

INTEGRATION DES DENDROMICROHABITATS AU PROTOCOLE LFI 5 : QUELLES POSSIBILITES ?



Sommaire

Table des Figures.....	4
Table des Tableaux.....	5
Introduction.....	6
I. Les dendromicrohabitats.....	7
A. Historique.....	7
B. Définition.....	7
C. Recherches littéraires.....	8
1. Méthode.....	8
2. Résultats.....	8
II. Quels dendromicrohabitats choisir ?.....	13
A. Hiérarchie des dendromicrohabitats selon la littérature.....	13
1. Méthode.....	13
2. Résultats.....	13
3. Discussion.....	14
B. Fréquence des dendromicrohabitats.....	14
1. Méthode.....	14
2. Résultats.....	14
C. Part de chaque dendromicrohabitats dans la valeur écologique du peuplement.....	15
1. Méthode.....	15
2. Résultats.....	15
D. Conclusion et proposition.....	16
III. Choix des arbres à évaluer.....	18
A. Méthode.....	18
1. Données utilisées.....	18
2. Méthode de calcul des valeurs écologiques.....	18
B. Résultats.....	20
1. Catégorie d'arbres selon leur statut (morts ou vivants).....	20
2. Catégorie d'arbres selon leur diamètre.....	22
C. Discussion.....	25
1. Méthodes de calculs.....	25
2. Catégories d'arbres à considérer.....	25
IV. Reproductibilité du recensement des dendromicrohabitats.....	26
A. Objet de l'étude : marteloscope de Sihlwald.....	26
1. Contexte.....	26

2.	Quelques données générales	26
B.	Reproduction de l'inventaire du marteloscope de Shilwald	27
1.	Méthode	27
2.	Résultats	27
3.	Comparaison avec le protocole LFI 4.	35
C.	Exercice avec l'équipe de terrain : estimation du diamètre des objets	36
1.	Méthode	36
2.	Résultats	37
3.	Conclusion et discussion.....	37
D.	Exercice avec l'équipe de terrain : observation des dendromicrohabitats et étude de différents effets sur cette observation.....	38
1.	Méthode	38
2.	Résultats	40
3.	Commentaires des observateurs après l'exercice.....	51
4.	Conclusion et discussion.....	52
V.	Temps dédié à l'observation des dendromicrohabitats.....	53
A.	Effet du temps d'observation : comparaison des périodes d'observations de 5 minutes (I) et de 10 minutes (I+II).	53
1.	Méthode	53
2.	Résultats	53
3.	Conclusion	54
B.	Estimation du temps utilisé par les forestiers de terrain.	55
1.	Méthode	55
2.	Résultats	55
VI.	Modélisation de la valeur écologique des peuplements.	56
A.	Méthode	56
1.	Données utilisées	56
2.	Construction des modèles.....	56
3.	Calculs.....	57
B.	Résultats	59
1.	Méthode de calcul R. Bütler	59
2.	Méthode de calcul T1	60
C.	Conclusions et discussion	61
VII.	Conclusion : bilan général et propositions	62
A.	A propos des dendromicrohabitats.....	62

B.	Le protocole.....	64
C.	Les limites.....	64
VIII.	Bibliographie.....	65

Table des Figures

Figure 1 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats sur l'ensemble des martelosopes.	14
Figure 2 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats sur l'ensemble des martelosopes avec regroupement des différentes dimensions d'un dendromicrohabitat de même nature.	15
Figure 3 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats selon le statut de l'arbre.....	20
Figure 4 : Moyenne de la valeur écologique EFI selon le statut de l'arbre.	21
Figure 5 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats selon leur classe de diamètre	22
Figure 6 : Moyenne de la valeur écologique des arbres selon leur classe de diamètre	24
Figure 7 : Plan de localisation de Sihlwald	26
Figure 8 : Répartition des essences en surface terrière.....	27
Figure 9 : Fréquence des dendromicrohabitats sur le quartier 2 d'après l'inventaire LFITest	28
Figure 10 : Fréquence des dendromicrohabitats sur le quartier 4 selon l'inventaire LFITest.....	28
Figure 11 : Localisation sur l'arbre des dendromirohabitats, quartier 2 et 4 confondus.....	29
Figure 13 : Inventaire des dendromicrohabitats durant les campagnes d'inventaire EFI et LFITest, quartier 2.....	32
Figure 12 : Analyse des différences entre les campagnes d'inventaire EFI et LFITest	32
Figure 14 : Inventaire des dendromicrohabitats durant les campagnes EFI et LFITest, quartier 4.....	32
Figure 15 : Dégâts présents sur le marteloscope (quartiers 2 et 4)	36
Figure 16 : Dispositif d'étude pour l'estimation du diamètre des objets.....	36
Figure 17 : Estimation moyenne du diamètre des objets et comparaison avec la valeur réelle	37
Figure 18 : Description d'une boîte à moustache	39
Figure 19 : Echelle de correspondance entre l'indice de Shannon et l'homogénéité des réponses	44

Table des Tableaux

Tableau 1 : Scores littéraires pour les dendromicrohabitats	13
Tableau 2 : Première proposition de liste des dendromicrohabitats (selon leur importance biologique et leur fréquence).....	17
Tableau 3 : Importance des arbres morts dans la valeur écologique des peuplements.....	21
Tableau 4 : Importance des différentes classes de diamètre dans la valeur écologique des peuplements.....	23
Tableau 5 : Nombre de martelosopes en fonction du pourcentage de la valeur écologique représentée par les arbres supérieurs à 36 cm de diamètre	23
Tableau 6 : Diamètre des cavités de nutrition des pics.....	29
Tableau 7 : Largeur à la base des cavités racinaires.....	30
Tableau 8 : Surface des plages de bois sans écorce	30
Tableau 9 : Diamètre minimal des champignons	30
Tableau 10 : Recouvrement de la surface de l'arbre par les bryophytes (limite inférieur de 25 %).....	31
Tableau 11 : Commentaires selon le protocole LFI 4	35
Tableau 12 : Dégâts selon le protocole LFI4.....	35
Tableau 13 : Détails du dispositif d'étude pour l'étude du diamètre des objets	37
Tableau 14 : Dendromicrohabitats pour lesquels nous ne pouvons pas conclure	50
Tableau 15 : Dendromicrohabitats qui nécessitent des améliorations.....	50
Tableau 16 : Facilité d'identification des dendromicrohabitats.....	51
Tableau 17 : Exemples de définition de la base d'une branche morte	51
Tableau 18 : Description des modèles	56
Tableau 19 : Note écologique des peuplements selon la méthode de calcul R.Bütler.....	59
Tableau 20 : Note écologique des peuplements selon la méthode de calcul T1.....	60
Tableau 21 : Propositions de dendromicrohabitats.....	62
Tableau 22 : Catégories de recouvrement	63
Tableau 23 :Liste des dendromicrohabitats à double recensement.....	63

Introduction

La prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière est une demande de la société de plus en plus importante. Elle s'est d'abord matérialisée par la prise en compte des arbres morts. Les recherches entreprises, assez abondantes, ont abouti à des préconisations pour le maintien d'un certain nombre d'arbres morts par hectares. L'intérêt des forestiers s'est porté ensuite et en complément sur les arbres habitats et les dendromicrohabitats qu'ils portent. En effet, ces derniers sont considérés comme des indicateurs de biodiversité aux échelles de l'arbre et du peuplement.

L'Inventaire Forestier National Suisse (LFI) a pour mission de rendre compte de l'état des forêts suisses et de leur évolution au cours du temps. Ses principales observations concernent la surface forestière, le volume de bois sur pied, l'accroissement et les moyens d'exploitation des forêts mais il s'intéresse aussi à leur biodiversité. Il opère depuis le début des années 80 et le cinquième inventaire sera lancé au printemps 2018. A cette occasion, de nouveaux moyens financiers seront mis à disposition et le LFI souhaiterait les utiliser notamment dans le recensement des dendromicrohabitats.

Ce travail a pour but principale d'étudier comment les dendromicrohabitats peuvent être intégrés au protocole de l'Inventaire Forestier National 5 (LFI5). Dans un premier temps, il s'agit de lister ces dendromicrohabitats et de déterminer leur importance biologique. Ensuite, se posent les questions du choix des arbres à observer pour leur recensement et de la reproductibilité de ce dernier. Enfin, dans un souci de collaboration et de continuité des études scientifiques, nous essaierons de construire des modèles donnant une valeur écologique aux peuplements à partir des dendromicrohabitats et de voir si une comparaison est possible entre plusieurs protocoles.

