Influence de la maturité forestière sur les cortèges de coléoptères saproxyliques de litière

Étude dans les hêtraies-sapinières pyrénéennes

Mémoire de stage de fin d'étude

Dominante d'approfondissement "Gestion des Milieux Naturels"

Baptiste Verneuil

Mars- Septembre 2014

Source de la photographie : Baptiste Verneuil (2014), Forêt domaniale de Bethmale

AgroParisTech – ENGREF
Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement

INP Toulouse – E.I Purpan
Sciences du vivant • Agriculture • Agroalimentaire • Marketing • Management

Influence de la maturité forestière sur les cortèges de coléoptères saproxyliques de litière

Étude dans les hêtraies-sapinières pyrénéennes

Mémoire de stage de fin d'étude

Dominante d'approfondissement "Gestion des Milieux Naturels"

Baptiste Verneuil

Mars- Septembre 2014

Résumé

L'exploitation forestière, en raccourcissant le cycle de vie des arbres, empêche l'apparition de peuplements forestiers à forte maturité. La maturité forestière se traduit notamment par l'augmentation du volume de bois mort et d'arbres porteurs de microhabitats, deux attributs majeurs pour la biodiversité des cortèges saproxyliques. Cette étude vise à caractériser l'impact éventuel de l'exploitation forestière sur les communautés de coléoptères saproxyliques aptères de litière. Cette faune pourrait être fortement affectée par la raréfaction du bois mort en peuplement exploité car elle est peu mobile et donc contrainte par la disponibilité en ressources sur place. L'étude a été menée dans les Pyrénées en comparant la faune de peuplements à forte maturité à celle de peuplements exploités. Les communautés ciblées ont été inventoriées grâce à des tamisages de litière réalisés aux pieds des arbres dans les peuplements sélectionnés. Les résultats obtenus ne permettent pas de se prononcer quant à un impact de l'exploitation forestière sur les coléoptères saproxyliques aptères. La maturité des peuplements ne semble avoir aucune influence ni sur la répartition des espèces, ni sur leur richesse spécifique. Les espèces ciblées ne semblent pas non plus être influencées par la maturité à l'échelle de l'arbre.

Abstract

Forest exploitation, by shortening the life cycle of trees, prevents the development of highly mature forest stands. Forest maturity is reflected in particular by increasing the volume of dead wood and the number of trees with microhabitats, two major attributes for the biodiversity of saproxylic communities. This study aims to characterize the potential impact of logging on wingless saproxylic beetles communities in litter. This fauna could be strongly affected by the scarcity of dead wood in exploited stands because it is not very mobile and therefore constrained by the availability of resources on site. The study was conducted in the Pyrenees, by comparing the fauna of highly mature stands with the one present in exploited stands. Targeted communities were inventoried through sieving litter under trees in selected stands. The results obtained do not allow to conclude about an impact of logging on wingless saproxylic beetles. The maturity of stands seem to have no influence on the distribution of species, or their species richness. Target species do not appear to be influenced by the trees maturity.

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Eugénie Cateau, à la fois l'encadrante dont l'aide continue tout au long du stage m'a été extrêmement précieuse, mais aussi et surtout l'amie qui a su égayer ces six mois par son humour et son rire strident.

Je remercie aussi chaleureusement tous ceux qui ont pris un peu de leur temps pour m'aider et ont contribué au bon déroulement de ce stage : mes encadrants, Hervé Brustel et Rosalinde Van Couwenberghe dont les remarques pertinentes ont permis d'améliorer mon travail, Antoine Brin pour ses conseils sur les aspects statistiques, Laurent Larrieu, pour son aide dans ma quête de peuplements matures et pour son compas forestier, ainsi que Sylvie Ladet et Aristide Tamas qui se sont démenés pour tenter de me fournir un poste informatique fonctionnel.

Merci également à Yanis Marcillaud pour son aide sur le terrain, et pour avoir été un super collègue de bureau et à Lionel Valladares pour les sympathiques digressions dont il a le secret.

Merci enfin à Marc Deconchat pour m'avoir accueilli au sein de son unité de recherche.

Table des matières

Table des illustrations....4

Liste des tableaux....5

Introduction....6

1. Notions de naturalité appliquées aux écosystèmes forestiers....7

1.1. La forêt : un milieu naturel?....7

1.1.1. Naturalité....7

1.1.2. Dynamique forestière....7

1.2. Ancienneté et maturité : deux composantes majeures de la naturalité forestière....8

1.2.1. Ancienneté....8

1.2.2. Maturité....9

1.3. Le bois mort : source de vie en forêt....10

1.3.1. Bois mort....10

1.3.2. Organismes saproxyliques....11

1.3.2.1. Définition et principaux enjeux....11

1.3.2.2. Importance des coléoptères saproxyliques....12

2. Contexte de l'étude et problématique....14

2.1. Contexte général de l'étude....14

2.2. Enjeux et objectifs de l'étude....14

2.3. La maturité : une variable complexe à étudier....14

2.4. Les Pyrénées : un contexte forestier adapté pour étudier la maturité forestière....15

3. Méthodologie....17

3.1. Protocole d'inventaire....17

3.1.1. Caractérisation du milieu....17

3.1.1.1. A l'échelle de la placette....17

3.1.1.2. A l'échelle de l'arbre....17

3.1.2. Méthode de capture....18

3.1.2.1. Prélèvement de la litière....18

3.1.2.2. Séchage de la litière....19

3.1.2.3. Identification....19

3.2. Réalisation du plan d'échantillonnage....19

3.2.1. Délimitation de la zone d'étude....19

3.2.2. Méthode employée....20

3.2.3. Choix du sylvofaciès étudié....20

3.2.4. Identification des peuplements....21
3.2.5. Plan d'échantillonnage et confrontation avec les observations faites sur le terrain....21
3.3. Analyses statistiques....23
4. Résultats....24
4.1. Analyse de la méthodologie employée....24
4.1.1. Sur le plan d'échantillonnage....24
4.1.2. Sur la protocole d'échantillonnage....27
4.2. Distribution des espèces....28
4.2.1. En fonction de la maturité....28
4.2.2. En fonction de la zone géographique....30
4.3. Influence de la maturité à l'échelle de l'arbre....32
4.4. Synthèse des résultats....33
5. Discussion....35
5.1. Critique de la méthodologie employée....35
5.1.1. Pertinence de la technique de tamisage utilisée....35
5.1.2. Échantillonnage des arbres et efficacité de la méthode de capture....36
5.1.3. Plan d'échantillonnage....36
5.1.4. Période d'échantillonnage....36
5.2. Hypothèses concernant les résultats obtenus....37
5.2.1. Taille des pièces de bois mort....37
5.2.2. Disparition des espèces aptères dépendantes des qualités de maturité....38
Conclusion....39
Bibliographie....40
Liste des contacts....42
Annexes....43

Table des illustrations

Figure 1: Illustration du gradient de naturalité. Source : O. Gilg. Forêts à caractère naturel : caractérisation, conservation et suivi....7

Figure 2: Modèle de sylvigénèse pour une pessière boréale transitant d'une dynamique douce à une dynamique catastrophique (haut) et vice versa (bas). Source : O. Gilg. Forêts à caractère naturel : Caractéristiques, conservation et suivi....8

Figure 3: Exemples de microhabitats : cavités de tronc, dentrotelmes et polypore....10

Figure 4: Deux coléoptères saproxyliques : Lucanus cervus (espèce ailée) et Acalles misellus (espèce aptère)....12

Figure 5: Carte des SER de la GRECO Pyrénées....15

Figure 6: Occupation du sol au sein de la SER "Haute chaîne pyrénéenne". source : IFN....16

Figure 7: Tamis de Winkler utilisé pour le tamisage de la litière....18

Figure 8: Schéma et photographies d'un Berlèze....19

Figure 9: Plan d'échantillonnage....22

Figure 10: Projection des placettes échantillonnées sur les deux premiers axes de l'ACP....24

Figure 11: Projection des variables sur les deux premiers axes de l'ACP....25

Figure 12: Classification ascendante hiérarchique....26

Figure 13: Courbes d'accumulation d'espèces pour chaque placette et courbe moyenne....27

Figure 14: Estimations du taux d'espèces capturées pour chaque placette....28

Figure 15: Boîtes à moustaches des richesses spécifiques observées et estimées selon la maturité. .29

Figure 16: Influence de la géographie sur la répartition des espèces (pourcentage de présence à l'échelle des placettes)....30

Figure 17: Influence de la géographie sur la répartition des espèces (pourcentage de présence à l'échelle des arbres)....31

Figure 18: Richesse spécifique selon le diamètre. La largeur des colonnes est proportionnelle au nombre d'arbres échantillonnés....32

Figure 19: Taux de présence de Acalles misellus selon le diamètre. La largeur des colonnes est proportionnelle au nombre d'arbres échantillonnés par classe de diamètre....33

Figure 20: Phénologie de Strophosoma melanogrammum en forêt de plaine. Source : E. Cateau....37

Liste des tableaux

Tableau 1: Variables les plus corrélées avec le premier axe de l'ACP.....25

Tableau 2: Variables les plus corrélées avec le second axe de l'ACP.....26

Tableau 3: Occurrences des espèces pour les modalités "Mature" et "Exploité".....28

Introduction

La forêt est souvent perçue par le grand public comme l'espace naturel par excellence, un havre de paix que l'Homme n'a pas encore altéré et un refuge accueillant une faune et une flore d'une grande richesse. Pourtant, la majorité des forêts françaises n'ont plus grand chose en commun avec les forêts primaires qui, suite à la dernière glaciation, ont couvert l'Europe. Au contraire, les forêts actuelles sont le résultat d'une multitude de mutations successives qui prennent leur source dans la main de l'Homme. Les besoins en terres agricoles, les pratiques de l'affouage, du pâturage en forêt, les exigences en bois imposées par les forges, les mines ou encore les constructions navales sont autant d'usages qui, au fil des siècles, ont aboutis à la structuration de la forêt française telle que nous la connaissons aujourd'hui.

Bien que le couvert forestier français connaisse depuis le XIXe siècle une dynamique d'accroissement, les écosystèmes qui le composent sont dans leur immense majorité très anthropisés. Les pratiques sylvicoles actuelles peinent en effet à intégrer une réelle dimension écologique. En raccourcissant drastiquement la durée de vie des arbres, ces pratiques brisent le cycle naturel des peuplements forestiers, et entravent ainsi une composante capitale pour la biodiversité : la maturité forestière.

La maturité traduit le vieillissement des peuplements, et avec lui l'apparition de bois mort et d'arbres porteurs de microhabitats dont dépendent des milliers d'espèces saproxyliques et cavicoles. Cette biodiversité joue des rôles fondamentaux en forêt. En dégradant le bois, les espèces saproxyliques assurent la redistribution des éléments minéraux et du carbone stockés dans la cellulose, maintenant ainsi l'équilibre trophique nécessaire à la vitalité des écosystèmes forestiers. Ces communautés constituent en outre les premiers maillons de nombreuses chaînes alimentaires. Un nombre immense d'espèces dépendent ainsi de leur maintien.

Cette biodiversité liée au bois mort subit pourtant une érosion considérable du fait de la raréfaction extrême des peuplements à forte maturité. De nombreuses recherches réalisées ces vingt dernières années visent à appréhender les modalités de ces pertes de biodiversité. L'étude qui suit s'inscrit dans cette même volonté de compréhension des impacts humains en forêt, en étudiant une faune encore peu connue : les coléoptères saproxyliques aptères présents dans les litières forestières. Ces espèces étant peu mobiles, elles pourraient être fortement affectées par la diminution de la ressource en bois mort dans les peuplements forestiers. L'objectif de l'étude est donc de mesurer cet impact éventuel en comparant les communautés présentes en fonction de la maturité des peuplements.

1. Notions de naturalité appliquées aux écosystèmes forestiers

Il convient en premier lieu de définir certaines notions liées à la naturalité en forêt, ceci afin d'éviter par la suite toute confusion sur le vocabulaire employé.

1.1. La forêt : un milieu naturel?

1.1.1. Naturalité

La notion de naturalité renvoie au degré de pression anthropique appliqué ou ayant été appliqué par le passé sur un écosystème. Un écosystème présentant une forte naturalité est un écosystème dont la dynamique d'évolution s'est déroulée selon les principes de la sélection naturelle et en l'absence d'impact humain majeur.

La naturalité doit être vue comme un gradient (voir figure 1) et non comme un concept binaire opposant anthropisé à naturel. Une forêt plantée présente par exemple un degré de naturalité supérieur à celui d'une prairie pâturée, mais inférieur à celui d'une futaie irrégulière. Les peuplements forestiers français sont en grande majorité exploités, donc modifiés par l'Homme, ils présentent des degrés de naturalité variés, mais globalement très éloignés de leur naturalité optimale.

Le degré de naturalité d'un écosystème peut être évalué en comparant sa naturalité actuelle à sa naturalité potentielle maximale établie par rapport à un écosystème de référence (Gilg 2004).

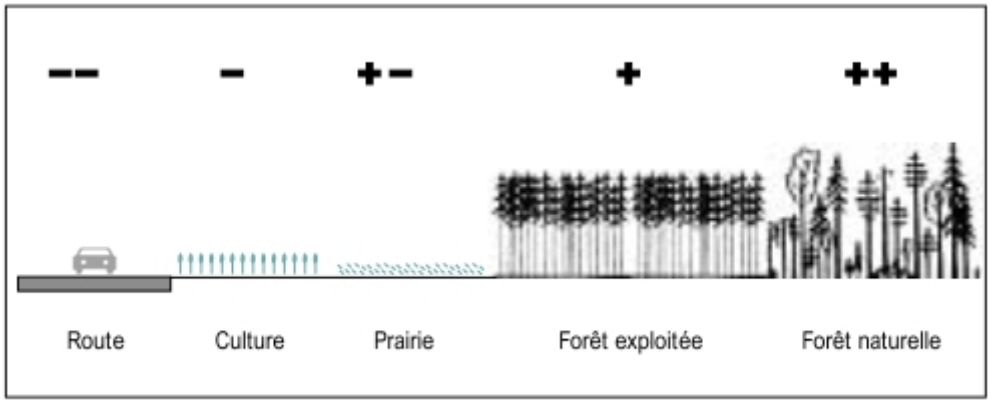


Figure 1: Illustration du gradient de naturalité. Source : O. Gilg. Forêts à caractère naturel : caractérisation, conservation et suivi.

