Relations entre le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques et la présence de bois mort et de dendro-microhabitats dans la Grande Cariçaie.

Travail de semestre réalisé par Bardet Yann
Sous la responsabilité de Lachat Thibault
Zollikofen, 03.08.18

Haute école spécialisée bernoise
Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL
BSc en Sciences forestières -Forêt et société

Déclaration sur la propriété intellectuelle et l'octroi des droits d'utilisation

Par ma signature, je déclare :

- connaître les Directives sur la gestion des plagiats à la Haute école spécialisée bernoise ainsi que les conséquences de leur non-respect ;
- m'y être conformé-e lors de la réalisation de ce travail ;
- avoir réalisé ce travail personnellement et de manière autonome ;
- accepter que mon travail soit testé à l'aide d'un logiciel de détection des plagiats et conservé dans la base de données de la BFH ;
- accorder à la HAFL, à titre non exclusif, un droit d'utilisation gratuit et non limité dans le temps de ce travail.

Lieu et date : .....
Signature : .....

Avis concernant l'utilisation des travaux estudiantins de la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL

Tous les droits relatifs aux travaux de semestre, de minor, de bachelor ou de master sont propriété de leur auteur-e. Cependant, la HAFL détient, à titre non exclusif, un droit d'usage gratuit et non limité dans le temps.

Les travaux de semestre, de minor, de bachelor et de master font partie du cursus de la HAFL et sont rédigés par les étudiant-e-s de manière autonome. L'école décline toute responsabilité pour les erreurs qu'ils pourraient contenir et ne répond pas des dommages qui en découleraient le cas échéant.

Zollikofen, décembre 2015
La Direction

Table des matières

Liste des tableaux **3**

Liste des Figures **3**

Résumé **4**

1 Introduction **5**

2 État des connaissances **5**

2.1 Espèces saproxyliques *5*

2.2 Les espèces emblématiques *6*

2.3 Les arbres habitats *6*

2.4 Le bois mort *7*

3 Matériel et méthodes **8**

3.1 Démarche générale *8*

3.2 Relevés de terrain *9*

3.2.1 Sites de collectes 9

3.2.2 Relevés des dendro-microhabitats 9

3.2.3 Mesure du volume de bois mort au sol 11

3.3 Traitement des données *11*

3.3.1 Données obtenues 12

3.4 Calculs effectués lors du traitement des données *12*

3.4.1 Bois mort au sol 13

3.4.2 Bois mort sur pied 13

3.4.3 Grandeurs dendrométriques 13

3.5 Analyses statistiques *14*

3.5.1 Logiciel et fonctions utilisées 14

3.5.2 Variables testées 14

4 Résultats **15**

4.1 Influence du volume de bois mort sur la présence d'espèces de coléoptères saproxyliques *15*

4.1.1 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques et volume de bois mort par état de saproxylation ... 16

4.1.2 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques emblématiques et volume de bois mort par état de saproxylation 17

4.1.3 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques de valeur et volume de bois mort par état de saproxylation 18

4.2 Influence des dendro-microhabitats sur la présence d'espèces de coléoptères saproxyliques *19*

4.2.1 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques et dendro-microhabitats 19

4.2.2 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques emblématiques et dendro-microhabitats 20

4.2.3 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques de valeur et dendro-microhabitats 22

4.3 Courbe d'accumulation des espèces *23*

5 Discussion **24**

5.1 Influence du bois mort sur la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques *24*

5.2 Influence des dendro-microhabitats sur la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques *25*

6 Conclusion **26**

7 Bibliographie 28

8 Remerciements 30

9 Recueil des annexes. 30

10 Annexes sur support électronique (pas inclus au dossier) 40

Liste des tableaux

Tableau 1: Relations entre espèces saproxyliques, emblématiques et saproxyliques de valeur et le volume de bois mort au sol, sur pied et total 15

Tableau 2: Relations entre espèces saproxyliques et le volume de bois mort au sol et sur pied par état de saproxylation 16

Tableau 3: Relations entre espèces emblématiques et le volume de bois mort au sol et sur pied par état de saproxylation 17

Tableau 4: Relations entre espèces saproxyliques de valeur et le volume de bois mort au sol et sur pied par état de saproxylation 18

Tableau 5: Groupe et forme d'habitats ayant une relation significative avec le nombre d'espèces saproxyliques 20

Tableau 6: Groupes et forme d'habitats ayant une relation significative avec le nombre d'espèces emblématiques 21

Tableau 7: Groupes et forme d'habitats ayant une relation significative avec le nombre d'espèces saproxyliques de valeur 22

Liste des Figures

Figure 1: Stades de saproxylation du bois mort et succession des espèces en dépendant (Emberger, Larrieu et Gonin 2013). 8

Figure 2: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques et le volume de bois mort au sol et debout selon le stade de décomposition. 17

Figure 3: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces emblématiques et le volume de bois mort au sol selon le stade de décomposition. 18

Figure 4: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques de valeur et le volume de bois mort au sol selon le stade de décomposition. 19

Figure 5: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques et la présence d'habitats appartenant au groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites » et à la forme « Structure épiphytiques, épixyliques ou parasites » 20

Figure 6: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces emblématiques et la présence d'habitats appartenant aux groupes « cavités à terreau » et « plantes et lichens épiphytiques ou parasites », ainsi qu'à la forme « Structures épiphytiques, épixyliques ou parasites » 21

Figure 7: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques de valeur et la présence d'habitats appartenant aux groupes « champignons pérennes » et « plantes et lichens épiphytiques ou parasites », ainsi qu'à la forme « Structure épiphytiques, épixyliques ou parasites ». 23

Figure 8: Courbe d'accumulation des espèces de coléoptères saproxyliques (souces : données fournies par l'association de la Grande Cariçaie). 24

Résumé

BARDET Y. Relations entre le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques et la présence de bois mort et de dendro-microhabitats dans la Grande Cariçaie.

Durant les dernières décennies, la biodiversité a essuyé de lourdes pertes. Effectivement, l'urbanisation, le développement des transports et la fréquentation toujours plus importante des milieux naturels par l'Homme ont mené à des fragmentations d'habitats induisant l'extinction de nombreuses espèces. La forêt, de par sa surface et le nombre d'espèces qu'elle abrite, joue un rôle important dans la conservation de la diversité biologique.

Les espèces saproxyliques, dépendant du bois mort à un certain moment de leur vie, sont d'excellents indicateurs concernant la qualité des écosystèmes forestiers. Ces espèces sont, selon la littérature, favorisées par la présence de bois mort et de dendro-microhabitats. Ces deux entités sont donc des éléments indispensables à la conservation d'une grande partie des espèces forestières.

Ce travail a pour objectif de déterminer si le volume de bois mort, ainsi que le nombre de dendro-microhabitats, ont une influence sur le nombre d'espèces saproxyliques présentes dans la Grande Cariçaie. Afin de vérifier ces hypothèses, des relevés de volume de bois mort ainsi que des relevés de comptage de dendro-microhabitats ont été réalisés sur 15 placettes différentes. Les données ont ensuite été analysées statistiquement à l'aide de modèles linéaires généralisés, afin de trouver d'éventuelles relations entre les mesures effectuées et les données de comptage d'espèces de coléoptères saproxylique, réalisés par l'association de la Grande Cariçaie.

Les résultats obtenus indiquent que l'influence du bois mort au sol, sur pied et total, sur le nombre d'espèces saproxyliques présentes n'est pas significative. Cependant, un état de décomposition avancé du bois mort au sol montre un effet significativement positif sur la diversité d'espèces. Concernant l'influence des dendro-microhabitats sur le nombre d'espèces saproxyliques trouvées, aucun effet direct du nombre de microstructures comptées, de leur diversité, ou du nombre d'arbres habitats, n'a pu être observé. Cependant, les dendro-microhabitats appartenant aux groupes des cavités et des champignons pérennes semble avoir un effet significativement positif sur la présence d'espèces saproxyliques. A l'inverse, les microstructures appartenant au groupe des « plantes et lichens épiphytiques ou parasites », ainsi qu'à la forme « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites », montrent une influence négative sur la diversité de coléoptères saproxyliques.

Ces résultats ne permettent donc pas de confirmer les hypothèses énoncées, même si le bois mort de décomposition avancée et certains dendro-microhabitats influencent tout de même la diversité d'espèces en dépendant. Il faut toutefois garder en tête que tous les résultats n'ont pas été obtenus grâces à des modèles linéaires généralisés considérés comme précis. De plus, le nombre d'échantillons analysés est relativement bas. Afin d'obtenir de meilleurs résultats, il faudrait analyser un plus grand nombre de placette. De plus, pour cette expérience, seules des placettes connues pour être attractives pour les coléoptères saproxyliques ont été choisies. Il faudrait alors des placettes plus aléatoires et plus diversifiées. Ce manque d'hétérogénéité dans les valeurs récoltées est probablement l'une des principales causes du nombre de résultats non significatifs obtenus, contradictoires avec la littérature.

Mots clés : Bois mort, dendro-microhabitat, saproxylique, coléoptère.

1 Introduction

Durant les dernières décennies, la biodiversité a fortement diminué dans tout le monde. En effet les milieux naturels sont de plus en plus morcelés par l'urbanisation, l'augmentation de la mobilité, le tourisme et le développement des loisirs. Il en découle des pertes quantitatives et qualitatives de diversité biologique pour ces milieux (OFEV 2012). La forêt exerce un rôle important pour le maintien de la biodiversité sur le territoire helvétique, puisque 40% des 64'000 espèces présentent en suisse vivent ou dépendent de ce large écosystème. Malheureusement, la forêt suisse n'est pas épargnée par cette de perte de biodiversité (OFEV 2015).

Selon l'OFEV (2015), le bois mort et les vieux arbres sont des facteurs prépondérants pour la conservation de la diversité biologique. Cet office précise également qu'en Suisse, le manque de forêt en phase de décrépitude et la faible quantité de bois mort et de vieux arbres qui en découle, est l'un des plus grands déficits pour la biodiversité de nos forêts. Cette tendance pourrait se maintenir ou s'accentuer dans le futur. Premièrement, une utilisation grandissante de bois énergie, notamment en exploitant d'avantage les rémanents de coupe, pourrait mener à une diminution du volume de bois mort laissé en forêt. Deuxièmement, les périodes de production courtes pratiquées actuellement ne permettent pas aux forêts de terminer leurs cycles sylvigénétiques. Il en résultera un manque de vieux bois et donc de bois mort (Lassauce 2011).

Les espèces saproxyliques, dépendantes du bois mort à un moment de leur vie, sont des indicateurs particulièrement adaptés pour évaluer la qualité des écosystèmes forestiers (Parmain 2015). Ce travail, réalisé dans la réserve de la Grande Cariçaie, a pour but de mettre en évidence une éventuelle relation entre la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques et le volume de bois mort ainsi que la présence de dendro-microhabitats. Dans un premier temps, un aperçu des connaissances scientifiques actuelles dans le domaine permettra de savoir quelles relations ont déjà été montrées. Dans un deuxième temps, les relevés de bois mort et de dendro-microhabitats effectués sur le terrain seront comparés aux données de comptage de coléoptères saproxyliques. Ceci permettra de mettre en évidence d'éventuelles relations significatives et de répondre aux hypothèses qui sont les suivantes : le volume de bois mort a une influence positive sur la diversité d'espèces de coléoptères saproxyliques et il existe une relation positive entre les dendro-microhabitats présents et la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques.

Finalement, il s'agira de comparer les résultats avec ceux trouvés dans la littérature, afin de définir de nouvelles pistes de recherches concernant l'importance du bois mort et des dendro-microhabitats pour la biodiversité.

2 État des connaissances

2.1 Espèces saproxyliques

Speight (1989), cité par Kraus et Krumm (2013), définit les espèces saproxyliques comme « des organismes qui dépendent, à un moment de leur cycle de vie, du bois en décomposition sur des arbres vivants, dépérissant ou morts, ou des autres organismes saproxyliques ». Ces espèces sont associées au bois mort de différentes façons. Certaines s'en nourrissent, d'autre l'utilisent comme lieu de vie. Le rôle de ces espèces est central pour tout l'écosystème forestier puisqu'en décomposant le bois, elles rendent au sol les éléments nutritifs captés dans le bois (Emberger, Larrieu et Gonin 2013). Stokland, Siitonen et Jonsson (2012), cités par Parmain (2015) indiquent que ces espèces sont fortement dépendantes du volume de bois mort, ainsi que de la présence d'arbres porteurs de dendro-microhabitats (cf. § 2.3).

En Suisse, plus de 6000 espèces dépendantes du bois mort peuplent nos forêts : 2500 sont des champignons, 1300 des coléoptères, 670 des lichens et 130 des espèces d'escargots. A cela s'ajoute de nombreuses espèces d'insectes, d'oiseaux, de petits mammifères et de reptiles. Sur la totalité de ces espèces, plus d'une centaine se trouve sur la liste rouge des espèces menacées (LR), dont les protagonistes principaux de ce travail, les coléoptères saproxyliques (OFEV 2015). De ce fait, les coléoptères saproxyliques sont largement utilisés comme indicateurs de biodiversité en Europe et dans le monde.

Ils permettent une bonne évaluation qualitative des écosystèmes et donc de l'impact de l'Homme sur la biodiversité forestière. Le groupe des coléoptères est particulièrement adapté pour ce genre d'analyse. En effet c'est le deuxième groupe le plus représenté après celui des champignons, mais ces derniers demandent plus de connaissance pour être relevés et étudiés (Parmain 2015).

Selon Lachat et Bütler (2007), la conservation des espèces saproxyliques dépend de trois entités : les réserves intégrales, les îlots de sénescence et les arbres habitats. Les îlots de sénescences ainsi que les réserves forestières contiennent une grande quantité de bois mort et donc d'habitats. Mis en réseau avec des arbres habitats répartis sur l'ensemble de la surface forestières, ces lieux de vies permettent aux espèces saproxyliques de se répartir sur l'ensemble du territoire.

En effet, il a été mis en évidence que la présence de coléoptères saproxyliques est positivement influencée par le volume de bois mort augmentant dans les forêts boréales (Lassauce et al. 2011, cités par Parmain 2015). Cependant, en milieu tempéré, Larrieu (2014) affirme que le volume de bois mort a moins d'effet sur les espèces saproxyliques que les dendro-microhabitats. D'autres facteurs d'influence sur ces espèces sont la continuité temporelle et spatiale des habitats, mais également le degré de recouvrement de la canopée et donc la quantité de lumière et de chaleur parvenant au sol (Lassauce 2011 ; Økland 2002 ; Lindhe, Lindelöw et Åsenblad 2005 ; Larrieu 2014).

2.2 Les espèces emblématiques

Comme dit précédemment, les espèces saproxyliques dépendent du bois mort. Mais certaines sont dépendantes de structures particulières ou voient leur répartition spatiale très restreinte. Ce sont les espèces dites emblématiques. En effet, ces espèces peuvent, par exemple, avoir besoin d'un très gros volume de bois mort pour survivre, ou de cavités situées dans de très vieux arbres. Ces espèces sont donc particulièrement indicatrices de milieu de haute valeur biologique (Sanchez et al. 2016).

2.3 Les arbres habitats

Bien que tous les arbres accueillent des espèces végétales ou animales, certains, appelés arbres habitats, développent des microstructures permettant d'abriter d'autres espèces, parfois rares (ForêtSuisse 2016). Les arbres habitats sont des arbres morts ou vivants portant des microhabitats comme des cavités, des portions d'arbres sans écorce, des branches mortes, des épiphytes (lierre, lianes), des fissures ou des parties de troncs pourris (Kraus et Krumm 2013).

Durant sa vie, un arbre rencontre une multitude de perturbations. Des phénomènes abiotiques ou biotiques, parfois générés par l'Homme, lui laisseront des blessures et séquelles. Toutes ces microstructures ainsi créées forment de petites niches écologiques qui sont essentielles au développement des espèces saproxyliques (État de Vaud sans date d'édition).