I. Les dendromicrohabitats.

A. Historique

Depuis le début des années 2000, des travaux de recherches sur les dendromicrohabitats ont été entrepris par différentes structures et dans différents pays européens. La première étude faisant mention des dendromicrohabitats comme indicateurs de la biodiversité à l'échelle de l'arbre et du peuplement a été réalisée en 2003 par l'association Pro Sylva France (Pro Sylva, 2003). Il s'agit de l'étude des conséquences d'un martelage favorisant certains éléments clé pour la biodiversité par rapport à un martelage classique. Elle se base sur un marteloscope établi à Zittersheim (Alsace, France). La même année, Laurent Larrieu (INRA, CNPF Toulouse) a commencé à s'intéresser à la construction d'une typologie des dendromicrohabitats. Le but était de produire un outil à destination des gestionnaires forestiers. Ses travaux lui ont permis de publier une thèse en 2014 (Larrieu 2014) et plusieurs articles avec différents co-auteurs ainsi que d'intégrer les dendromicrohabitats à un outil de gestion de la biodiversité en forêt appelé l'Indice de Biodiversité Potentiel (IBP) (Larrieu and Gonin 2008). En parallèle, depuis 2008, Suzanne Winter a travaillé avec différents collaborateurs comme Möller (Winter and Möller, 2008) ou Michel (Michel and Winter, 2009) et proposé plusieurs publications à propos de la répartition de certains dendromicrohabitats selon les différents types de forêts (espèces dominantes, contexte écologique, stade de développement...). En outre, un certain nombre d'autres auteurs se sont également intéressés à ce sujet comme Vuidot et al (2011) ou Ouin et al (2015).

En Suisse, les dendromicrohabitats ont été étudiés par Thibault Lachat et Rita Bütler dans notamment deux publications : *Gestion des vieux arbres et du bois mort : îlots de sénescence, arbres-habitat et métapopulations saproxyliques* publié en 2007 et *Wälder ohne Bewirtschaftung: eine Chance für die saproxyliche Biodiversität* publié en 2009 mais aussi dans le cadre de l'Inventaire Forestier National (Brändli et al, 2011).

Aujourd'hui, le projet « Integrate+ » mené par le Bureau Régional de l'Europe Centrale de l'Institut Européen pour la Forêt (EFI) explore ce sujet depuis 2013 et jusqu'en décembre 2016. Il a pour but la création d'un réseau de marteloscopes à travers l'Europe et d'une application mobile associée afin de promouvoir et d'enseigner des méthodes de gestion intégrant la conservation de la biodiversité. Il doit également permettre le dialogue entre les différentes parties prenantes. Dans ce cadre, un catalogue de dendromicrohabitats a été publié en mars 2016 en collaboration avec les principaux chercheurs étudiant ce sujet (Larrieu, Winter, etc). Il a pour ambition de servir de référence européenne.

B. Définition

Les dendromicrohabitats sont des structures servant d'habitat à divers espèces, portées par des arbres, qu'ils soient vivants ou morts. Ils sont en général de petite taille et correspondent à des singularités morphologiques qui servent au moins temporairement de milieu de vie à des espèces spécifiques (Larrieu 2014) mais qui peuvent aussi leur être utile pour leur survie. Ils forment des niches écologiques (Kraus et Krumm, 2013) et sont associés à des cortèges d'espèces spécifiques (Larrieu 2014).

Les espèces dites saproxyliques sont celles qui dépendent du bois en décomposition pour leur survie alors que les espèces épixyliques se satisfont du bois mort non décomposé (Larrieu 2014, Kraus et Krumm 2013).

C. Recherches littéraires

1. Méthode

Une recherche littéraire a été réalisée dans le but de lister tous les dendromicrohabitats étudiés dans le cadre de la recherche sur la forêt et sur la biodiversité. Pour cela, nous avons utilisé les bases de données électroniques Scopus et Web of Sciences avec les trois commandes suivantes : « “tree” & “microhabitat” & “indicator” », « “habitat trees” & “microhabitat” » et « “tree microhabitats” » en plus d’une base de données interne au WSL créée par Henri, Lachat et Brändli. Les articles ont été sélectionnés seulement s’ils correspondaient à une étude dans un contexte de forêts tempérées ou méditerranéennes afin de correspondre au contexte Suisse.

Finalement, 30 documents ont été étudiés dont 25 articles scientifiques, 3 guides pratiques et 2 thèses (Master 2 : Sarah Meier, 2009 ; PhD : Laurent Larrieu 2014). Ils ont été comparés au « Catalogue of Tree microhabitats » publié par l’EFI en mars 2016.

2. Résultats

a) Les dendromicrohabitats

Un total de 76 dendromicrohabitats a été recensé selon la définition précédente (Annexe 1). Certains d’entre eux sont particulièrement documentés comme les champignons saproxyliques (mentionnés 22 fois en référence à une trentaine d’autres articles scientifiques) alors que d’autres sont rarement abordés comme la forme taillis (Meier, 2009). Il faut noter qu’un certain nombre de dendromicrohabitats sont évoqués sous différentes noms. Les dendromicrohabitats peuvent être rassemblés en différents groupes

(1) Les cavités

Les cavités fournissent des abris pour les animaux mais aussi un substrat pour certains végétaux épiphytes (Regener 2013). Elles peuvent héberger des espèces très spécifiques comme la Chouette rayée (*Strix varia*) (Buchanan et al 2004) ou des coléoptères saproxyliques (Bouget et al 2013), par exemple des Elatéridés ou des Cétonidés (Prosylva 2003). Les cavités peuvent être détaillées selon leur origine, leur fonction, leur dimension et le milieu qu’elles peuvent créer (substrat et microclimat).

Les cavités de pics indiquent d’une part la présence de ces oiseaux et permettent d’autre part à d’autres espèces de nicher dans un second temps (Winter et Möller 2008). Des petits mammifères peuvent aussi s’y abriter comme les chauves-souris (Vuidot et al 2011) ainsi que divers insectes (Larrieu 2014). En outre, plusieurs trous de pic sur un même arbre peuvent communiquer et former une « flûte ». Elle peut être le point de départ de cavités à fort volume qui présentent des microclimats particuliers favorables à des arthropodes spécialisés (Reber et al 2015, Müller et al 2014) et est un des habitats préférés des chauves-souris (Prosylva 2003). Les cavités de nutrition des pics montrent aussi leur présence et un certain stade de décomposition de l’arbre (Michel et Winter 2009). Cependant, elles ne peuvent servir d’abri pour d’autres espèces étant donné leur forme et nous pouvons donc supposer qu’elles ont une valeur écologique moins importante que les autres cavités de pics (Excel EFI, 2016).

Les cavités à terreau sont importantes pour le cycle de vie des arthropodes (Prosylva 2003, Larrieu 2004) car une partie du développement des larves se fait dans le terreau même (Prosylva 2003). Ce dernier peut également servir de substrat pour des plantes épiphytes (Larrieu 2012) et des

champignons (Winter et Möller 2008). Ces cavités peuvent aussi abriter des oiseaux et des petits mammifères. Il faut noter que la quantité de terreau d'une cavité augmente au cours du temps et que par conséquent sa valeur écologique évolue aussi. Ceci a donné le qualificatif « évolutive » à ce type de cavité (Emberger et al. 2013).

Les cavités issus de branches mortes ou cassées peuvent abriter les mêmes espèces que les cavités à terreau évolutive mais ont un processus de décomposition plus rapide que les cavités naturelles situés sur le tronc (EFI 2016).

Les cavités les plus grosses peuvent abriter des espèces de taille plus importante et donc potentiellement plus d'espèces différentes (Larrieu et al in prep). De même les cavités directement en contact avec le sol peuvent abriter des espèces ne pouvant monter dans les arbres mais présentent des conditions plus humides que les autres (EFI 2016) et qui peuvent être limitantes (Larrieu et al in prep). Les cavités ayant des ouvertures importantes qui laissent entrer les intempéries peuvent aussi présenter des conditions microclimatiques limitantes.

La cavité peut parfois s'étendre à l'ensemble du tronc et nous parlons alors d'arbre creux. Les arbres creux sont encore fermés au moins au sommet. Ils abritent des structures particulières, des poches de terreau par exemple, et gardent des conditions humides qui peuvent être favorables à des arthropodes spécialisés dont quelques-uns en danger (Reber et al 2015, Müller et al 2014). Ils peuvent aussi accueillir des chauves-souris comme *Nyctalus noctula*, des oiseaux comme *Strix aluco* ou encore des lichens (Meier 2009).

Les cavités racinaires (ou les cavités de pied à fond dur) peuvent abriter des oiseaux, le Troglodyte par exemple, des petits mammifères et des amphibiens (Reber 2015).

Les dendrothelmes sont des concavités généralement remplies d'eau et peuvent occuper différentes localisations sur l'arbre. Ils accueillent peu d'espèces, notamment d'invertébrés, mais qui sont très spécialisées (Larrieu et Cabanettes 2012). Ils peuvent être classés en deux catégories selon la qualité de leur fond et leur correspondance avec des espèces soit épiphytiques soit saproxyliques mais cela ne semble pas vraiment pertinent car les cortèges associés s'avèrent en fait similaires (Larrieu 2014).