1.1.2. Dynamique forestière

La dynamique forestière correspond à deux grandes tendances évolutives se produisant en l'absence de perturbation majeure :

- La dynamique linéaire de succession correspond aux remplacements successifs des essences présentes en un lieu. Ainsi, en partant d'un milieu ouvert, s'installeront

d'abord des essences pionnières qui céderont la place à des essences intermédiaires qui elles-mêmes disparaîtront au profit d'essences dites "dryade". Cette succession est due à la modification progressive du milieu, les essences de fin de succession seront notamment plus tolérantes à l'ombre que des pionnières donc plus à même de s'installer une fois le couvert forestier établi (Mosseler et al. 2003; Oliver 1981).

- Les cycles sylvigénétiques correspondent à un équilibre dynamique atteint après la fin de la succession. Les dryades alors présentes dans le peuplement restent en place en se succédant à elles-mêmes. Le dépérissement et la mort des vieux arbres provoquent une augmentation de luminosité qui permet aux jeunes arbres de grandir. Il y a alors apparition d'une structure de peuplement pluri-stratifiée (Mosseler et al. 2003).

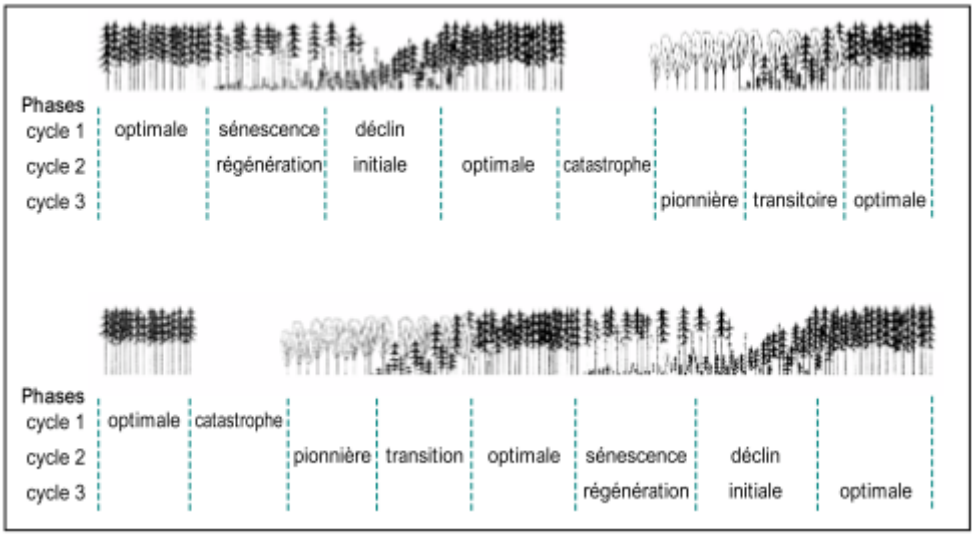


Figure 2: Modèle de sylvigénèse pour une pessière boréale transitant d'une dynamique douce à une dynamique catastrophique (haut) et vice versa (bas). Source : O. Gilg. Forêts à caractère naturel : Caractéristiques, conservation et suivi

1.2. Ancienneté et maturité : deux composantes majeures de la naturalité forestière

1.2.1. Ancienneté

La notion d'ancienneté représente la continuité temporelle de l'état boisé en un lieu (Cateau et al. 2014). Bien qu'il s'agisse d'une variable continue, l'ancienneté d'une forêt est généralement appréciée par l'intermédiaire de deux modalités : ancienne ou récente. Il est impossible dans la majorité des cas d'établir avec précision la date depuis laquelle une forêt s'est établie. L'ancienneté est donc déterminée par rapport à une période de référence. Une forêt dont la présence continue est avérée depuis cette période de référence sera ainsi appelée ancienne

tandis qu'une forêt établie après cette date sera qualifiée de récente. Une forêt peut ainsi être ancienne et exploitée.

En France, la période de référence généralement utilisée correspond au minimum forestier du milieu du XIXe siècle. A cette période la forêt ne couvrait qu'environ 13 % du territoire (ONF 2007). Aujourd'hui la surface boisée représente environ 30 % de la superficie de la France (IFN 2014). Une part importante des forêts actuelles est donc relativement récente.

L'étendue du couvert forestier du milieu du XIXe siècle est relativement bien documentée grâce aux cartes d'État-major et de Cassini. D'après les cartes de Cassini, environ 29 % du couvert forestier français actuel est considéré comme étant ancien (Vallauri et al. 2012).

1.2.2. Maturité

La notion de maturité reflète le stade d'avancement d'un peuplement au sein de son développement biologique (Cateau et al. 2014). La durée de ce développement dépend largement des essences qui constituent le peuplement. Plus l'âge moyen de la strate dominante est élevé, plus le peuplement est mature.

La maturation d'un peuplement se traduit par (Burrascano et al. 2013; Mosseler et al. 2003) :

- une augmentation du volume de bois mort debout ou au sol ;
- une augmentation du diamètre moyen des arbres ;
- une augmentation du nombre de micro-habitats ;
- l'apparition d'une structure forestière pluri-stratifiée.

La maturité est généralement évaluée par l'intermédiaire de ces attributs.

La maturité correspond ainsi à une complexification de l'écosystème forestier au niveau de sa structure et des fonctions écologiques qu'il remplit. La présence de bois mort, de micro-habitats et d'une structure pluri-stratifiée sont autant d'éléments qui conditionnent le maintien de très nombreuses espèces inféodées à ces milieux préservés, et ce dans des groupes taxonomiques très variés (Vallauri 2005; Gilg 2004; Martikainen et al. 2000).

L'exploitation forestière, en interrompant très tôt le vieillissement des peuplements (les âges d'exploitabilité du hêtre ou du sapin correspondent par exemple à environ un tiers de la longévité de ces essences), et en éliminant les arbres porteurs de défauts d'un point de vue sylvicole, empêche l'apparition de peuplements à forte maturité.

En France, seulement 3 % des peuplements de futaies régulières ont un âge dépassant l'âge d'exploitabilité (IFN 2010). Cependant, l'âge d'exploitabilité étant bien inférieur à la longévité d'une essence donnée, la proportion de peuplements présentant une maturité élevée en France est donc bien en deçà de ce chiffre de 3 %. Par ailleurs, ce chiffre correspond majoritairement à des peuplements constitués d'essences pionnières. Les peuplements matures constitués de dryades représentent eux environ 0,2 % du couvert forestier français (Cluzeau et al. 2010).

Figure 3: Exemples de microhabitats : cavités de tronc, dentrotelmes et polypore

1.3. Le bois mort : source de vie en forêt

1.3.1. Bois mort

Le terme "bois mort" est ambigu, le bois n'étant pas à proprement parler un tissu vivant.

Le terme bois s'étend ici à tout matériel ligneux constitutifs du tronc, des branches et des racines d'un arbre (Dodelin 2006).

Le bois est alors qualifié de "mort" lorsqu'il y a absence de circulation des sèves durant la saison de végétation. Le bois mort peut donc désigner un arbre entièrement mort, qu'il soit debout ou au sol, les branches mortes d'un arbre vivant ou les parties non fonctionnelles du tronc d'un arbre vivant (cavités ou plages sans écorce).

Le bois mort est une composante majeure des écosystèmes forestiers, c'est même souvent la variable qui explique le mieux la biodiversité forestière (Gilg 2004). Les espèces directement liées au bois mort peuvent ainsi représenter jusqu'à 30 % de la biodiversité des forêts naturelles de la zone tempérée européenne (Vallauri 2005).

La diversité des types de bois morts présents dans un peuplement joue également un rôle prépondérant dans la richesse des communautés liées à ce compartiment, en termes qualitatifs et quantitatifs. Les fonctions écologiques assurées par le bois mort dépendent de plusieurs facteurs, notamment du diamètre des pièces, de leur position (debout ou au sol), de l'essence considérée, du stade de saproxylation et de l'exposition ou non au soleil (Gosselin 2004; Johansson et al. 2007).

Contrairement à certaines idées reçues, le bois mort n'augmente pas le nombre de ravageurs

en forêt. En effet, les maladies ou parasites qui s'attaquent à de vieux arbres sénescents sont généralement des opportunistes plus que des agressifs et ont donc rarement la capacité de s'attaquer à des arbres sains (Mosseler et al. 2003). Chez les scolytes notamment, la régulation des espèces xylophages est plus efficace dans les peuplements à forte naturalité du fait de l'importante richesse des cortèges saproxyliques. Cette régulation est notamment réalisée grâce aux espèces prédatrices et aux parasites que peuvent apporter les espèces saproxyliques (Martikainen et al. 1999).

Pourtant, le bois mort est presque systématiquement exploité, parfois même à perte dans un soucis de "propreté". Ainsi 75 % des forêts françaises ont des volumes de bois mort quasi-nuls et plus de 90 % d'entre elles présentent des volumes inférieurs à 5m^3/ha (Gilg 2004; Vallauri & Poncet 2002).

Par ailleurs, les microhabitats représentent une source de pertes financières pour les gestionnaires car ils déprécient fortement la valeur du bois. En sylviculture classique, un arbre porteur de microhabitat(s) est exploité rapidement pour éviter que la valeur économique de l'arbre ne décroisse davantage, et pour maximiser la surface dédiée à la production d'arbres répondants aux standards économiques. Il est pourtant parfois plus rentable de laisser l'arbre sur pied jusqu'à son dépérissement, notamment dans le cas d'arbres de faible valeur ou de condition d'accès difficiles (Ranius et al. 2005; Larrieu et al. 2009).

1.3.2. Organismes saproxyliques

1.3.2.1. Définition et principaux enjeux

Les organismes saproxyliques peuvent être définis comme "les espèces se développant au cours du continuum de désorganisation du bois ou à partir des produits de cette désorganisation. Elles sont associées aussi bien aux arbres vivants (parties vivantes ou parties mortes) qu'au bois mort" (Alexander 2008). Le terme saproxylique ne désigne pas un régime alimentaire, les insectes saproxyliques pouvant en effet être xylophages (primaires ou secondaires), mycophages ou encore zoophages.

Les espèces liées au bois mort sont présentes dans des groupes taxonomiques très variés (lichens, champignons, insectes...), et peuvent représenter jusqu'à 30 % de la biodiversité des forêts naturelles de la zone tempérée européenne (Vallauri 2005). Elles assurent des rôles écologiques très importants. Elles conditionnent les activités minéralisatrices au sein des écosystèmes forestiers en participant activement au bouclage de cycles biogéochimiques. Ce processus est indispensable pour préserver la productivité nécessaire au maintien de la vitalité des écosystèmes forestiers. Ces organismes assurent par ailleurs un rôle essentiel dans le maintien d'une part significative de la biodiversité forestière, en initiant des segments originaux de la chaîne alimentaire, et en conditionnant l'apparition de microhabitats (Vallauri 2005; Speight 1989).

1.3.2.2. Importance des coléoptères saproxyliques

Parmi ces organismes, l'ordre des coléoptères a une importance prépondérante, à la fois en termes de richesse, avec près de 2000 espèces en France, et en termes d'abondance, en représentant 95 % de la biomasse des invertébrés saproxyliques (Brustel & Dodelin 2005).

Figure 4: Deux coléoptères saproxyliques : Lucanus cervus (espèce ailée) et Acalles misellus (espèce aptère)

L'anthropisation des écosystème forestiers a un impact considérable sur ces communautés. En Europe, la majorité des espèces de coléoptères saproxyliques seraient ainsi en déclin et 40 % d'entre elles seraient en danger (Speight 1989; Vallauri 2005).

Ces immenses pertes de biodiversité sont liées à différents facteurs humains :

- L'exploitation forestière en diminuant la quantité de bois mort en forêt a un fort impact sur ces communautés. La quantité de bois mort est en effet la principale variable explicative du nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques (Martikainen et al. 2000; Gossner et al. 2013). Outre l'aspect purement quantitatif concernant le bois mort en forêt, la discontinuité spatiale de cette ressource affecte de façon importante certaines espèces. Au sein d'un même massif forestier, les peuplements présentant des quantités de bois mort importantes sont généralement isolés les uns des autres en situation d'îlots. Cette fragmentation freine, voire empêche les déplacements de certaines espèces entre ces îlots, entraînant ainsi une plus grande vulnérabilité des populations (Bouget & Gosselin 2005; Whitehouse 2006).
- L'ancienneté des peuplements joue également un rôle très important dans la répartition de nombreuses espèces de coléoptères saproxyliques. En effet, les ruptures de continuité temporelle du couvert forestier provoquent lors de défrichements la disparition pure et simple des espèces concernées. En cas de reconquête du couvert forestier, ces espèces doivent alors recoloniser le milieu. Cette recolonisation est limitée par plusieurs paramètres :

- La capacité de dispersion des espèces est fonction de leur vitesse de déplacement et est conditionnée par leur capacité à traverser des milieux ouverts (Assmann 1999). La fragmentation forestière rend parfois impossible la recolonisation de peuplements récents par certaines espèces. Un peuplement récent isolé de tout peuplement ancien aura donc généralement une richesse en coléoptères saproxyliques moindre qu'un peuplement anciennement établi. Dans le cas de peuplements récents connectés à des peuplements anciens, la cinétique de dispersion des espèces peut rendre très longue la recolonisation du milieu. Ces deux aspects conditionnant la capacité de dispersion des espèces prennent une importance encore plus flagrante dans le cas particulier des espèces aptères (Assmann 1999; Buse 2011).
- Les conditions édaphiques peuvent varier de façon importante entre un peuplement récent et un peuplement ancien, notamment du fait de modifications des sols par l'agriculture passée. Il est possible que certaines espèces soient affectées par ces différences de condition du milieu et aient ainsi une préférence pour les couverts forestiers anciens (Assmann 1999).

2. Contexte de l'étude et problématique

2.1. Contexte général de l'étude

Cette étude constitue une partie à part entière d'un projet de thèse portant sur la mésofaune peu circulante du sol comme descripteur des impacts humains présents et passés. L'objectif de cette thèse est de montrer l'influence des qualités d'ancienneté et de maturité forestière sur les communautés de coléoptères. La zone d'étude de ce projet s'étend sur l'ensemble de la région Midi-Pyrénées.

Ce stage se concentre sur les aspects liés à la maturité forestière.