Larrieu (2014) propose le terme de dendro-microhabitats (dmh) pour qualifier « un habitat d'espèce, de petite dimension, porté par un arbre vivant ou mort ». Le terme habitat d'espèce désigne un habitat procurant à une population d'espèces, pendant une partie de son cycle biologique, un abri, des nutriments ou un lieu de reproduction (Rameau, Gauberville et Drapier 2000).

Larrieu et al. (2018) soumettent une classification des dendro-microhabitats sur la base des types de substrats et conditions microclimatiques qu'ils fournissent, ainsi que de leur pertinence concernant la biodiversité. De plus, ces microstructures doivent être des anomalies morphologiques de l'arbre et donc ne doivent pas être observées sur chacun d'entre eux. Deux types d'habitats principaux peuvent être distingués, les habitat saproxyliques et les habitats épixyliques. Tous les habitats faisant partie intégrante de l'arbre, donc composés de bois en décomposition, sont appelés dendro-microhabitats saproxyliques (Larrieu 2014). Le terme des dmh épixyliques regroupe le lierre, les lianes et le gui. Ces structures ne font pas partie de l'arbre en lui-même mais doivent y être liés physiquement pour pouvoir être considérés comme dendro-microhabitats (Larrieu et al. 2018).

En tout, 47 micro-dendrohabitats ressortent de cette classification (cf. annexe 1), classés dans 15 groupes et 7 formes distinctes, qui sont les cavités, les blessures et bois apparent, le bois mort dans le

houppier, les excroissances, les sporophores de champignons et myxomycètes, les structures épiphytiques, épixyliques ou parasites et les exsudats (ibidem).

Aujourd'hui, les dmh sont dans le viseur de la recherche et de la gestion des forêts (Larrieu et al. 2018). Actuellement largement acceptés, l'importance des arbres habitats pour la biodiversité est au centre des discussions (Kraus et Krumm 2013). En effet, comme pour le bois mort, l'exploitation forestière et ses périodes de production courtes à l'échelle du cycle sylvigénétique ne laisse pas le temps à ces microstructures de se développer en grand nombre (Michel et Winter 2009, cités par Parmain 2015). De plus, la sylviculture actuelle mettant l'accent sur la promotion de bois de qualité, mène presque systématiquement à l'élimination des arbres de mauvaise qualité d'un point de vue économique. Ces arbres non désirés contiennent pourtant une multitude de dmh. Par ailleurs, d'autre types d'habitats sont favorisés par l'exploitation forestière, comme les dendrotelmes (Kraus et Krumm 2013).

Selon Kraus et Krumm (2013), les arbres habitats et les microstructures qu'ils contiennent sont importants pour la biodiversité, puisqu'ils servent d'habitats pour les espèces en dépendant. En effet les dmh offrent des conditions très variables. C'est pourquoi chaque microhabitat abrite un cortège d'espèces différentes (État de Vaud sans date d'édition). La présence d'espèces associées à ces structures est fortement liée à la fréquence d'apparition d'un dendro-microhabitat donné. En effet, ces habitats sont dynamiques et parfois isolés spatialement. Lorsqu'une espèce ne trouve plus les conditions nécessaires pour vivre ou se reproduire, elle doit changer de lieu de vie. Si aucun habitat du même type ou de substitution n'est disponible dans les environs, l'espèce ne pourra plus se développer (Reber et al. 2015). De plus, la présence de plusieurs habitats d'un même type permet d'accueillir plusieurs populations de la même espèce, et donc de favoriser la diversité génétique (Emberger, Larrieu et Gonin 2013). Une grande variété de dendro-microhabitats permet d'offrir un lieu de vie pour de nombreuses espèces et d'assurer leur fonction de relais en cas de manque d'un certain type d'habitat (Emberger, Larrieu et Gonin 2013).

Outre le lien direct entre les arbres habitats et les espèces qu'ils contiennent, ils offrent une source importante de bois mort (ForêtSuisse 2016 ; OFEV 2015).

Comme le rappelle Larrieu (2014), malgré que les dmh soient des structures très importantes pour le maintien de la diversité biologique, ils restent jusqu'alors peu étudiés et donc peu connus. En effet les recherches effectuées se portent surtout sur les cavités. D'autres types d'habitats, comme les habitats épiphytes, entre autres bénéfiques pour les insectes et notamment pour les coléoptères, ne sont encore que peu étudiés (Kraus et Krumm 2013).

2.4 Le bois mort

Le volume de bois mort présent en forêt est demeuré assez bas pendant de nombreuses années. En effet l'utilisation de bois de chauffage était importante (Emberger, Larrieu et Gonin 2013). Cette tendance s'est cependant inversée après la seconde guerre mondiale, lorsque la demande en bois énergie a commencé à diminuer (Speight 1989, cité par Kraus et Krumm 2013).

Aujourd'hui en augmentation, le bois mort a différents rôles pour la forêt et sa biodiversité et c'est pour cela que la Confédération oriente la gestion de cet important facteur de qualité de nos forêts à travers la Stratégie Biodiversité Suisse (OFEV 2012). Selon Kraus et Krumm (2013), il est un acteur principal dans la séquestration du carbone et offre un apport constant de nutriments au sol. En zone de montagne, il contribue également à la régénération naturelle et à la protection contre les chutes de pierres. Il joue également un rôle clé dans la conservation des espèces saproxyliques et c'est autour de ce point que va se centrer ce travail. Ces rôles sont aujourd'hui potentiellement menacés en vue d'une utilisation de bois énergie grandissante, ainsi que par les courtes périodes de production pratiquées par l'Homme ne permettant pas à la forêt d'atteindre sa phase de sénescence. Par conséquent, la quantité et la qualité du bois mort en forêt pourrait diminuer (Lassauce 2011).

Selon Lassauce (2011) et Parmain (2015), la qualité du bois mort dépend de ses dimensions, du type de bois mort (chandelles, bois mort au sol, souches), du stade de décomposition, de l'essence, du facteur déclenchant sa mort et de la saison à laquelle l'arbre a cessé de vivre. Par exemple, (Jomura et al. 2008)

expliquent qu'un morceau de bois mort au sol peut représenter un habitat très différent de celui d'un arbre mort debout ou suspendu. Le bois sans contact avec le sol est souvent plus sec et se décompose plus lentement, abritant alors moins d'espèces d'insectes. Il semble donc que la diversité de bois mort est tout aussi importante que la quantité. En effet les espèces saproxyliques n'ont pas toutes les mêmes besoins (OFEV 2015). Ces différents besoins sont remplis par la diversité de bois mort et par son caractère évolutif : le bois mort est un habitat dynamique. Les espèces qui en dépendent le modifient et ainsi le rendant utilisable pour d'autres espèces aux besoins différents (Kraus et Krumm 2013).

Stokland, Siitonen et Jonsson (2012), cités par Kraus et Krumm (2013), expliquent que le bois mort est modifié sous l'effet de sa décomposition. Ce processus physique et chimique est appelé saproxylation, lors duquel les caractéristiques du bois se modifient de manière importante. Ils affirment que les espèces saproxyliques se succèdent selon trois phases : la phase de colonisation, menée par les espèces saproxyliques primaires, dans laquelle le bois fraichement mort est colonisé. La seconde phase, dite de décomposition, voit également tout un cortège d'organismes saproxyliques se succéder. Finalement les organismes du sol vont peu à peu remplacer les autres dans la phase d'humification, afin de continuer le processus de décomposition.

Pendant son cycle de décomposition, le bois mort livre quatre types de substrats aux coléoptères saproxyliques : le liber, le xylème, les champignons lignicoles et enfin le bois décomposé. A cela s'ajoute les cadavres, déjections, autres déchets d'animaux ainsi que des animaux vivants faisant office de proies pour d'autres espèces (Dodelin, Pene et André 2005).
La saproxylation est scindée en 5 stades, à qui les appellations suivantes sont données :
bois frais, bois mort, bois pourri, bois en décomposition et bois vermoulu (WSL 2017).

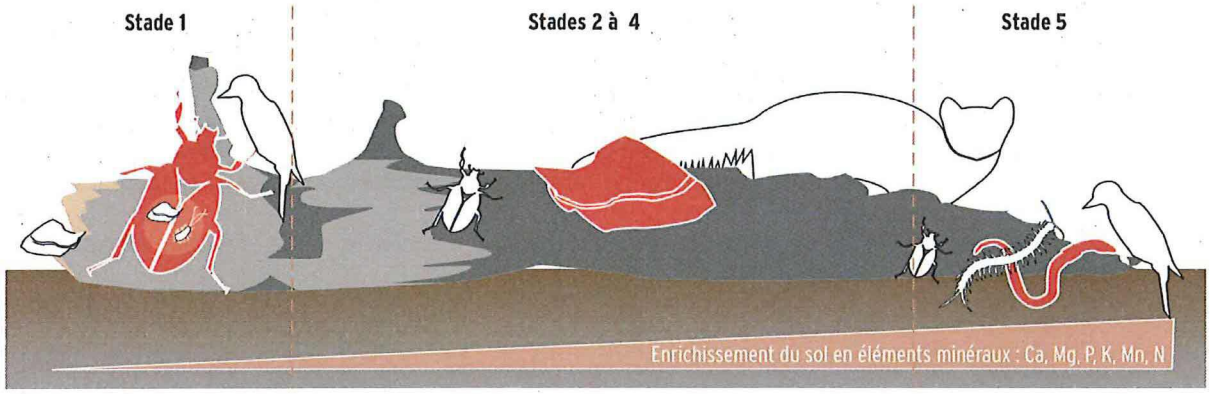

Figure 1: Stades de saproxylation du bois mort et succession des espèces en dépendant (Emberger, Larrieu et Gonin 2013).

De par la présence de ces 5 stades de saproxylation, les arbres morts subissant une telle métamorphose peuvent abriter des espèces ayant des besoins bien différents, certains plus importants que d'autres. De plus, les conditions de vie dans un morceau de bois mort se modifiant constamment, les espèces saproxyliques doivent pouvoir changer d'habitat lorsqu'elles en ont besoin. Certaines espèces doivent changer de lieu de vie souvent, d'autres peuvent rester installées au même endroit pendant plusieurs années. La vie des organismes dépend beaucoup de la quantité d'habitats présents. En effet, si l'offre est trop basse, la population ne pourra pas s'installer et verra son nombre d'individus diminuer. Il en va de même avec la qualité des habitats (Kraus et Krumm 2013).

3 Matériel et méthodes

3.1 Démarche générale

Ce travail est scindé en trois parties. En premier lieu, les données ont été récoltées sur le terrain. Puis, les données ont été regroupées dans un unique fichier Excel. Finalement, en se basant sur les connaissances actuelles, des analyses statistiques ont permis de détecter les corrélations existantes entre la

diversité spécifique de coléoptères saproxyliques et les données de volume de bois mort et de dendro-microhabitats.

3.2 Relevés de terrain

3.2.1 Sites de collectes

Pour réaliser ce travail, 15 placettes ont été analysées. Leurs emplacements n'ont pas été définis aléatoirement. En effet les lieux de piégeages de coléoptères, effectués par les scientifiques de la Grande Cariçaie, ont été repris comme centres de chaque placette d'échantillonnage, afin de rendre une comparaison possible. Ces points ont donc été choisis de manière à récolter un maximum d'espèces. Par conséquent, toutes les zones analysées sont susceptibles de contenir une grande quantité d'espèces de coléoptères saproxyliques. Les 15 zones d'échantillonnage sont réparties sur toute la surface de la Grande Cariçaie, depuis Cheseaux-Noréaz jusqu'à Cudrefin (cf. annexe 10).

3.2.2 Relevés des dendro-microhabitats

- Matériel :
  - Formulaires de relevés (cf. annexe 2)
  - Jumelles
  - Vertex et transpondeur
  - Adaptateur 360° pour transpondeur
  - Boussole Suunto avec système de fixation sur le trépied
  - Trépied pour la boussole
  - Compas forestier
  - Ruban à DHP (diamètre à hauteur de poitrine)
  - Couteau
  - Chevillière

- Méthode de collecte :

Le formulaire de relevés, créé par Thibault Lachat à partir de la classification des dendro-microhabitats de Larrieu et al. (2018), a été utilisé pour collecter les données. En effet, les relevés de dmh se basent sur cette classification. Ce document a été incrémenté de quelques variables supplémentaires (cf. annexes 2) :

> L'azimut de chaque arbre et sa distance le séparant du centre de la placette, ce qui permet de localiser chaque arbre.
> L'état saproxylique, qui représente le degré de décomposition du bois, dans le cas où l'arbre est mort.
> La hauteur de l'arbre si celui-ci et mort, et le diamètre de la cassure si celui-ci est mort et brisé (chandelle). Cela permet de calculer le volume de bois mort sur pied.

Pour la réalisation de ces mesures, des placettes rondes ayant un rayon de 17,84 m et donc une aire de 1000m² ont été définies. En présence d'un terrain incliné, le rayon augmente en fonction de la pente (cf. annexe 5).

Concernant le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), le seuil de mesure minimum a été fixé à 10 centimètres. La hauteur minimum des arbres ou chandelles mesurées est de 1.30 mètres, soit la hauteur de mesure du DHP selon les directives de l'inventaire forestier national (IFN) (WSL 2017).
Les arbres fortement inclinés, c'est-à-dire formant un angle avec le sol inférieur à 45°, ne seront pas considérés comme debout et donc pas pris en compte lors des mesures. Les dendro-microhabitats bois sans écorce, cime brisée, bris de charpentière au niveau du tronc avec bois de cœur apparent, branches mortes, cime morte et vestige de charpentière brisée, n'ont pas été pris en compte lorsqu'ils se trouvaient sur des arbres morts. En effet ces microstructures sont présentes sur la majorité des arbres secs. Il est donc peu pertinent d'en tenir compte.

Certaines microstructures comme le bois sans écorce, les bryophytes (mousse ou hépatique), le lichen foliacé ou fructiculeux et les lierres ou lianes sont difficilement quantifiables. Elles ont donc simplement été déclarées présentes ou absentes (1 ou 0). Le dendro-microhabitat « gourmands / brogne » a tout de même été quantifié. En effet certains arbres en contenaient beaucoup, d'autres peu. Le nombre de groupes ou agrégats de gourmands sur le même arbre a été évalué lorsque ces derniers étaient très présents.

Larrieu et al. (2018) propose une liste de 47 habitats qui, comme dit précédemment, a été reprise comme base pour les observations sur le terrain.

> Loge de petite taille (ø < 4 cm)
> Loge de taille moyenne (ø = 4-7 cm)
> Loge de grande taille (ø >10 cm)
> "Flute" de pic (≥ 3 loges en ligne)
> Cavité à terreau de pied (en contact avec le sol)
> Cavité à terreau de tronc (sans contact avec le sol)
> Cavité à terreau semi-ouverte
> Cavité à terreau, contact avec le sol, ouverte vers le haut (cheminée)
> Cavité à terreau, sans contact avec sol, ouverte vers le haut (cheminée)
> Branche creuse
> Orifice et galerie d'insecte
> Dendrotelme
> Trou de nourrissage de pic
> Concavité à fond dur de tronc
> Concavité racinaire
> Bois sans écorce
> Blessure due au feu
> Écorce décollée formant un abri (ouvert vers le bas)
> Écorce décollée formant une poche (ouvert vers le haut)
> Cime brisée
> Bris de charpentière au niveau du tronc avec bois de cœur apparent
> Fente
> Fente causée par la foudre
> Fente au niveau d'une fourche
> Branches mortes
> Cime morte
> Vestige de charpentière brisée
> Balais de sorcière
> Gourmands / Brogne
> Loupe
> Chancre
> Polypore pérenne
> Polypore annuel
> Agaricale charnue
> Pyrénomycète
> Myxomycète
> Bryophyte (mousse ou hépatique)
> Lichen foliacé ou fruticuleux
> Lierre ou liane
> Fougères
> Gui
> Nid de vertébré
> Nid d'invertébré
> Microsol d'écorce
> Microsol du houppier
> Coulée de sève active
> Coulée abondante de résine

De plus l'auteur de cette liste propose des seuils de grandeur déterminant quelles microstructures doivent être comptées (cf. annexe 2).