Les cavités et les galeries d'insectes montrent d'une part leur présence directement et indique d'autre part une source de nourriture pour d'autres animaux. Si elles sont suffisamment larges, elles peuvent aussi servir aux chauves-souris (Regeney et al 2013a).

(2) Les blessures

Nous pouvons détailler les blessures en 3 sous-groupes : les parties d'arbres cassées, les plages sans écorce et les fentes.

Les parties d'arbres cassées correspondent aux branches, fourches, parties de la couronne ou encore aux troncs cassés. Elles créent une opportunité pour atteindre l'aubier et différents milieux (Winter et al 2015) notamment pour les champignons et les lichens (Reber 2015). Les branches cassées fournissent des habitats lors de leur décomposition pour les arthropodes, les lichens mais aussi si leur dimension est suffisante des sites pour nicher pour les oiseaux (Meier 2009). Lorsque le tronc ou une couronne est en partie brisée, ils peuvent également laisser une plateforme où les oiseaux peuvent nicher (Michel et Winter 2009, Buchanan et al 2004). La cassure d'un tronc ou d'une fourche peut être utilisée par les arthropodes (Möller 2005). Certains sont très spécifiques comme *Osmoderma eremita* (une Near Threatened Species selon l'UICN) ou *Stenichus foveolar* puisqu'ils profitent des conditions d'humidité particulières créées par la continuité du flux de sève dans le second axe de la fourche ou dans une couronne secondaire (Möller 2005). Cette dernière est par conséquent aussi considérée comme un dendromicrohabitat. La cassure d'un tronc avec de nombreux éclats fournit également des conditions écologiques particulières (EFI 2016).

Les plages sans écorces sont utiles pour certaines espèces saproxyliques comme les Sésidées (Lépidoptères) et les Siricidées (Hyménoptères) pour élever leurs larves (Ouin 2015) mais aussi pour les insectes xylophages et les champignons (Larrieu 2014). En outre, elles correspondent au premier stade de la formation de cavités à terreau évolutives (Emberger et al. 2013).

Les fentes sont utilisées par différents taxons (Larrieu et Cabanettes 2012). Les chauves-souris les utilisent pour nicher (Regenery 2013, Larrieu et Cabanettes 2012) et elles servent aussi d'habitat pour les insectes (Larrieu et Cabanettes 2012, Prosylva 2003), les arthropodes (Larrieu et al in prep), les oiseaux (Winter et Möller 2008), les lichens et les champignons (Larrieu et al in prep). L'origine de la fente peut être détaillée selon si elle a été provoquée par un éclair, un feu ou une autre cause. En effet, il existe des insectes spécialistes du bois brûlé (Larrieu et al in prep).

(3) Les décollements d'écorce

Les décollements d'écorce laissent un espace ouvert entre l'écorce et l'aubier qui peut être utilisé par des chauves-souris ou de petits oiseaux comme les grimpeurs (*Certhia sp.*) (Michel and Winter 2009, Larrieu 2014) mais aussi par des arthropodes *Aradus betulae* (Winter et Möller 2008).

(4) Les branches mortes

Les branches mortes fournissent une source de nourriture pour les champignons, les insectes, les oiseaux (Regenery et al 2013a, Regenery et al 2013b) et des arthropodes (Prosylva 2003, Meier 2009). Bouget et al (2014) ont prouvé que la densité de bois mort dans le houppier a un effet positif significatif sur l'abondance de coléoptères saproxyliques et la composition de leur cortège. En outre, elles sont le point de départ potentiel de cavités (Möller 2005).

(5) Les champignons et les plantes épiphytes.

Les polypores servent d'habitat aux arthropodes (Larrieu et Cabanettes 2012, Meier 2009). Les pérennes ont une corrélation positive significative avec la présence de pics (Winter et Möller 2008) et d'autres champignons parasites (Larrieu et Cabanettes 2012). Les champignons en général peuvent être séparés dans différentes catégories selon leur forme : les polypores, les myxomycètes (*N.B : les myxomycètes ne sont pas de vrais champignons mais peuvent être classés avec eux dans le cadre de ce travail*), les pyrénomycètes, les ascomycètes... car ils n'offrent pas la même qualité d'habitat. Par exemple, les myxomycètes et les pyrénomycètes accueillent seulement des arthropodes alors que les polypores pérennes accueillent à la fois des arthropodes, d'autres champignons parasites, des bryophytes et sont aussi utiles aux pics (Larrieu et al in prep).

Les lichens fournissent une source de nourriture et parfois même un abri pour les insectes et les gastéropodes (Meier 2009, Reber et al 2015).

Les lianes comme le lierre fournissent un abri et une source de nourriture pour les arthropodes (Reber et al 2015, Vuidot et al 2011). Elles nourrissent aussi les oiseaux (Vuidot et al 2011, Regenery et al 2013a) et facilitent l'accès aux nids depuis le sol à certains mammifères et insectes (Prosylva 2003).

Les bryophytes sont également des sites potentiels de nidification et de nutrition pour les arthropodes et les oiseaux (Vuidot et al 2011, Meier 2009). Elles peuvent aussi créer des microclimats favorables à certains lichens (Meier 2009).

Le gui fournit des ressources alimentaires pour les oiseaux et les insectes ainsi qu'un lieu de reproduction et d'élevage des larves pour les insectes (Reber et al 2015).

Les fougères épiphytes ont été sélectionnées dans la liste EFI pour des raisons similaires mais ne sont mentionnés dans aucun autre des publications étudiées.

(6) Les nids

Les nids de vertébrés montrent directement la présence de leurs constructeurs (oiseaux et/ou mammifères) mais peuvent également accueillir des invertébrés et d'autres espèces nicheuses dans un second temps. (Meier 2009, Reber et al 2015).

Les nids d'invertébrés montrent directement la présence des espèces qui les ont construits mais d'autres insectes peuvent y vivre comme certains coléoptères et dyptères qui vivent dans des fourmillières (Larrieu 2014). *Cladosporium myrmecophilum* est un champignon spécifiquement associé avec les fourmillières (Larrieu et al in prep.).

(7) Les structures particulières de l'arbre

Les coulées de sève sont utilisées par les insectes et les arthropodes au cours des différentes étapes de leur cycle de vie (Ouin 2015, Bouget et al 2013, Bouget et al 2014). La sève peut loger les larves de Syrphides (Larrieu et Cabanettes 2012) ou bien être une source d'énergie pour les coléoptères xylobiontes (Meier 2009). Larrieu (2014) a également trouvé une corrélation significative entre le nombre d'arbres portant des coulées de sèves et l'abondance d'espèces polypores rares.

Les coulées de résine sont utilisées par les insectes pour protéger leur nids de maladies comme la fourmi *Formica paralugubris* ou certains coléoptères (Larrieu 2014). Elles sont aussi associées à un champignon particulier *Sorocybe resinae* (Larrieu et al in prep.).

Les chancres nécrosés sont formés par des parasites vivant dans l'écorce (Winter et Möller 2008). Ils peuvent abriter des papillons et des champignons (Larrieu et al in prep.). Les loupes correspondent à une excroissance du bois sans infection. Ils peuvent être distingués selon leur correspondance à des cortèges d'espèces saproxyliques pour le premier et épixyliques pour le second.

Les balais de sorcières et les branches épïcormiques lorsqu'elles sont suffisamment denses peuvent servir de support pour les nids (Reber et al 2015) et retenir du terreau utile pour les insectes (Reber et al 2015). Les balais de sorcières montrent également une infection par des champignons ou d'autres parasites.

Les fourches peuvent être considérées comme un dendromicrohabitat car elles peuvent potentiellement accueillir des micro-sols utilisables par les insectes (Prosylva 2003, Lachat et Bütler 2007) et des microclimats favorables aux champignons et aux lichens (Meier 2009). La tension entre les deux axes peut aussi créer des fentes. (Meier 2009). Le même phénomène peut exister entre les différents axes d'un taillis (Meier 2009).

Les arbres à croissance étrange ont été mentionnés mais sans réel arguments quant à leur importance pour la biodiversité. Nous pouvons supposés qu'à l'instar des fourches et des taillis, des tensions peuvent exister et potentiellement créer d'autres microhabitats. Cependant, aucun argument significatif ne vient étayer cette hypothèse.

Les micro-sols ne sont pas directement mentionnés dans la littérature mais apparaissent sous différents autres termes (par exemple, poche de terreau). Ils fournissent un substrat pour les invertébrés (Winter et Möller 2008, Michel et Winter 2009) et pour les champignons (Larrieu et al in prep).