2.2. Enjeux et objectifs de l'étude

Le but de cette étude est de caractériser les impacts éventuels de l'exploitation sur les communautés de coléoptères saproxyliques aptères présents dans les litières forestières. Les coléoptères saproxyliques aptères présentent le double intérêt d'avoir une capacité de dispersion limitée, et d'être dépendants de la présence de bois mort dans le milieu. La diminution de la quantité de bois mort due à l'exploitation forestière affecte de nombreuses communautés de coléoptères saproxyliques. Les espèces ailées ont la capacité de se déplacer relativement facilement pour trouver des ressources alimentaires rares. En revanche les espèces aptères, de par leur faible mobilité sont fortement contraintes par la disponibilité des ressources sur place. L'hypothèse principale est donc que la distribution de ces espèces est corrélée à la disponibilité en bois mort au sein des peuplements. Il est possible que certaines espèces soient davantage inféodées que d'autres aux peuplements à forte maturité. Il pourrait donc exister des cortèges supportant bien les conditions induites par l'exploitation forestière et d'autres ne pouvant pas s'y adapter.

2.3. La maturité : une variable complexe à étudier

L'étude de la maturité est rendue complexe par plusieurs aspects :

- La maturité intègre de nombreuses variables pouvant avoir des influences diverses et de plus ou moins grande intensité sur les espèces ciblées. Il est donc important de prendre en compte les différents attributs de maturité (bois mort, microhabitats, arbres de gros diamètres...) afin de pouvoir distinguer les effets éventuels de chacun. Les communautés étudiées étant peu mobiles, il est possible que la maturité joue de façon importante à une échelle très fine. Il semble donc judicieux de relever ces attributs à l'échelle du peuplement, mais également à l'échelle de l'arbre.
- La maturité est une variable continue mais difficilement quantifiable. Il est possible de rendre compte de la maturité d'un peuplement par l'intermédiaire de notes calculées à partir des attributs de maturité présents au sein dudit peuplement. Ces notes n'ont cependant pas de réel sens biologique pour les espèces étudiées. Il a été décidé d'aborder la maturité de façon binaire, en opposant deux pôles du gradient

de maturité :

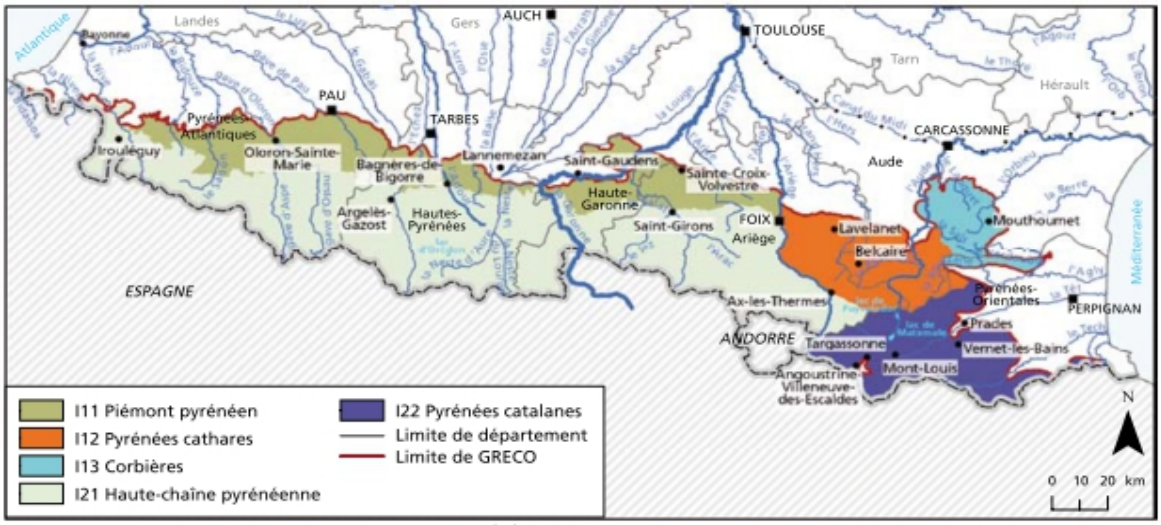
- d'une part, des peuplements où l'absence d'exploitation forestière depuis un grand nombre d'années permet la présence de la majorité des attributs de maturité ;
- d'autre part, des peuplements dont la gestion actuelle ne permet pas l'apparition de la majorité de ces attributs.

- De nombreuses variables autres que la maturité peuvent influer sur la répartition des espèces. Des variables telles que l'altitude, les essences composant les peuplements ou l'ancienneté des forêts semblent avoir un impact sur les communautés étudiées (Horák et al. 2012; Gilg 2004; Buse 2011). Il est donc nécessaire de contrôler au maximum ces variables afin qu'elles ne masquent pas un éventuel effet lié à la maturité. Les variables non contrôlées qui pourraient avoir avoir un effet sur la répartition des espèces seront prises en compte dans l'analyse des résultats.

2.4. Les Pyrénées : un contexte forestier adapté pour étudier la maturité forestière

Le choix des Pyrénées comme zone d'étude est motivé par la présence en montagne de peuplements dont la difficulté d'accès a empêché leur exploitation et donc permis d'atteindre des stades de maturité avancés.

Les Pyrénées constituent une grande région écologique (GRECO) regroupant cinq sylvoécorégions (SER). La zone d'étude se situe dans la partie est de la SER "Haute chaîne pyrénéenne".



Sources : BD CARTO® IGN, BD CARTHAGE® IGN Agences de l'Eau.

Figure 5: Carte des SER de la GRECO Pyrénées

La forêt occupe une place majeure au sein de la haute chaîne pyrénéenne avec un taux de boisement atteignant 48 %, soit 364 000ha de forêt. L'impact humain sur le paysage est faible avec seulement 9 % de la surface de la SER dédié à l'agriculture (principalement de l'élevage) (IFN 2011).

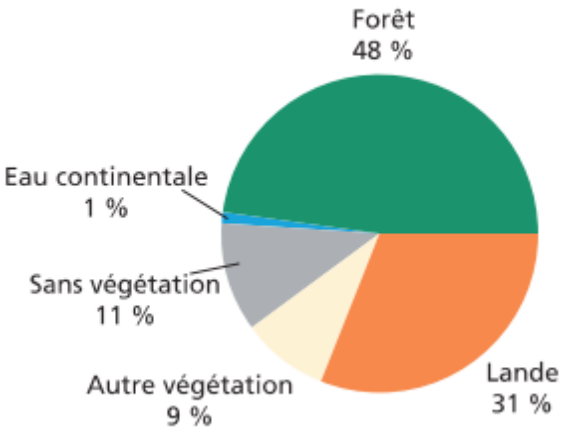


Figure 6: Occupation du sol au sein de la SER "Haute chaîne pyrénéenne". source : IFN

Malgré les conditions d'exploitation difficiles, 90 % de la surface forestière a une vocation de production. Les quelques milliers d'hectares de forêt non exploités sont principalement situés dans des zones inaccessibles ou dans les forêts de protection .

En terme d'essences, les forêts de la GRECO Pyrénées sont majoritairement constituées de peuplements monospécifiques, avec comme essences principales le hêtre et le sapin. La répartition des essences est cependant largement dépendante du bioclimat et des activités humaines passées. A basse altitude, de l'étage collinéen au montagnard inférieur, on trouve principalement des feuillus : chênaies et hêtraies en majorité, frênaies, aulnaies, tillaies. Dès le montagnard inférieur, le sapin apparaît et prend le pas sur les autres essences. Enfin à l'étage subalpin, le hêtre disparaît complètement et le sapin laisse peu à peu place au pin à crochet. L'étage alpin marque la limite altitudinale des espèces arborées, ne subsistent alors que les pelouses et quelques espèce arbustives. L'exploitation forestière a en outre fortement marqué le paysage forestier de certaines régions. Le sapin a notamment été largement défavorisé au profit du hêtre dans certaines régions.

3. Méthodologie

3.1. Protocole d'inventaire

Le protocole d'inventaire utilisé a été mis au point récemment par l'équipe de recherche de l'École d'Ingénieurs de Purpan (publication en cours).
La technique de capture consiste à récolter de la litière sur le terrain qui sera ensuite séchée en laboratoire afin de récolter les invertébrés qu'elle contient. Les espèces ainsi extraites seront mises en lien avec des paramètres de l'écosystème et de l'environnement proches du relevé.

3.1.1. Caractérisation du milieu

3.1.1.1. A l'échelle de la placette

Les placettes échantillonnées ont une surface d'un hectare. Pour chaque placette un certain nombre de variables sont relevées (voir annexe 1) :

- variables caractérisant la placette :

- variables topographiques : exposition, pente, altitude

- variables édaphiques : texture de l'horizon A du sol, forme d'humus dominante.

- variables caractérisant le peuplement :

- structure générale : essences présentes, stratification du peuplement, surface terrière, nombre de GB (plus de 40 cm de diamètre).

- variables caractérisant à la maturité : nombre de TGB (plus de 70 cm) et TTGB (plus de 100 cm), phases sylvigénétiques présentes, micro-habitats présents, volume de bois mort de plus de 40 cm de diamètre, nombre de stades de décomposition observés sur bois mort de plus de 40 cm.

Les variables relevées pour caractériser la maturité sont largement basés sur la littérature (cf partie maturité) ainsi que sur le protocole utilisé pour calculer l'indice de biodiversité potentielle (IBP) (Larrieu & Gonin 2008) et sur le protocole d'évaluation de la naturalité des forêts (Rossi et al. 2013). Le seuil de 40 cm de diamètre utilisé pour mesurer le volume de bois mort est classiquement choisi car abritant une plus grande diversité d'espèces saproxyliques que les petites pièces (Gosselin 2004).

3.1.1.2. A l'échelle de l'arbre

Dix arbres sont ensuite sélectionnés, de manière à maximiser la diversité des types d'arbres en termes d'essences, de diamètre et de microhabitats. Le chiffre de dix arbres a été fixé après que la technique ait été testée et correspond à un effort d'échantillonnage permettant de relever environ 86% des espèces de coléoptères aptères présentes (publication en cours). Cette méthode se veut la plus exhaustive possible, le but étant de caractériser la faune en terme

d'espèces présentes et non en terme d'abondance. Le fait de choisir les arbres d'une façon qui n'est ni aléatoire ni systématique pouvant apporter des biais importants, il n'est pas possible de réaliser une analyse sur les communautés à partir des abondances des espèces. Les caractéristiques des arbres et des alentours sont ensuite relevées (voir annexe 2) :

- Caractéristiques des alentours : caractéristiques des arbres présents dans un rayon de 5 mètres autours de l'arbre relevé (essence, diamètre, distance, vivant/mort), situation de l'arbre dans la pente, présence de milieux humides à proximité.
- Caractéristiques de l'arbre relevé : essence, diamètre, type d'humus présent au pied de l'arbre, microhabitats.

3.1.2. Méthode de capture

3.1.2.1. Prélèvement de la litière

La litière est ensuite prélevée au pied de l'arbre pour être tamisée.

Un tamisage de la litière est réalisé à l'aide de tamis de Winkler reliés à des pots de récolte par un tube en PVC.

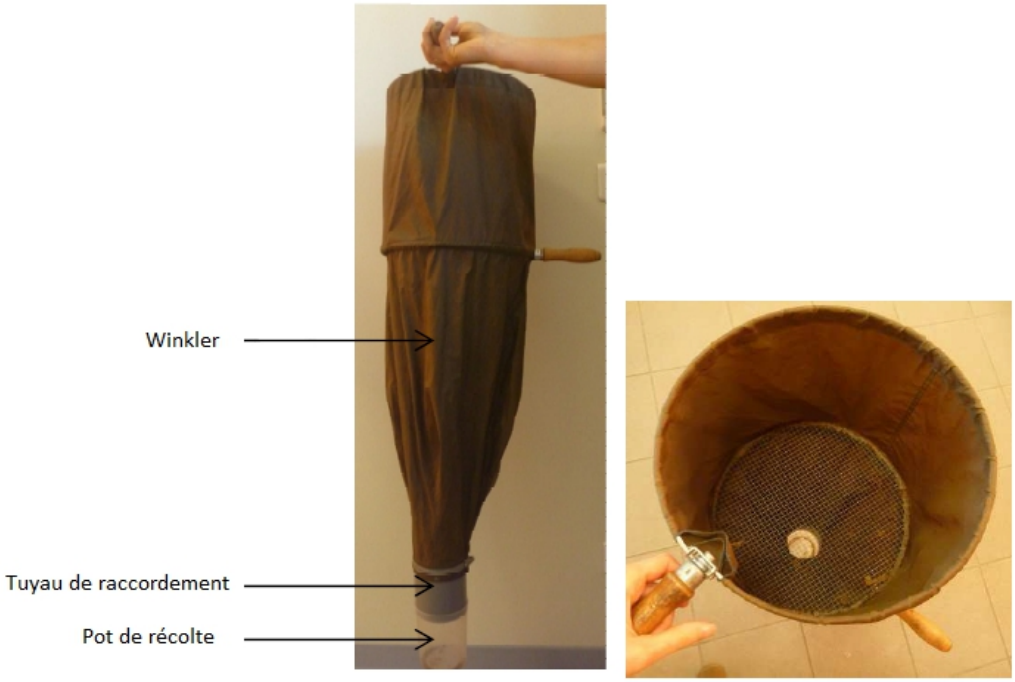


Figure 7: Tamis de Winkler utilisé pour le tamisage de la litière

Cette technique permet de récolter un volume de tamisât constant (1L) facilement transportable. La quantité de litière tamisée peut varier en fonction du type de sol ou de l'humidité.

3.1.2.2. Séchage de la litière

Les différents échantillons de litière sont ensuite placés dans des Berlèzes et aérés tous les deux jours jusqu'à ce qu'ils soient secs (la durée peut varier). Durant le séchage, les invertébrés présents dans les échantillons tombent dans un liquide conservateur.