La collecte de données se déroule comme suit :

1. Calibrer le Vertex à l'aide de la chevillière.
2. Mettre en place le trépied et la boussole au centre de la placette, ainsi que le transpondeur et l'adaptateur 360°.
3. Déterminer la pente de la placette à l'aide du Vertex : la mesure de l'inclinaison du terrain se fait deux fois. Une fois 10 mètres en amont du centre de la placette, une seconde fois 10 mètres en aval. La moyenne de ces deux valeurs détermine la pente moyenne de la placette.
4. Déterminer le rayon de la placette selon la pente (cf. annexe 4)
5. Déterminer l'arbre à l'azimut 0° (ou le premier arbre rencontré en partant de 0° dans le sens horaire)
6. Mesurer le DHP avec le compas forestier ou le ruban à DHP selon les directives de l'IFN (WSL 2017) et déterminer à quelle espèce appartient l'arbre.
7. Déterminer son état : vivant ou mort
    a. Si l'arbre est mort, déterminer son état saproxylique d'après les classes de l'inventaire forestier national (WSL 2017).
8. Mesurer la distance séparant l'arbre du centre de la placette avec le Vertex.
9. Mesurer l'azimut de l'arbre à l'aide de la boussole
10. Déterminer et quantifier les dendro-microhabitats présents sur l'arbre selon les critères de Larrieu et al. (2018)
11. Recommencer au point 6 pour l'arbre suivant en évoluant dans le sens des aiguilles d'une montre.

12. Une fois tous les arbres de la placette examinés, mesurer la hauteur des arbres précédemment déterminés « morts » et estimer le diamètre de la cassure pour ceux ayant la cime brisée.

Lorsque la placette n'est pas entièrement en zone forestière (chemin, lisière), il est important d'évaluer l'aire de la zone non boisée afin de pouvoir extrapoler les données de volume de bois mort sur pied à l'hectare, pour des raisons de comparabilité avec le volume de bois mort au sol.

Il est préférable de réaliser ces relevés avec l'aide d'une tierce personne.

3.2.3 Mesure du volume de bois mort au sol

La méthode des transects de Böhl et Brändli (2007) a été choisie pour son efficacité et la fiabilité de ses résultats.

- Matériel :
  - > Formulaire de relevé (cf. annexe 3)
  - > Boussole Suunto (avec clinomètre) et système de fixation pour le trépied
  - > Trépied pour la boussole
  - > Compas forestier
  - > Chevillière
  - > Vertex et transpondeur

- Méthode :

La méthode des transects de Böhl et Brändli (2007) permet de ne pas effectuer un inventaire total ou « en plein » consistant à mesurer la totalité du bois mort se trouvant dans la placette. Elle est donc moins chronophage et plus aisée. Les mesures sont effectuées uniquement sur le tracé des 3 transects, de longueurs et azimuts prédéfinis (270° soit 300 gons, 31.5° soit 35 gons et 153° soit 170 gons).

Pour ce travail, des transects de 15 mètres ont été choisis. Comme pour les relevés des dendro-micro-habitats, cette longueur varie selon l'inclinaison du terrain (cf. annexe 4). La longueur de chaque transect est adaptée selon sa propre pente. Le seuil d'inventaire pour le diamètre des bois mort pris en compte est de 7 centimètres minimum, ainsi qu'une longueur d'au moins un mètre.

La collecte des données se déroule comme suit :

1. Mettre en place le trépied et la boussole au centre de la placette.
2. Mesurer le premier azimut à l'aide de la boussole.
3. Dérouler la chevillière sur 15 mètres en suivant la direction donnée par l'azimut, afin de marquer le transect.
4. Mesurer la pente du transect à l'aide du Vertex.
5. Adapter la longueur du transect selon la pente (cf. annexe 4)
6. Pour chaque morceau de bois mort intercepté par la chevillière, mesurer les points suivants sur le lieu d'intersection :
   a. Stade de décomposition : avec la pointe d'un couteau, on évalue le stade de décomposition ou état saproxylique. Les stades possibles vont de 1 à 5, ce qui correspond à « bois frais » jusqu'à « bois vermoulu » (cf. annexe 6).
   b. Inclinaison du morceau de bois avec le clinomètre
   c. Diamètre : à mesurer deux fois, perpendiculairement et parallèlement au sol, afin d'obtenir le diamètre moyen.
   d. Déterminer l'espèce (si reconnaissable) ou au moins différencier feuillus/résineux.
7. Recommencer au point 2 pour le deuxième et dernier transect

Lorsqu'un transect coupe une route, une lisière ou toute autre zone non forestière, on réduit sa longueur à la longueur réellement boisée.

Un calcul permet une extrapolation des valeurs mesurées en volume par hectare [m^3/ha] (cf. § 3.4.1).

3.3 Traitement des données

Toutes les valeurs relevées ont été regroupées dans un unique tableau Excel, de manière à pouvoir être analysées statistiquement (cf. annexe électronique 1).

3.3.1 Données obtenues

Les données obtenues ont été travaillées sur Excel afin d'en extraire de nouvelles. Les calculs de volumes de bois mort au sol et sur pied ont été effectués et également scindés selon le stade de décomposition.

A partir des comptages de microstructures, la fréquence de chaque dendro-microhabitat pour chacune des placettes a été déterminée, ainsi que le nombre d'arbres portant un habitat du groupe X ainsi que de la forme Y, définis par Larrieu et al. (2018). De plus, la diversité d'habitats présente, la proportion d'arbres habitats ainsi que le nombre d'arbres habitats (arbres ayant au moins une microstructure) ont été calculés. La variable « habitats saproxyliques » a elle aussi été créée. Les habitats saproxyliques sont tous les habitats liés au bois mort à proprement parlé (Larrieu 2014). Les habitats suivants ont été exclus de cette variable :

- Balais de sorcière
- Gourmands / Brogne
- Loupe / Chancre
- Polypore pérenne
- Polypore annuel
- Agaricale charnue
- Pyrénomycète
- Myxomycète
- Bryophyte (mousse ou hépatique)
- Lichen foliacé ou fruticuleux
- Lierre ou liane
- Fougères
- Gui
- Nid de vertébré
- Nid d'invertébré
- Microsol d'écorce
- Microsol du houppier
- Coulée de sève active
- Coulée abondante de résine

La détermination des espèces d'arbres relevées a permis d'obtenir la proportion de chaque essence.

Les DHP mesurés ainsi que le nombre d'arbres relevés dans chaque zone d'échantillonnage ont permis d'obtenir des grandeurs dendrométriques suivante :

- N : nombre de tige par placette
- G : surface terrière [m^2/placette]
- d_g : diamètre de la tige à la surface terrière moyenne [cm]
- d_{dom} : diamètre dominant [cm]
- V : volume sur pied vivant, mort et total [m^3/placette]

Les valeurs obtenues n'ont volontairement pas été extrapolées à l'hectare, le but étant d'observer les éventuels facteurs influençant la présence d'insectes saproxyliques à proximité des pièges et non sur la totalité d'un peuplement. Puisque le calcul du volume de bois mort au sol de Böhl et Brändli (2007) livre automatiquement un volume par hectare, seul le volume de bois mort debout a été extrapolé afin de conserver la même unité pour ces deux mesures. Cela permet d'obtenir le volume de bois mort total par addition des volumes au sol et debout.

Les données concernant la quantité de coléoptères saproxyliques fournies par l'association de la Grande Cariçaie ont, elles aussi, été décomposées. Premièrement les espèces saproxyliques et non-saproxyliques ont été séparées. Puis les espèces emblématiques (cf.§ 2.2) recensées ont également permis de créer une nouvelle variable, ce qui a aussi été fait pour les espèces saproxyliques faisant partie de la liste rouge des espèces menacées. Une comparaison des espèces saproxyliques présentes à également été faite avec la liste des espèces reliques de Eckelt et al. (2017), mais sans résultat positif. Cette variable a donc été exclue des analyses. Finalement une dernière variable a été définie : les espèces saproxyliques « de valeur » regroupant les espèces faisant partie de la liste rouge, des espèces reliques ou des espèces dites emblématiques.

3.4 Calculs effectués lors du traitement des données

Tous les calculs suivants ont été fait sur Excel à partir des données obtenues lors des relevés.

3.4.1 Bois mort au sol

Le calcul suivant permet d'extrapoler les mesures effectuées à l'aide des relevés par transects en volume par hectare :

$$\hat{X}_j = \frac{\pi^2}{8L_j}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{d_{1i}+d_{2i}}{2}\right)^2 \frac{1}{\cos(\alpha_i)}$$

où $\hat{X}_j$ est le volume de bois mort par hectare [m³/ha],
L est la somme des longueurs des trois transects [m],
d_{1i} et d_{2i} les diamètres de chaque morceau de bois [cm],
et α_i l'inclinaison de chaque morceau de bois [°]

3.4.2 Bois mort sur pied

Concernant le calcul de volume de bois mort sur pied, deux formules différentes ont été utilisées. En effet, la méthode de calcul n'est pas la même pour les arbres n'ayant plus de couronne (chandelles) et les arbres entiers. L'addition du volume des chandelles et des arbres entiers donne le volume de bois mort total sur pied. Les formules utilisées dans les deux cas sont les suivantes :

> Calcul du volume des arbres entiers :

La formule mathématique utilisée est la formule permettant de calculer le volume d'un cône.

$$V = \frac{\pi * \left(\frac{DHP}{2}\right)^2 * h}{3}$$

Où le DHP est le diamètre à hauteur de poitrine [m],
Et h est la hauteur de la quille [m]

> Calcul du volume d'une quille :

La formule utilisée permet de calculer le volume d'un cône tronqué.

$$V = \left(h * \frac{\pi}{3}\right) * \left(\frac{DHP^2}{2} + \frac{d^2}{2} + \left(\frac{DHP}{2} * \frac{d}{2}\right)\right)$$

Où le DHP est le diamètre à hauteur de poitrine [m],
d est le diamètre estimé de la cassure [m], et
h est la hauteur de la quille [m]

3.4.3 Grandeurs dendrométriques

Les calculs suivants sont tirés de Bachmann et Zingg (2009) et servent à déterminer les grandeurs dendrométriques les plus communes.

> Surface terrière (G)

Elle représente la somme de la surface occupée par chaque arbre au sol.

$$G = \sum_{i=1}^{N} \pi * \left(\frac{DHP}{2}\right)^2$$

Où DHP est le diamètre à hauteur de poitrine [cm],

> Diamètre de la tige à la surface terrière moyenne (d_g)

$$dg = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N} d_i^2\right) / N}$$

Où d_i est le diamètre à hauteur de poitrine [cm] et N et le nombre de tige

> Diamètre dominant (d_{dom})

C'est le diamètre moyen des 100 arbres au plus grand DHP par hectare. Par conséquent, sur une surface de 1000 m², on tiendra compte des 10 arbres au plus gros diamètre.

> Volume des arbres vivants (V)

N'ayant pas de données sur la hauteur des arbres vivants, la formule d'approximation suivante a été utilisée.

$$V = \frac{DHP^2}{1000}$$

Où DHP est le diamètre à hauteur de poitrine en cm.

3.5 Analyses statistiques

3.5.1 Logiciel et fonctions utilisées

Les tests statistiques ont été réalisés avec le programme R. Des modèles linéaires généralisés ont été effectués avec la fonction glm(). Le modèle linéaire généralisé est une forme souple de la régression linéaire. L'algorithme estime les paramètres du modèle afin de les optimiser. Le paramètre de la fonction glm() définissant le type de distribution devant suivre la variable réponse est « family = poisson ». De ce fait, la distribution de cette variable suivra la loi de Poisson. Cette distribution est souvent utilisée pour analyser les données de comptages. Elle est donc particulièrement adaptée aux données récoltées pour ce travail.

Afin de vérifier la fiabilité de chaque modèle obtenu, la fonction plot(modèle_glm_obtenu) a permis d'évaluer visuellement la fiabilité des modèles. En effet, elle nous livre les quatre « diagnostic plots » suivants : Residual VS Fitted, Normal Q-Q, Scale-Location et Residuals VS Leverage.
Lorsque la fiabilité du modèle n'était pas considérée comme satisfaisante, une transformation des données a été effectuée ($\log_{10}$(*variable explicative*). Si cette transformation n'améliore pas significativement le modèle, les données initiales sont gardées pour l'analyse. Il faudra néanmoins garder à l'esprit que ces résultats ont été obtenus avec des modèles « inexactes » et devront alors être traités et utilisés avec précaution.

Concernant la création de graphiques représentant les régressions, les écarts-types ont dû être calculés, puis tracés avec la fonction plot(), tout en représentant les données, ainsi que la courbe de régression. La fonction ggplot() n'a pas pu être utilisée, puisqu'elle ne permet pas de tracer le modèle glm.

Une courbe d'accumulation des espèces a également été créée, avec la fonction specaccum(), tirée du package « vegan » (cf. annexe 7). Cette courbe permet de visualiser l'accumulation des nouvelles espèces découvertes lors de l'ajout des données de chaque nouveau point d'échantillonnage. Par exemple, si la courbe atteint son maximum et tend à avoir une pente proche de zéro lors de l'ajout du dernier point d'échantillonnage, cela signifie que pas ou peu de nouvelles espèces ont été trouvées (par rapport au point d'échantillonnage précédent). Cette étape permet d'estimer si un plus grand nombre de placettes pourrait apporter de nouveaux résultats.

Pour chaque analyse, seule les valeurs p égales ou inférieures à 0,05 (5%) ont été jugées significatives. Un exemple de code R est disponible dans l'annexe 7.

3.5.2 Variables testées

Deux types de variables ont été testées, les variables réponses et explicatives. Les variables réponses, qui dans le cas présent concernent la quantité de coléoptères récoltés, sont les variables que l'on tente d'expliquer. A l'inverse, les variables explicatives sont les variables qui ont un potentiel effet sur les variables réponses.

> Variables réponses :
Les analyses ont été effectuées avec 5 variables réponses différentes :
1. Le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques
2. Le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques emblématiques
3. Le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques de valeur (sur la LR ou emblématiques ou reliques)
4. Le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques appartenant à la liste rouge
5. Le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques étant sur la LR ET étant emblématiques.

Les autres variables réponses disponibles n'ont pas été testées puisqu'elles sont constituées de données sont très clairsemées (très peu de valeurs différentes de 0).

> Variables explicatives :
Les variables réponses citées ci-dessus ont été comparées aux variables explicatives suivantes :
- Le volume de bois mort au sol, debout et total
- Le volume de bois mort au sol, debout et total décomposé par stade de saproxylation
- Proportion de volume de bois mort total, au sol et debout, par rapport au volume de bois debout total (vivant et mort)
- Nombre d'arbres portant l'habitat X

- Nombre d'arbres portant au moins un habitat du groupe X selon Larrieu et al. (2018)
- Nombre d'arbres portant au moins un habitat de la forme Y selon Larrieu et al. (2018)
- Proportion d'arbres habitats par rapport au nombre d'arbres total
- Diversité d'habitats
- Nombre d'habitats « saproxyliques » (Larrieu 2014)
- Nombre d'arbres habitats
- Nombre total d'habitats, tous types confondus
- Nombre d'espèces d'arbres présentes
- Grandeurs dendrométriques : N, G, d_g, ddom, V, N par classe de diamètre (intervalle de 10 cm)

L'occurrence de chaque dendro-microhabitat n'a volontairement pas été testée étant donné le faible nombre de points d'échantillonnage. En effet, cela n'aurait certainement pas permis de trouver une relation significative parmi tant de facteurs d'influence.

4 Résultats

Après avoir réalisé les analyses statistiques, les résultats ont été classés par groupes. Les résultats concernant le volume de bois mort ont été séparés de ceux concernant les dendro-microhabitats.

Cette section ne va traiter que de 3 des 5 variables réponses énoncées précédemment. En effet, après avoir testé les relations entre les 13 variables explicatives et les 5 variables réponses, seules 3 variables réponses ont montré au moins une relation significative avec les différentes variables explicatives. Ces trois variables sont : le nombre total d'espèces de coléoptères saproxyliques relevées, le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques dites « emblématiques » et le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques de valeur. En effet, le nombre d'espèces appartenant à la LR et espèces appartenant à la LR ainsi qu'aux espèces emblématiques n'est jamais significativement influencé par les différentes variables explicatives testées. De plus, toutes les relations entre les différentes variables citées dans le chapitre 3.3.1 qui ne seront pas détaillées dans cette rubrique sont non-significatives, il n'est donc pas révélant de toutes les passer en revue.