Les branches formant des adventices ont été mentionnées une fois mais leur valeur écologique n'a pas été étayée. Les racines pourrissantes ont été mentionnées une fois (Larrieu 2014) à cause de leur

propension à maintenir des conditions humides utiles aux invertébrés mais n'ont pas été conservés dans le catalogue EFI.

Les galettes racinaires et les souches renversées sont également mentionnées (Larrieu 2014, Winter et Möller 2008, Bütler et Lachat 2009) mais ne sont pas considérées comme des dendromicrohabitats à proprement parler.

b) Autres critères en lien avec les microhabitats.

Dans les études publiées sur les dendromicrohabitats, des critères supplémentaires pouvant avoir un effet sur les dendromicrohabitats ou sur la biodiversité sont soulignés. Plusieurs études montrent une corrélation positive significative entre le nombre de dendromicrohabitats portés par un arbre et son diamètre (Larrieu et Cabanettes 2012, Vuidot et al 2011, Michel et Winter 2009). L'espèce de l'arbre peut également avoir une influence sur la présence de microhabitats mais aussi sur les cortèges d'animaux qui y sont associés. Par exemple, Larrieu et Cabanettes (2012) ont montré une différence significative entre les conifères et les feuillus pour l'abondance et la diversité des dendromicrohabitats. Ces différences peuvent être expliquées par les propriétés des espèces (Meier 2009). En outre, certains taxons, coléoptères par exemple, préfèrent certaines espèces indépendamment des dendromicrohabitats qu'ils portent (Müller 2015, Regenery et al 2013). Un impact négatif de la branchaison sur la présence de dendromicrohabitats a été trouvé par Winter et al (2015). Cela peut correspondre inversement à l'impact positif de la luminosité disponible. En effet, les différences de luminosité et par conséquent les différences de température ont un impact sur la diversité des espèces rencontrées (Meier 2009). La luminosité augmente le nombre de dendromicrohabitats (Winter et al 2015) et a un effet positif sur l'abondance et la diversité des espèces de coléoptères (Bouget et al 2014) alors que les champignons par exemple préfèrent des conditions plus humides et plus ombragées. Prosylva (2003) propose également de tenir compte de la position de l'arbre dans le peuplement car les arbres de lisières ont un potentiel plus élevé d'abriter un nombre d'espèces différentes plus grand que les autres arbres.

II. Quels dendromicrohabitats choisir ?

A. Hiérarchie des dendromicrohabitats selon la littérature

1. Méthode

Dans cette partie nous allons essayer de hiérarchiser les différents dendromicrohabitats énoncés dans la partie précédente à partir de la littérature. Chacun recevra quatre scores. Le premier score est donné en fonction du nombre de taxons qu'il peut abriter. Le second est donné en fonction de la spécificité des taxons qu'il peut abriter. Le troisième correspond à la spécificité des conditions microclimatiques. Le dernier représente la probabilité pour ce dendromicrohabitat d'évoluer en un autre type de dendromicrohabitat. Une note totale sur 6 est calculée. Nous considérons qu'une absence d'information équivaut à un score nul. Plus le total calculé est élevé, plus le dendromicrohabitat sera élevé dans la hiérarchie écologique.

Nombre de taxon		Spécificité des taxons		Spécificité de la niche écologique		Evolution probable	
code	signification	code	signification	code	signification	code	signification
-	pas d'information	-	pas d'information	-	pas d'information	-	pas d'information
1	1 taxon						
2	2 ou 3 taxons	0	espèces non en danger ou spécialisés	0	niche écologique non spécifique	0	pas d'évolution possible
3	4 ou plus	1	espèces en danger ou spécialisées	1	niche écologique spécifique	1	évolution possible

Tableau 1 : Scores littéraires pour les dendromicrohabitats

2. Résultats

L'annexe 2 présente les scores littéraires attribués aux dendromicrohabitats. Le score littéraire le plus élevé est de 4. Il a été obtenu par les branches vertes cassées et les branches mortes en raison du nombre de taxons qu'elles peuvent accueillir et de leur capacité à évoluer en cavités issues de branches (« branch holes »). Avec 3 points, toutes les cavités sauf les cavités de nutrition des pics et les cavités racinaires, les dendrothelms, les plages sans écorce, les parties d'arbres cassées, les troncs dont la cassure forme des éclats (« splintered trunk »), les fentes, le gui, les exsudats de résine, les troncs creux et les couronnes secondaires sont plutôt importants. Les galeries et trous d'insectes, les cicatrices dues aux éclairs ou aux feux, les cavités racinaires, les balais de sorcières, les polypores, les plantes épiphytes, les nids, les exsudats de sève, les microsols et les fourches suivent avec 2 points.

Enfin, nous trouvons finalement les cavités de nutrition des pics, les balais de sorcières, les autres champignons et myxomycètes et les formes de taillis avec 1 point. Les fougères épiphytes et les ascomycètes n'ont reçu aucun point par manque de données.

3. Discussion

Le total du score correspondant à la littérature est comparé avec le score biologique donné par l'EFI. Il existe un dégradé du score selon les dimensions d'un même type de dendromicrohabitat d'après le score EFI alors qu'il n'existe pas dans le score littéraire. Par exemple, les cavités d'habitations des pics ont un score de 2 à 4 selon leur diamètre d'après le score EFI alors qu'elles ont un score global de 3 d'après le score littéraire. Ce dégradé a l'avantage d'être plus précis sur le score des dendromicrohabitats mais à l'inconvénient de ne pas hiérarchiser les dendromicrohabitats selon leur type. Il met sur un niveau d'égalité biologique des dendromicrohabitats comme les petites cavités de pics et les myxomycètes alors que les unes peuvent être utiles à plus d'espèces que les autres pour une spécificité des espèces, de la niche écologique et pour une évolution probable équivalente. Cette notation ne nous permet pas de confirmer notre hiérarchie mais pourra nous aider à affiner les critères de dimensions des dendromicrohabitats finalement choisis pour le prochain protocole LFI.

B. Fréquence des dendromicrohabitats

1. Méthode

Nous calculons la fréquence moyenne des dendromicrohabitats à partir des données collectées sur 14 des marteloscopes mis en place par l'EFI dans le cadre du projet Integrate+ (Annexe 4). Pour chaque marteloscope, tous les arbres ont été mesurés et localisés sur 1 hectare puis les dendromicrohabitats retenus ont été recensés sur chacun d'eux (EFI 2016). La liste des dendromicrohabitats étudiés est donc la première établie par les experts du projet Integrate+.

2. Résultats

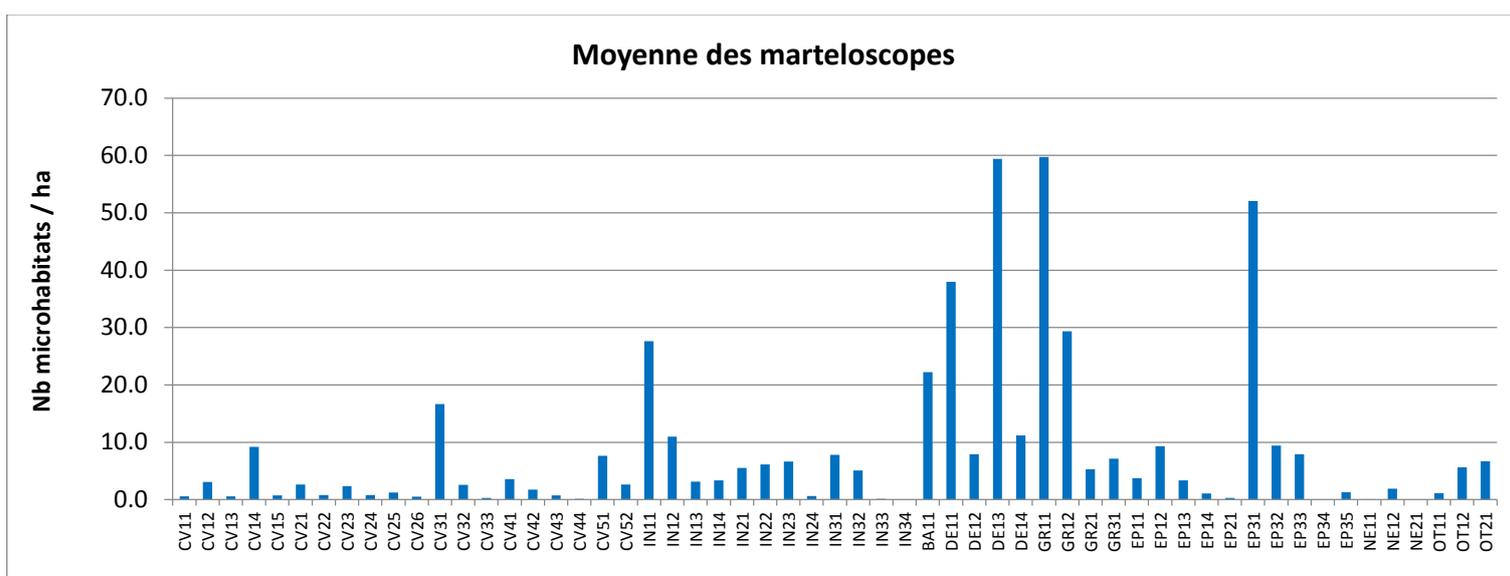


Figure 1 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats sur l'ensemble des marteloscopes.