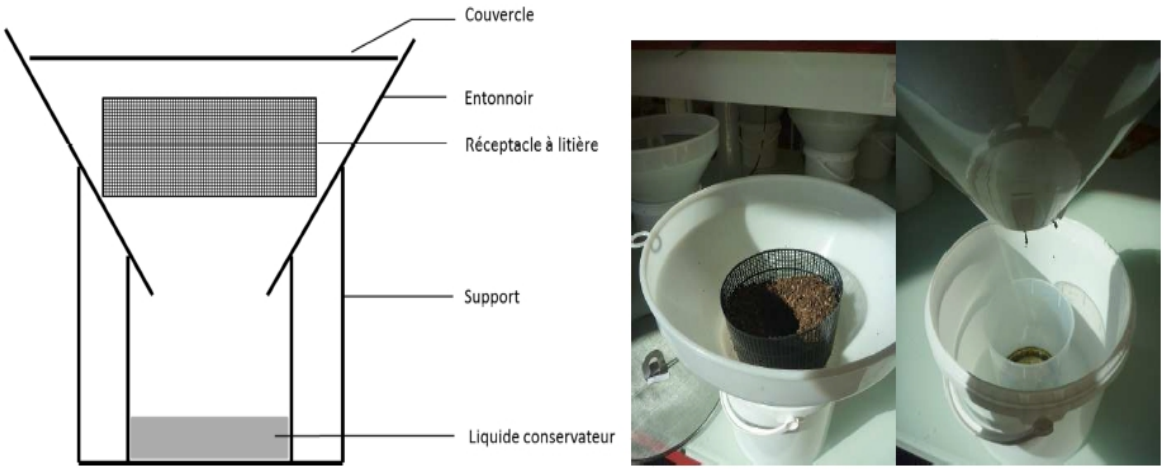


Figure 8: Schéma et photographies d'un Berlèze

3.1.2.3. Identification

Les arthropodes sont alors triés à la loupe binoculaire puis identifiés par un expert à différents niveaux de précision :

- coléoptères saproxyliques : espèce
- coléoptères aptères : espèce
- autres coléoptères : famille
- autres arthropodes : envoyés au Conservatoire des Espaces Naturels Midi-Pyrénées

3.2. Réalisation du plan d'échantillonnage

3.2.1. Délimitation de la zone d'étude

La zone géographique échantillonnée s'étend sur 100 kilomètres, des Hautes-Pyrénées à l'Ariège. Le choix d'une zone relativement restreinte et centrée au cœur des Pyrénées permet d'éviter d'introduire un gradient climatique trop important. Les fortes influences océaniques d'une part et méditerranéennes d'autre part sont ainsi écartées.

3.2.2. Méthode employée

La maturité est abordée de façon binaire, en opposant peuplements à forte maturité et peuplements exploités.

De nombreux paramètres peuvent avoir une influence sur la répartition des espèces. Il convient alors de fixer les variables qui semblent avoir le plus d'influence. Les peuplements étudiés sont ainsi tous des peuplements anciens situés à l'étage montagnard, et choisis au sein d'une fourchette de sylvofaciès restreinte.

Il est cependant impossible de contrôler toutes les variables pouvant avoir une influence sur la répartition des espèces ciblées. Ainsi, des paramètres comme le pH du sol, la topographie, la géologie ou des effet micro-climatiques peuvent jouer de façon non négligeable sur les communautés de coléoptères saproxyliques, mais sont difficiles à prendre en compte dans la réalisation du plan d'échantillonnage. Afin de minimiser l'influence de telles variables, un appariement géographique des peuplement matures et exploités a été réalisé. Une fois les peuplements matures identifiés, des peuplements exploités voisins ont donc été choisis à même altitude et même exposition (nord ou sud).

3.2.3. Choix du sylvofaciès étudié

Les essences composant un peuplement jouent un rôle prépondérant sur la richesse des communautés de coléoptères saproxyliques (Horák et al. 2012; Gilg 2004). Il est donc nécessaire de fixer un sylvofaciès afin d'éviter d'introduire un biais lié à la biologie de espèces.

A l'étage montagnard les essences qui dominent sont le hêtre et le sapin, avec des peuplement allant de la hêtraie pure à la sapinière pure en passant par tous les sylvofaciès intermédiaires. Le problème principal posé pour réaliser ce plan d'échantillonnage est la corrélation forte entre la variable "maturité" et la composition des peuplements en terme d'essences. En effet l'exploitation forestière a tendance à favoriser largement le hêtre au détriment du sapin (notamment en Ariège où il est très difficile de trouver des peuplements de sapinière exploités). A l'inverse, le processus de maturation aboutit à l'étage montagnard à une dominance nette du sapin. Il y a donc peu de peuplements de hêtraie à forte maturité, et peu de peuplements de sapinière exploités.

Afin d'éviter un biais lié à l'essence dominante, le sylvofaciès des peuplements étudiés va de la hêtraie à la hêtraie-sapinière. Le nombre de répétitions est donc contraint par la rareté des hêtraie-sapinières à forte maturité. Ce choix a été fait pour deux raisons :

- Dans certaines vallées, notamment en Ariège, il est plus difficile de trouver des peuplements exploités à sapin majoritaire que des peuplements matures à hêtre majoritaire ;
- Les peuplements de feuillus semblent accueillir une plus grande richesse en coléoptères saproxyliques que les peuplements de résineux (Gilg 2004).

3.2.4. Identification des peuplements

L'identification des peuplements matures a été facilitée par le travail de cartographie des vieilles forêts pyrénéenne réalisé par le GEVFP (groupe d'étude des vieilles forêts pyrénéennes) (Savoie et al. 2011; Victoire 2013) et complétée par des indications d'experts.

Les peuplements matures une fois identifiés ont été appariés à des peuplements exploités situés à proximité.

3.2.5. Plan d'échantillonnage et confrontation avec les observations faites sur le terrain

Le plan d'échantillonnage initial comporte dix doublets "Mature"/"Exploité" (voir figure 9). Deux doublets ont cependant été écartés durant la phase de terrain car les caractéristiques des peuplements identifiés comme matures n'étaient pas celles attendues :

- Un peuplements avaient été exploité très récemment et ne pouvait donc pas être considéré comme étant mature

- Un peuplement présentait bien les caractéristiques liées à une forte maturité mais n'avait pas le sylvofaciès de hêtraie-sapinière attendu. Le hêtre était en effet largement dominé par le sapin.

Un troisième doublet a réalisé mais les espèces relevées n'ont pas pu être identifiées à temps pour l'analyse.

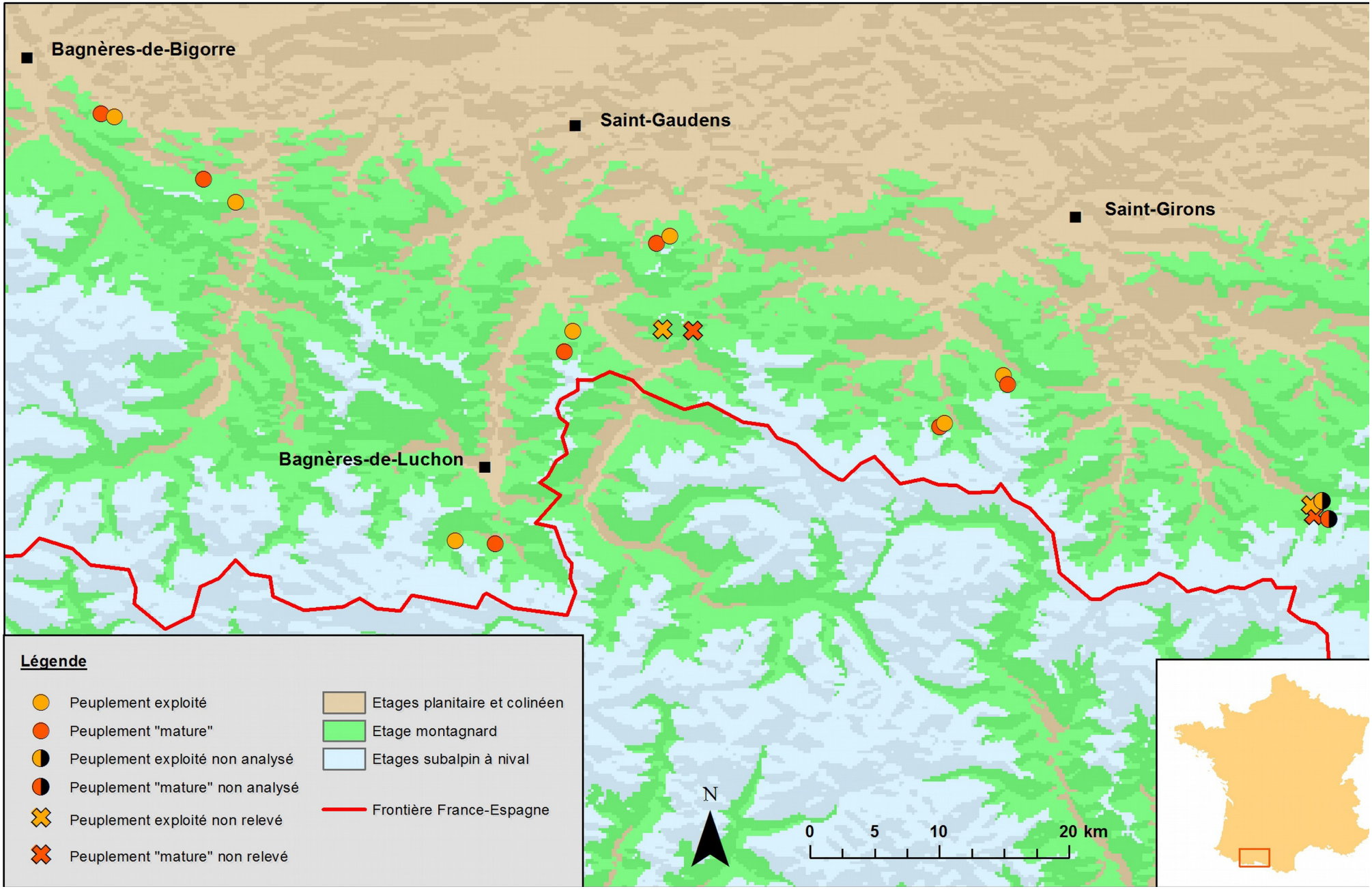


Figure 9: Plan d'échantillonnage

3.3. Analyses statistiques

Les différentes analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel libre R (R Core Team 2014).

Une vérification de la validité de la méthodologie employée a été réalisée dans un premier temps.

La cohérence du plan d'échantillonnage a été testée grâce à une analyse en composante principale (ACP) suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) à partir des attributs de maturité relevés sur le terrain.

L'ACP a été réalisée grâce à la fonction PCA du package FactoMineR et la CAH grâce à la fonction agnes du package cluster.

L'efficacité de la méthode d'inventaire a ensuite été testée à l'aide de courbes d'accumulation d'espèces et d'une estimation du taux d'espèces capturées.

Les courbes d'accumulation ont été réalisées grâce à la fonction accumcomp du package vegan. Le taux d'espèces capturées à été estimé à l'aide de l'estimateur jackknife d'ordre 1, calculé par la fonction diversitycomp du package vegan.

Par la suite, l'influence du milieu sur les espèces à été analysée.

Des tests de Fisher ont été réalisés pour caractériser la significativité des différences de distribution des espèces par rapport à différentes modalités (maturité, zone géographique, contexte plus local à l'échelle de l'arbre). Ces tests ont été réalisés à l'aide de la fonction fisher.test de R. Le test exact de Fisher a été préféré à celui du Chi2 du fait des faibles occurrences de la plupart des espèces.

La significativité de l'influence du milieu sur la richesse spécifique a été déterminée grâce à des tests de Wilcoxon pour données appariées. Ces tests ont été réalisées sur R grâce à la fonction wilcox.test. Le choix d'un test non paramétrique est motivé par le fait que les richesses spécifiques observées ne vérifient pas la condition de normalité nécessaire pour utiliser un test paramétrique.

4. Résultats

4.1. Analyse de la méthodologie employée

4.1.1. Sur le plan d'échantillonnage

Il convient dans un premier temps de vérifier si le plan d'échantillonnage réalisé est pertinent. Les modalités "Mature" et "Exploité" ayant été attribuées aux différentes placettes d'après différentes sources, il est nécessaire de s'assurer que ces modalités correspondent bien à une réalité caractérisant les peuplements. Pour cela, une analyse en composante principale (ACP) est réalisée à partir de variables relevées sur le terrain décrivant la structure du peuplement.

La projection des placettes sur le plan factoriel formé par les deux premiers axes montre une discrimination des modalités "mature" et "exploité" selon le premier axe de l'ACP (figure 10).

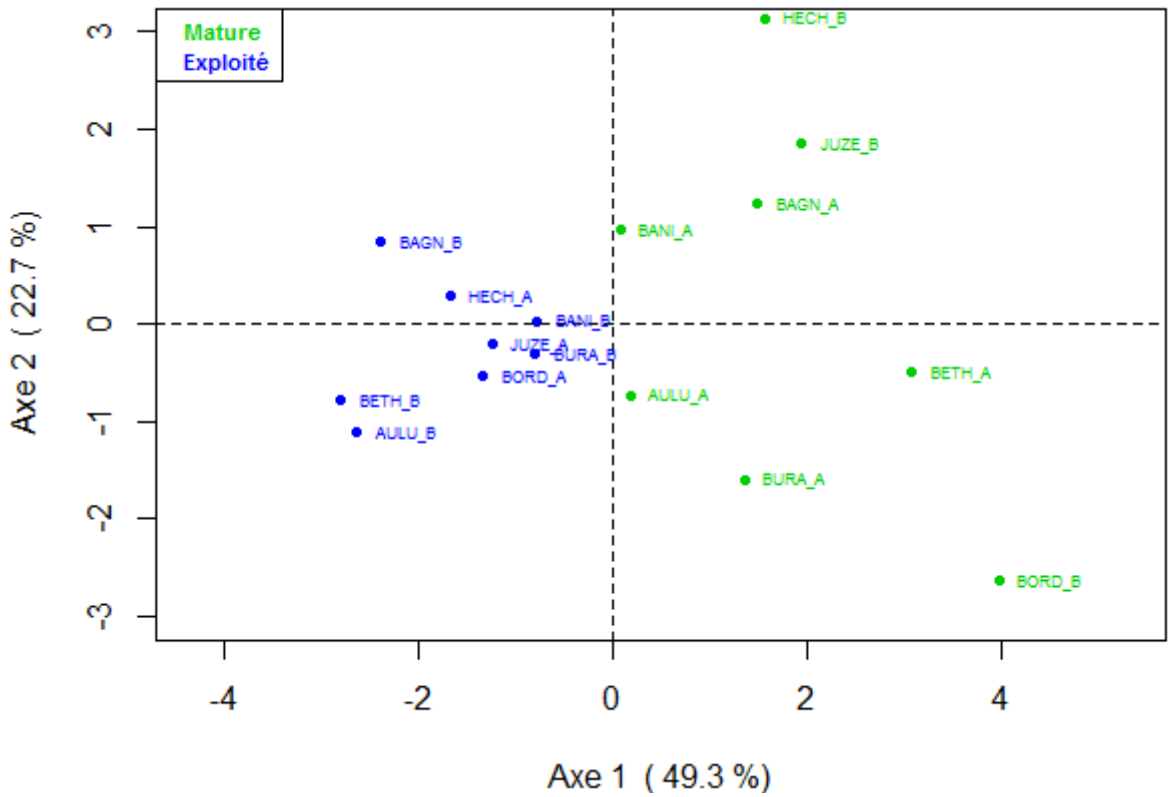


Figure 10: Projection des placettes échantillonnées sur les deux premiers axes de l'ACP

