'essences à bois dur telles que les frênes, les chênes et les ormes (Delarze et Gonseth, 2008). Elles se développent principalement sur des sols riches en matière organique et caractérisés par une humidité élevée (Roulier, 1980). Les sols des frênaies humides sont généralement caractérisés par leur niveau de développement peu avancé, ce qui suggère qu'ils peuvent être relativement jeunes (Terrisse, 2013).

Molinio-Pinion

Dans la région de la Grande Cariçaie, les pinèdes se développent sur des sols peu épais, dont la profondeur ne dépasse généralement pas 40 centimètres (Cornali, 1997). Elles sont usuellement situées dans des endroits où l'humidité du sol varie tout au long de l'année (Delarze et Gonseth, 2008). En effet, l'approvisionnement en eau dans ces zones provient exclusivement des précipitations, ce qui entraîne la présence d'une nappe phréatique proche de la surface pendant l'hiver, qui s'assèche ensuite durant l'été (Cornali, 1997).

Molinion

Les prairies humides de la Grande Cariçaie, situées à proximité du lac de Neuchâtel, abritent la molinie, une espèce végétale caractéristique de ces milieux (Bonny, 2016). Les sols dans lesquels la molinaie se développe sont soumis à des fluctuations de la nappe phréatique à faible profondeur, créant des conditions de sol anoxiques ou à faible potentiel d'oxydo-réduction (Delarze et Gonseth, 2008). Ces sols ont également une faible teneur en nutriments, ce qui peut être attribué à la stagnation de l'eau et à la décomposition lente des matières organiques accumulées (Delarze et Gonseth, 2008).



Motivation – problématique

Il a été observé qu'il existe un manque d'études concernant le taux d'activité des vers de terre en zone alluviale (Bullinger-Weber et al., 2012). De plus, il convient de souligner le peu d'études spécifiques portant sur le taux d'activité des vers de terre dans la Grande Cariçaie. Par conséquent, l'objectif de cette étude est d'apporter des informations sur la dynamique de ces organismes au sein de cet écosystème particulier de la Grande Cariçaie. Diverses questions se posent donc concernant le taux d'activité des vers de terres dans ce milieu :

La saturation du sol en eau implique-elle une diminution de l'activité biologique en zone alluviale de la Grande Cariçaie ?

Comment varir l'activité biologique en fonctin de la profondeur sur les 15 premiers centimètres ?

La masse de turricule récoltée au sein des différents milieux de la Grande Cariçaie est-elle proportionnelle aux taux d'activité biologique ?

La première hypothèse suggère que le taux d'activité biologique sera le plus faible dans les aulnaies, en particulier les aulnaies noires, en raison de la saturation du sol en eau, ce qui crée des conditions anoxiques qui sont préjudiciables à l'activité des vers de terre (Delarze et Gonseth, 2008). Selon Bachelier (1978), les vers de terre n'ont pas la capacité de survivre dans des conditions strictement anaérobiques audelà d'une certaine période.

Deux hypothèses sont également formulées pour examiner la distribution verticale des vers de terre en fonction de la profondeur du sol. La première hypothèse postule que dans les aulnaies noires et les aulnaies blanches, caractérisées par une nappe phréatique proche de la surface et des conditions anoxiques, le taux d'activité des vers de terre est maximal dans les couches supérieures du sol en raison de l'accessibilité accrue à l'oxygène (Delarze et Gonseth, 2008; Bullinger-Weber et al., 2012).

La deuxième hypothèse suggère que dans les prairies humides dominées par la molinie, l'activité biologique est relativement faible en profondeur. Cette hypothèse repose sur plusieurs facteurs, tels que la texture du sol pouvant influencer la distribution verticale des vers de terre (Barot et al., 2007). De plus, les prairies



humides à molinie présentent une faible teneur en nutriments dans leur sols, ce qui peut limiter l'activité des vers de terre (Delarze et Gonseth, 2008). Par conséquent, il est prévu que l'activité des vers de terre soit plus élevée dans les couches supérieures du sol, où les nutriments sont le plus présents.

Une dernière hypothèse est formulée pour examiner la relation entre le nombre de turricules récoltés et le taux d'activité biologique. Cette hypothèse postule que la masse des turricules augmentera de manière linéaire en fonction du taux d'activité biologique. Cette hypothèse est appuyée par des études antérieures montrant que les turricules sont des indicateurs de l'activité des vers de terre en surface (Le Bayon et al., 2022). Par conséquent, il est suggéré que la quantité de turricule augmente lorsque le taux de l'activité biologique mesuré par la méthode des baits lamina croît. Il convient de noter que la substance contenue dans les baits lamina est préférentiellement consommée par les vers de terre, permettant de suggérer cette relation entre ces deux méthodes (Bayon et al., 2022).

Méthodologie de la recherche

Terrain

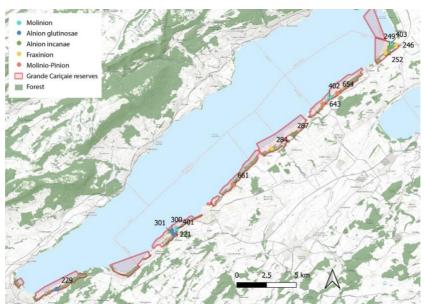


Figure 1: Carte des stations (Lila Siegfried). Elle présente l'emplacement des 15 stations étudiées dans cette étude au sein de la Grande Cariçaie, située sur la rive sud du lac de Neuchâtel. Chaque station est représentée par un code, et la couleur indique le type de milieu écologique.

Afin de répondre à la question de recherche, une étude sur le terrain a été menée pour mesurer l'activité des vers de terre durant les mois d'octobre et de novembre dans cinq types de milieux différents :avec trois stations par type de milieu : les



aulnaies noires, les aulnaies blanches, les frênaies humides, les pinèdes et les molinaies.