La figure 1 nous montre que certains microhabitats n'apparaissent sur aucun des marteloscopes. Ce sont : les cicatrices dues au feu, les fougères épiphytes et les nids d'invertébrés. Plus de la moitié des dendromicrohabitats (33 sur 57, exclus ceux qui n'apparaissent pas du tout) apparaissent moins d'une fois par hectare. Ce qui paraît faible. Or ils sont classés par catégories de dimensions. Ils peuvent donc être regroupés par type.

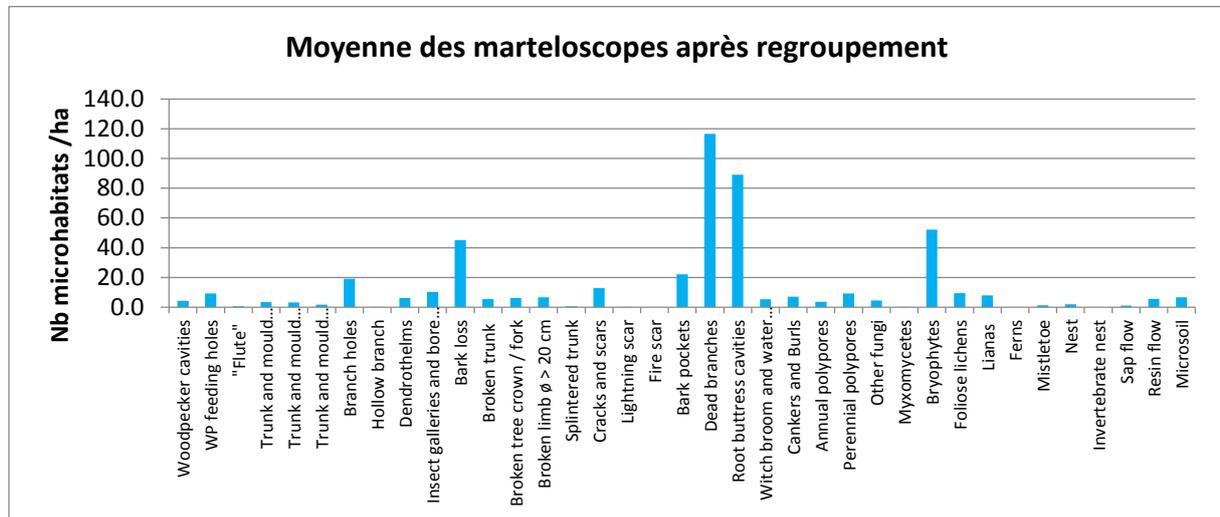


Figure 2 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats sur l'ensemble des marteloscopes avec regroupement des différentes dimensions d'un dendromicrohabitat de même nature.

Après regroupement (Figure 2), seuls 5 dendromicrohabitats apparaissent moins d'une fois par hectare (exclus ceux n'apparaissant pas du tout). Ce sont les flûtes (« Cavity string »), les branches creuses, les troncs brisés en éclats, les cicatrices dues à la foudre et les myxomycètes.

Certains dendromicrohabitats proposés dans la littérature n'ont pas de correspondance avec la liste EFI (fourche, taillis, arbres creux et couronnes secondaires) et nous ne pouvons donc pas réaliser la même analyse de fréquence pour eux. Par contre, nous pouvons considérer les données du LFI 3 pour les fourches et les taillis. Les fourches ont en moyenne sur l'ensemble du territoire suisse une fréquence de 35,3 par hectare. Les taillis ont en moyenne sur l'ensemble du territoire suisse une fréquence de 4,7 par hectare.

C. Part de chaque dendromicrohabitats dans la valeur écologique du peuplement.

1. Méthode

L'EFI propose une méthode pour calculer la valeur écologique d'un peuplement à partir des dendromicrohabitats qu'il contient. Elle est détaillée au paragraphe III.A.1. Dans cette partie, nous calculons le pourcentage moyen de la valeur écologique du peuplement que représente chaque dendromicrohabitat. Pour cela, nous utilisons les mêmes jeux de données que pour le calcul de la fréquence des dendromicrohabitats (paragraphe II.B.1).

2. Résultats

Les résultats sont présentés en annexe 3 dans les colonnes intitulées « %Ecoval ». La majorité des dendromicrohabitats représentent moins de 1% de la valeur écologique du peuplement. Trois

d'entre eux n'y ont aucune part : les fougères épiphytes, les nids d'invertébrés et les cicatrices résultant d'un feu. Seuls les cavités de pics d'un diamètre de plus de 30 cm, les cavités issues de branches, les plages de bois sans écorce avec un degré de décomposition inférieur à 3, les troncs cassés, les fentes, les décollements d'écorce, les branches mortes, les cavités racinaires, les chancre nécrosés, les champignons formant des polypores annuels, les bryophytes, les lianes, les coulées de résines et les micro-sols ont un pourcentage de la valeur écologique supérieur à 1 %.

En regroupant les dendromicrohabitats sans distinction de dimensions, le pourcentage de la valeur écologique du peuplement augmente de façon logique et générale. Cela reste pourtant insuffisant à certains dendromicrohabitats pour dépasser le 1% de la valeur écologique du peuplement. Une partie d'entre eux pourrait être encore regroupée comme les cavités naturelles mais pas l'autre. Dans ce cas, considérant leur faible importance, nous pourrions songer à les enlever de la liste. C'est le cas pour les « flûtes », les branches creuses, les cicatrices dues à la foudre, les balais de sorcières, les champignons formant des polypores pérennes, les champignons divers, les myxomycètes, les lianes, le gui, les nids et les coulées de sève.

D. Conclusion et proposition

Considérant leur absence sur 14 marteloscopes et l'absence de documentation à leur égard (0 point au score littéraire), nous pouvons songer à enlever les fougères épiphytes. Il en est de même pour les nids d'invertébrés et les cicatrices résultant d'incendie. Leur importance biologique est certes plus élevée que pour les fougères épiphytes mais toujours suffisamment faible.

Considérant la faible fréquence de certains dendromicrohabitats et le faible pourcentage de la valeur écologique du peuplement qu'ils représentent lorsqu'ils sont divisés par catégorie de dimensions ou autres sous-catégories, nous pouvons songer à relever ces dendromicrohabitats seulement au niveau de leur nature et non au niveau de leur dimension. Citons par exemple les cavités de pics. Il faut toutefois garder à l'esprit que ces dimensions ou sous-catégories peuvent avoir une importance biologique. Par exemple, pour les cavités naturelles du tronc, une ouverture partielle de la cavité apporte des conditions microclimatiques différentes. Ces sous-catégories pourraient être alors prises en compte sous la forme de questions secondaires, comme la cassure dite en éclat des troncs cassés.

Considérant la faible fréquence de certains dendromicrohabitats et le faible pourcentage de la valeur écologique du peuplement qu'ils représentent même après le regroupement des sous-catégories, il serait possible de les enlever en fonction de leur importance. Ainsi, les myxomycètes et les cicatrices résultant de la foudre pourraient être enlevés alors qu'il faudrait conserver les branches creuses, les troncs brisés en éclat et les « flûtes ».

Cependant, certains dendromicrohabitats sont déjà recensés sous forme de dégâts ou de structure particulière dans le protocole LFI et même s'ils ne semblent pas être prioritaires sur d'autres voir semblent pouvoir être enlevés, l'effort de leur recensement est moindre et ils doivent être gardés par rapport à la continuité des données LFI (voir VI). C'est le cas, par exemple, pour les cicatrices résultant de la foudre ou d'un feu.

En tenant compte des notions abordées précédemment, nous pouvons aboutir à la liste suivante :

Treemicrohabitats	Secondary questions	
Woodpecker cavities		
WP feeding holes		
"Flute"		
Trunk and mould cavities	ground contact	openness
Branch holes		
Hollow branch		
Dendrothelms		
Insect galleries and bore holes		
Bark loss		
Broken trunk	Splintered trunk	
Broken tree crown / fork		
Broken branches (broken limb $\varnothing > 20$ cm)		
Cracks and scars	causes : lightning, fire	
Bark pockets		
Dead branches		
Root buttress cavities		
Witch broom and water sprout		
Cankers and Burls		
Annual polypores		
Perennial polypores		
Other fungi		
Bryophytes		
Foliose lichens		
Lianas		
Mistletoe		
Nest		
Invertebrate nest		
Sap flow		
Resin flow		
Microsoil		
Fork		
Coppice		
Hollow tree		
Substitue or secondary crown		

Tableau 2 : Première proposition de liste des dendromicrohabitats (selon leur importance biologique et leur fréquence).