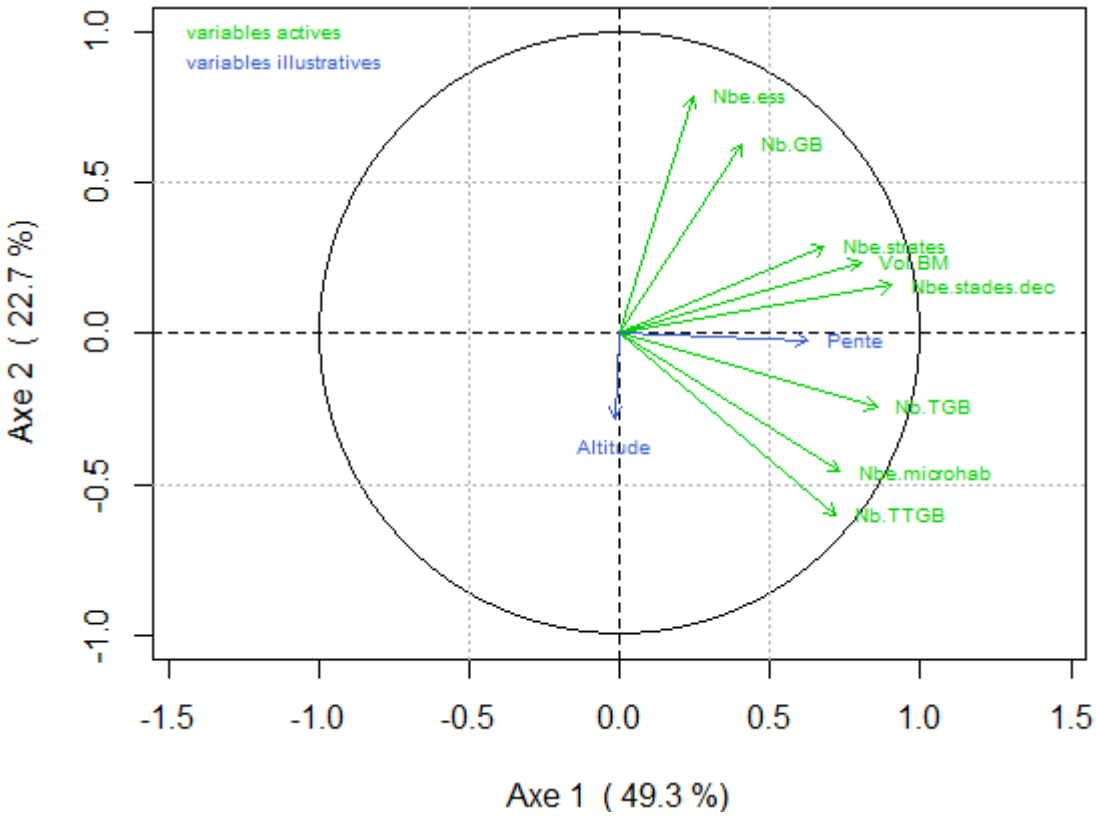


Figure 11: Projection des variables sur les deux premiers axes de l'ACP

Le premier axe est significativement corrélé à la majorité des variables utilisées, avec en tête le nombre de stades de décomposition observés, le nombre de très gros bois (TGB), et le volume de bois mort (tableau 1). Ce premier axe semble donc bien représenter les caractéristiques liées à la maturité. Cet axe représente environ 50 % de l'inertie.

La pente, contrairement à l'altitude est fortement liée à cet axe de maturité. Ce résultat était attendu (la pente étant un frein à l'exploitation) et peut représenter un biais important altérant la qualité du plan d'échantillonnage.

	corrélation	p.value
Nombre de stades de décomposition	0,91	0,000001
Nombre de TGB	0,85	0,000025
Volume Bois Mort	0,80	0,000180
Nombre de microhabitats	0,73	0,001241
Nombre de TTGB	0,72	0,001626
Nombre de strates	0,68	0,003671

Tableau 1: Variables les plus corrélées avec le premier axe de l'ACP

Le second axe est corrélé positivement au nombre d'essences présentes dans la placette et au nombre de gros bois, et négativement au nombre de très très gros bois (tableau 2). Les peuplements qualifiés de matures présentent une dispersion importante selon cet axe, contrairement aux peuplements exploités. Ce deuxième axe semble donc représenter les différences structurelles rencontrées au sein des différents peuplements mature. A l'inverse, l'homogénéité dans les structures observées en peuplements exploités est bien visible à travers la faible dispersion de ces sites sur l'axe 2. Il est possible que cet axe reflète certaines conditions stationnelles, ainsi une station fertile comportera plus de TTGB qu'une station peu fertile. Une autre possibilité est que l'axe soit lié au temps depuis l'arrêt de l'exploitation.

	corrélation	p.value
Nombre d'essences	0,79	0,0003
Nombre de GB	0,63	0,0090
Nombre de TTGB	-0,60	0,0132

Tableau 2: Variables les plus corrélées avec le second axe de l'ACP

Si la projection des placettes sur le plan factoriel permet de voir qu'il existe bien une tendance à la différenciation entre les modalités "mature" et "exploité", deux placettes qualifiés de matures semblent plus proches des placettes de peuplements exploités. Une classification ascendante hiérarchique (CAH) est donc réalisée afin de savoir si ces placettes peuvent bien être classées comme étant en peuplement mature (figure 12).

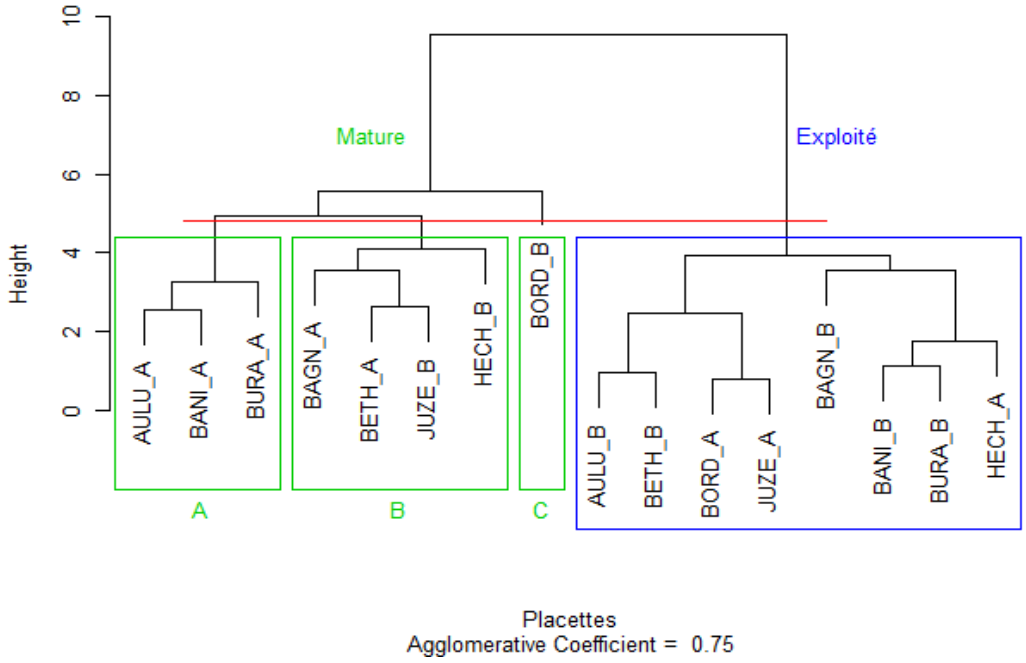


Figure 12: Classification ascendante hiérarchique

Les résultats de la CAH montrent que la dichotomie employée pour décrire la variable "maturité" est cohérente. Le premier embranchement de la classification montre en effet une discrimination totale entre les placettes en peuplement qualifiés de matures et les placettes en peuplements exploités.

Les deux embranchements suivants montrent une bonne cohérence de la classification effectuée :

- Le groupe A correspond aux sites "matures" présentant le moins d'attributs de maturité. Le bien-fondé de leur appartenance au groupe des peuplements matures n'a été confirmé qu'après cette analyse statistique ;
- Le groupe B correspond à des sites à forte maturité n'ayant pas fait l'objet d'hésitations ;
- Le groupe C contient uniquement la placette nommée "BORD_B" qui correspond à un site exceptionnel du point de vue de l'ensemble des attributs de maturité.

4.1.2. Sur le protocole d'échantillonnage

Sur les 14 placettes dont les espèces ont pu être déterminées à temps pour l'analyse, 55 espèces ont été identifiées. Sur ces 55 espèces, seules 10 sont à la fois saproxyliques et aptères.

Des courbes d'accumulation d'espèces sont calculées pour chaque placette où au moins deux espèces ont été observées. Les courbes ainsi tracées n'atteignent quasiment jamais de plateau (figure 13). Le nombre de 10 relevés est donc insuffisant pour inventorier totalement la faune saproxylique aptère.

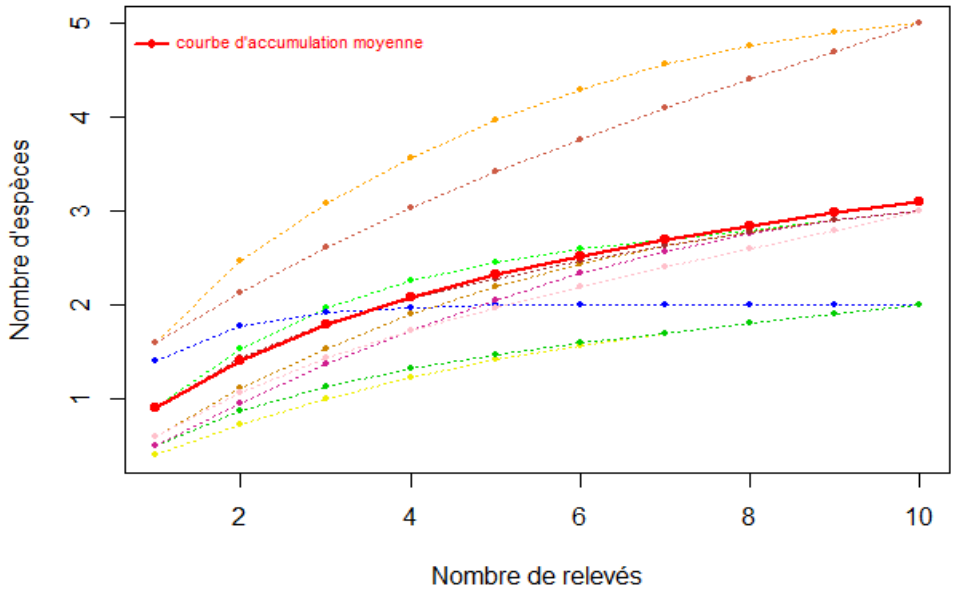


Figure 13: Courbes d'accumulation d'espèces pour chaque placette et courbe moyenne

L'estimateur jackknife d'ordre 1 permet d'estimer la richesse spécifique non observée lors de l'inventaire. En moyenne, la richesse spécifique observée représente 76 % de la richesse spécifique estimée par l'estimateur jackknife. La proportion estimée d'espèces relevées varie cependant de façon très importante selon les placettes (figure 14).

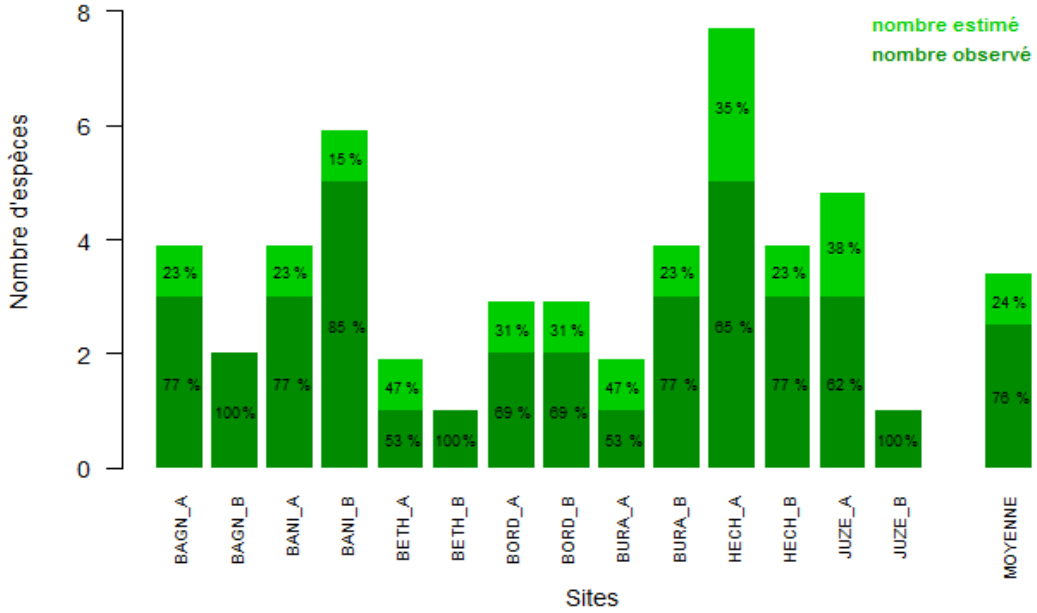


Figure 14: Estimations du taux d'espèces capturées pour chaque placette

4.2. Distribution des espèces

4.2.1. En fonction de la maturité

Le tableau 3 récapitule pour chaque espèce le nombre de placettes où l'espèce en question a été observée.