Bait Lamina Test

Le test des baits lamina mesure l'activité alimentaire des organismes du sol par le comptage du nombre de baits lamina consommés après une certaine durée de temps (Le Bayon et al., 2022). Ce test utilisé dans cette étude, développé par Torne en 1990, vise à mesurer l'activité biologique du sol sur une période définie (Kratz, 1998). Il consiste en l'utilisation de bâtonnets de 16 cm de long, comportant 16 trous régulièrement espacés, remplis d'un substrat composé de cellulose, de son de blé et de charbon actif (Campiche et al., 2015). Ces lamelles sont insérées verticalement dans le sol pour être soumises aux processus de décomposition biogénique (Kratz, 1998). Cependant, cette méthode évalue la dégradation de la matière organique non seulement par les vers de terre, mais également par d'autres organismes vivants (Le Bayon et al., 2022). Cette étude a utilisé cette méthode en raison de sa facilité d'application, de son faible coût et de son caractère non intrusif pour l'environnement. Bien qu'il ne nécessite pas de compétences spécifiques pour réaliser ce test, il est toutefois nécessaire d'acquérir des connaissances sur d'autres paramètres écologiques tels que l'humidité, la texture du sol ainsi que sa teneur nutritive, pour une analyse approfondie (Kratz, 1998).

La méthode des baits lamina a été étudiée dans 15 stations différentes, avec deux sites au sein de chaque station espacés d'environ 10 mètres. Au sein de chaque milieu, en particulier dans la station la plus accessible, il est nécessaire d'ajouter un bait lamina supplémentaire en tant que témoin afin de réaliser des tests. Ce test permet de contrôler la progression de la dégradation de la substance étudiée.

Pour cette étude, un total de 245 baits lamina a été utilisé, repartis en huit baits lamina pour



Figure 2: Récolte des Bait Lamina avec un vers de terre dans l'un des trous dans la Grande Cariçaie.

chaque site. Une lame en métal a été utilisée pour faciliter l'insertion des baits lamina et éviter de les endommager. De plus, 120 drapeaux ont été nécessaires pour



localiser les zones d'étude. Parmi les autres équipements utilisés figuraient un GPS pour déterminer les emplacements d'étude, un mètre pour effectuer des mesures de distance, du scotch de couleur pour faciliter le repérage des baits lamina lors de la collecte, ainsi qu'un ciseau et un stylo. Le stylo a été utilisé pour étiqueter les baits lamina en fonction de leur station avec l'ajout d'un numéro allant de 1 à 16, correspondants à leur position dans la station. Cela a permis une identification précise des baits lamina.

Dans un premier temps, il est essentiel de placer les baits lamina dans un emplacement à accès restreint afin de prévenir la perturbation des baits par la mégafaune, tels que des sangliers, renards et autres mammifères. Le premier bait lamina placé est désigné par le numéro 1 ou 9, tandis que le dernier est identifié par le numéro 8 ou 16. Du scotch de couleur est ajouté au bout de la partie supérieure de chaque bait lamina. Ensuite, chaque site doit être pourvue de huit baits lamina, disposés à une distance de 30 centimètres les uns des autres, formant ainsi deux colonnes de quatre baits lamina. Les baits lamina sont alors insérés verticalement dans le sol, en utilisant une lame métallique pour préparer le trou. Le trou le plus haut du bait lamina doit se situer juste en dessous de la surface du sol. Une fois les baits lamina mis en place, quatre drapeaux sont positionnés aux extrémités des colonnes. Leurs coordonnées GPS sont également enregistrées.

Structures biogéniques

Les vers de terre laissent des structures biogéniques caractéristiques qui témoignent de leur activité en surface (Le Bayon et al., 2022). Dans cette étude, une approche indirecte a été utilisée en mesurant la masse des turricules plutôt que de les quantifier individuellement. Cela s'explique par la variabilité de la pluviométrie et les modifications apportées par les vers de terre anéciques qui produisent leurs déjections de manière échelonnée, rendant difficile une quantification précise (Le Bayon et al., 2022).



Figure 3: Récolte de turricules dans la Grande Cariçaie.

La méthode de collecte des turricules a été répétée dans

15 stations distinctes, où trois zones d'échantillonnage ont été choisies de manière



aléatoire au sein de chaque station. Cette approche visait à prélever une quantité représentative de turricules au sein de chaque station. Le matériel utilisé pour collecter les turricules comprenait des sachets en plastique étiquetés en fonction des stations et du numéro de réplique, allant de un à trois, ainsi que d'un mètre.

Un carré de 30 cm x 30 cm a été défini à l'aide d'un mètre, et les turricules présents à la surface de ce carré ont été récoltés et placés dans le sac en plastique étiqueté en fonction de la station et du numéro de réplique. Ces carrés de collecte ont été préalablement définis selon un protocole établi pour la collecte ultérieure des vers de terre, réalisée dans le cadre du travail de master de Nathan Villat. Toutefois, certaines stations ne présentaient pas de turricules visibles à la surface.

Analyse des données

Bait Lamina Test

Après la collecte des données, les baits lamina ont été examinés à l'aide d'une loupe binoculaire pour observer la dégradation du substrat après son incubation dans le sol, conformément à la méthode décrite par Kipf (2022). La consommation du substrat, qui fournit une indication de l'activité des organismes du sol, a été classée en six catégories allant de 0 à 1. La catégorie « 0 » indique l'absence de dégradation visible par les organismes, tandis que la catégorie « 0.1 » correspond à l'absence de consommation visible mais à la présence de quelques marques laissées par les organismes. La catégorie « 0.25 » correspond à une dégradation de 15 à 25%, la catégorie « 0.5 » à une dégradation de 40 à 60%, la catégorie « 0.75 » à une dégradation de 65 à 85%, et la catégorie « 1 » à une dégradation de plus de 85%. Parfois, il était nécessaire de retirer le substrat de la languette afin de vérifier s'il s'agissait de terre ou du substrat spécifique utilisé.

Par la suite, les données ont été ajoutées dans un tableau Excel, où ont été enregistrées les informations suivantes : la station, le numéro de la station, l'utilisation de ces données, les trous des baits lamina allant de 1 à 16, le temps d'exposition, la date d'insertion et la date de récolte. Ces données ont été traitées à l'aide du logiciel R afin de générer des graphiques et de faciliter l'interprétation des résultats.



Dans le logiciel R, les données des baits lamina ont été organisées en plusieurs tableaux, un pour chaque station. Pour chaque station, les données des trous ont été regroupées en fonction des résultats obtenus et classées dans les 6 catégories correspondantes. Ensuite, la proportion de chaque catégorie a été calculée, permettant de regrouper tous les baits lamina de la station en les classant selon la catégorie à laquelle ils appartenaient, dans le but de donner le taux d'activité biologique en fonction des stations et des milieux.