III. Choix des arbres à évaluer

Dans le cadre de l'Inventaire Forestier National suisse (LFI), le recensement des microhabitats ne doit consommer qu'un temps minimum. Afin de réduire celui-ci, nous pouvons essayer de déterminer une catégorie restreinte d'arbres à évaluer parmi ceux habituellement comptés dans le protocole du LFI. D'après la littérature et les observations faites sur une première phase de terrain (avril 2016), les arbres morts (Vuidot et al 2011, Regenery et al 2013b) et les arbres de gros diamètre (Larrieu et Cabanettes 2012, Vuidot et al 2011, Michel et Winter 2009, Bütler et Lachat 2009) portent plus de microhabitats que les autres. Nous pouvons supposés qu'ils représentent donc la majeure partie de la valeur écologique du peuplement. Dans cette partie, nous nous interrogerons sur la validité de cette hypothèse en traitant les données récoltées sur les marteloscopes du réseau EFI (projet Integrate+, 2013 -2016 ; Annexe 3).

A. Méthode

1. Données utilisées

Lors du projet Integrate+ un certain nombre de marteloscopes ont été mis en place par l'EFI à travers l'Europe. Tous les arbres présents sur 1 hectare ont été mesurés et localisés puis les dendromicrohabitats retenus (Excel EFI 2016) ont été recensés sur chacun d'eux. Nous avons eu accès aux données de 14 de ces marteloscopes (Annexe 4).

2. Méthode de calcul des valeurs écologiques

a) Méthode EFI

La méthode EFI consiste à calculer la valeur écologique de chaque arbre selon le nombre de dendromicrohabitats qu'il porte et en tenant compte de la valeur biologique (« score »), du temps de construction (« development ») et de la rareté (« scarcity ») de ceux-ci (Annexe 2, score EFI). La formule obtenue est la suivante :

$$EFI_i = \sum_j n_{i,j} \times sco_j \times (sca_j + dvp_j)$$

Où i l'arbre

j le type de dendromicrohabitat

$n_{i,j}$ le nombre de dendromicrohabitats de type j porté par l'arbre i

sco_j la valeur biologique du dendromicrohabitat j

sca_j la rareté du dendromicrohabitat j

dvp_j le temps de construction du dendromicrohabitat j

Pour établir la valeur écologique du peuplement, il suffit de sommer les valeurs écologiques de tous les arbres de celui-ci.

La valeur biologique, la rareté et le temps de construction du dendromicrohabitat correspondent à un score de 1 à 5 points, 1 étant la valeur la plus faible et 5 la plus forte. Le score a été attribué à dire d'expert.

b) Méthode Test1

La méthode Test1 consiste à calculer la valeur écologique de chaque arbre selon le nombre de dendromicrohabitats qu'il porte et leur diversité. La formule obtenue est la suivante :

$$Test1_i = m_{i,j} \times \sum_j n_{i,j}$$

Où i l'arbre

j le type de dendromicrohabitat

m_i le nombre de dendromicrohabitats différents portés par l'arbre i

$n_{i,j}$ le nombre de dendromicrohabitats de type j porté par l'arbre i

Pour établir la valeur écologique du peuplement, il suffit de sommer les valeurs écologiques de tous les arbres de celui-ci.

c) Application sur la base de données EFI.

Pour être capable de comparer ces deux méthodes de calculs, nous les avons appliqués sur des bases de données ayant la même forme, c'est-à-dire, celle donnée par le protocole EFI.

B. Résultats

1. Catégorie d'arbres selon leur statut (morts ou vivants).

L'idée consiste à n'évaluer que soit les arbres vivants soit les arbres morts.

a) A l'échelle du peuplement

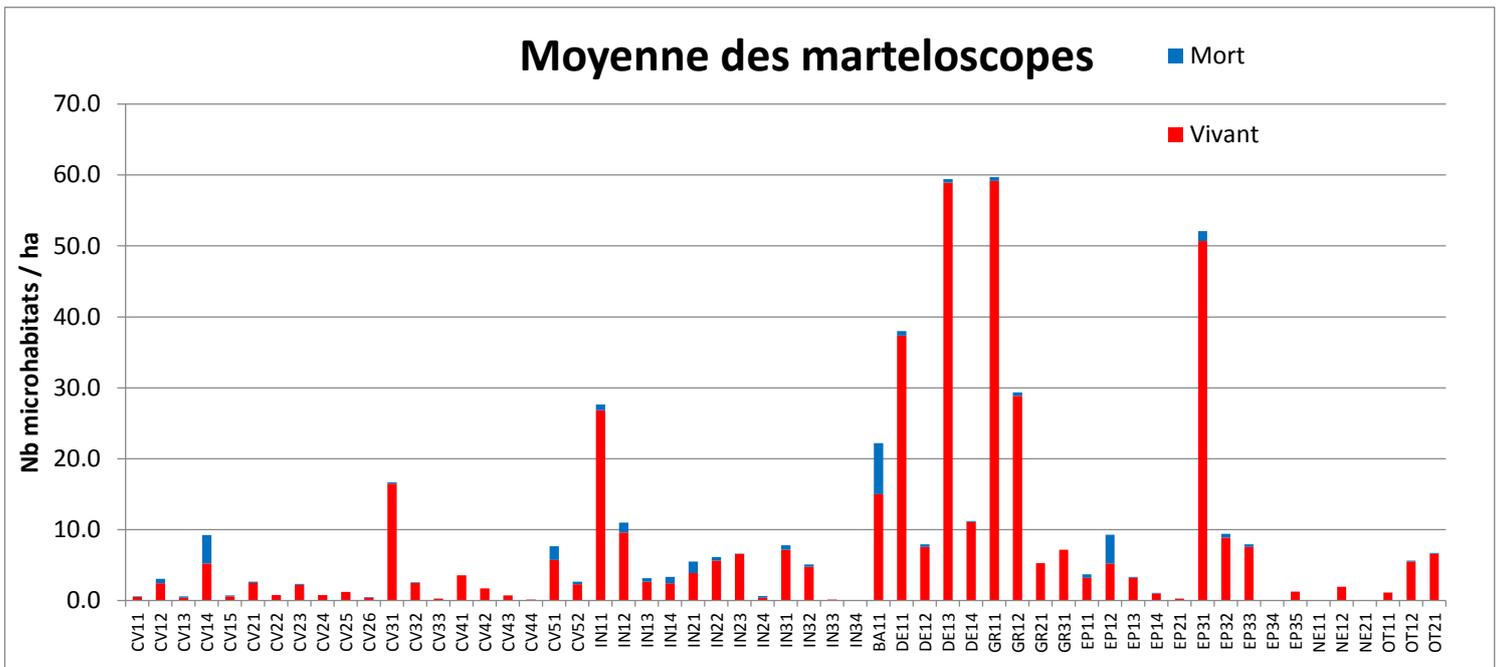


Figure 3 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats selon le statut de l'arbre.

La fréquence d'apparition des microhabitats sur l'ensemble des marteloscopes (Figure 1) montre que les microhabitats sont en général portés à la fois par des arbres vivants et des arbres morts. Toutefois, leur fréquence est beaucoup plus élevée sur les arbres vivants que sur les arbres morts. Cela s'explique facilement par la différence flagrante du nombre d'arbres vivants et du nombre d'arbres morts dans les peuplements (Tableau 3). Du reste, certains d'entre eux sont présents uniquement sur des arbres vivants comme les dendrothelmes à la base du tronc (CV33). Aucun dendromicrohabitat n'est porté uniquement sur des arbres morts.