Espèce	Mature	Exploité	Total
Acalles misellus	6	6	12
Otiorhynchus impressiventris	3	4	7
Mitoplinthus caliginosus	2	1	3
Sciaphilus costulatus	2	1	3
Acalles camelus	1	2	3
Otiorhynchus singularis	0	2	2
Strophosoma melanogrammum	0	2	2
Acalles fallax	0	1	1
Kyklioacalles roboris	0	1	1
Otiorhynchus auropunctatus	0	1	1

Tableau 3: Occurrences des espèces pour les modalités "Mature" et "Exploité"

Sur 10 espèces capturées, la totalité est présente en peuplements exploités, tandis que seules 5 espèces sont présentes en peuplements matures

Le test de Fisher réalisé sur les modalité "Mature" et "Exploité" donne une p-value d'environ 0,80. Il n'y a donc pas de corrélation significative entre la distribution des espèces relevées et la maturité des peuplements étudiés. Les différences de répartition observées peuvent n'être dues qu'au hasard.

La richesse spécifique observée est en moyenne plus importante dans les peuplements exploités. Il en va de même pour la richesse spécifique estimée par estimateur jackknife d'ordre 1 (figure 15).

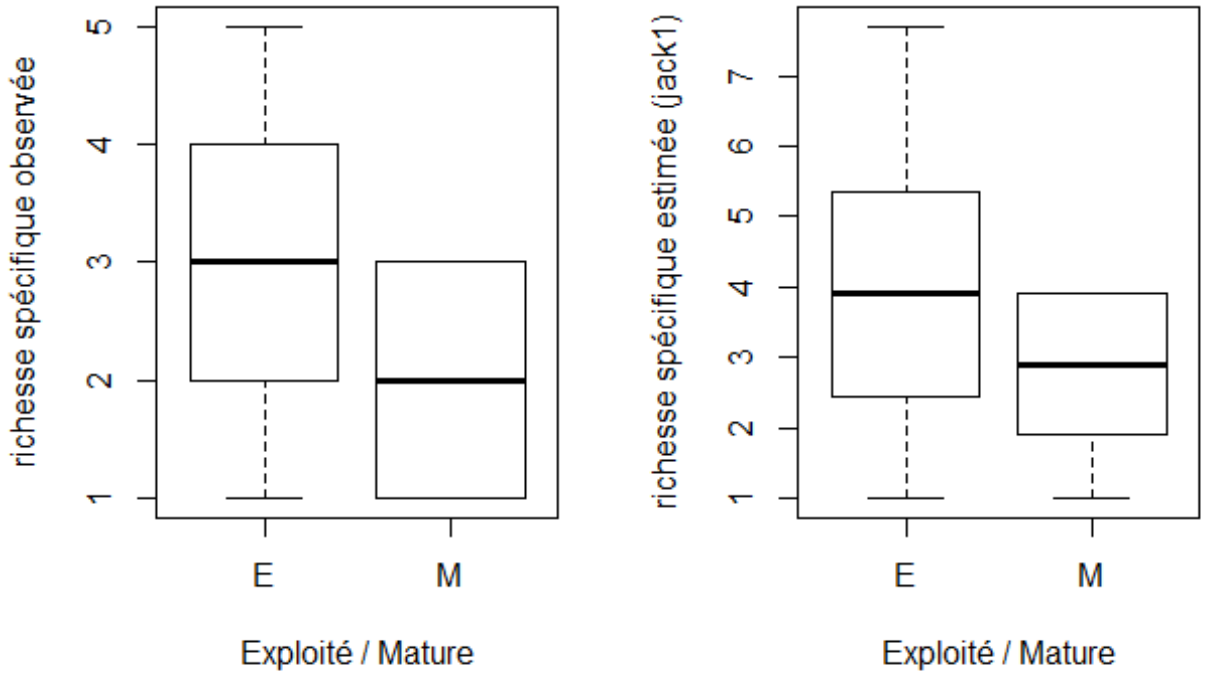


Figure 15: Boîtes à moustaches des richesses spécifiques observées et estimées selon la maturité

Les tests de Wilcoxon réalisés donnent des p-value de 0.09 pour la richesse spécifique observée, et 0.14 pour la richesse spécifique estimée. La différence de richesse spécifique entre peuplements matures et exploités n'est donc pas significative.

L'échantillonnage réalisé semble donc indiquer que la maturité des peuplements n'a d'influence positive ni sur la répartition de ces espèces, ni sur le richesse spécifique observée au sein des peuplements.

4.2.2. En fonction de la zone géographique

La zone d'étude peut être divisée en trois grands ensembles géographiques : l'Ariège, le Luchonnais et les Baronnies. La répartition des espèces ne pouvant pas être expliquée par la maturité des peuplements, une hypothèse est que l'aire d'étude est trop étendue pour qu'un effet lié à la maturité apparaisse. En effet, les aires de répartition des communautés ciblées pouvant être assez restreintes, il est possible que l'effet de la maturité sur la répartition soit masqué par un effet géographique.

Le nombre de placettes réalisées n'étant pas le même selon l'ensemble géographique considéré, les occurrences des espèces ont été ramenées à des pourcentages (occurrences divisées par le nombre de placettes de la zone considérée).

La figure 16 représente pour chaque espèce et par région le pourcentage de placettes où l'espèce était présente. Un test de Fisher sur ces pourcentages donne une p-value de 0,25. Il est cependant largement possible que ce résultat traduise un manque de puissance du jeu de donnée plutôt qu'une absence d'effet géographique sur la répartition des espèces.

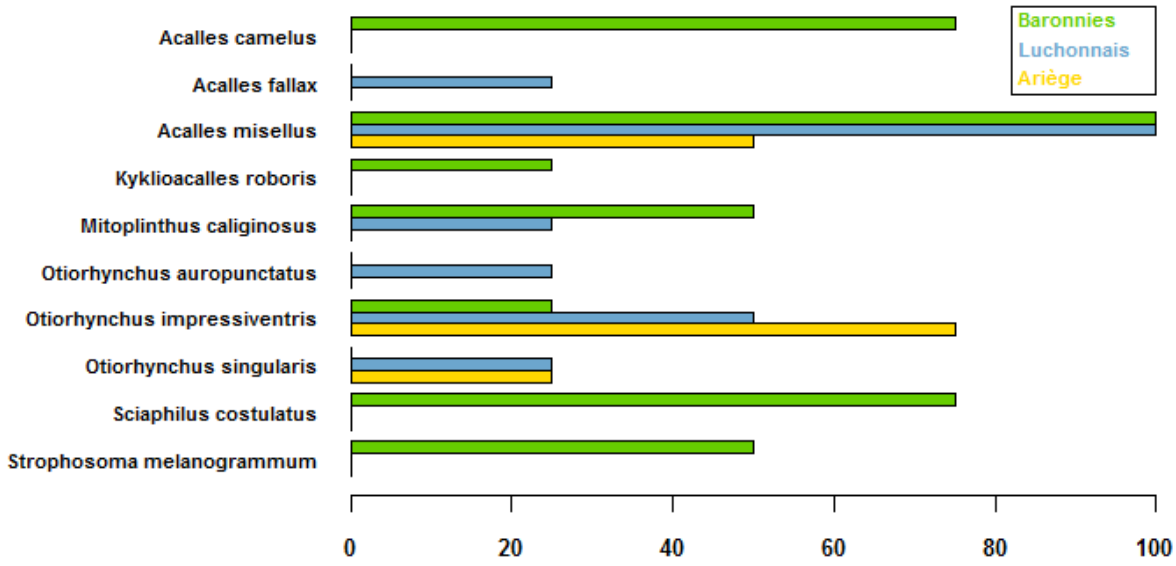


Figure 16: Influence de la géographie sur la répartition des espèces (pourcentage de présence à l'échelle des placettes)

L'analyse réalisée ci-dessus ne prend pas en compte la rareté de certaines espèces. Étant donné le faible nombre de placettes réalisées pour chaque zone géographiques, il est en effet possible de confondre une espèce rare avec une espèce abondante au sein d'une aire de répartition limitée. Ainsi, une espèce relevée au pied de tous arbres d'une même placette et une espèce relevée au pied d'un seul arbre peuvent être mises au même niveau. Le premier cas montre alors un réel effet géographique tandis que le second peut n'être dû qu'au hasard. Une

seconde analyse est donc réalisée pour tenir compte de cet effet.

La figure 17 représente pour chaque espèce et par région le pourcentage d'arbres échantillonnés l'espèce était présente. Un test de Fisher donne une p-value de $5{,}6*10^{-6}$. La répartition des espèces semble donc être liée à un effet géographique. Il est donc possible de distinguer des espèces ayant des aires de répartition larges incluant toute la zone d'étude d'espèces ayant des aires de répartition limitées.

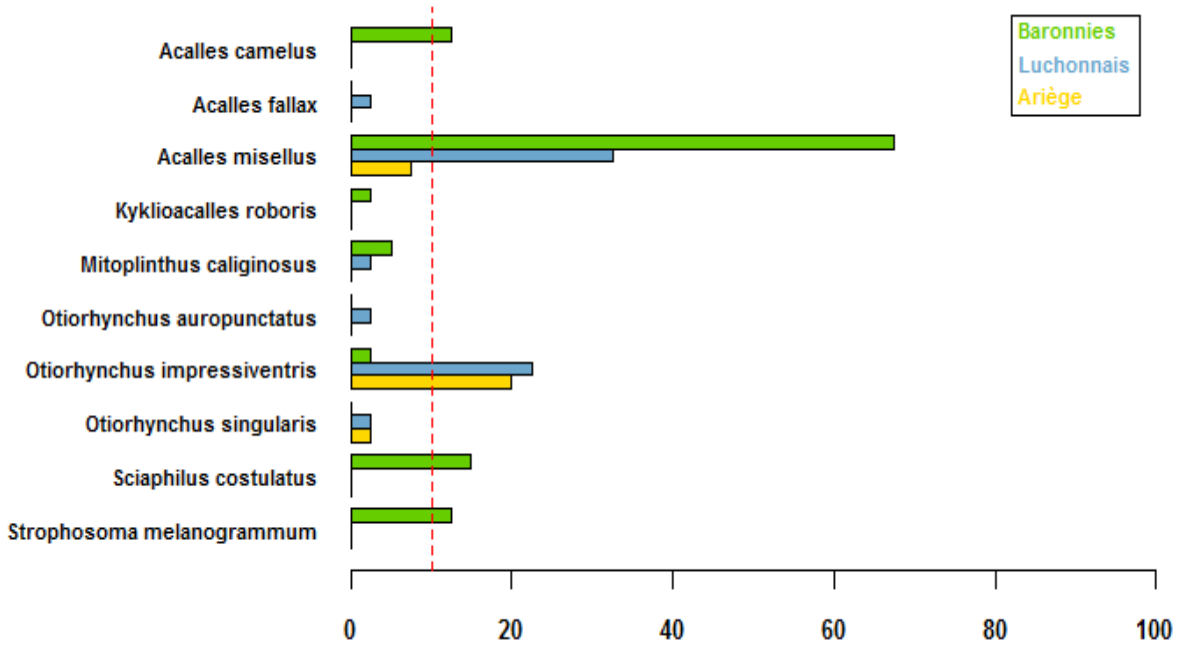


Figure 17: Influence de la géographie sur la répartition des espèces (pourcentage de présence à l'échelle des arbres)

Le seuil de significativité de présence des espèces est fixé arbitrairement à une présence dans 10 % des arbres échantillonnés. Les espèces ne dépassant ce seuil dans aucun des 3 ensembles géographiques sont donc considérées comme trop rares pour que des conclusions soient tirées quant à leur répartition. Il est en effet hautement probable que l'absence de telles espèces dans une des trois zones ne soit due qu'au hasard.

Il est alors possible de distinguer trois groupes d'espèces :

- Les espèces rares qui ne dépassent pas le seuil fixé sont au nombre de 5 : *Acalles fallax, Kyklioacalles roboris, Mitoplinthus caliginosus, Otiorhynchus auropunctatus* et *Otiorhynchus singularis ;*
- Les espèces présentes dans toute la zone d'étude sont au nombre de 2 : *Acalles misellus* et *Otiorhynchus impressiventris ;*

- Les espèces qui ne sont présentes que dans les Baronnies : *Acalles camelus, Sciaphilus costulatus et Strophosoma melanogrammum.*

4.3. Influence de la maturité à l'échelle de l'arbre

Afin d'essayer d'obtenir des informations sur la biologie des espèces observées, une analyse est menée à une échelle plus fine. Le but est d'essayer de déterminer si certaines caractéristiques de l'arbre (diamètre, essence, microhabitats, etc) ou du milieu dans un rayon restreint (présence de bois mort à côté de l'arbre, type d'humus, etc) ont une influence sur la richesse spécifique et la répartition des espèces.

La figure 18 représente pour cinq classes de diamètre, la proportion d'arbres où aucune, une, deux ou trois espèces ont été relevées. La largeur des colonnes est proportionnelle au nombre d'arbres échantillonnés pour chaque classe de diamètre.

Le diamètre des arbres n'a donc pas d'influence sur le nombre d'espèces présentes à leur pied.

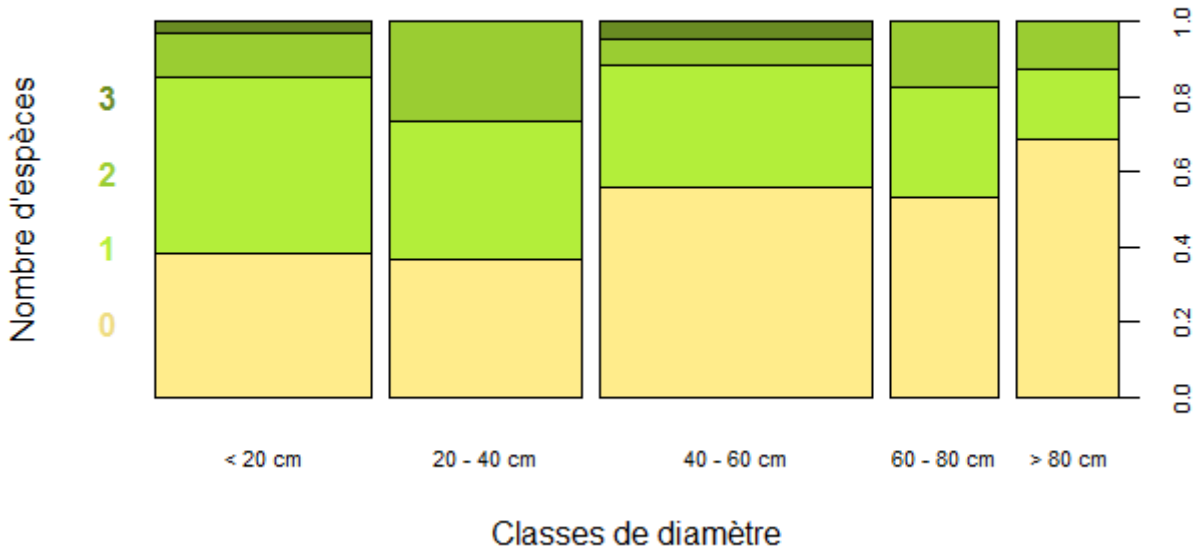


Figure 18: Richesse spécifique selon le diamètre. La largeur des colonnes est proportionnelle au nombre d'arbres échantillonnés

La figure 19 représente pour cinq classes de diamètre le taux de présence de *Acalles misellus.*

Le diamètre des arbres n'a pas d'influence significative sur la présence à leur pied de *Acalles misellus*.