Pour la profondeur, les données des baits lamina ont été organisées différemment. Un nouveau tableau a été créé pour chaque station, regroupant la position des trous sur la languette avec leur catégorie attribuée. Ensuite, pour chaque trou en fonction de sa position sur la languette, les proportions des catégories ont été calculées afin de donner le taux d'activité biologique en lien avec la profondeur.

Pour permettre de créer un graphique représentant la relation entre le taux d'activité biologique et la masse des turricules récoltée dans les différentes stations, les données des baits lamina ont été traitées de la manière suivante : pour chaque station, les baits lamina ont été regroupés et la proportion de chaque catégorie du taux d'activité biologique a été calculée. Par la suite, le taux d'activité biologique a été regroupé en deux classes. Une première classe nommée « pas d'activité biologique » regroupant les catégories 0-0.1 - 0.25. La seconde classe représentée par « activité biologique », regroupent les catégories 0.5 - 0.75-1. Seule la catégorie « activité biologique » est présentée sur le graphique.

Structures biogéniques

Les turricules ont été analysés en termes de masse. Ils ont d'abord été séchés dans une étuve à 40°C durant un minimum d'une semaine afin de mesurer leur poids sec. Lors de la collecte sur le terrain, certains débris tels que des épines, des feuilles ou des morceaux d'arbres ont pu être inclus avec les turricules. Pour remédier à cela, les débris ont été retirés autant que possible à l'aide d'une pince, puis la masse de chaque carré de turricules a été pesée.



Les données ont été ajoutées dans un tableau Excel, où ont été enregistrées les informations suivantes : la station, le milieu et la masse. Ces données ont été traitées à l'aide du logiciel R afin de générer des graphiques et de faciliter l'interprétation des résultats. Les turricules ont été classés en premier lieu en fonction des milieux, puis des stations, et enfin en fonction de leur masse. Cette organisation a permis de créer un graphique représentant la masse des turricules en fonction des stations et des milieux.

Résultats

Activité biologique

La Figure 4 met en évidence une activité biologique plus abondante dans les aulnaies noires et blanches (*Alnion glutinosae* et *Alnion incanae*), suivie d'une décroissance de l'activité dans les frênaies humides (*Fraxinion*) et les pinèdes (*Mollinio-Pinion*). Enfin, la molinaie (*Molinion*) présente la plus faible activité biologique, avec un taux relativement élevé de trous que très peu consommés.

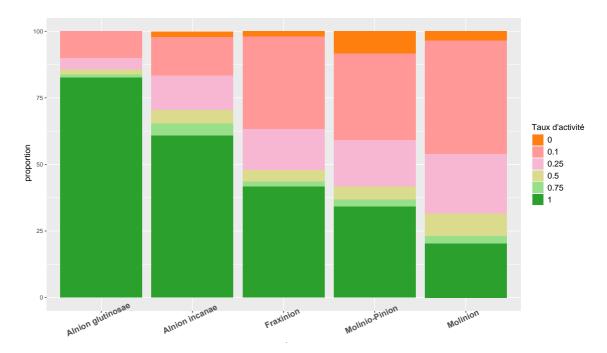


Figure 4: Taux d'activité biologique en fonction des milieux de la Grande Cariçaie. Elle présente la proportion de chaque catégorie du taux d'activité obtenue à partir de la méthode des baits lamina pour chaque milieu La Figure est composée de cinq graphiques distincts, chacun représentant un milieu spécifique étudié, ainsi que les stations qui lui sont associées. Chaque graphique présente la proportion des différentes catégories de taux d'activité biologique obtenues à partir des baits lamina dans les stations correspondantes.



Le graphique correspondant aux aulnaies noires (*Alnion glutinosae*) révèle une similarité entre les stations de ce milieu, avec une activité biologique importante. Les données de la station 300 n'ont pas pu être interprétées, suite à la destruction des baits lamina par des sangliers. Pour les aulnaies blanches (*Alnion incanae*), une disparité est observée entre la station 249 et les stations 287 et 301. Elles suivent néanmoins une tendance générale avec une activité biologique élevée. Les frênaies humides (*Fraxinion*) montrent des résultats divergents entre les stations de ce milieu. Les catégories 0.1 et 1 sont prédominantes, indiquant un taux d'activité moyen. De nouveau, les pinèdes (*Molinio-Pinion*) présentent des variations entre leurs stations. Les stations 654 et 661 sont relativement similaires, avec une proportion importante dans les catégories 0.1, 0.25 et 1, tandis que la station 643 montre un faible taux d'activité biologique. Enfin, la molinaie (*Molinion*) est représentée par une seule station avec un taux d'activité biologique faible. Les baits lamina des stations 401 et 402 de ce milieu ont été détruits par des sangliers.

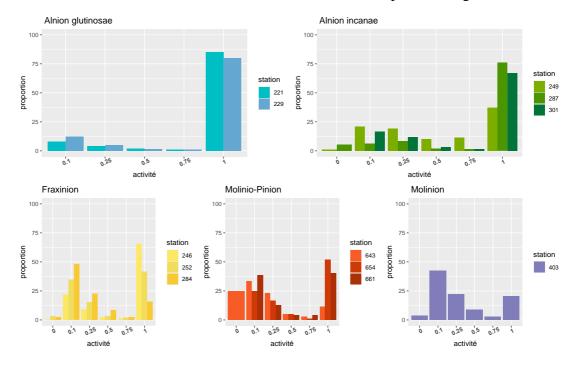


Figure 5: Taux d'activité biologique en fonction des milieux de la Grande Cariçaie. Elle présente la proportion de chaque catégorie obtenue à partir de la méthode des baits lamina pour chaque station, regroupée en fonction du milieu écologique.

Profondeur en fonction de la surface du sol

La Figure 6 présente le taux d'activité dans différents milieux en fonction de la profondeur du sol. Il est divisé en deux catégories : la première étant « trous de 1-8 » correspondant à la partie supérieure de la bande (1-5 cm) et la seconde étant



« trous de 9-16 » correspondant à la partie inférieure de la bande (5-10 cm). On remarque une activité biologique plus importante dans la partie supérieure du sol, principalement représentée par la catégorie 1. En ce qui concerne la partie inférieure du sol, on observe une présence prédominante des catégories 1 et 0,1, tandis que très peu d'activité se situe entre ces deux catégories.