Marteloscope	% arbres morts en nombre	% arbres morts en surface terrière	% valeur EFI score donné par les arbres morts	% valeur Test1score donné par les arbres morts
BEGroenendaal	0	0	0	0
CHGouemoens	4	5	12	18
CHSihlwald	4	3	27	26
DEEttenheim	0	0	0	0
DEIdarwald	0	0	0	0
DEMooswald	1	0	5	7
DERosskopf	2	1	26	37

DESteinkreuz	0	0	0	0
DEWaldhaus	4	11	10	9
FRAuberive	0	0	0	0
FRFalkenberg	0	0	0	0
FRFaverges	18	12	28	26
FRPremol	26	29	18	15
SIPahernik	0	0	0	0

Tableau 3 : Importance des arbres morts dans la valeur écologique des peuplements

Le tableau précédent montre que :

- ✓ 7 marteloscopes n'ont pas d'arbres morts
- ✓ Les arbres morts représentent 3 à 29 % de la surface terrière.
- ✓ Les arbres morts représentent 10 à 28 % de la valeur écologique du peuplement donnée par la méthode EFI et 7 à 37 % de la valeur écologique du peuplement donnée par la méthode Test1score.

b) A l'échelle de l'arbre

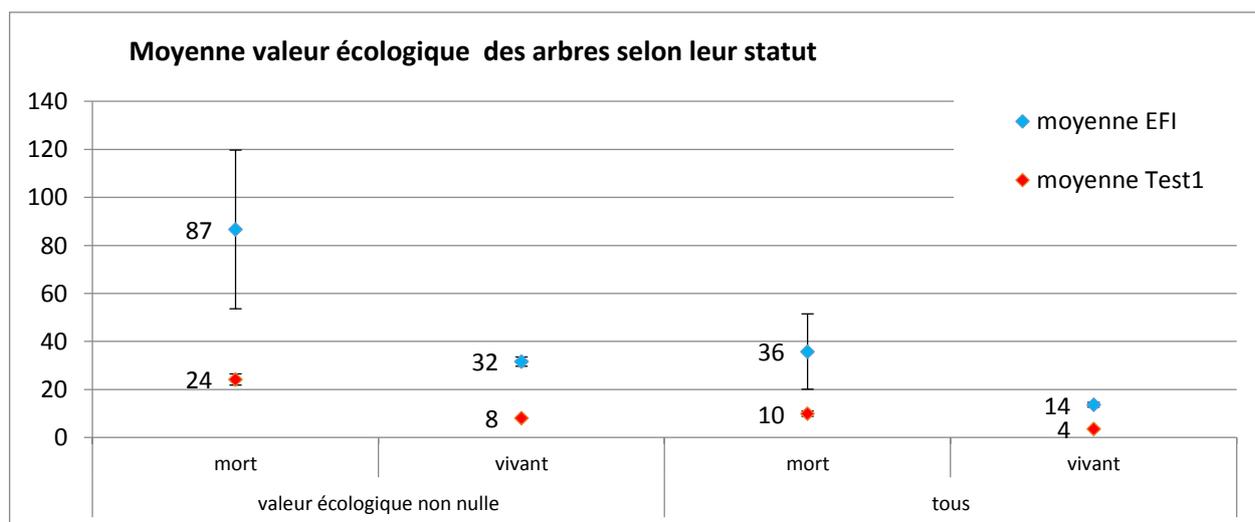


Figure 4 : Moyenne de la valeur écologique EFI selon le statut de l'arbre.

La figure 4 montre que la valeur écologique calculée selon la méthode EFI est en moyenne significativement plus élevée pour les arbres morts que pour les arbres vivants. Il en est de même avec la méthode de calcul Test1 même si les valeurs écologiques moyennes sont plus faibles.

c) Conclusion

Nous ne pouvons pas déterminer une catégorie d'arbres à évaluer selon leur statut car :

- ✓ chacun des statuts représente une part significative de la valeur écologique d'un peuplement, quelle que soit la méthode de calcul utilisée,
- ✓ les arbres morts ont une valeur écologique EFI plus élevée que les arbres vivants mais sont moins nombreux que ces derniers, voir absents.

2. Catégorie d'arbres selon leur diamètre.

L'idée consiste à évaluer les arbres à partir d'un diamètre minimum seulement. Les diamètres limites étudiées correspondent à ceux utilisés dans le protocole actuel du LFI, soit 12 et 36 cm.

a) A l'échelle du peuplement

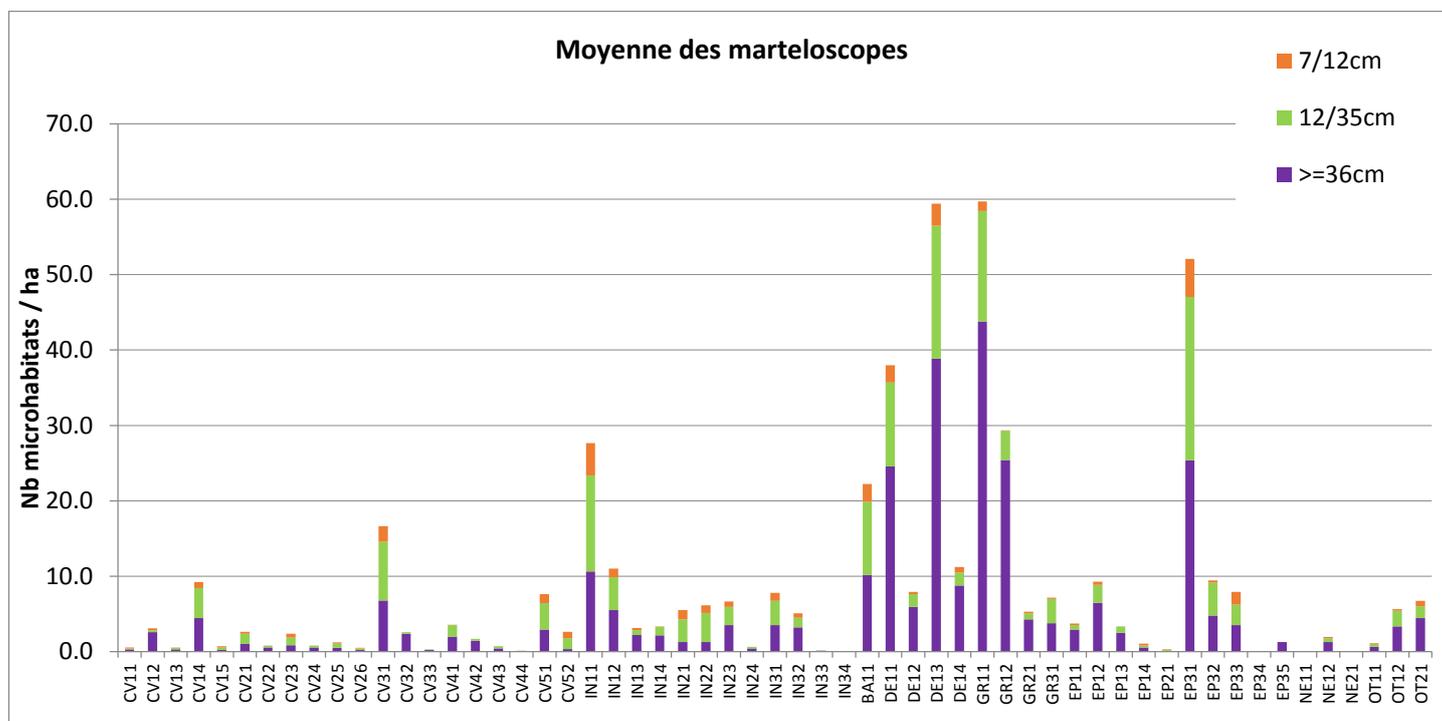


Figure 5 : Fréquence moyenne des dendromicrohabitats selon leur classe de diamètre

La fréquence d'apparition des microhabitats sur l'ensemble des marteloscopes (Figure 5) montre que la répartition des microhabitats selon les classes de diamètres dépend de leur nature. Par exemple, les cavités racinaires supérieures à 10 cm de diamètre (GR12) sont essentiellement portées par des arbres dont le diamètre est supérieur à 36 cm alors que les fourches ou parties de la couronne cassées (IN22) sont plus souvent portées par des arbres de 12 à 35 cm de diamètre que par les autres. Cependant, la majorité des dendromicrohabitats sont portés en majorité par des arbres dont le diamètre est supérieur à 36 cm (33 sur 57 dendromicrohabitats). Par ailleurs, certains microhabitats sont présents uniquement sur les arbres supérieurs à 36 cm de diamètre comme le gui (EP35) ou les petits nids de vertébrés (NE11).