Comme expliqué dans le chapitre 3.5.1, certains modèles linéaires généralisés obtenus ne sont pas parfaits si l'on se fie aux diagnostic plots. De plus, une transformation des données, à l'aide d'un logarithme en base 10, n'a en général pas permis d'améliorer ces modèles. Il faut donc considérer prudemment ces résultats à priori significatifs.

Les valeurs statistiques contenues par les tableaux sont : l'estimation, l'erreur standard, la valeur p, et le coefficient de détermination (R^2). Les niveaux de significativité sont définis comme suit : l'abréviation « ns » signifie non significatif. Lorsque le résultat est significatif, « * » indique que la valeur p se situe entre 0.05 et 0.01, « ** » que la valeur p se situe entre 0.01 et 0.001, et « *** » que p se situe entre 0.001 et 0.

4.1 Influence du volume de bois mort sur la présence d'espèces de coléoptères saproxyliques

Premièrement, les corrélations entre les trois variables réponses retenues et les volumes de bois mort au sol, debout et totaux ont été évaluées. Aucune relation significative n'a été découverte (tab. 1).
A savoir que pour ces différentes analyses, aucune transformation logarithmique n'a été effectuée.

Tableau 1: Relations entre espèces saproxyliques, emblématiques et saproxyliques de valeur et le volume de bois mort au sol, sur pied et total

	Bois mort au sol	Bois mort debout	Bois mort total
Espèces saproxyliques	Estimation: -2.37e-04 Erreur standard: 5.81e-04 Valeur p: 0.684 ns R^2: 4.97e-03	Estimation: 2.13e-03 Erreur standard:1.82e-03 Valeur p: 0.241 ns R^2: 5.00e-02	Estimation: -2.71e-05 Erreur standard: 4.87e-04 Valeur p: 0.956 ns R^2: 8.94e-05

Espèces emblématiques	Estimation: -1.04e-03 Erreur standard: 1.32e-03 Valeur p: 0.431 ns R^2: 1.64e-02	Estimation: 1.61e-03 Erreur standard: 3.79e-03 Valeur p: 0.672 ns R^2: 7.60e-03	Estimation: -6.29e-04 Erreur standard: 1.10e-03 Valeur p: 0.567 ns R^2: 8.70e-03
Espèces saproxyliques de valeur	Estimation: -1.17e-03 Erreur standard: 1.31e-03 Valeur p: 0.373 ns R^2: 2.02e-02	Estimation: 2.93e-03 Erreur standard: 3.56e-03 Valeur p: 0.411 ns R^2: 2.68e-02	Estimation: -5.97e-04 Erreur standard: 1.06e-03 Valeur p: 0.574 ns R^2: 7.81e-03

Par ailleurs, les sous-chapitres suivants montrent que l'état de saproxylation des bois morts a une influence significative sur les trois variables réponses « nombre d'espèces saproxyliques », « nombre d'espèces saproxyliques emblématiques » et « nombre d'espèces saproxyliques de valeur ». Ces résultats vont être traités dans les sous-chapitres suivants et chaque section sera centrée sur une variable réponse en particulier.

4.1.1 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques et volume de bois mort par état de saproxylation

Le nombre d'espèces saproxyliques a été comparé au volume de bois mort au sol ainsi qu'au volume de bois mort debout, tous deux séparés selon leur état de décomposition. Les relations obtenues sont les suivantes :

Concernant le volume de bois mort au sol, les relations entre le nombre d'espèces saproxyliques et le bois mort de décomposition 1, 2 et 3 sont non-significatives. Par contre, on observe des relations significativement positives avec le volume de bois mort au sol de stade de décomposition 4 et 5 (tab.2). Seule l'analyse statistique effectuée pour évaluer la relation avec la quantité de bois mort au sol de stade 5 a été effectuée après transformation des données avec un logarithme en base 10, en raison d'un modèle linéaire généralisé imprécis. Ce dernier a été amélioré par cette transformation. Pour les autres états de saproxylation cette transformation n'a pas été nécessaire.

Pour le volume de bois mort debout, seule la relation entre le nombre d'espèces saproxyliques et le volume de bois mort debout de classe de décomposition 3 est significative. On observe une relation positive entre le volume de bois mort et le nombre d'espèces recensées (tab. 2). Il n'y a pas de résultats concernant le volume de bois mort d'état saproxylique 5 car aucune placette n'en contenait. Les résultats significatifs sont représentés sous forme de graphiques dans la figure 2.

Tableau 2: Relations entre espèces saproxyliques et le volume de bois mort au sol et sur pied par état de saproxylation

	Bois mort au sol	Bois mort sur pied
État saproxylation 1	Estimation: 8.37e-03 Erreur standard: 1.11e-02 Valeur p: 0.452 ns R^2: 2.03e-02	Estimation: -6.46e-02 Erreur standard: 4.71e-02 Valeur p: 0.170 ns R^2: 7.05e-02
État saproxylation 2	Estimation: -8.38e-04 Erreur standard: 8.05e-04 Valeur p: 0.298 ns R^2: 3.58e-02	Estimation: 1.15e-03 Erreur standard: 2.61e-03 Valeur p: 0.660 ns R^2: 6.82e-03
État saproxylation 3	Estimation: -3.47e-03 Erreur standard: 2.43e-03 Valeur p: 0.154 ns R^2: 6.75e-02	Estimation: 1.04e-02 Erreur standard: 4.40e-03 Valeur p: 0.018* R^2: 2.09e-01
État saproxylation 4	Estimation: 7.38e-03 Erreur standard:2.90e-03 Valeur p: 0.011* R^2: 2.53e-01	Estimation: 5.29e-01 Erreur standard: 2.85e-01 Valeur p: 0.063 ns R^2: 1.28e-01
État saproxylation 5	Estimation: 2.26e-01 Erreur standard: 1.06e-01 Valeur p: 0.033* R^2: 1.73e-01	Estimation: - Erreur standard: - Valeur p: - R^2: -

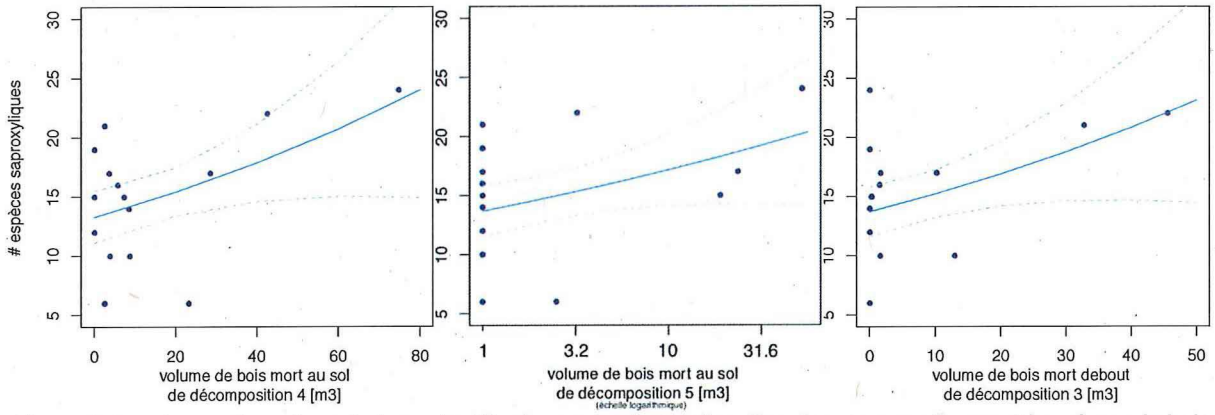

Figure 2: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques et le volume de bois mort au sol et debout selon le stade de décomposition.

4.1.2 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques emblématiques et volume de bois mort par état de saproxylation

Comme pour le sous-chapitre précédent, les relations avec les volumes de bois mort au sol et debout, séparés par états de saproxylation, ont été analysées. Cette partie se concentre sur la variable réponse « nombre d'espèces saproxyliques emblématiques ».

Concernant la relation entre le nombre d'espèces saproxyliques emblématiques et le volume de bois mort au sol décomposé selon l'état de saproxylation, deux résultats significatifs ont été obtenus. En effet, la quantité de bois mort au sol de degrés de décomposition 1 et 5 influencent positivement et de manière significative le nombre d'espèces (tab. 3). Ces résultats sont néanmoins à considérer avec précaution puisque les modèles sont imprécis. L'analyse statistique effectuée pour évaluer la relation avec la quantité de bois mort au sol de stade 5 a été effectuée après transformation des données avec un logarithme en base 10. Les analyses du rapport entre le nombre d'espèces emblématiques et le volume de bois mort sur pied par classe de décomposition n'ont pas donné de résultats significatifs (tab. 3.) Comme pour le sous-chapitre précédent, il n'y a pas de résultats concernant avec le volume de bois mort d'état saproxylique 5 car aucune placette ne contenait de bois mort sur pied de stade de décomposition 5. Les résultats significatifs sont représentés sous forme de graphiques dans la figure 3.

Tableau 3: Relations entre espèces emblématiques et le volume de bois mort au sol et sur pied par état de saproxylation

	Bois mort au sol	Bois mort sur pied
État saproxylation 1	Estimation: 4.43e-02 Erreur standard: 1.78e-02 Valeur p: 0.013* R^2: 3.05e-01	Estimation: -2.72e-02 Erreur standard: 8.62e-02 Valeur p: 0.752 ns R^2: 4.10e-03
État saproxylation 2	Estimation: -3.04e-03 Erreur standard: 2.17e-03 Valeur p: 0.161 ns R^2: 7.06e-02	Estimation: 1.93e-03 Erreur standard: 5.30e-03 Valeur p: 0.716 ns R^2: 4.45e-03
État saproxylation 3	Estimation: -8.23e-03 Erreur standard: 5.61e-03 Valeur p: 0.143 ns R^2: 6.51e-02	Estimation: 4.46e-03 Erreur standard: 9.72e-03 Valeur p: 0.646 ns R^2: 9.62e-03
État saproxylation 4	Estimation: 1.03e-02 Erreur standard: 5.67e-03 Valeur p: 0.068 ns R^2: 1.19e-01	Estimation: 7.45e-01 Erreur standard: 5.55e-01 Valeur p: 0.179 ns R^2: 7.25e-02
État saproxylation 5	Estimation: 5.46e-01 Erreur standard: 2.00e-01 Valeur p: 0.006 ** R^2: 3.00e-01	Estimation: - Erreur standard: - Valeur p: - R^2: -

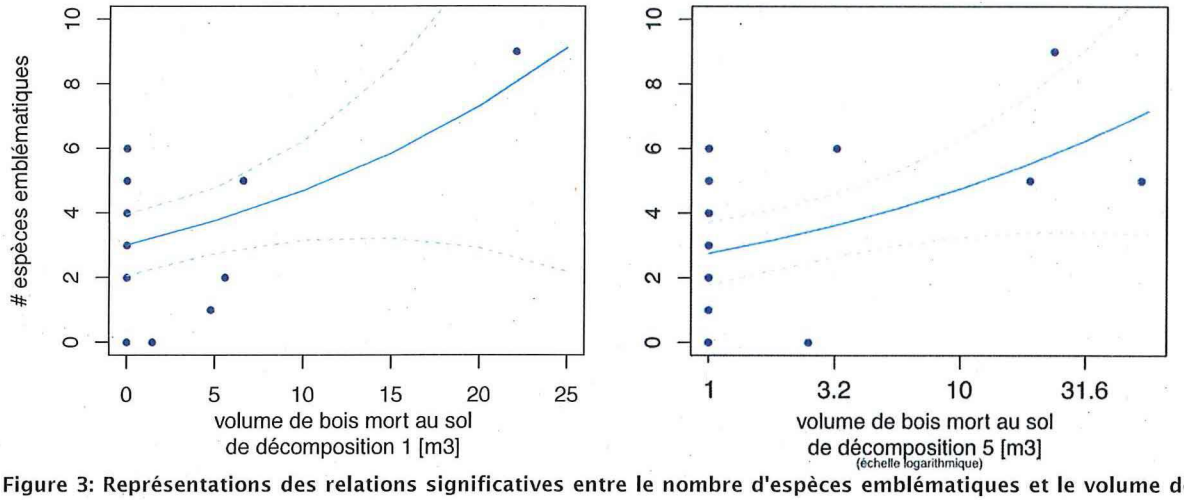

Figure 3: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces emblématiques et le volume de bois mort au sol selon le stade de décomposition.

4.1.3 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques de valeur et volume de bois mort par état de saproxylation

Finalement, les résultats du lien entre le volume de bois mort par état de saproxylation et la troisième variable réponse, le nombre d'espèces saproxyliques de valeur, sont présentés dans ce sous-chapitre.

Le nombre d'espèces saproxyliques de valeur et le volume de bois mort au sol séparé par état de saproxylation montrent deux relations significatives. En effet, les volumes de degrés de saproxylation 1 et 5 montrent une relation significativement positive avec le nombre d'espèces saproxyliques de valeur récoltées. Les trois autres classes de décomposition ne présentent aucun résultat significatif (tab. 4). Une fois encore, lors de la lecture de ces résultats, il est important de garder à l'esprit que les diagnostic plots dénoncent une certaine imprécision de la part des modèles obtenus. Pour ce qui est de la relation entre le nombre d'espèces de valeur et le volume de bois mort sur pied par stade de saproxylation, aucun résultat significatif n'a été obtenu (tab. 4). Les résultats significatifs sont représentés sous forme de graphiques dans la figure 4. Pour ces différentes analyses, aucune transformation logarithmique n'a été effectuée.

Tableau 4: Relations entre espèces saproxyliques de valeur et le volume de bois mort au sol et sur pied par état de saproxylation

	Bois mort au sol	Bois mort sur pied
État saproxylation 1	Estimation: 3.99e-02 Erreur standard: 1.78e-02 Valeur p: 0.025* R^2: 2.34e-01	Estimation: -3.64e-02 Erreur standard: 8.62e-02 Valeur p: 0.673 ns R^2: 6.88e-03
État saproxylation 2	Estimation: -3.17e-03 Erreur standard: 2.15e-03 Valeur p: 0.140 ns R^2: 7.34e-02	Estimation: 3.71e-03 Erreur standard: 5.00e-03 Valeur p: 0.458 ns R^2: 1.71e-02
État saproxylation 3	Estimation: -8.10e-03 Erreur standard: 5.44e-03 Valeur p: 0.137 ns R^2: 6.30e-02	Estimation: 7.34e-03 Erreur standard: 9.12e-03 Valeur p: 0.421 ns R^2: 2.76e-02
État saproxylation 4	Estimation: 1.02e-02 Erreur standard: 5.53e-03 Valeur p: 0.066 ns R^2: 1.11e-01	Estimation: 8.61e-01 Erreur standard: 5.25e-01 Valeur p: 0.101 ns R^2: 1.05e-01
État saproxylation 5	Estimation: 1.51e-02 Erreur standard: 7.62e-03 Valeur p: 0.047* R^2: 1.17e-01	Estimation: - Erreur standard: - Valeur p: - R^2: -

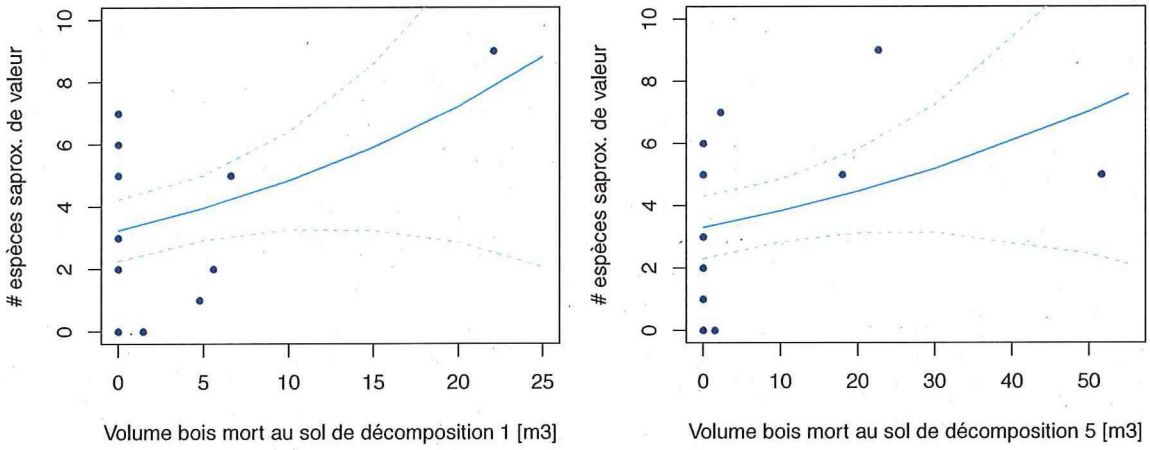

Figure 4: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques de valeur et le volume de bois mort au sol selon le stade de décomposition.