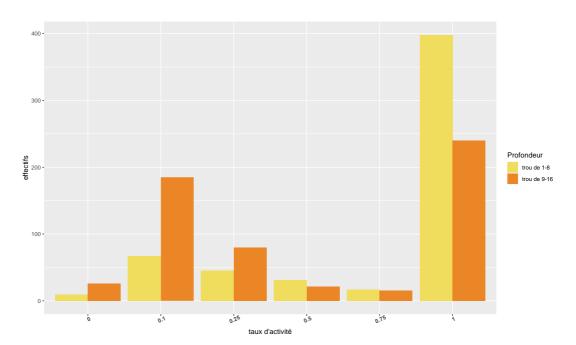


Figure 6: Taux d'activité biologique des milieux cumulés en fonction de la distance à la surface du sol dans la Grande Cariçaie. La profondeur du sol a été divisée en deux catégories : les trous de 1 à 8 représentant la partie supérieure du sol (1-5 cm) et les trous de 9 à 16 représentant la partie inférieure du sol (5-10 cm). Elle présente la proportion de chaque catégorie de taux d'activité obtenue à partir de la méthode des baits lamina en fonction de la distance à la surface du sol.

La Figure 7 est composée de cinq graphiques, chacun représentant le taux d'activité biologique en fonction de la distance de la surface du sol. Chaque graphique présente la proportion des différentes catégories de taux d'activité biologique obtenue à partir des baits lamina dans les stations correspondantes. Les aulnaies noires (*Alnion glutinosae*) présentent un taux d'activité élevé sur l'ensemble de la profondeur du sol. Les aulnaies blanches (*Alnion incanae*) y montrent également un taux d'activité élevé. Cependant, une activité plus faible est observée aux trous 9 à 12, suivie d'une augmentation ultérieure de cette activité. Les frênaies humides (*Fraxinion*) et les pinèdes (*Molinio-Pinion*) montrent une activité globalement moins importante et une plus grande diminution lorsque la profondeur augmente. En ce qui concerne la molinaie (*Molinion*), une faible activité est observée,



diminuant rapidement jusqu'au trou numéro 6, puis se stabilisant à un niveau d'activité relativement constant.

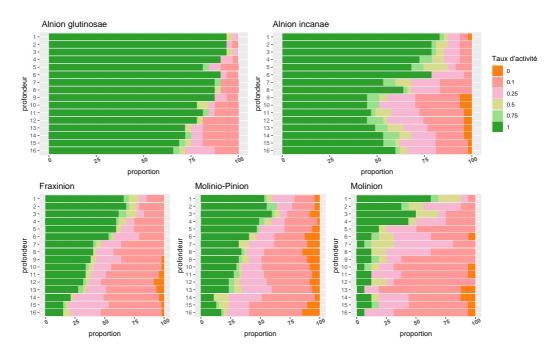


Figure 7: Taux d'activité biologique par milieux en fonction de la distance à la surface du sol dans la Grande Cariçaie. Elle présente la proportion de chaque catégorie de taux d'activité obtenue à partir de la méthode des baits lamina en fonction de la distance à la surface du sol, pour chaque milieu étudié.

Structures biogéniques

La Figure 8 présente la répartition des masses de turricules selon les différents milieux et les stations correspondantes. Dans les aulnaies noires, les résultats varient davantage d'une station à l'autre. La station 229 présente une masse de turricules plus élevée que la station 221, qui en contient peu, ainsi que la station 300, qui n'en contient pas du tout. Les aulnaies blanches montrent également une faible présence de turricules, avec l'absence totale de turricules aux stations 249 et 301. Toutefois, la station 287 présente des turricules. Les frênaies humides se distinguent par la plus grande masse de turricules. Les stations 246 et 285 ont des masses relativement similaires, tandis que la station 252 se distingue des autres stations de ce milieu par sa masse plus importante. Pour les pinèdes, les masses de turricules varient d'une station à l'autre. Les molinaies sont composées de deux stations approximativement identiques, à savoir les stations 401 et 402, tandis que la station 403 présente une quantité de turricules plus faible.



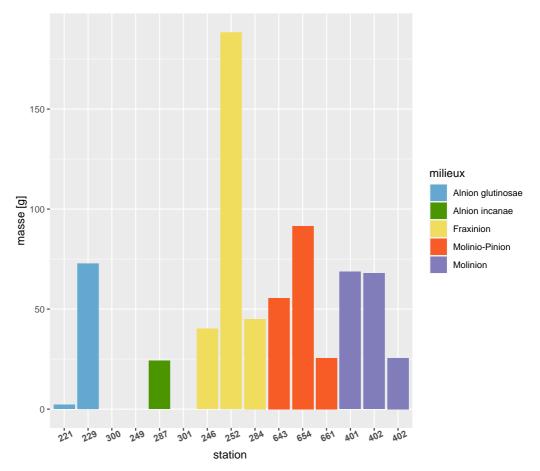


Figure 8: Masse des turricules par station en fonction des milieux de la Grande Cariçaie. Elle illustre la quantité de turricules collectée dans chaque station, en mettant en évidence la disparité observée au sein de celles-ci.

La Figure 9 présente la relation entre le taux d'activité biologique estimée par les baits lamina et la masse des turricules récoltée dans les différentes stations. D'après les résultats des baits lamina, les aulnaies noires (stations 221, 229), ainsi que les aulnaies blanches (stations 249, 287, 301), présentent un taux d'activité biologique élevé mais une quantité de turricules relativement faible. Dans le cas des frênaies humides, une faible quantité de turricules est généralement observée malgré des taux d'activité biologique variables. Cependant, la station 252 se distingue avec une proportion élevée de structures biogéniques par rapport à son taux d'activité biologique. En ce qui concerne les pinèdes, les résultats sont plus homogènes. En effet, les stations 643, 654 et 661 présentent un lien plus marqué entre le taux d'activité biologique et la masse des turricules. Enfin, la station de la molinaie (station 401) présente une activité biologique relativement faible, tout comme la quantité de turricules. Les stations 300, 401 et 402 n'apparaissent pas sur le graphique en raison du manque de données issues de la méthode des baits lamina.