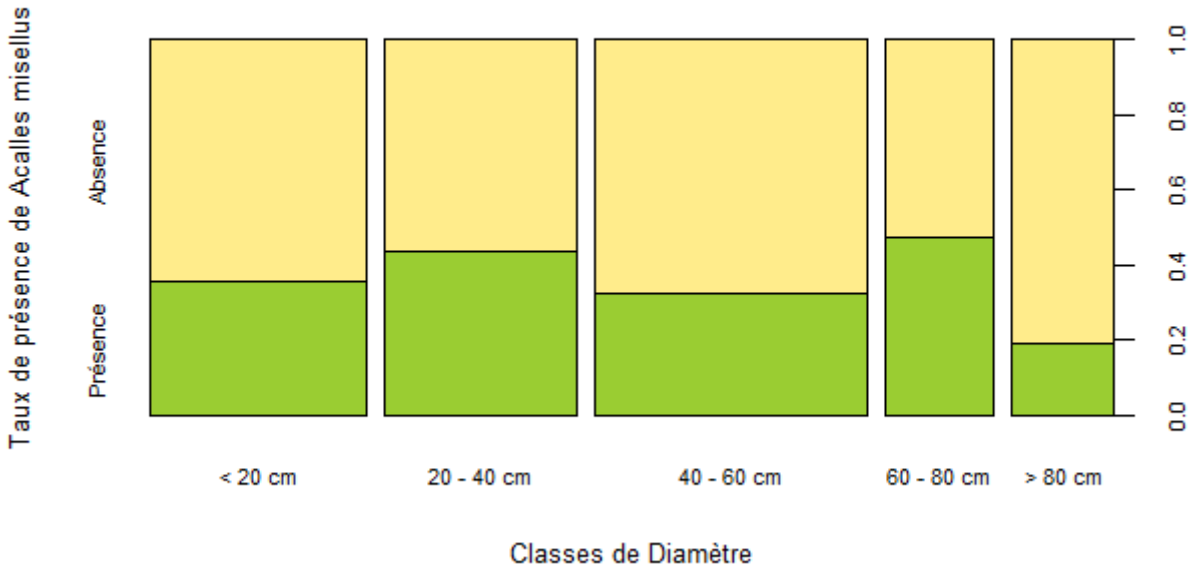


Figure 19: Taux de présence de Acalles misellus selon le diamètre. La largeur des colonnes est proportionnelle au nombre d'arbres échantillonnés par classe de diamètre

Les mêmes analyses ont été réalisées pour différentes variables et pour chaque espèce. Il en ressort qu'aucune variable liée à la maturité ne semble avoir d'effet sur la richesse spécifique au pied des arbres, ni sur la répartition des espèces.

4.4. Synthèse des résultats

Le plan d'échantillonnage réalisé semble pertinent pour étudier l'influence de la maturité forestière. Les peuplements "matures" et "exploités" choisis présentent en effet des structures significativement différentes quant aux attributs de maturité relevés.

L'efficacité de la méthode d'échantillonnage employée a pu être estimée grâce à l'estimateur jackknife. Cette méthode aurait donc permis de relever en moyenne environ 76 % de la richesse présente au sein des placettes. Ce taux de capture estimé semble néanmoins être assez variable selon les placettes. Il varie en effet entre 53 % et 100 %.

L'analyse de l'échantillonnage réalisé ne permet pas de conclure quant à une quelconque influence de la maturité sur la distribution des coléoptères saproxyliques aptères de litière étudiés.

Le nombre d'espèces relevées est en moyenne plus grand en peuplement exploité, mais avec une différence non significative. En termes qualitatifs, aucune des dix espèces relevées ne semble avoir une répartition gouvernée par la maturité des peuplements. Ces espèces ne semblent pas non plus être liées aux caractéristiques des arbres aux pieds desquels elles ont été capturées.

Le seul facteur semblant avoir une influence significative sur la répartition des espèces est géographique. Sur 10 espèces relevées, 5 peuvent être considérées comme rares. Sur les 5 espèces capturées en abondance, 3 n'ont étés trouvées que dans un seul des trois ensemble géographiques constitutifs de la zone d'étude.

5. Discussion

L'hypothèse initialement formulée était que certaines espèces de coléoptères saproxyliques aptères seraient fortement impactées par l'exploitation forestière du fait de leur faible capacité de prospection pour trouver de la ressource alimentaire. Cette hypothèse ne peut être validée par l'étude réalisée, soit parce que l'exploitation forestière n'a pas d'effet négatif sur les espèces ciblées, soit parce que la méthodologie employée n'a pas permis de détecter un tel effet.

5.1. Critique de la méthodologie employée

5.1.1. Pertinence de la technique de tamisage utilisée

La technique de capture utilisée est une méthode ponctuelle, le prélèvement de litière se fait à un instant donné, à l'inverse des méthodes cumulatives, qui permettent de réaliser un échantillonnage sur une période plus ou moins longue. Cet aspect présente plusieurs inconvénients :

- Les prélèvements n'étant pas réalisés au même instant, mais s'étalant sur plusieurs semaines, les conditions de température et d'humidité peuvent varier de façon plus ou moins importante au cours de la phase de terrain. Ces variables pourraient avoir une influence sur la présence ou l'absence des espèces cibles au moment ou le prélèvement est réalisé.

- Il existe très peu d'informations sur les espèces ciblées. Des essais semblent indiquer qu'elles se concentrent au pied des arbres, et une étude montre que certaines espèces réalisent des déplacements entre l'arbre et la litière (Horák et al. 2012). La litière pourrait ainsi n'être qu'un milieu transitoire faisant figure d'abri (face à des prédateurs ou des changements de conditions météorologiques par exemple). Il n'est donc pas impossible que certaines espèces se déplacent entre la litière et l'arbre de façon plus ou moins cyclique au cours d'une journée de 24h, et soient ainsi absentes au moment où le prélèvement de litière est réalisé.

Un échantillonnage à l'aide de pièges Barber pourrait pallier à ces problèmes. Ce type de piège présente cependant l'inconvénient de mesurer une activité-abondance des invertébrés et sous-échantillonne ainsi les espèces les plus petites et les moins mobiles, espèces qui font l'objet de cette étude (Bonneil et al. 2009). En outre, les pièges Barber sont fréquemment abîmés par des sangliers.

Un autre aspect plus technique peut être discuté. Le prélèvement de litière se fait à volume de tamisât constant, principalement pour des raisons d'ordre pratique. Le volume de litière à tamiser pour obtenir un litre de tamisât peut cependant varier de façon très importante selon le type d'humus présent et son humidité au moment du prélèvement. Il est dès lors légitime de se demander si l'effort d'échantillonnage est équivalent entre deux placettes dont les humus ou les conditions d'humidité diffèrent. Un prélèvement réalisé à partir d'un volume de litière avant tamisage constant ou d'une surface au sol déterminée serait peut être plus pertinent.

5.1.2. Échantillonnage des arbres et efficacité de la méthode de capture

La méthode de sélection des arbres relevés avait été choisie dans le but de réaliser un inventaire des espèces ciblées dans chaque placette. Ce but n'ayant pas été atteint, la validité des analyses réalisées est très discutable.

En effet la méthode d'échantillonnage des arbres utilisée n'est ni systématique, ni aléatoire. Elle ne permet donc pas d'avoir un échantillon d'arbres représentatifs des peuplements étudiés. Le choix des arbres a au contraire été fait de manière à maximiser les types d'arbres présents en termes d'essence, de diamètre et de microhabitats. Les arbres de très gros diamètres et porteurs de microhabitats sont assez rares et présentent une grande diversité structurelle. Il ont ainsi été sur-échantillonnés. A l'inverse, les arbres de faibles et moyens diamètres non porteurs de microhabitats sont généralement largement majoritaires mais constituent une catégorie assez homogène structurellement parlant. Ils ont donc été sous-échantillonnés. Ces paramètres pouvant avoir un lien avec la distribution des espèces au sein d'un peuplement, il n'est pas possible d'analyser les espèces relevées en termes d'abondances, mais uniquement en présence/absence.

Or l'estimation du taux de capture par placette est en moyenne de 76 % avec une variabilité très importante (de 53 % à 100%). La méthode de capture employée ne permet donc pas de réaliser un inventaire exhaustif des espèces présentes au sein d'un peuplement. Le fait d'avoir réalisé des analyses en présence/absence est donc problématique. En effet, une espèce non capturée au sein d'un peuplement est caractérisée comme étant absente alors qu'elle peut être en réalité présente. D'où la question soulevée quant à la validité des analyses réalisées.

5.1.3. Plan d'échantillonnage

Il est probable que le nombre de placettes échantillonnées soit trop faible compte tenu de l'aire de la zone d'étude. En effet aucune analyse menée à l'échelle de la placette n'a donné de résultats significatifs. Le très faible nombre de peuplements de hêtraie-sapinière à forte maturité ne permettait cependant pas de réaliser un échantillonnage sur une zone plus restreinte.

5.1.4. Période d'échantillonnage

Des études réalisées sur la phénologie des coléoptères saproxyliques aptères de litière en plaine montrent que de nombreuses espèces sont très peu présentes aux mois de juin et juillet (voir figure 20). La phase de terrain s'étant déroulée en juin n'a donc pas été réalisée à la période idéale. Les conditions d'enneigement en altitude ne permettait cependant pas de démarrer la phase d'échantillonnage plus tôt. Compte tenu des condition climatiques , il est par ailleurs probable que la phénologie des espèces ne soit pas la même entre les forêts de plaines et les forêts de montagnes.

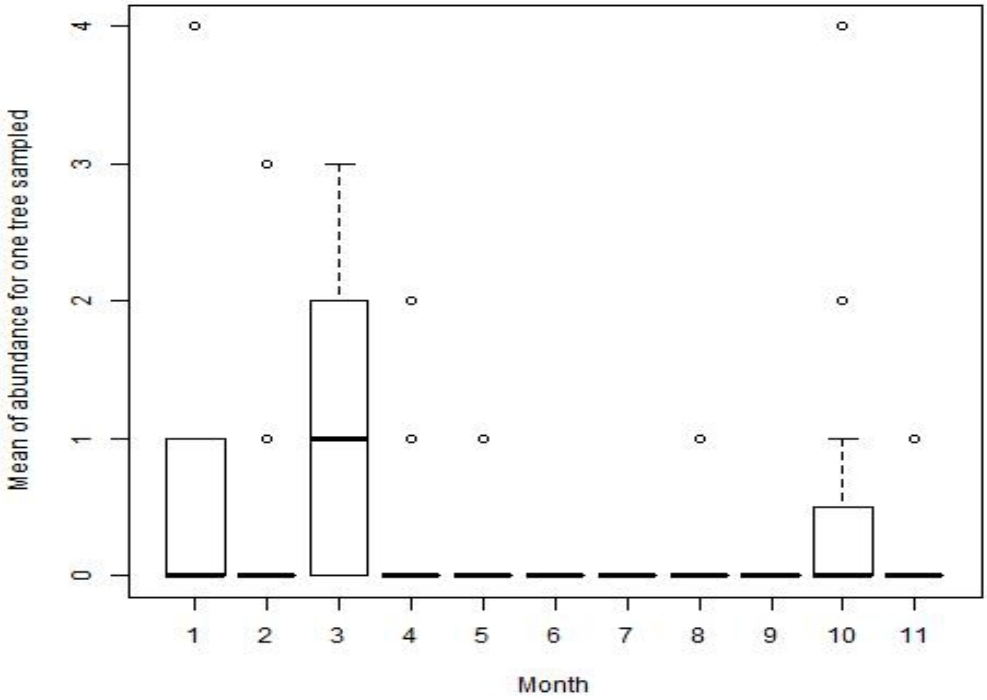


Figure 20: Phénologie de Strophosoma melanogrammum en forêt de plaine. Source : E. Cateau

5.2. Hypothèses concernant les résultats obtenus

En faisant l'hypothèse que les résultats obtenus sont fiables, la conclusion qui s'impose est l'absence d'influence de la maturité sur les espèces capturées. Plusieurs hypothèses pourraient expliquer cette conclusion.

5.2.1. Taille des pièces de bois mort

L'hypothèse de départ était que la maturité forestière a une influence positive sur les communautés ciblées. Cette hypothèse s'appuie entre autres sur le fait que de nombreuses espèces de coléoptères saproxyliques ont besoin de grosses pièces de bois mort, soit pour se nourrir soit pour que leurs larves puissent s'y développer. Or les espèces ciblées sont très petites, avec des longueurs de l'ordre d'un ou deux millimètres. Il est donc possible que ces espèces se contentent de petites pièces de bois mort, pièces qui sont présentes en abondance quelle que soit la maturité des peuplements. L'exploitation forestière n'aurait alors pas d'impact sur ces communautés, voire pourrait les favoriser par l'intermédiaire des rémanents abandonnés lors des coupes forestières.

Des résultats récents sur des pièges à émergence tendent à appuyer cette hypothèse pour les espèces du genre Acalles. Des individus appartenant à ce genre sont en effet sortis de pièces de bois de quelques centimètres de diamètre.

5.2.2. Disparition des espèces aptères dépendantes des qualités de maturité

Il est possible que les espèces aptères dépendantes des qualités de maturité aient tout simplement disparu au cours des derniers siècles. Des espèces dépendantes de la présence de gros bois mort sur place à cause de leur faible mobilité pourraient ne pas avoir pu s'adapter à l'extrême fragmentation des peuplements à forte maturité. Celles qui sont présentes à l'heure actuelle pourraient donc être celles qui se sont adaptées aux conditions de milieu induites par l'exploitation.