4.2 Influence des dendro-microhabitats sur la présence d'espèces de coléoptères saproxyliques

Comme pour les analyses concernant les relations avec le volume de bois mort, seules les trois variables réponses « nombre d'espèces saproxyliques », « nombre d'espèces saproxyliques emblématiques » et « nombre d'espèces saproxyliques de valeur » ont livré des résultats significatifs. Les analyses effectuées avec les autres variables explicatives (espèces appartenant à la LR et espèces appartenant à la LR ainsi qu'aux espèces emblématiques) n'ayant rien donné. Elles ne seront pas présentées dans ce chapitre. De plus, pour faciliter la compréhension de cette rubrique, seules les variables explicatives montrant des relations significatives avec les variables réponses d'intérêt (saproxyliques, emblématiques et de valeur) seront traitées. Les deux groupes de variables explicatives avançant de tels résultats sont les suivants : nombre d'arbres portant au moins un habitat du groupe X et nombre d'arbres portant au moins un habitat de la forme Y. L'influence des dendro-microhabitats sur les trois variables réponses retenues va être démontrée séparément dans les prochains sous-chapitres.

Les variables « nombre de dendro-microhabitats, nombre de dmh saproxyliques, diversité de dmh et nombre d'arbres habitats n'ont livré aucun résultat significatif, quel que soit la variable réponse comparée (cf. annexe 9).

4.2.1 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques et dendro-microhabitats

Les données de comptages de coléoptères saproxyliques ont été comparées aux deux groupes de variables explicatives mentionnées précédemment, soit le nombre d'arbres portant au moins un habitat du groupe X et le nombre d'arbres portant au moins un habitat de la forme Y.

Les résultats obtenus lors de la mise en relation de la variable réponse « nombre d'espèces saproxyliques » avec les variables explicatives « nombre d'arbres par placette portant au minimum un habitat du groupe X » ne montrent qu'un seul groupe ayant un effet significatif sur le nombre d'espèces piégées. En effet la variable « nombre d'arbres portant des plantes et lichens épiphytiques ou parasites » montre une relation significativement négative avec le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques (tab. 5). De plus, les tests effectués avec les variables « nombre d'arbres ayant au minimum un habitat de la forme Y » et le nombre d'espèces saproxyliques ont également indiqué une seule relation significative. La relation entre le nombre d'espèces saproxyliques et le nombre d'arbres ayant au minimum un habitat de la forme « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites » montre une corrélation significativement négative (tab. 5). Les résultats significatifs sont représentés sous forme de graphiques dans la figure 5. Pour ces tests, aucune transformation des données n'a été effectuée.

Tableau 5: Groupe et forme d'habitats ayant une relation significative avec le nombre d'espèces saproxyliques

	Nombre d'espèces saproxyliques
Groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites »	Estimation: -2.05e-02 Erreur standard: 8.10e-03 Valeur p: 0.011* R^2: 1.98e-01
Forme « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites »	Estimation: -2.05e-02 Erreur standard: 8.17e-03 Valeur p: 0.012* R^2: 1.99e-01

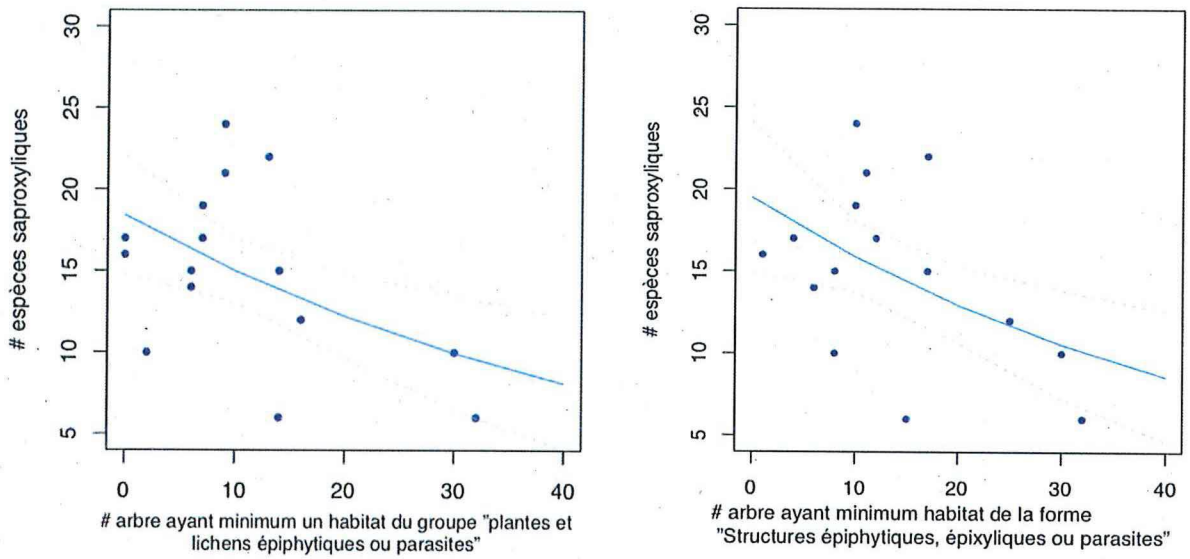

Figure 5: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques et la présence d'habitats appartenant au groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites » et à la forme « Structure épiphytiques, épixyliques ou parasites ».

4.2.2 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques emblématiques et dendro-microhabitats

Les mêmes analyses ont été réalisées que pour le sous-chapitre 4.2.1, mais l'influence des variables explicatives du groupe « nombre d'arbres ayant au moins un habitat du groupe X » et « nombre d'arbres ayant au moins un habitat de la forme Y » sur les espèces saproxyliques emblématiques a été évaluée.

Après analyse du lien entre le nombre d'espèces emblématiques et le nombre d'arbres portant au minimum un habitat du groupe X, deux relations se montrent significatives. La variable « nombre d'arbres ayant au moins un habitat appartenant au groupe « cavités à terreau » a un effet significativement positif sur le nombre d'espèces emblématiques retrouvées. De plus la variable « nombre d'arbres ayant au moins un habitat du groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites » a un effet significativement négatif sur le nombre d'espèces emblématiques (tab. 6). Les variables regroupant les habitats selon les 7 formes définies par Larrieu et al. (2018) n'ont pas d'effet significatif sur la variable réponse « nombre d'espèces emblématiques ». Les résultats significatifs sont représentés sous forme de graphiques dans la figure 6. Pour ces analyses, aucune transformation des données n'a été effectuée.

Tableau 6: Groupes et forme d'habitats ayant une relation significative avec le nombre d'espèces emblématiques

	Nombre d'espèces saproxyliques dites emblématiques
Groupe « cavités à terreau »	Estimation: 1.14e-01 Erreur standard: 5.83e-02 Valeur p: 0.049* R^2: 1.77e-01
Groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites »	Estimation: -5.81e-02 Erreur standard: 2.03e-02 Valeur p: 0.004** R^2: 3.40e-01
Forme « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites »	Estimation: -4.69e-02 Erreur standard: 1.88e-02 Valeur p: 0.012* R^2: 2.43e-01

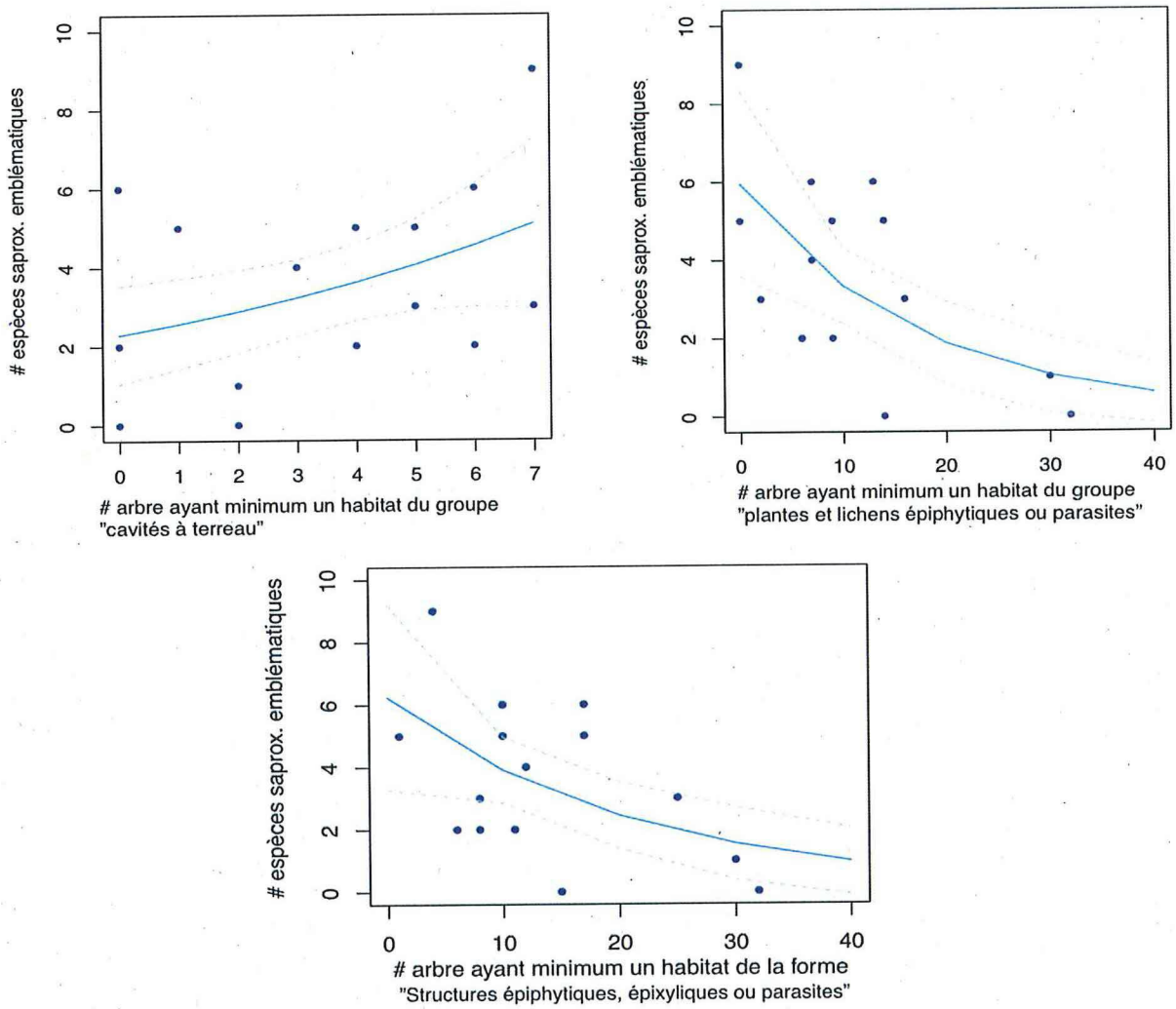

Figure 6: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces emblématiques et la présence d'habitats appartenant aux groupes « cavités à terreau » et « plantes et lichens épiphytiques ou parasites », ainsi qu'à la forme « Structures épiphytiques, épixyliques ou parasites »

4.2.3 Résultats de la relation entre espèces saproxyliques de valeur et dendro-microhabitats

Les groupes de variables explicatives « nombre d'arbres ayant au moins un habitat du groupe X » et « nombre d'arbres ayant au moins un habitat de la forme Y » ont également été analysés pour leur impact sur la variable réponse « nombre d'espèces de valeur ».

Ici aussi, deux relations significatives ont été mises en avant lors de l'analyse des liens entre le nombre d'espèces de valeur récoltées et le groupe de variables « nombre d'arbres ayant au moins un habitat du groupe X ». En effet, le nombre d'arbres ayant un habitat appartenant au groupe de dendro-microhabitats « champignons pérennes » a une influence significativement positive sur le nombre d'espèces de valeur retrouvé, ce résultat est cependant obtenu avec un modèle considéré comme imprécis (tab. 7).

De plus, le nombre d'arbres ayant un habitat appartenant au groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites » a un effet significativement négatif sur la variable réponse (tab. 7). Concernant les relations entre le nombre d'espèce de valeur et la quantité d'arbres ayant un habitat d'une des formes Y, seule la forme « Structures épiphytiques, épixyliques ou parasites » a une influence significative sur le nombre d'espèces saproxyliques de valeur. Cette influence est négative (tab. 7). Les résultats significatifs sont représentés sous forme de graphiques dans la figure 7. Aucune transformation n'a été effectuées lors de ces analyses.

Tableau 7: Groupes et forme d'habitats ayant une relation significative avec le nombre d'espèces saproxyliques de valeur

	Nombre d'espèces saproxyliques de valeur
Groupe « champignons pérennes »	Estimation: 1.32e-01 Erreur standard: 5.99e-02 Valeur p: 0.027* R^2: 1.03e-01
Groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites »	Estimation: -5.88e-02 Erreur standard: 1.98e-02 Valeur p: 0.003** R^2: 3.44e-01
Forme « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites »	Estimation: -4.76e-02 Erreur standard: 1.83e-02 Valeur p: 0.009** R^2: 2.49e-01

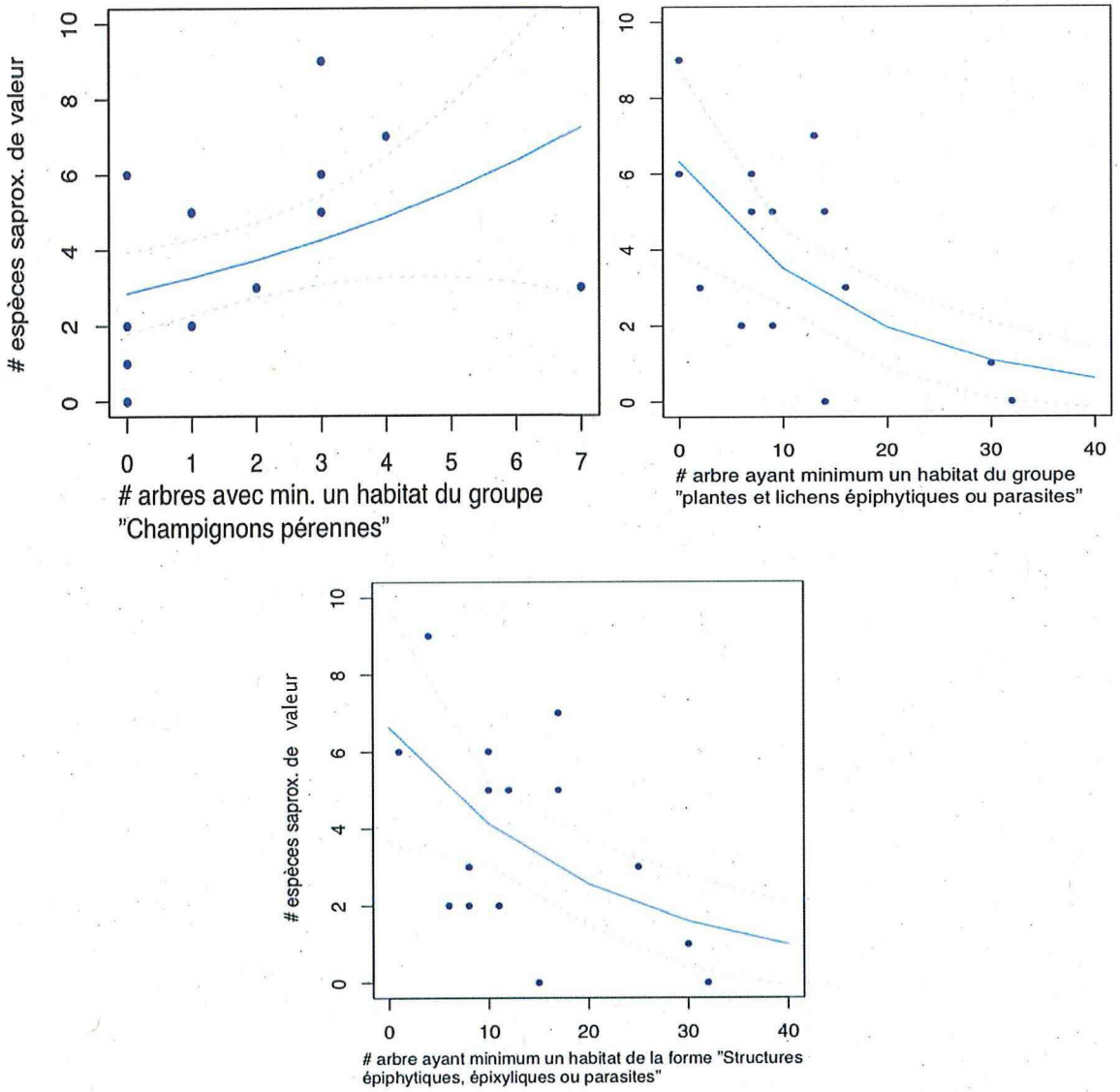

Figure 7: Représentations des relations significatives entre le nombre d'espèces saproxyliques de valeur et la présence d'habitats appartenant aux groupes « champignons pérennes » et « plantes et lichens épiphytiques ou parasites », ainsi qu'à la forme « Structure épiphytiques, épixyliques ou parasites ».