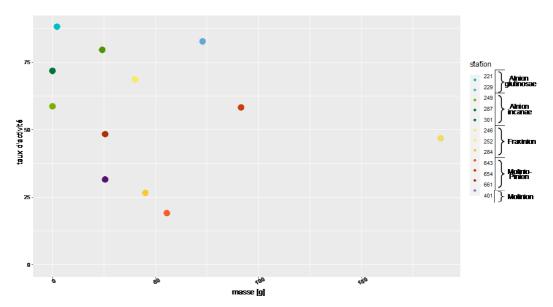


Figure 9: Taux d'activité biologique en fonction de la masse des turricules pour chaque station. Elle représente la relation entre l'activité biologique du sol, estimée à l'aide des baits lamina et la quantité de turricules récoltée pour chaque station.

Discussion

Activité biologique

Les résultats obtenus ne sont pas conformes à la première hypothèse selon laquelle l'activité biologique serait plus faible dans les aulnaies. Les aulnaies noires et les aulnaies blanches présentent toutes deux une activité biologique élevée, telle que mesurée à l'aide des baits lamina. Cependant, il convient de prendre en compte plusieurs facteurs qui pourraient expliquer ces résultats. La Figure 10 illustre les fluctuations hydriques observées dans la Grande Cariçaie entre le printemps 2021 et l'été 2022.



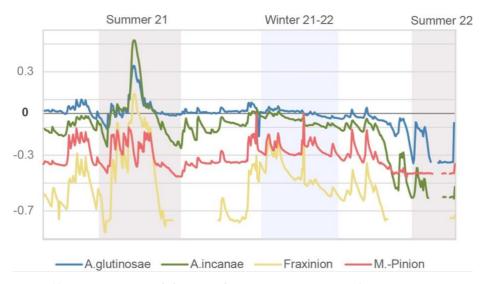


Figure 10: Hauteur moyenne de la nappe phréatique par rapport au sol [m] (moyenne entre trois stations par milieu; données de Lila Siegfried).

La Figure 10 indique que le printemps 2021 a été marqué par de fortes précipitations, ce qui a entraîné une augmentation du niveau de la nappe phréatique et provoqué des inondations les plus importantes depuis 1955. En revanche, on observe une nette diminution de la nappe phréatique au cours de l'été 2022. Les aulnaies noires et les aulnaies blanches ne sont pas inondées, comme le montre la position de la nappe phréatique en dessous de 0 mètre. Les frênaies humides ainsi que les pinèdes connaissent également un retrait important de la nappe phréatique. La Figure 10 indique une sécheresse marquée en été 2022, ce qui pourrait avoir une incidence sur la concentration des vers de terre dans les milieux plus humides. En effet, des événements extrêmes tels que les sécheresses peuvent influencer l'abondance des vers de terre (Bullinger-Weber et al., 2012) où un été sec peut les inciter à migrer dans un environnement où l'humidité est généralement plus élevée, comme l'a suggéré Bachelier (1978). Cette migration vers des zones plus humides peut fournir aux vers de terre un environnement plus favorable. De plus, il est important de considérer les préférences écologiques des différentes espèces de vers de terre présentes dans les zones alluviales. Selon Bouché (1972), certaines espèces sont principalement hygrophiles, ce qui signifie qu'elles ont une préférence pour les milieux humides. Ainsi, dans les milieux alluviaux, où l'humidité est plus élevée, ces espèces peuvent être plus abondantes et actives. L'étude menée par Eggleton et al. (2009) souligne également l'importance du facteur hydrique dans l'activité des vers de terre. Une abondance de vers de terre est donc observée pendant les mois



les plus humides, tandis qu'une diminution est constatée pendant les périodes les plus chaudes et les plus sèches de l'été (Eggleton et al., 2009). Ces résultats sont en accord avec les observations faites dans cette étude, où la sécheresse de l'été 2022 a joué un rôle important dans la distribution des espèces de vers de terre, qui ont tendance à se concentrer davantage dans les zones humides. Ainsi, le facteur hydrique apparaît comme un déterminant majeur de l'activité et de la répartition des vers de terre, confirmant l'importance de l'environnement humide dans leur présence et leur activité. L'activité biologique plus élevée observée dans les aulnaies noires et les aulnaies blanches de la Grande Cariçaie peut alors être expliquée par des conditions d'humidité plus favorables dans ces environnements par rapport aux autres milieux. Ces conditions d'humidité offrent un habitat propice aux espèces présentes, favorisant leur activité biologique et leur fonctionnement écologique dans ces écosystèmes spécifiques.

Toutefois, il est important de prendre en compte que les baits lamina permettent de mesurer le taux d'activité alimentaire des organismes (Campiche et al., 2015). En effet, la décomposition de la matière organique implique également la participation d'organismes microbiens, fongiques et d'autres membres du micro-réseau trophique tels que les nématodes et les protozoaires (Edwards, 2004). De plus, des arthropodes tels que les fourmis et les termites peuvent également jouer un rôle dans la décomposition de la matière organique (Edwards, 2004). Ainsi, l'activité biologique mesurée par les baits lamina peut être influencée par l'ensemble de ces facteurs. Il serait donc intéressant de réaliser une analyse du sol pour évaluer la quantité d'organismes présents afin d'être éclairé sur sur ceux qui jouent un rôle prépondérant dans l'activité alimentaire globale.

Profondeur en fonction de la surface du sol

L'hypothèse selon laquelle l'activité biologique atteint son maximum dans les couches superficielles du sol des aulnaies est confirmée, ce phénomène pouvant être attribué à la recherche de conditions plus favorables en termes d'oxygénation (Bouché, 1972). Cependant, il n'y a pas de diminution conséquente de l'activité biologique en profondeur. Cette constatation peut être expliquée par plusieurs facteurs. Tout d'abord, il convient de noter que la période de l'étude faisait suite à



une saison estivale relativement sèche, entraînant une baisse de la nappe phréatique. Ce retrait de la nappe phréatique a créé un environnement où l'oxygénation était améliorée, favorisant ainsi des conditions plus propices dans les premiers centimètres du sol. Par ailleurs, il est également possible que cette observation soit influencée par les espèces spécifiques présentes dans les aulnaies. En effet, certaines espèces de vers de terre telles que les hygrophiles peuvent être adaptées aux environnements présentant une forte teneur en eau (Bouché, 1972). Des études supplémentaires sont nécessaires pour élucider les mécanismes sous-jacents à ce modèle inattendu et pour mieux comprendre les adaptations des vers de terre à ces milieux spécifiques ainsi que de connaître les espèces présentes.