Conclusion

L'étude réalisée ne permet pas de conclure quant à un impact de l'exploitation forestière sur les communautés de coléoptères saproxyliques aptères de litière. Plusieurs aspects de l'étude méritent cependant d'être soulignés.

La dichotomie employée pour étudier la maturité a pu être validée statistiquement. La méthodologie employée pour réaliser le plan d'échantillonnage était donc adaptée aux objectifs de l'étude et permet bien d'étudier l'effet de la maturité sur une variable écologique.

La méthode utilisée pour inventorier la faune ciblée a été mise au point très récemment par l'équipe Biodiversité de l'École d'Ingénieur de Purpan. Cette étude a ainsi permis de tester la méthode dans un contexte géographique différent des précédents. Les résultats obtenus semblent indiquer une moindre efficacité de la méthode d'inventaire dans les Pyrénées.

Les espèces étudiées semblent très bien supporter, voire préférer les conditions de milieu induites par l'exploitation des forêts. En effet, sur dix espèces capturées, seules cinq étaient présentes dans des peuplements à forte maturité tandis que la totalité ont été relevées en peuplements exploités. La faiblesse de l'échantillonnage réalisé empêche cependant de se prononcer avec certitude sur cet aspect.

L'étude de l'influence des conditions à l'échelle de l'arbre n'indique aucune préférence des espèces vis-à-vis des attributs relevés. Ainsi, le diamètre et l'essence des arbres, la présence de microhabitats sur l'arbre, ou de bois mort aux alentours ne semblent avoir aucune influence, ni sur la richesse spécifique, ni sur la répartition d'aucune des espèces capturées. Il est probable que ces espèces se contentent voire préfèrent les pièces de bois mort de faibles diamètres. Des informations supplémentaires sur la biologie des espèces pourraient être obtenues grâce à l'étude d'élevages et de pièges à émergence.

Si ces communautés ne semblent pas être dépendantes des attributs de maturité, il est possible que l'ancienneté et la fragmentation des milieux forestiers aient un impact sur leur répartition. Il est notamment très probable que de telles espèces soient incapables de traverser des milieux ouverts et ne puissent pas recoloniser les peuplements récents en situation d'îlots. Il serait également intéressant d'essayer de quantifier la vitesse de recolonisation éventuelle de peuplements récents depuis des peuplements anciens adjacents.

Bibliographie

Alexander, K.N.., 2008. Tree biology and saproxylic Coleoptera: issues of definitions and conservation language. , 63, pp.1–6.

Assmann, T., 1999. The ground beetle fauna of ancient and recent woodlands in the lowlands of north-west Germany (Coleoptera , Carabidae). , pp.1499–1517.

Bonneil, P. et al., 2009. Les méthodes d'échantillonnage des insectes. In L.-M. Nageleisen & C. Bouget, eds. *L'étude des insectes en forêt : méthodes et techniques, éléments essentiels pour une standardisation. Synthèse des réflexions menées par le groupe de travail « Inventaires Entomologiques en Forêt » (Inv.Ent.For.).* Les Dossiers Forestiers n°19, Office National de Forêts, pp. 33–68.

Bouget, C. & Gosselin, F., 2005. Distribution spatiale du bois mort : enjeux pour la conservation des espèces cavicoles et saproxyliques. In *Bois mort et à cavités - Une clé pour des forêts vivantes*. pp. 107–117.

Brustel, H. & Dodelin, B., 2005. Coléoptères saproxyliques : exigences biologiques et implications de gestion. In *Bois mort et à cavités - Une clé pour des forêts vivantes*. pp. 127–136.

Burrascano, S. et al., 2013. Forest Ecology and Management Commonality and variability in the structural attributes of moist temperate old-growth forests : A global review. , 291, pp.458–479.

Buse, J., 2011. "Ghosts of the past": flightless saproxylic weevils (Coleoptera: Curculionidae) are relict species in ancient woodlands. *Journal of Insect Conservation*, 16(1), pp.93–102.

Cateau, E. et al., 2014. Ancienneté et maturité : deux qualités complémentaires d'un écosystème forestier. *C. R. Biologies*.

Cluzeau, C., Hamza, N. & Dupouey, J.-L., 2010. Les indicateurs de naturalité des forêts et d'empreinte de la gestion en France. Perspectives dans le contexte européen. In *Biodiversité, naturalité, humanité. Pour inspirer la gestion des forêts*. pp. 263–270.

Dodelin, B., 2006. Thèse Par Benoit DODELIN Écologie et biocénoses des coléoptères saproxyliques dans quatre forêts du nord des Alpes françaises Soutenue le : 13 décembre 2006 .

Gilg, O., 2004. Forêts à caractère naturel Caractéristiques, conservation et suivi. In *Gestion des milieux et des espèces*.

Gosselin, F., 2004. Imiter la nature, hâter son oeuvre? Quelques reflexions sur les éléments et stades tronqués par la sylviculture. In *Biodiversité et gestion forestière. Connaître pour mieux préserver. Synthèse bibliographique. Coordination - Marion Gosselin, Olivier Laroussinie.* pp. 217–256.

Gossner, M.M. et al., 2013. Current near-to-nature forest management effects on functional trait composition of saproxylic beetles in beech forests. *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology*, 27(3), pp.605–14.

Horák, J. et al., 2012. Unexpected visitors: flightless beetles in window traps. *Journal of*

Insect Conservation, 17(3), pp.441–449.

IFN, 2010. La forêt française - Les résutats issus des campagnes d'inventaire - GRECO I Pyrénées.

IFN, 2014. La surface forestière en France métropolitaine. Available at: http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?rubrique11 [Accessed July 17, 2014].

IFN, 2011. Sylvoécorégion I21 - Haute chaîne pyrénéenne.

Johansson, T. et al., 2007. Variable response of different functional groups of saproxylic beetles to substrate manipulation and forest management: Implications for conservation strategies. *Forest Ecology and Management*, 242(2-3), pp.496–510.

Larrieu, L. et al., 2009. Impact de l'anthropisation ancienne sur la biodiversité d'un habitat de hêtraie-sapinière montagnarde. *Revue forestière française*, 61(4), pp.351–368.

Larrieu, L. & Gonin, P., 2008. L'indice de biodiversité potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue forestière française*, 60(6), pp.727–748.

Martikainen, P. et al., 1999. Bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) and associated beetle species in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management*, 116(1-3), pp.233–245.

Martikainen, P. et al., 2000. Species richness of Coleoptera in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. , 94, pp.199–209.

Mosseler, A., Lynds, J.A. & Major, J.E., 2003. Old-growth forests of the Acadian Forest Region 1. , 77(October 2001), pp.14–19.

Oliver, C.D., 1981. Forest development in North America following major disturbances. *Forest Ecology and Management*, 3(dynamique forestière), pp.153–168.

ONF, 2007. Forêts françaises : le patrimoine forestier français en forte expansion. Available at: http://www.onf.fr/gestion_durable/sommaire/milieu_vivant/patrimoine/forets_francaises/20071001-133331-958050/@@index.html [Accessed July 17, 2014].

R Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. Available at: http://www.r-project.org/.

Ranius, T. et al., 2005. Cost-efficiency of measures to increase the amount of coarse woody debris in managed Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management*, 206(1-3), pp.119–133.

Rossi, M. et al., 2013. Forêts anciennes de Méditerranée et des montagnes limitrophes Références pour la naturalité régionale.

Savoie, J.-M. et al., 2011. Forêts pyrénéennes anciennes de Midi-Pyrénées. Rapport d'Etude de projet FEDER 2008-2011. *Ecole d'Ingenieur de Purpan/Dreal Midi-Pyrénées*, p.320.

Speight, M.C.D., 1989. Saproxylic invertebrates and their conservation. , p.82.

Vallauri, D., 2005. Le bois dit mort, une lacune des forêts en France et en Europe. In *Bois mort et à cavités - Une clé pour des forêts vivantes*. pp. 9–17.

Vallauri, D. et al., 2012. Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles. *Rapport WWF/INRA*, p.64.

Vallauri, D. & Poncet, L., 2002. La protection des forêts en France. Indicateurs 2002. *Rapport WWF-France*, p.100.

Victoire, C., 2013. *Evaluation et typologie des vieilles forêts dans les Pyrénées centrales.*

Whitehouse, N.J., 2006. The Holocene British and Irish ancient forest fossil beetle fauna: implications for forest history, biodiversity and faunal colonisation. *Quaternary Science Reviews*, 25(15-16), pp.1755–1789.

Liste des contacts

Nom	Organisme	Adresse	Téléphone	Courriel
Eugénie Cateau	INP - EIP	75, voie du Toec, BP 57611 31076 Toulouse cedex 3	05 61 15 30 49	eugenie.cateau @purpan.fr
Hervé Brustel	INP - EIP	75, voie du Toec, BP 57611 31076 Toulouse cedex 3	05 61 15 30 31	herve.brustel@purpan.fr
Antoine Brin	INP - EIP	75, voie du Toec, BP 57611 31076 Toulouse cedex 3	05 61 15 29 85	antoine.brin@purpan.fr
Rosalinde Van Couwenberghe	Lerfob - Agroparistech	14 rue Girardet 54000 Nancy	03 83 39 68 81	rosalinde.vancouwenberghe@agroparistech.fr
Laurent Larrieu	CRPF Aquitaine – INRA Dynafor	24, chemin de Bordé Rouge 31326 Castanet-Tolosan		laurent.larrieu@toulouse.inra.fr
Marc Deconchat	INRA Dynafor	24, chemin de Bordé Rouge 31326 Castanet-Tolosan	05 61 28 54 92	marc.deconchat@toulouse.inra.fr

Annexes

Annexe 1: Fiche terrain utilisée pour caractériser les placettes

ID site

N°	29	Forêt		Rédacteur		Surface totale boisée	1
ID site		Commune		N° photo		Boisement homogène	1

STATION		EMPREINTE HUMAINE		MATURITE PEUPLEMENT		MATURITE CLIMACIQUE	
Bioclimat	Collinéen inférieur	Ancienneté	Non	Phase sylvigénetique Dominante	Jeune	Stade de succession	Transitoire
Exposition	Plateau	Exploitation	Proche de la	Régénération	☑	Essence1	Chêne pédonc
Pente (%)	0	Empreinte passée		Jeune	☑	Arborée1	☑
Milieux ouvert (%)	<1	Agriculture	☐	Adulte	☑	Arbustive1	☑
Ruisseau	☐	Coupe rase	☐	Vieillissant	☐	Essence2	Frêne
Etendue d'eau	☐	Plantation	☐	Sénescent	☐	Arborée2	☑
Bras mort	☐	Ecobuage	☐	Nb TGB/ha	0-5	Arbustive2	☑
Cuvette de chablis	☐	Pature	☐	Vol de bois mort	0-5	Essence3	Aubepine
Bourbier	☑	Amendement	☐	Chandelle >70	☐	Arborée3	☐
Texture en A	A	Insecticide	☐	BMS >70	☐	Arbustive3	☑
Humidité	AF	Autre		Microhabitats		Essence4	
Richesse chimique	Mé	Empreinte actuelle		Cavité vide		Arborée4	☐
Forme d'humus	Mésomull	Coupe rase	☐	de tronc	☐	Arbustive4	☐
		Plantation	☐	de pied	☐	Essence5	
		Ecobuage	☐	Cavité à terreau		Arborée5	☐
		Pature	☐	de tronc	☐	Arbustive5	☐
		Amendement	☐	de pied	☐	Essence6	
		Insecticide	☐	Dendrotelmes		Arborée6	☐
		Autre		à fond dur	☐	Arbustive6	☐
				à fond carié	☑	Essence7	
				Polypores		Arborée7	☐
				sur bois vivant	☑	Arbustive7	☐
				bois mort debout	☐	Essence8	
				bois mort au sol	☐	Arborée8	☐
				Plage de bois sans écorse	☐	Arbustive8	☐
				Fente et écorse décolée	☐	Essence9	
				Coulées de sève active	☐	Arborée9	☐
				Charpentière ou cime brisée	☐	Arbustive9	☐
				Bois mort dans le houppier (>20 %) ou grosse branche	☑	Essence10	
				Lianes ou gui	☑	Arborée10	☐
				Accumulation de débris ligneux et/ou de litière	☑	Arbustive10	☐
				Gourmand/Broussin	☑	Essence11	
				Stratification (>10%)		Arborée11	☐
				Strate émergeante	☐	Arbustive11	☐
				Strate arborescente haute	☐	Essence12	
				Strate arborescente basse	☑	Arborée12	☐
				Strate arbustive	☑	Arbustive12	☐
				Strate herbacée	☑		
				Strate muscinale	☑		

Annexe 2: Fiche terrain utilisée pour caractériser les arbres

N°	1
Département	R1
Forêt	FD Grésigne_S

ID_Site	GRES-A
ID_Relevé	ATTENTION
Prélevement par	ATTENTION

ALENTOURS

Lisière	
Distance à la lisière(m)	>100
Exposition de la lisière	aucune
Milieux humides	
Cours d'eau	☐
Lac étang	☐
Bourbier	☐
Situation dans la pente	
Arbres	
Arbre1	
Diametre1 (cm)	
Distance1 (m)	
Vivant/mort1	
Arbre2	
Diametre2 (cm)	
Distance2 (m)	
Vivant/mort2	
Arbre3	
Diametre3 (cm)	
Distance3 (m)	
Vivant/mort3	
Arbre4	
Diametre4 (cm)	
Distance4 (m)	
Vivant/mort4	
Arbre5	
Diametre5 (cm)	
Distance5 (m)	
Vivant/mort5	
Autres essences	
Houx	☐
Fragon	☐
Contenu du relevé	

ARBRE RELEVE

Pied	
Nb pieds échantillonnés	
Essence	Charme
Diamètre	
Vivant/mort	
Humus	
Microhabitats	
Cavité vide	
de tronc	☐
de pied	☐
Cavité à terreau	
de tronc	☐
de pied	☐
Dendrotelmes à fond	
dur	☐
carié	☐
Polypores sur	
bois vivant	☐
bois mort debout	☐
bois mort au sol	☐
Plage de bois sans écorse	☐
Fente et écorse décolée	☐
Coulées de sève active	☐
Charpentière ou cime bri	☐
Bois mort dans le houppier ou grosse	☐
Lianes ou gui	☐
Accumulation de débris ligneux/de litière	☐
Gourmand/broussins	☐
Rejets de pied (<2,5cm)	☐
% recouvrement mousse	
% recouvrement lichen	
Fourche	
Commentaires	