4.3 Courbe d'accumulation des espèces

Cette courbe (fig. 8) permet de visualiser l'accumulation des nouvelles espèces découvertes lors de l'ajout des données de chaque nouveau point d'échantillonnage. Dans le cas présent, la courbe ne semble pas avoir atteint son maximum et continue de s'élever. Il semble donc que la totalité des espèces de coléoptères saproxyliques n'a pas encore été trouvée après l'analyse de 15 placettes.

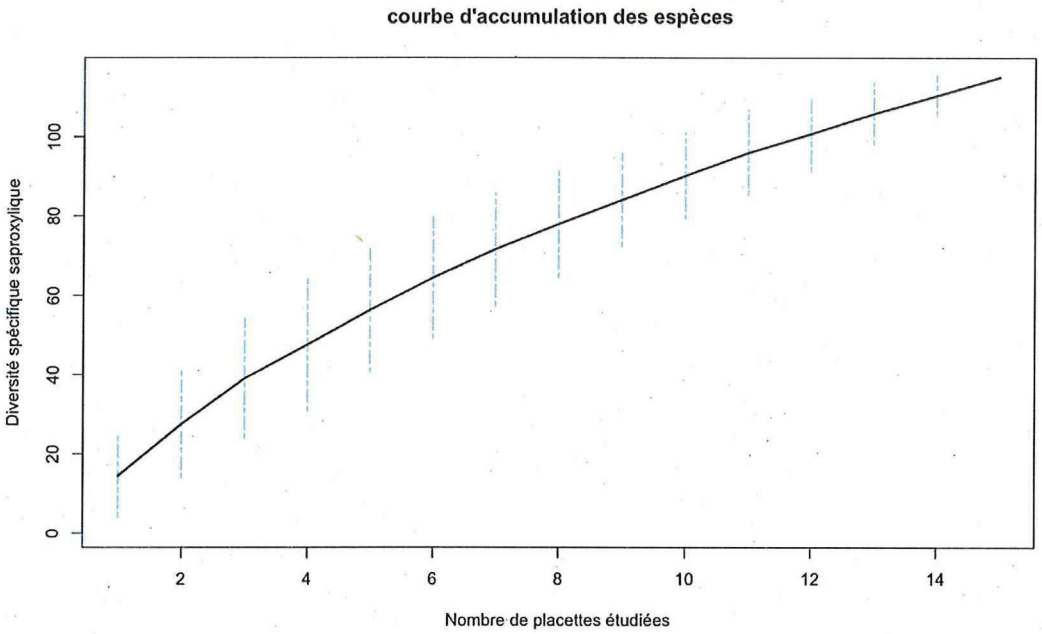

Figure 8: Courbe d'accumulation des espèces de coléoptères saproxyliques (sources : données fournies par l'association de la Grande Cariçaie).

5 Discussion

Dans ce chapitre, les résultats vont être analysés et comparés à ceux obtenus dans des études antérieures afin de poser les bases permettant de déterminer si l'on peut effectivement valider les deux hypothèses énoncées au début de ce travail.

5.1 Influence du bois mort sur la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques

Si l'on se réfère aux connaissances actuelles, le volume de bois mort influence positivement la diversité d'espèces en dépendant, et cet effet est d'autant plus important dans les forêts boréales que dans les forêts tempérées (Stokland, Siitonen et Jonsson 2012 ; Lassauce et al. 2011, cités par Parmain 2015). De plus, dû aux grands besoins des espèces dites emblématiques, notamment en termes de bois mort, une corrélation positive peut être observée entre l'augmentation du volume de bois mort et la présence de ces espèces (Sanchez et al. 2016). Prenant en compte ces observations, un point majeur de ce travail est d'investiguer la validité de l'hypothèse suivante : le volume de bois mort a un effet positif sur la quantité d'espèces saproxyliques trouvées. Bien que la quantité de bois mort semble être importante pour la biodiversité, d'autres facteurs ont également une influence sur la diversité des espèces. En effet, Lassauce (2011) et Parmain (2015) expliquent que la quantité de bois mort n'est pas le seul facteur influençant la diversité spécifique. Ils ajoutent que la qualité de cet habitat et sa diversité sont également très importantes.

Les résultats obtenus indiquent que les volumes de bois mort debout, au sol et totaaux n'influencent pas la quantité d'insectes récoltés, qu'ils soient saproxyliques, emblématiques ou dits « de valeur » (tab. 1). Ces résultats quelque peu surprenants peuvent être dû à plusieurs causes. Premièrement, les points d'échantillonnage ont été déterminés par les scientifiques de la Grande Cariçaie de manière à récolter un maximum de coléoptères. Par conséquent, les lieux étudiés sont des biotopes idéaux pour ces insectes. Les données ne contiennent donc pas de lieu d'échantillonnage peu accueillant pour ces espèces. Avec un plan d'échantillonnage plus large et plus aléatoire, c'est-à-dire avec plus de données et une plus grande variabilité de biotopes analysés, une relation significative aurait peut-être été obtenue.

Cela aurait permis de comparer la diversité spécifique dans plusieurs types de milieux : allant de biotopes accueillants à peu, voire non-accueillants pour les espèces saproxyliques. Il aurait alors été possible de déterminer si la quantité de bois mort présent fait de ces lieux des habitats favorables pour les espèces saproxyliques, ou si cela est dû à d'autres facteurs comme la présence de dendro-microhabitats.

De plus, si l'on observe la courbe d'accumulation des espèces (fig. 8), on remarque qu'elle ne semble pas encore avoir atteint son maximum. De ce fait, on peut supposer qu'il reste encore un certain nombre d'espèces saproxyliques qui n'ont pas été récoltées. Cela nous indique que le nombre d'échantillons, soit de placettes analysées, n'est pas assez important. Il faudrait donc augmenter le nombre d'échantillons pour espérer obtenir des résultats plus probants.

Finalement, comme l'affirme Larrieu (2014), il semble qu'en régions tempérées, la diversité spécifique saproxylique est d'avantage influencée par la présence de dendro-microhabitats que par le volume de bois mort. Cela expliquerait une part de cette non-influence du bois en décomposition sur la présence des espèces d'insectes. Il s'agira de déterminer dans le chapitre 5.2 si en effet la présence de microstructures influence d'avantage la présence d'espèces saproxyliques.

Par ailleurs, les tests effectués, afin de déterminer si le volume de bois mort séparé par état de saproxylation avait un effet sur la quantité d'espèces saproxyliques présentes, ont livré des résultats significatifs. En effet, le nombre d'espèces saproxyliques semble être influencé par le volume de bois mort au sol de stade de décomposition 4 et 5, ainsi que par le volume sur pied de stade 3 (tab. 2). Cela semble indiquer que les espèces saproxyliques récoltées ont une affinité particulière pour le bois mort de stades de décomposition avancés. Ces résultats sont en adéquation avec les propos de Emberger, Larrieu et Gonin (2013), selon lesquels le pic de richesse spécifique des coléoptères se situe surtout dans des bois morts de classe de décomposition 3. Cela expliquerait donc la relation avec le volume de bois mort debout de classe 3. Toutefois, il faut rester prudent lors de l'interprétation de ces résultats. En effet si l'on observe les graphiques représentant ces relations (fig. 2), on remarque que la plupart des valeurs représentées se situent entre 0 et 10 m^3 de bois mort, avec une forte variation du nombre d'espèces comptées. Seuls quelques valeurs de volume beaucoup plus importantes entrainent ces résultats significatifs.

La discussion des résultats concernant l'influence des différents états de saproxylation sur les espèces emblématiques et de valeur se fera de manière groupée, puisque les résultats concernant ces deux regroupements d'espèces sont très semblables. En effet les données de ces deux variables réponses sont pratiquement identiques. Ceci vient du fait que le nombre d'espèces saproxyliques appartenant à la liste rouge est quasi nul. Par conséquent, la variable « espèces de valeur » est essentiellement composée des espèces emblématiques. Dans les deux cas, les espèces emblématiques et de valeur sont influencées par les volumes de bois mort de décomposition 1 et 5 (tab. 3 et 4). Cependant ces dernières relations sont à considérer avec prudence en raison de modèles linéaires généralisés imparfaits. De plus, comme pour les relations entre le volume de bois mort décomposé par stades de saproxylation et le nombre d'espèces saproxyliques, la plupart des valeurs se situent entre 0 et 10 m^3 de bois mort, pour une dispersion importante du nombre d'espèces présentes (fig. 3 et 4). La significativité de ces relations est à nouveau due à quelques valeurs de volume de bois mort plus importantes.

5.2 Influence des dendro-microhabitats sur la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques

Larrieu (2014) affirme que la quantité d'espèces saproxyliques est influencée par la présence de dendro-microhabitats. De plus, un grand nombre et une grande variété de ces microstructures permettent d'abriter une quantité importante d'espèces dépendantes du bois mort (Emberger, Larrieu et Gonin 2013). Ces connaissances actuelles ont alors amené la deuxième hypothèse de ce travail ; la présence de microhabitats influence positivement la richesse spécifique de coléoptères saproxyliques. Larrieu (2014) rappelle tout de même que certains de ces dmh sont encore peu connus, comme les dendro-microhabitats épiphytes, qui selon lui sont bénéfiques aux coléoptères.

Les résultats obtenus ne sont pas toujours similaires à ceux décrit dans la littérature. En effet, le nombre de dmh, de dmh saproxyliques et la diversité de dendro-microhabitats n'influence pas significativement

le nombre d'espèces de coléoptères déterminés (cf. annexe 9). La causes de cette réponse négative semble être identique à celle du cas du volume de bois mort, c'est-à-dire un problème d'échantillonnage. En effet, les zones étudiées sont situées dans une réserve naturelle où l'exploitation forestière est fortement réduite et sont connues pour être riches en espèces saproxyliques. Il faudrait donc inclure des données de relevés faits dans des lieux moins favorables pour ces espèces afin d'espérer obtenir un résultat probant. De plus, comme il a été expliqué dans le chapitre 5.1, le nombre d'échantillon semble trop faible pour espérer obtenir des résultats fiables et significatifs.

Les groupes définis par Larrieu et al. (2018) influençant significativement la richesse des insectes saproxyliques sont les cavités à terreau, les champignons pérennes ainsi que les plantes et lichens épiphytiques ou parasites. Il y a également une forme montrant de tels résultats et il s'agit des structures épiphytiques, épixyliques ou parasites. Il n'est pas étonnant de trouver des résultats semblables pour le groupe « plantes et lichens épiphytiques » et la forme « structures épiphytiques ». En effet cette forme est composée des groupes : « plantes et lichens épiphytiques ou parasites », « nids » et « microsols ». Les groupes « nids » et « microsols » ne sont que très peu représentés dans les données récoltées, ce qui explique les résultats similaires pour le groupe et la forme cités en début de paragraphe. Par conséquent, la discussion quant aux relations avec le groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites » et la forme « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites » se fera de manière groupée.

Les trois variables réponses, « nombre d'espèces saproxyliques », « nombre d'espèces emblématiques et « nombre d'espèces de valeur », ont montré des relations significativement négatives avec le groupe « plantes et lichens épiphytiques ou parasites » et la forme « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites » signifiant que la présence des dendro-microhabitats faisant partie de ce groupe et de cette forme induisent une perte de richesse spécifique, et ce à des niveaux de significativité élevés (tab. 5, 6 et 7). Ce résultat est surprenant, d'ailleurs rien n'a été trouvé dans la littérature appuyant ce fait. Au contraire, Larrieu (2014) affirme que les habitats épiphytiques favorisent la présence de coléoptères. Outre le manque d'échantillons et le manque de données concernant des milieux moins adaptés pour ces espèces, une autre cause plausible est que les principaux dmh relevés faisant partie de cette catégorie « structures épiphytiques, épixyliques ou parasites » sont le lierre et le gui. Cependant, si l'on prend le cas du lierre, les arbres en étaient souvent totalement recouverts. Il est imaginable que cette couverture végétale soit un obstacle pour les coléoptères saproxyliques et que ces derniers se dirigent plutôt vers des habitats plus accessibles.

Les deux derniers groupes d'habitats ayant montré une relation significative sont : les groupes « cavités à terreau » et « champignons pérennes ».

Premièrement, un lien significatif entre le nombre d'espèces emblématiques et le groupe « cavités à terreau » est démontré (tab. 6). Sanchez et al. (2016) rapportent qu'un nombre de cavités à terreau croissant entraine la présence d'un plus grand nombre de ces espèces demandeuses de structures rares. On observe toutefois que les valeurs sont très dispersées dans le graphique représentant cette interaction (fig.6). Il faudrait à nouveau faire les relevés avec un plus grand nombre d'échantillons afin de confirmer les résultats.

Finalement, la relation entre les espèces de valeur et le groupe d'habitats « champignons pérennes » se montre significative (tab. et fig. 7). Malgré un modèle considéré comme imprécis, cette relation montre que certaines espèces sont favorisées par la présence de champignons pérennes.
Il semble en effet que certaines espèces saproxyliques en utilisent d'autres comme substrat, comme par exemple les champignons (Dodelin, Pene et André 2005).

6 Conclusion

Ce travail avait pour but de mettre en évidence une éventuelle relation entre la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques et le volume de bois mort ainsi que la présence de dendro-microhabitats et donc investiguer la validité des hypothèses suivantes : le volume de bois mort a une influence positive sur la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques et il existe une relation positive entre les dendro-microhabitats présents et la diversité spécifique de coléoptères saproxyliques.

La réponse à l'hypothèse concernant l'influence du bois mort n'est pas évidente, En effet, le volume « brut » de bois mort au sol, sur pied et total, c'est-à-dire tout état de saproxylation confondu, n'influence pas significativement le nombre d'espèces saproxyliques présentes. Par contre, le volume de certaines classes de décomposition semble favoriser une variété importante d'espèces. En effet il semble que le volume de bois mort au sol de stades de saproxylation avancés (4 et 5) influence de manière positive la diversité spécifique d'espèces saproxyliques, dont les espèces emblématiques. Ces éléments quelques peu flous ne permettent pas de valider la première hypothèse, mais laissent tout de même apparaître un impact positif de la présence du bois mort sur le nombre d'espèces de coléoptères.