Les résultats obtenus confirment la seconde hypothèse formulée où l'activité biologique diminue en fonction de la profondeur dans les molinaies. En effet, l'étude démontre une diminution de l'activité biologique en fonction de la profondeur dans les molinaies, mais également dans les frênaies humides ainsi que dans les pinèdes. L'activité biologique en profondeur du sol peut être influencée par divers facteurs, notamment la disponibilité des nutriments. Les vers de terre ont une tendance à se déplacer vers les couches de sol offrant les conditions d'alimentation les plus favorables (Lavelle, 1988). Dans le contexte de cette étude, l'activité biologique est plus importante dans les frênaies humides par rapport aux molinaies. Cela peut s'expliquer par le fait que la litière des feuilles présente dans les frênaies est considérée comme une ressource plus attractive pour les vers de terre en raison de sa richesse relative en carbone et de sa faible teneur en lignocellulose (Lavelle, 1988). En revanche, la molinaie présente une décomposition plus lente de la matière organique, ce qui entraîne une disponibilité plus limitée en nutriments et donc une activité biologique moins importante (Delarze et Gonseth, 2008).

Il est important de souligner que notre étude se concentre principalement sur les dix premiers centimètres du sol, où résident principalement les vers de terre polyhumiques et mésohumiques (Lavelle, 1988). Les polyhumiques se nourrissent des horizons superficiels riches en matière organique, tandis que les mésohumiques ingèrent le sol jusqu'à une profondeur de quinze centimètres. Par conséquent, les vers de terre oligohumiques, qui vivent en profondeur, ne sont pas pleinement pris en compte dans notre étude, limitant ainsi la compréhension de l'activité biologique



totale des vers de terre. Il est donc essentiel de conduire des études plus approfondies afin d'évaluer de manière exhaustive l'activité biologique à travers le profil du sol, en incluant toutes les espèces de vers de terre présentes. Par ailleurs, il convient de souligner la difficulté d'expliquer l'activité biologique en relation avec la texture du sol. Ainsi, il serait pertinent d'entreprendre une étude couvrant l'intégralité du profil du sol afin de parvenir à des conclusions plus solides.

Structures biogéniques

Les résultats obtenus ne permettent pas de soutenir l'hypothèse initiale car aucun lien entre l'activité biologique et la quantité de turricules produites est perçue. Tout d'abord, des variations importantes de la quantité de turricules ont été observées entre les différentes stations d'un même milieu écologique. Cette divergence peut s'expliquer par le fait que les turricules présents en surface ne représentent qu'une fraction des activités de creusage et de brassage du sol effectuées par les vers de terre (Le Bayon et al., 2022). Il convient également de noter que les vers de terre ne produisent pas tous des rejets à la surface du sol (Bachelier, 1978). En effet, les espèces épigées ainsi que les anéciques produisent des turricules à la surface du sol (Bouché, 1972; Blouin et al., 2013). Cependant, les endogées qui creusent horizontalement dans le sol (Blouin et al., 2013), laissent suggérer qu'ils ne produisent pas de déjections visibles à la surface. De plus, la formation et la présence des turricules peuvent être fortement influencées par les conditions environnementales (Binet et Le Bayon, 1998).

Dans le cas des aulnaies noires et des aulnaies blanches, malgré un taux d'activité biologique élevé selon les résultats des baits lamina, la quantité de turricules présents dans ces milieux est relativement faible. Une explication possible de ce résultat réside dans le facteur d'humidité. En effet, la pluie joue un rôle prépondérant dans le processus de désintégration des turricules (Binet et Le Bayon, 1998). Pour la station 249 et la station 287, les conditions météorologiques la veille de la récolte étaient défavorables, avec une pluie modérée et une humidité relative de 98% (Historique-météo, 2009). Ces facteurs peuvent avoir influencé la masse des turricules récoltés en endommageant les structures par effet d'éclaboussure, où la cinétique des gouttes décompose le moulage, ou par l'effet de ruissellement qui



enlève ou transfère les particules du sol (Binet et Le Bayon, 1998). Les autres stations de ces milieux n'ont pas été impactées par la pluie, mais l'humidité relative était tout de même élevée (Historique-météo, 2009). Il convient également de noter que la teneur élevée en eau présente dans ces milieux entraîne une faible stabilité et consolidation des turricules (Binet et Le Bayon, 1998). Le cas de la station 229, où la quantité de turricules est plus élevée par rapport aux autres stations des aulnaies noires, est expliqué par la hauteur moyenne de la nappe phréatique en dessous de la surface du sol. Cette situation permet une diminution de la saturation en eau du sol, favorisant ainsi l'activité des vers, donc la formation des turricules (Binet et Le Bayon, 1998).

Stations	Profondeur [cm]	Granulométrie	Profondeur du sol [cm]	Hauteur moyenne de la nappe phréatique [m]
221	0-13	sable limoneux	56	0.047
229	0-25	limon moyen	73+	-0.161
300	26-35+	sable limoneux	35+	0.020
249	0-?	sable limoneux	61+	-0.112
287	0-35	sable limoneux	35+	-0.150
301	0-16	-	16+	-0.176
246	0-23	-	80+	-0.644
252	0-25	limon léger sableux	54+	-0.676
284	0-20	limon léger sableux	68+	-0.469
643	0-11	limon léger sableux	30+	-0.349
654	0-16	limon moyen sableux	38+	-0.258
661	9-20	limon argileux	27+	-0.342
401	-	limon moyen sableux	-	-
402	-	limon moyen sableux	-	-
403	-	limon moyen sableux	-	-

Tableau 1 : Les caractéristiques en termes de granulométrie, de profondeur du sol et de hauteur moyenne de la nappe phréatique des stations (données récoltée Lila Siegfried). La granulométrie du sol dans les stations est estimée en utilisant la classification de texture du sol selon le triangle de classification « AISNE ».

Il faut également prendre en considération la texture du sol, car elle joue un rôle dans la distribution des turricules. Dans le cas des aulnaies blanches, qui présentent une quantité relativement faible de turricules, la texture du sol peut être un facteur explicatif. En effet, ce milieu est caractérisé par un sol sablo-limoneux, qui est considéré comme un sol plus léger en termes de densité (Tableau 1). La diminution de la quantité de turricules observée peut donc être attribuée à la nature légère du



sol, ce qui entraîne une réduction du dépôt de matière à la surface du sol (Bachelier, 1978).

De plus, il est essentiel de souligner que les baits lamina mesurent l'activité alimentaire globale des organismes du sol, ce qui inclut non seulement les vers de terre, mais également d'autres acteurs clés tels que les microorganismes (bactéries, champignons) ainsi que certains arthropodes comme les acariens et les fourmis (Edwards, 2004). Ces différents groupes d'organismes contribuent à la décomposition de la matière organique et la transformation des nutriments dans le sol (Edwards, 2004). Ainsi la présence d'une activité biologique élevée dans les aulnaies peut être également attribuée à la présence et l'interaction de différents organismes décomposeurs.

Dans le contexte des frênaies humides, une faible quantité de turricules est généralement observée, à l'exception de la station 252. Malgré des conditions météorologiques défavorables avec de faibles précipitations et une humidité relative élevée les jours précédents la récolte (Historique-météo, 2009), cette station présente une quantité de turricules plus élevée que les autres stations. La station 252 se distingue par une nappe phréatique relativement basse, ce qui limite l'impact du facteur hydrique par rapport aux aulnaies (Tableau 1). La texture du sol peut alors jouer un rôle dans cette observation, car la station présente un sol limoneux léger sableux (Tableau 1). Selon Bachelier (1978), les sols lourds favorisent des rejets plus importants de matière à la surface en raison d'une ingestion accrue de terre pour une même longueur de galerie. De plus, la profondeur du sol est relativement importante (Tableau 1), offrant un plus grand volume de sol pour les vers de terre par rapport aux pinèdes.

Il est important de noter que la taille, le volume et la consistance des rejets des différentes espèces de vers de terre peuvent varier (Bachelier, 1978). Il existe des turricules globulaires étant des structures relativement résistantes ainsi que des turricules granulaires pouvant être facilement détérioré par la pluie (Lavelle, 1988). Il a également été observé que la stabilité des turricules croît avec une augmentation de la richesse en matière organique des sols (Bachelier, 1978). Cette différence de stabilité des turricules peut alors avoir une incidence sur leur durée de vie, ce qui



peut expliquer les variations observées dans la quantité de turricules récoltée entre les différentes stations. Ainsi, il serait pertinent d'analyser la composition des turricules dans chaque station afin d'observer les matériaux qui les constituent.

Limites

Cette étude a rencontré plusieurs limites et biais potentiels dans les méthodes utilisées sur le terrain. La méthode des baits lamina, bien qu'elle permette d'évaluer l'activité des vers de terre, ne cible pas exclusivement ces organismes et peut être influencée par la présence d'autres organismes du sol. L'utilisation d'une méthode plus spécifique pour évaluer l'activité des vers de terre pourrait fournir des résultats plus précis. De plus, l'impact de facteurs externes, telle que la présence de sangliers dans certaines stations a affecté les résultats par destruction d'une partie des baits lamina.

La méthode de récolte des turricules présente également des limites. Les variations entre les jours de récolte ont pu avoir un impact sur les résultats, car certaines récoltes ont été effectuées dans des conditions météorologiques défavorables à la stabilité des turricules, tandis que d'autres ne l'étaient pas.

Il est donc essentiel de tenir compte de ces limites et biais potentiels lors de l'interprétation des résultats et de reconnaître la nécessité de futures recherches plus approfondies pour obtenir une meilleure compréhension de l'activité des vers de terre dans les milieux alluviaux. Ces études devraient inclure des méthodes spécifiques pour évaluer l'activité des vers de terre et tenir compte de la diversité des espèces présentes dans chaque milieu.



Conclusion

En conclusion, cette étude a révélé la complexité de l'activité biologique dans le sol au sein de la Grande Cariçaie, mettant en évidence une activité biologique plus importante dans le sol des aulnaies noires et des aulnaies blanches, principalement en raison des conditions hydriques du milieu pendant la période de l'étude. Il a également été démontré que les aulnaies présentent une activité biologique maximale en surface, en raison de conditions d'oxygénation plus favorables. Cette activité biologique diminue que légèrement en profondeur, ce qui peut être attribué au retrait de la nappe phréatique abaissant la saturation du sol en eau, ainsi qu'à la disponibilité des nutriments qui est maximale en surface. En revanche, une diminution de l'activité biologique en profondeur a été observée principalement dans les molinaies, les frênaies humides et les pinèdes, en raison de facteurs nutritifs.

En outre, aucune conclusion définitive n'a pu être tirée quant à la relation entre l'activité biologique mesurée par la méthode des baits lamina et la quantité de turricules récoltée dans la Grande Cariçaie. La stabilité des turricules peut être influencée par des facteurs tels que les conditions hydriques, la texture du sol et la présence d'espèces spécifiques. Il convient de noter que la méthode des baits lamina mesure le taux d'activité biologique alimentaire dans le sol, englobant non seulement les vers de terre, mais également d'autres organismes décomposeurs tels que les microorganismes et les arthropodes.

À la lumière des résultats obtenus, des études supplémentaires seraient intéressantes, en réalisant plusieurs campagnes de prélèvement dans les mêmes stations à des périodes différentes afin de déterminer les variations temporelles au sein des stations. Il serait également pertinent de procéder à un dénombrement des vers de terre pour évaluer l'impact des autres microorganismes sur les résultats des baits lamina, ainsi que pour identifier les différentes espèces présentes dans les milieux écologiques, ce qui permettrait d'expliquer les variations observées dans la quantité de turricules ainsi que le taux d'activité biologique dans les sols des différents milieux de la grande Cariçaie.



Bibliographie

- Bachelier, G. (1978). *La faune des sols, son écologie et son action*. O.R.S.T.O.M, Paris, 391 p.
- Barot, S., Rossi, J.-P., & Lavelle, P. (2007). Self-organization in a simple consumer–resource system, the example of earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(9), 2230-2240. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.03.021
- Binet, F., & Le Bayon, R. C. (1998). Space-time dynamics in situ of earthworm casts under temperate cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*, 85-93. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00109-6
- Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J. E., Cluzeau, D., & Brun, J.-J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 64(2), 161-182. https://doi.org/10.1111/ejss.12025
- Bouché M. (1972) Lombriciens de France. Écologie et systématique. Institut national de la recherche agronomique, France, 671.
- Bullinger-Weber, G., Guenat, C., Salomé, C., Gobat, J.-M., & Le Bayon, R.-C. (2012).