Concernant l'influence des dendro-microhabitats, il est également difficile de confirmer l'hypothèse. En effet le nombre de dmh, leur diversité, ainsi que le nombre d'arbres habitats n'ont pas d'effet direct sur le nombre d'espèces saproxyliques retrouvées. Il semble toutefois qu'une fois regroupés selon les groupes et formes définies par Larrieu et al. (2018), certains habitats ont une influence positive sur les espèces présentes. C'est les cas des habitats appartenant aux groupes « cavités à terreau » et « champignons pérennes ». De plus, la forme d'habitats « Structure épiphytiques, épixyliques ou parasites », ainsi que le groupe d'habitats associés « plantes et lichens épiphytiques ou parasites » ont une influence négative sur le nombre d'espèces présentes. De ce fait, il n'est pas non plus possible de valider la seconde hypothèse avec les résultats obtenus, bien que ces résultats soient prometteurs. Ce sujet mériterait alors d'être approfondi afin de mettre davantage en avant l'importance des dmh pour la biodiversité.

Dans le but d'obtenir des résultats plus fiables, il serait intéressant, comme évoqué dans la discussion, de réaliser à nouveau les analyses effectuées, mais avec des données plus contrastées. En effet, l'incrémentation des données déjà analysées avec de nouvelles données provenant de zones moins propices aux espèces saproxyliques pourrait permettre de déterminer si le bois mort et/ou les dendro-microhabitats ont réellement un effet positif sur les espèces en dépendant. Il serait aussi nécessaire de tenir compte des autres facteurs, par exemple des conditions stationnelles, pouvant influencer la présence de coléoptères. Plus spécifiquement en rapport avec les dendro-microhabitats, en plus d'un nombre de points d'échantillonnages plus important et de lieux de mesure plus diversifiés, il serait intéressant d'effectuer des analyses pour chaque dmh séparément. Cela permettrait de déterminer, au sein des groupes et formes d'habitats ayant fournis des relations significatives, quels sont les micro-dendrohabitats ayant le plus d'influence.

Le déclin de la diversité est un problème majeur qui nous concerne tous. Améliorer nos connaissances sur l'influence de la présence du bois mort et des dmh sur la biodiversité permettrait de prendre les mesures nécessaires afin de réduire la diminution du nombre de populations et même la disparition totale de certaines espèces vivantes. Il est donc essentiel de continuer les recherches en rapport avec le thème de ce travail.

7 Bibliographie

- Bachmann P, Zingg A, 2009. Waldwachstum - Skript für die Vorlesung. ETH Zürich, Zürich, 198p.

- Böhl J, Brändli UB, 2007. Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory - Methods and first results. European Journal of Forest Research, 126 (3), 449 - 457.

- Brin A, 2008. Le bois mort et les Coléoptères associés dans les plantations de pin maritime (Pinus pinaster, L.) - Implications possibles pour la gestion durable des forêts et l'élaboration d'indicateurs de biodiversité. Université de Bordeaux 1, 10.12.2008, page consultée le 26.07.18, http://ori-oai.u-bordeaux1.fr/pdf/2008/BRIN_ANTOINE_2008.pdf

- Deuffic P, Bouget C, Gosselin F, 2016. Trajectoire sociopolitique d'un indicateur de biodiversité forestière : le cas du bois mort. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 16(2) 1-26, page consultée le 06.09.2018, https://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2016-v16-n2-vertigo02855/1038176ar.pdf

- Dodelin B, Pene B, André J, 2005. L'alimentation des coléoptères saproxyliques et notes sur les contenus stomacaux de cinq espèces. Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon, 74e année-numéro 10, 335-345.

- Eckelt A, Müller J, Bense U, Brustel H, Bußler H, Chittaro Y, Cizek L, Frei A, Holzer E, Kadej M, Kahlen M, Köhler F, Möller G, Mühle H, Sanchez A, Schaffrath U, Schmidl J, Smolis A, Szallies A, Németh T, Wurst C, Thorn S, Christensen RHB, Seibold S, 2017. "Primeval forest relict beetles" of Central Europe : a set of 168 umbrella species for the protection of primeval forest remnants. Journal of Insect Conservation, 22, 15-28, page consultée le 06.09.2018, https://slideheaven.com/primeval-forest-relict-beetles-of-central-europe-a-set-of-168-umbrella-species-f.html

- Emberger C, Larrieu I, Gonin P, 2013 - Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt. Comprendre l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP). Document technique. Paris : institut pour le développement forestier, mars 2013, 56 p.

- État de Vaud, sans date d'édition. Arbres – habitats. Sans date de parution, page consultée le 12.09.2018, https://www.vd.ch/themes/environnement/forets/la-foret-vaudoise/biodiversite/arbres-habitats/

- ForêtSuisse, 2016. Valorisation des arbres-habitats – Aide-mémoire pour les propriétaires forestiers. 10.2016, page consultée le 12.09.2018, https://www.foretsuisse.ch/fileadmin/user_upload/user_upload/Verband/Infomaterial_Franz/Arbres_habitats_valorisation.pdf

- Frei A 2006. Licht und Totholz - Das Paradies für holzbewohnende Käfer. Zürcher Wald, 5/, 17-19, page consultée le 26.07.18, http://www.birdlife.ch/sites/default/files/documents/ZuercherWald_LichtundTotholz.pdf.

- Jomura M, Kominami Y, Dannoura M, Kanazawa Y, 2008. Spatial variation in respiration from coarse woody debris in a temperate secondary broad-leaved forest in Japan. Forest Ecology and Management, 255, 149-155.

- Kraus D, Krumm F, 2013. Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity. European Forest Institute. 284 p.

- Lachat T, Bütler R, 2007. Gestion des vieux arbres et du bois mort - Îlots de senescence, arbres-habitat et métapopulations saproxyliques. Office fédéral de l'environnement, 11.2007, page consultée le 01.09.2018, https://www.wsl.ch/totholz/produkte/produkte_rapport_bafu_2007.pdf
- Larrieu L, 2014. Les dendro-microhabitats : facteurs clés de leur occurrence dans les peuplements forestiers, impact de la gestion et relations avec la biodiversité taxonomique. Université de Toulouse, 05.12.2014, page consultée le 26.07.2018, http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002882/01/larrieu_partie_1_sur_2.pdf

- Larrieu L, Paillet Y, Winter S, Bütler R, Kraus D, Krumm F, Lachat L, Michel AK, Regnery B, Vandekerkhove K, 2018. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. Ecological Indicators, 84, 194-207.

- Lassauce A, 2011. Développement d'une sylviculture à vocation énergétique et conservation de la biodiversité saproxylique. Université d'Orléans, 16.12.1011, page consultée le 02.09.2018, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00698580/document

- Lassauce A, Paillet Y, Jactel H, Bouget C, 2011. Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: Meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. Ecological Indicators, 11, 2028-1038, page consultée le 24.09.18, https://www.researchgate.net/publication/229168776_Deadwood_as_a_surrogate_for_forest_biodiversity_Meta-analysis_of_correlations_between_deadwood_volume_and_species_richness_of_saproxylic_organisms/link/59de12c4aca272204c2c79fe/download

- Lindhe A, Lindelöw Å, Åsenblad N, 2005. Saproxylic Beetles in Standing Dead Wood Density in Relation to Substrate Sun-exposure and Diameter : Biodiversity and Conservation ,14, 3033-3053.

- Michel AK, Winter S, 2009. Tree microhabitat structures as indicators of biodiversity in Douglas-fir forests of different stand ages and management histories in the Pacific Northwest, U.S.A. Forest Ecology and Managment, 257, 1453-1464, page consultee le 01.09.2018, https://www.sierraforestlegacy.org/Resources/Conservation/Biodiversity/BD%20Michel%20and%20Winter%202010%20Tree%20microhabitat%20structures.pdf

- OFEV (Office fédéral de l'environnement), 2012. Stratégie Biodiversité Suisse. 25.04.2012 page consultée le 26.07.18, https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/biodiversitaet/ud-umwelt-diverses/strategie_biodiversitaetschweiz.pdf.download.pdf/strategie_biodiversitesuisse.pdf

- OFEV (Office fédéral de l'environnement), 2015. Biodiversité en forêt : objectifs et mesures. OFEF, Bern, 190p, page consultée le 12.09.2018, https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/biodiversitaet/uv-umwelt-vollzug/biodiversitaet_imwaldzieleundmassnahmen.pdf.download.pdf/biodiversite_en_foretobjectifsetmesures.pdf

- Økland B, 2002. Canopy cover favours sporocarp-visiting beetles in spruce forest. Norwegian Journal of Entomology,49, 29-39.

- Parmain G, 2015. Contribution de différents éléments forestiers et non-forestiers de la Trame de Très Vieux Bois à la diversité des coléoptères saproxyliques. Université d'Orléans, 22.01.2015, page consultée le 10.09.2018, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01303757/document

- Rameau JC, Gauberville C, Drapier N, 2000. Gestion forestière et diversité biologique ; identification et gestion intégrée des habitats et espèces d'intérêt communautaire. Institut pour le Développement Forestier, Paris.

- Reber A, Larrieu L, Schubert M, Bütler R, 2015. Guide de poche des dendro-microhabitats - Description des différents types de microhabitats liés aux arbres et des principales espèces qui y sont associées. 06.2015, page consultée le 12.09.2018, https://www.wsl.ch/totholz/produkte/produkte_guide_de_poche_dendro_microhabitats_vaud.pdf

- Sanchez A, Chittaro Y, Monnerat C, Gonseth Y, 2016. Les coléoptères saproxyliques emblématiques de Suisse, indicateurs de la qualité de nos forêts et milieux boisés. Bulletin de la société entomologique suisse, 89, 261-280, page consultée le 26.07.18, https://www.researchgate.net/profile/Andreas_Sanchez/publication/312087770_Les_Coleopteres_saproxyliques_emblematiques_de_Suisse_indicateurs_de_la_qualite_de_nos_forets_et_milieux_boises/links/586ebf4108ae8fce491c8eb6/Les-Coleopteres-saproxyliques-emblematiques-de-Suisse-indicateurs-de-la-qualite-de-nos-forets-et-milieux-boises.pdf?origin=publication_detail

- Sanchez A, Chittaro Y, Monnerat C, Gonseth Y, 2016. Les coléoptères saproxyliques emblématiques de Suisse, indicateurs de la qualité de nos forêts et milieux boisés. Bulletin de la société entomologique suisse, 89, 261-280.

- Speight, 1989. Saproxylic invertebrates and their conservation. Council of Europe - Nature and Environment, 81, page consultée le 01.09.2018, https://www.lsuinsects.org/resources/PDFs/speight1989c.pdf

- Stokland J, Siitonen J, Jonsson BG, 2012. Biodiversity in dead wood. Cambridge University Press, Cambridge UK, 521p.

- WSL (Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage), 2015. A quoi servent les vieux arbres et le bois mort ? 01.12.2015, page consultée le 27.07.18, https://www.wsl.ch/totholz/wozu/index_FR

- WSL (Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage), 2015. Vieux arbres, bois mort et biodiversité. 01.12.2015, page consultée le 06.09.2018, https://www.wsl.ch/totholz/lebensraum/index_FR

- WSL (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage), 2017. Schweizerisches Landesforstinventar Feldaufnahme - Anleitung 2017. 15.02.2017, page consultée le 20.09.2018, https://www.lfi.ch/publikationen/publ/LFI4_Anleitung_2017.pdf

8 Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier les personnes m'ayant encadré et ayant rendu ce travail possible.
Merci à Thibault Lachat, pour m'avoir mis en relation avec l'Association de la Grande Cariçaie et pour son encadrement et ses conseils.
Merci à Antoine Gander, pour avoir proposé ce travail et pour m'avoir fourni les données de comptages de coléoptères, ainsi que pour m'avoir présenté les divers endroits de la Grande Cariçaie à étudier.
Merci à Urs Kormann, pour ses conseils dans le vaste domaine des statistiques.
Merci à Fanny Louviot et Claire Bardet, pour leurs aide et conseils concernant la rédaction, ainsi que pour leur participation aux relevés.
Merci à Jean-Claude Beaud et Nicolas Moret pour leur aide lors des relevés.

9 Recueil des annexes.

Table des annexes

9.1 Annexe 1 : Classification des dendro-microhabitats (Larrieu et al. 2018) 31

9.2 Annexe 2 : Formulaire de relevés de dendro-microhabitats 33

9.3 Annexe 3 : Formulaire de relevés de bois mort 34

9.4 Annexe 4 : Tableau de conversion de longueurs de transects 34

9.5 Annexe 5 : Tableau de conversion de rayons des placettes 35

9.6 Annexe 6 : États saproxyliques ou de décomposition (Reber et al. 2015) 36

9.7 Annexe 7 : Exemple de code R 37

9.8 Annexe 8 : Mandat relatif au travail estudiantin 38

9.9 Annexe 9 : Résultats supplémentaire en rapport avec les dmh 39

9.10 Annexe 10 : Coordonnées des placettes 40

9.1 Annexe 1 : Classification des dendro-microhabitats (Larrieu et al. 2018)

Form	Group	Types					
Cavities I.s.	Woodpecker breeding cavities	**Small woodpecker breeding cavity** Entrance ø<4cm	**Medium-sized woodpecker breeding cavity** Entrance ø = 4-7cm	**Large woodpecker breeeding cavity** Entrance ø >10cm	**Woodpecker flute** Entrance ø >3cm		
	Rot-holes	**Trunk base rot-hole (closed top, ground contact)** Opening ø >10cm	**Trunk rot-hole (closed top, no ground contact)** Opening ø >10cm	**Semi-open trunk rot-hole** Opening ø >30cm	**Chimney trunk base rot-hole** Opening ø >30cm	**Chimney trunk rot-hole** Opening ø >30cm	**Hollow branch** Opening ø >10cm
	Insect galleries	**Insect galleries and bore holes** Hole ø >2cm or area >300cm²					
	Concavities	**Dendrotelm** ø >15cm	**Woodpecker foraging excavation** Depth >10cm, ø >10cm	**Trunk bark-lined concavity** Depth >10cm, ø >10cm	**Root-buttress concavity** Entrance ø >10cm		
Tree injuries and exposed wood	Exposed sapwood only	**Bark loss** Area > 300cm²	**Fire scar** Area > 600cm²	**Bark shelter** Gap >1cm, depth >10cm, height>10cm	**Bark pocket** Gap >1cm, width >10cm, height>10cm		
	Exposed sapwood and heartwood	**Stem breakage** ø >10cm at break point	**Limb breakage** Exposed heartwood >300cm²	**Crack** Length > 30 cm, width > 1 cm, depth > 10 cm	**Lightning scar** Length > 30 cm, width > 1 cm, depth > 10 cm	**Fork split at insertion** Length > 30 cm	
Crown deadwood	Crown deadwood	**Dead branches** Branch ø >10cm, or Branches ø >3cm and >10% of the crown is dead	**Dead top** ø >10cm at the base of the piece of deadwood	**Remaining broken limb** broken end ø >20cm, length of the remaining piece >0.5m			

Form	Group	Types				
Excrescences	Twig tangles	**Witch broom** Largest ø >50cm	**Epicormic shoots** >5 twig clusters			
	Burrs and cankers	**Burr** Largest ø >20cm	**Canker** Largest ø >20cm or large part of the trunk covered			
Fruiting bodies of saproxylic fungi and slime moulds	Perennial fungal fruiting bodies	**Perennial polypore** Largest ø >5cm				
	Ephemeral fungal fruiting bodies	**Annual polypore** Largest ø >5cm or cluster of > 10 fruiting bodies	**Pulpy agaric** Largest ø >5cm or cluster of > 10 fruiting bodies	**Large Pyrenomycete** Stroma ø >3cm or stroma cluster covering >100cm²	**Myxomycetes** Largest ø >5cm	
Epiphytic and epixylic structures	Epiphytic and parasitic crypto- and phanerogams	**Bryophytes** >10% of the trunk area covered	**Foliose and fruticose lichens** >10% of the trunk area covered	**Ivy and lianas** >10% of the trunk area covered	**Ferns** > 5 fronds	**Mistletoe** Largest ø >20cm
	Nests	**Vertebrate nest** ø >10cm	**Invertebrate nest** Presence			
	Microsoils	**Bark microsoil** Presence	**Crown microsoil** Presence			
Exudates	Exudates	**Sap run** Cumulative length >10 cm	**Heavy resinosis** Cumulative length >10 cm			