 Impact of flood deposits on earthworm communities in alder forests from a subalpine floodplain (Kandersteg, Switzerland). *European Journal of Soil Biology*, 49, 5-11. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.08.001
- Campiche, S., Grand, É., Aquillon, C. G., Homazava, N., Vermeirssen, E., Werner, I., Ferrari, B. J. D., Maurer, C., Chervet, A., Sturny, W. G., & Schlaepfer, R. (2015).

 3. Forum: La biologie du sol dans la pratique, 15, 20-28.
- Capowiez Y., Decaëns T., Hedde M., Marsden C., Jouquet P., Marchan D. F., Nahmani J., Pelosi C. et Bottinelli N. (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. *Étude et Gestion des Sols*, 29, 51-58.
- Cornali, P. (1997). Ecologie des pinèdes (Pinus sylvestris) de la rive sud du lac de Neuchâtel (Suisse). I, Phytosociologie, pédologie, hydrodynamique. Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles, 120, 55-72. https://doi.org/10.5169/SEALS-89458
- Delarze, R., & Gonseth, Y. (2008). Guide des milieux naturels de Suisse: Écologie, menaces, espèces caractéristiques, Rossolis, Bussigny, 424 p.
- Edwards, C. A. (2004). Earthworm Ecology. CRC Press, Boca Raton, 441 p.
- Eggleton, P., Inward, K., Smith, J., Jones, D. T., & Sherlock, E. (2009). A six year study of earthworm (Lumbricidae) populations in pasture woodland in southern England shows their responses to soil temperature and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9), 1857-1865. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.06.007
- Historique-météo. (2009). *Yverdon-les-Bains : Météo en octobre 2022. Quel temps*faisait-il ? https://www.historique-meteo.net/europe/suisse/yverdon-les-bains/2022/10/
- Kratz, W. (1998). The bait-lamina test: General aspects, applications and perspectives.

 *Environmental Science and Pollution Research, 5(2), 94-96.

 https://doi.org/10.1007/BF02986394
- Lavelle, P. (1988). Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils*, 6(3), 237-251. https://doi.org/10.1007/BF00260820
- Le Bayon R.C., Campiche S., Gerber V., Fietier A., Scherrer L. et Turberg P., 2022 Outils d'évaluation de la diversité et de l'activité des vers de terre : de la science participative à la recherche fondamentale. *Étude et Gestion des Sols*, 29, 99-116.



- Mandžukovski, D., Čarni, A., & Sotirovski, K. (2021). *Interpretative manual of European riparian forests and shrublands*. Milcho Petrushevski, Skopje, 154 p.
- Roulier, Christian. (1980). *Dynamique des aulnaies noires de la rive du lac de Neuchâtel*.

 Colloques phytosociologiques, IX, 371-391.
- Terrisse, Jean. (2013). Frênaie mixte humide Poitou-Charentes Nature. http://www.poitou-charentes-nature.asso.fr/frenaie-mixte-humide/

Filmographie

Bonny, L. (2016). Un peu d'histoire.



Annexes

Annexes		
Annexe I : Protocole des baits lamina	34	
Annexe II : Classification du triangle des textures selon « AISNE »	35	
Annexe III : Figure de baits lamina détérioré par les sangliers	36	

Annexe I: Protocole des baits lamina

From Pascal Kipf master thesis: "Ecosystem functioning along elevation gradients: a focus on organic matter decomposition, 2022"

4.8. Bait lamina experiment

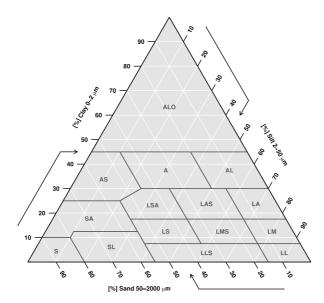
To investigate soil biological activity, we used bait lamina sticks (ISO, 2016) from S. Campiche from the EnviBioSoil office. On each plot, we identified three sub-plots representative with regard to the total plot vegetation and buried five bait lamina sticks with at least 10 cm distance between each (cf. Figure 3). Sticks were inserted in such a way that the uppermost aperture was situated at a depth of 0.5 cm within the organo-mineral horizon while minimizing disturbance of the surrounding humus layers. Where insertion was not possible to the full length of the stick (e.g., because of strong presence of rocks), the maximal insertion depth was marked with a waterproof pen. Collection of all buried baits finally took place after 19-21 days of exposure (Table 5) with baits showing a 40% consumption, which we judged sufficiently close to the ideal consumption rate of 50% (Römbke, 2014). Baits were pulled out of the soil removing adherent soil particles manually. The sticks were put in a sealable plastic bag grouped by sub-plot and were stored in a portable cooler. Before analysis, sticks were briefly put into lukewarm tap water to help detach soil particles and make analysis easier.

Consumption was then divided into following categorical values:

- 0 No consumption visible at all
- 0.1 Consumption near 0, but some tiny holes visible
- 0.25 15-35% consumed
- 0.5 40-60% consumed
- 0.75 65-85% consumed
- 1 >85% consumed



Annexe II : Classification du triangle des textures selon « AISNE »



La classification française des textures du sol selon « AISNE ».

	abbr	name
1	ALO	Argile lourde
2	A	Argile
3	AL	Argile limoneuse
4	AS	Argile sableuse
5	LA	Limon argileux
6	LAS	Limon argilo-sableux
7	LSA	Limon sablo-argileux
8	SA	Sable argileux
9	$_{ m LM}$	Limon moyen
10	LMS	Limon moyen sableux
11	$_{\rm LS}$	Limon sableux
12	$_{ m SL}$	Sable limoneux
13	S	Sable
14	$_{ m LL}$	Limon leger
15	LLS	Limon leger sableux

Classe du triangle français de l'AISNE.



Annexe III : Figure de baits lamina détérioré par les sangliers



Bait lamina détérioré par les sangliers.