9.2 Annexe 2 : Formulaire de relevés de dendro-microhabitats

Placette	Arbres
Surface : 1000m2	**DHP (cm)**
Pente (°)	**Essence**
Rayon (m)	**Etat (vivant = V, mort = M)**
	Si M ---->. Hauteur [m] (si arbre mort)
	Si M -> Diamètre[cm] cassure (si mort et cassé)
	Etat saproxylique
	Distance du centre (m)
	Azimut [°]

Formes	Groupes	Types	Seuil de grandeur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Cavités l.s.	Loges de pic	Loge de petite taille (ø < 4 cm)	Entrée de la cavité ø <4 cm																									
		Loge de taille moyenne (ø = 4-7 cm)	Entrée de la cavité ø = 4-7 cm																									
		Loge de grande taille (ø >10 cm)	Entrée de la cavité ø > 10 cm																									
		"Flute" de pic (≥ 3 loges en ligne)	Entrée des cavités ø > 3 cm																									
	Cavités à terreau	Cavité à terreau de pied (en contact avec le sol)	Entrée de la cavité ø >10 cm																									
		Cavité à terreau de tronc (sans contact avec le sol)	Entrée de la cavité ø >10 cm																									
		Cavité à terreau semi-ouverte	Entrée de la cavité ø >30 cm																									
		Cavité à ter., contact avec le sol, ouverte vers le haut (cheminée)	Entrée de la cavité ø >30 cm																									
		Cavité à ter., sans contact avec sol, ouverte vers le haut (cheminée)	Entrée de la cavité ø >30 cm																									
		Branche creuse	Entrée de la cavité ø >10 cm																									
	Orifices d'insectes	Orifice et galerie d'insecte	Orifice ø >2 cm ou nombreux orifices couvrant > 300 cm² (A5)																									
	Concavités	Dendrotelme	Entrée de la cavité ø >15 cm																									
		Trou de nourrissage de pic	Profondeur > 10 cm, Entrée de la cavité ø >10 cm																									
		Concavité à fond dur de tronc	Profondeur > 10 cm, Entrée de la cavité ø >10 cm																									
		Concavité racinaire	Entrée ø >10 cm, profondeur > 10 cm																									
Blessures et bois apparent	Aubier apparent	Bois sans écorce	Surface > 300 cm² (A5)																									
		Blessure due au feu	Surface > 600 cm² (A4)																									
		Ecorce décollée formant un abri (ouvert vers le bas)	Espace > 1 cm; largeur > 10 cm; hauteur> 10 cm																									
		Ecorce décollée formant une poche (ouvert vers le haut)	Espace > 1 cm; largeur > 10 cm; hauteur> 10 cm																									
	Aubier et bois de coeur apparents	Cime brisée	Cime > 20 cm à la cassure																									
		Bris de charpentière au niveau du tronc avec bois de coeur apparent	Surface de bois de coeur exposé > 300 cm² (A5)																									
		Fente	Longueur > 30 cm; largeur > 1 cm; profondeur > 10 cm																									
		Fente causée par la foudre	Longueur > 30 cm; largeur > 1 cm; profondeur > 10 cm																									
		Fente au niveau d'une fourche	Longueur>30cm																									
Bois mort dans le houppier	Bois mort dans le houppier	Branches mortes	Branche ø >10 cm, ou branche ø >3 cm et >10% de la couronne morte																									
		Cime morte	ø >10cm à la base de la cime morte																									
		Vestige de charpentière brisée	Charpentière ø >20cm à la cassure, longeur du vestige >50 cm																									
Excrois-sances	Agglomérations de de gourmands ou de rameaux	Balais de sorcière	Max ø >50 cm																									
		Gourmands / Brogne	>5 rameaux																									
	Loupes et chancres	Loupe	Max ø >20 cm																									
		Chancre	Max ø >20 cm ou grande partie du tronc couverte																									
Sporophores de champignons et Myxomycètes	Champignons pérennes	Polypore pérenne	Max ø >5 cm																									
		Polypore annuel	Max ø >5 cm ou groupe > 10 polypores																									
	Sporophores de champignons éphémères et Myxomycètes	Agaricale charnu	Max ø >5 cm ou groupe > 10 polypores																									
		Pyrénomycète	Fructification ø >3 cm ou groupe >100 cm²																									
		Myxomycète	Max ø >5 cm																									
Structures épiphytiques, épixyliques ou parasites	Plantes et lichens épiphytiques ou parasites	Bryophyte (mousse ou hépatique)	>10% du tronc couvert																									
		Lichen foliacé ou fruticuleux	>10% du tronc couvert																									
		Lierre ou liane	>10% du tronc couvert																									
		Fougères	>5 frondes																									
		Gui	Max ø >20 cm pour Viscum spp.																									
	Nids	Nid de vertébré	ø >10 cm																									
		Nid d'invertébré	Présence (observation directe ou insectes associés)																									
	Microsols	Microsol d' écorce	Présence (observation directe ou champignon)																									
		Microsol du houppier	Présence																									
Exsu-dats	Coulées de sève et de résine	Coulée de sève active	longueur >10 cm																									
		Coulée abondante de résine	longueur >10 cm																									

9.3 Annexe 3 : Formulaire de relevés de bois mort

Relevé de bois mort : transect 15m					pente tr	1)	2)	3)
Placette no								
No	no t	longueur tr	décomp	essence	D1(cm)	D2(cm)	pente (°)	Remarque
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

9.4 Annexe 4 : Tableau de conversion de longueurs de transects

Transects 15 m		
Pente (°)	Pente (%)	Transects (m)
0	0	15
5	9	15,06
10	18	15,23
15	27	15,53
20	36	15,96
25	47	16,55
30	58	17,32
35	70	18,31
40	84	19,58
45	100	21,21
50	119	23,34
55	143	26,15
60	173	30,00
65	214	35,49
70	275	43,86

9.5 Annexe 5 : Tableau de conversion de rayons des placettes

Rayons adaptés à la pente (arbres habitats)		
Pente [%]	Pente [°]	Rayon pour 1000m2 (m)
0	**0**	**17,84**
10	5,7	17,89
15	8,5	17,94
20	11,3	18,02
25	14,0	18,11
30	16,7	18,23
35	19,3	18,36
40	21,8	18,52
45	24,2	18,68
50	**26,6**	**18,86**
55	28,8	19,06
60	31,0	19,27
65	33,0	19,48
70	35,0	19,71
75	36,9	19,95
80	38,7	20,19
85	40,4	20,44
90	42,0	20,69
95	43,5	20,95
100	**45,0**	**21,22**
105	46,4	21,48
110	47,7	21,75
115	49,0	22,02
120	50,2	22,30
125	51,3	22,57
130	52,4	22,85
135	53,5	23,13
140	54,5	23,40
145	55,4	23,68
150	**56,3**	**23,95**

9.6 Annexe 6 : États saproxyliques ou de décomposition (Reber et al. 2015)

Stade 1 : Bois mort dans l'année, très dur, pas ou très peu altéré. Écorce partout adhérente. Le liber est vivant ou au moins perceptible (au niveau de la section de l'arbre).

Stade 2 : Bois très dur, peu altéré : couteau s'enfonçant très difficilement (< 1cm) même dans le sens des fibres. Écorce quasiment partout présente, mais moins adhérente. Le liber n'est plus perceptible.

Stade 3 : Bois altéré, plus tendre en surface : couteau s'enfonçant de 1 à quelques cm dans le sens des fibres. Écorce partiellement à globalement tombée (sauf pour certaines essences comme le hêtre où l'écorce reste en place très longtemps) L'essence est encore reconnaissable et la pièce de bois n'a pas perdu de volume.

Stade 4 : Bois très altéré : couteau s'enfonçant jusqu'à la garde, au moins localement. Plus (ou vraiment très peu) d'écorce présente. Le bois a perdu du volume, mais l'essence est généralement encore reconnaissable.

Stade 5 : Bois très peu cohérent et dispersable facilement avec le pied. Mélange d'organismes saproxyliques et du sol (p.ex. vers de terre) Seul un examen approfondi permet d'identifier l'essence.

9.7 Annexe 7 : Exemple de code R

Analyse : modèle linéaire généralisé et plots

```r
require(rsq) #pour obtenir coefficient de détermination
data<-SyntheseTS1 #import des données à analyser

###########   Analyse   #########################
#fonction du modèle linéaire généralisé
essais1=glm(n_espece_saprox ~vol_sol_dec4, data=data, family=poisson)
summary(essais1) #obtenir les résultats statistiques
rsq(essais1) #obtenir le coefficient de détermination
#permet d'obtenir des graphique pour évaluer l'exactitude du modèle glm trouvé
plot(essais1)
############  Plot    #########################
hist(data$vol_sol_dec4) # r'envoie l'histogramme des données à tester
#obtient min et max de la variable à étudier->taille du vecteur de la fct suivante
summary(data$vol_sol_dec4)
#predict: livre valeur de la courbe de regression par rapport au modèle,
#sur les intervalles données
pred <- predict(essais1, list(vol_sol_dec4=c(0,20,40,60,80)), type = 'response')

# we create a new dataframe with the values for the volume
newdat=expand.grid(vol_sol_dec4=c(0, 20,40,60,80))
#donne la "droite" de regression, et l'erreur standard
prs <- predict(essais1, newdata = newdat, type = "response", se.fit=TRUE)
str(prs) #info sur la structure de l'output

newdat$pred <- prs[[1]] #fit=prediction, à ajouter à nouvelle dataframe
newdat$se <- prs[[2]] #ajout new dataframe erreur standard
#intervalle confiance= droite de regression +/- 1.96 * erreur standard
#1.96 pour un niveau de confiance de 95%
newdat$lo <- newdat$pred - 1.96 * newdat$se#ecart type bas
newdat$up <- newdat$pred + 1.96 * newdat$se# écart type haut

summary(data$n_espece_saprox) #pour définir limite de l'axe y
plot(newdat$vol_sol_dec4, newdat$pred, col = "white", ylim =c(5,30),
     xlab="volume de bois mort au sol \nde décomposition 4 [m3] ",
     ylab="# espèces saproxyliques") #plot cadre
points(data$vol_sol_dec4,data$n_espece_saprox, col = "#1B019B", pch = 20) #plot données
lines(newdat$vol_sol_dec4, newdat$pred, col= "#2C75FF") #plot modèle glm
#plot écarts types bas et haut
lines(newdat$vol_sol_dec4, newdat$lo, lty = "dashed", col="lightblue")
lines(newdat$vol_sol_dec4, newdat$up, lty = "dashed", col="lightblue")
```

Courbe d'accumulation des espèces

```r
# Travail de semestre 1 - Yann Bardet - Grande Cariçaie
#  courbe d'accumulation spécifique


library(vegan)
x <-specaccum(curve_spec, method ="random")
plot(x, xlab="Nombre de placettes étudiées",
     ylab = "Diversité spécifique saproxylique",
     main="courbe d'accumulation des espèces",
     xlim =c(1,15),ci.type="bar", col="Black", lwd=2,
     ci.lty=6, ci.col="lightblue")
```

9.8 Annexe 8 : Mandat relatif au travail estudiantin

Haute école spécialisée bernoise
Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL

Mandat relatif à un travail estudiantin

Type de travail :

☒ 1er travail de semestre ☐ 2e travail de semestre

☐ Travail de bachelor

☐ Travail de minor

Langue dans laquelle sera rédigé le travail :

☐ Allemand ☒ Français ☐ Anglais ☐ Autre : —

Étudiant-e : — Yann Bardet

Enseignant-e responsable : — Thibault Lachat

Intitulé provisoire du travail : Relation coléoptères saproxyliques et bois mort + diversité microhabitats.

Contexte, sujet du travail : Mise en évidence d'une éventuelle relation entre la présence d'espèces saproxyliques et la quantité de bois mort et d'autres habitats dans la Grande Cariçaie

Objectif, résultat attendu : Les placettes à hautes richesse spécifique en coléoptères saproxyliques ont également une haute diversité et quantité de bois mort et micro habitats.

Suggestions quant aux méthodes, aux sources bibliographiques ou à la démarche :
Relevés bois mort : méthode du transect. Relevé diversité microhabitats. Carrieu et al. 2018

Délais et divers :
Remise travail : 30 septembre 2018

L'étudiant-e est informé-e du caractère contraignant des directives concernant les travaux de semestre, de bachelor et de minor.

Lieu et date : — Zollikofen 09.03.18

Signature de l'enseignant-e responsable : ..... **Signature de l'étudiant-e :** .....

9.9 Annexe 9 : Résultats supplémentaire en rapport avec les dmh

Tab. 1: relations entre dmh et nombre d'espèces saproxyliques

	Nombre d'espèces saproxyliques
Nombre dmh	Estimation: -7.00e-04 Erreur standard: 1.29e-03 Valeur p: 0.587 ns R^2: 1.04e-02
Nombre dmh saproxyliques	Estimation: 1.21e-03 Erreur standard: 2.71e-03 Valeur p: 0.655 ns R^2: 7.04e-03
Diversité dmh	Estimation: 8.39e-03 Erreur standard: 1.34e-02 Valeur p: 0.532 ns R^2: 1.09e-02
Nombre arbres habitats	Estimation: -0.00445 Erreur standard: 0.00364 Valeur p: 0.222 ns R^2: 0.05410993

Tab. 2: relations entre dmh et nombre d'espèces emblématiques

	Nombre d'espèces emblématiques
Nombre dmh	Estimation: -1.46e-03 Erreur standard: 2.69e-03 Valeur p: 0.588 ns R^2: 1.28e-02
Nombre dmh saproxyliques	Estimation: 3.91e-03 Erreur standard: 5.71e-03 Valeur p: 0.493 ns R^2: 1.79e-02
Diversité dmh	Estimation: 2.87e-02 Erreur standard: 2.72e-02 Valeur p: 0.292 ns R^2: 3.47e-02
Nombre arbres habitats	Estimation: -4.38e-03 Erreur standard: 7.48e-03 Valeur p: 0.558 ns R^2: 1.56e-02

Tab. 3: relations entre dmh et nombre d'espèces saproxyliques de valeur

	Nombre d'espèces saproxyliques de valeur
Nombre dmh	Estimation: -8.52e-04 Erreur standard: 2.59e-03 Valeur p: 0.742 ns R^2: 4.54e-03
Nombre dmh saproxyliques	Estimation: 4.70e-03 Erreur standard: 5.59e-03 Valeur p: 0.400 ns R^2: 2.57e-02
Diversité dmh	Estimation: 2.76e-02 Erreur standard: 2.65e-02 Valeur p: 0.297 ns R^2: 3.18e-02
Nombre arbres habitats	Estimation: -3.07e-03 Erreur standard: 7.17e-03 Valeur p: 0.669 ns R^2: 7.64e-03

9.10 Annexe 10 : Coordonnées des placettes

Placettes	Coordonnées
1	2541309 1181906
2	2541367 1181975
3	2541417 1181987
4	2541661 1182076
5	2549417 1184862
6	2552561 1187686
7	2552179 1187492
8	2552028 1187331
9	2558262 1192937
10	2558436 1193061
11	2562134 1195566
12	2565367 1198437
13	2566023 1199140
14	2552054 1187004
15	2551219 1186402

10 Annexes sur support électronique (pas inclus au dossier)

10.1 Annexe électronique 1 : Données de relevés et de piégeage de coléoptères

Fichier Excel : Projet_grandeCaricaie_synthese_yannBardet.xlsx

10.2 Annexe électronique 2 : Données utilisées pour les analyses

Fichier Excel : SyntheseTS1.xlsx

10.3 Annexe électronique 3 : Données pour la courbe accumulation des espèces

Fichier Excel : curve_spec.xlsx

10.4 Annexe électronique 4 : Code R : totalité des tests effectués

Fichier R : totalite_des_tests_effectués.R

10.5 Annexe électronique 5 : Code R : tests significatifs effectués et plots

Fichier R : tests_significatifs_et_plot.R

10.6 Annexe électronique 6 : Code R : Courbe d'accumulation d'espèces

Fichier R : species_curve.R