Marteloscope	% en nombre			% en surface			% EFI score			% Test1 score		
	7-11 cm	12-35 cm	> 36 cm	7-11 cm	12-35 cm	> 36 cm	7-11 cm	12-35 cm	> 36 cm	7-11 cm	12-35 cm	> 36 cm
BEGroenenda	4	43	53	0	12	88	2	22	76	2	18	80
CHGouemoen	0	46	54	0	13	87	0	17	83	0	10	90
CHSihlwald	28	31	41	1	8	91	5	15	80	6	19	75
DEEettenheim	38	33	29	5	28	67	24	14	61	29	14	57

DEIdarwald	29	47	24	2	20	77	10	42	48	7	29	64
DEMooswald	47	45	8	7	34	59	38	44	18	42	40	19
DERoskopf	39	24	37	2	7	91	3	33	64	2	28	70
DESteinkreuz	2	58	40	0	28	72	1	34	65	2	43	55
DEWaldhaus	0	31	69	0	7	93	0	12	88	0	7	93
FRAuberive	54	36	10	11	31	58	15	32	53	8	29	63
FRFalkenberg	14	47	39	1	15	84	4	39	57	2	36	62
FRFaverges	16	48	36	1	28	71	0	45	55	0	45	55
FRPremol	11	45	44	1	16	83	3	42	55	3	38	59
SIPahernik	17	50	34	1	22	77	10	44	46	15	41	45

Tableau 4 : Importance des différentes classes de diamètre dans la valeur écologique des peuplements

Le tableau 5 montre que :

- ✓ 2 marteloscopes n'ont pas la classe de diamètre 7-12 cm : Gouemoens (CH) et Waldhaus (DE) (en vert).
- ✓ Les arbres de diamètre supérieur à 36 cm représentent 58 à 93 % de la surface terrière totale du peuplement (en rouge).
- ✓ Les arbres de diamètre supérieur à 36 cm représentent 18 à 88 % de la valeur écologique du peuplement selon la méthode de calcul EFI et 19 à 93 % de la valeur écologique du peuplement selon la méthode de calcul Test1score (en rose).

% valeur écologique du peuplement	Nombre de marteloscopes	
	EFI score	Test1score
< 50 %	3	2
50 – 59 %	4	4
60- 69 %	3	3
70-79%	1	2
80- 89	3	1
> 90%	-	2
Total	14	14

Tableau 5 : Nombre de marteloscopes en fonction du pourcentage de la valeur écologique représentée par les arbres supérieurs à 36 cm de diamètre

La valeur écologique du peuplement est représentée à plus de 50 % par les arbres de plus de 36 cm de diamètre pour plus de 75 % des marteloscopes, quelle que soit la méthode de calcul utilisée. Seuls les marteloscopes de Mooswald (DE), de Pahernik (SI) et de Idarwald (DE) ont une valeur écologique représentée à moins de 50 % par les arbres supérieurs à 36 cm de diamètre (en bleu).

b) A l'échelle de l'arbre.

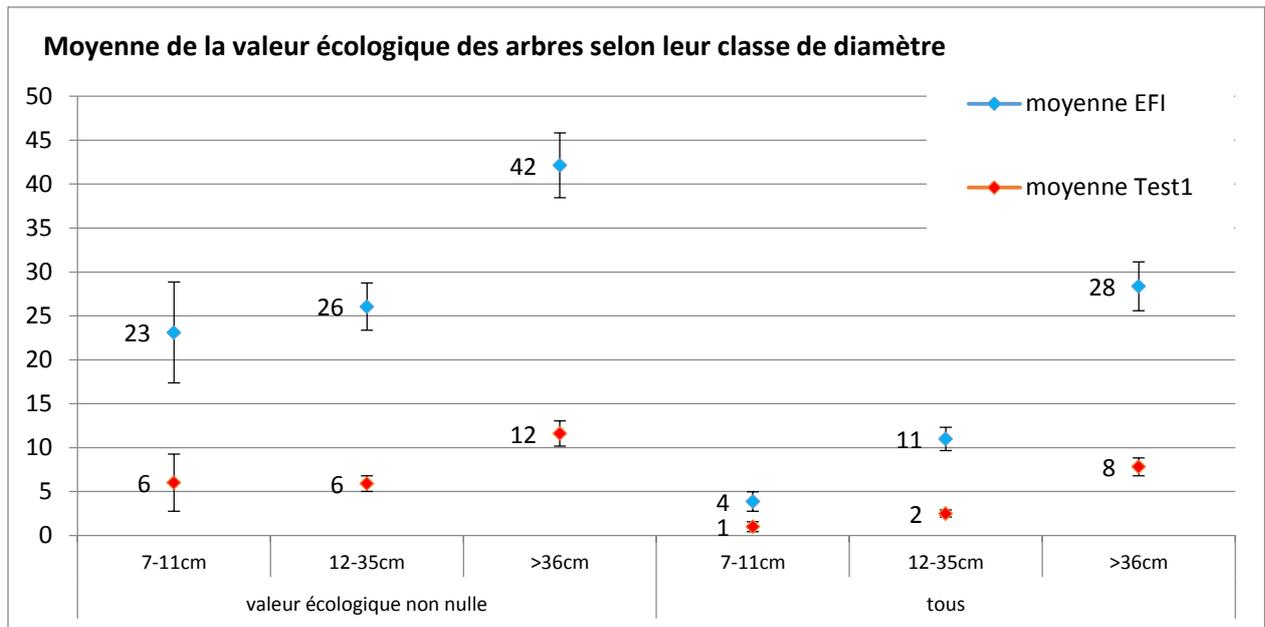


Figure 6 : Moyenne de la valeur écologique des arbres selon leur classe de diamètre

La figure 6 montre que les arbres d'un diamètre supérieur à 36 cm ont une valeur écologique EFI significativement plus élevée que les arbres appartenant aux classes de diamètre. Il en est de même avec la méthode de calcul Test1 même si les valeurs écologiques moyennes sont plus faibles. Par ailleurs, si nous ne tenons pas compte des arbres ayant une valeur écologique EFI nulle, il apparaît que les arbres des classes de diamètre 7-11 cm ou 12-35 cm ont sensiblement la même valeur écologique alors qu'elles sont significativement différentes lorsque nous en tenons compte. Avec la méthode de calcul Test1, les valeurs écologiques des classes de diamètre 7-11 cm et 12-35cm sont sensiblement les mêmes dans les deux cas.

c) Conclusion

Nous ne pouvons a priori pas déterminer une catégorie d'arbres à évaluer selon la classe de diamètre car :

- ✓ nous pourrions perdre la valeur des microhabitats portés préférentiellement sur certaines classes de diamètre, par exemple les troncs cassés (IN21) ou les fourches ou parties de la couronne cassées (IN22) portés par des arbres de la classe 12-35 cm.
- ✓ nous pourrions perdre une part importante de la valeur écologique du peuplement quelle que soit la méthode de calcul utilisée.

C. Discussion

1. Méthodes de calculs

La méthode de calcul EFI présente l'inconvénient d'être didactique et non scientifique quant aux scores attribués pour les différents paramètres utilisés puisqu'il n'existe aucune étude scientifique permettant de les hiérarchiser à ce jour. La seconde méthode a été pensée pour s'absoudre de ce problème mais présente a contrario l'inconvénient de mettre tous les dendromicrohabitats à un même niveau biologique, ce qui n'est pas le cas en réalité.

Par ailleurs, avec la méthode EFI, nous pouvons obtenir une valeur écologique forte pour un arbre qui ne porte que quelques microhabitats différents mais un grand nombre de répétition de l'un d'eux alors qu'un autre arbre portant plus de microhabitats différents mais uniques obtiendra une valeur écologique plus faible que le premier. Or, les dendromicrohabitats ne supportent pas les mêmes cortèges d'espèces et nous pouvons supposer que le second arbre offrira un habitat pour davantage d'espèces que le premier. Il faudrait ainsi pondérer les valeurs écologiques par la diversité des dendromicrohabitats recensés.

2. Catégories d'arbres à considérer.

D'après nos résultats, réduire le temps attribué au recensement des microhabitats en ne prenant que certaines catégories d'arbres ne peut se faire qu'en perdant une part importante de la valeur écologique. Peut-être serait-il plus profitable alors d'évaluer tous les arbres, c'est-à-dire quel que soit leur statut et à partir de 12 cm, mais sur une surface restreinte par rapport à celle d'une placette de l'inventaire forestier national puis de la généraliser.

Par ailleurs, d'après la littérature, il apparaît que la qualité et l'occurrence de ces dendromicrohabitats diffèrent selon le statut des arbres qui les portent. Par exemple, les champignons saproxyliques sont beaucoup plus fréquents sur les arbres morts sur pied que sur les arbres vivants (Larrieu et al 2012) mais y ont une qualité plus faible que sur les arbres vivants (Winter and Müller 2009) liée à leur vitesse de décomposition. De même, certaines chauves-souris utilisent plus souvent les cavités et les fentes sur des arbres vivants que sur des arbres morts (Larrieu 2014 d'après Pénicaud 2000). Une différence de valeur écologique pourrait donc être faite entre les arbres morts et les arbres vivants mais cela nécessiterait des études supplémentaires qui ne sont actuellement pas disponibles.

IV. Reproductibilité du recensement des dendromicrohabitats.

A. Objet de l'étude : marteloscope de Sihlwald

1. Contexte

Le marteloscope de Sihlwald est situé dans le canton de Zurich (figure 7), au cœur de la réserve forestière portant le même nom. C'est une forêt mixte de montagne avec comme principales essences le sapin, l'épicéa et le hêtre.

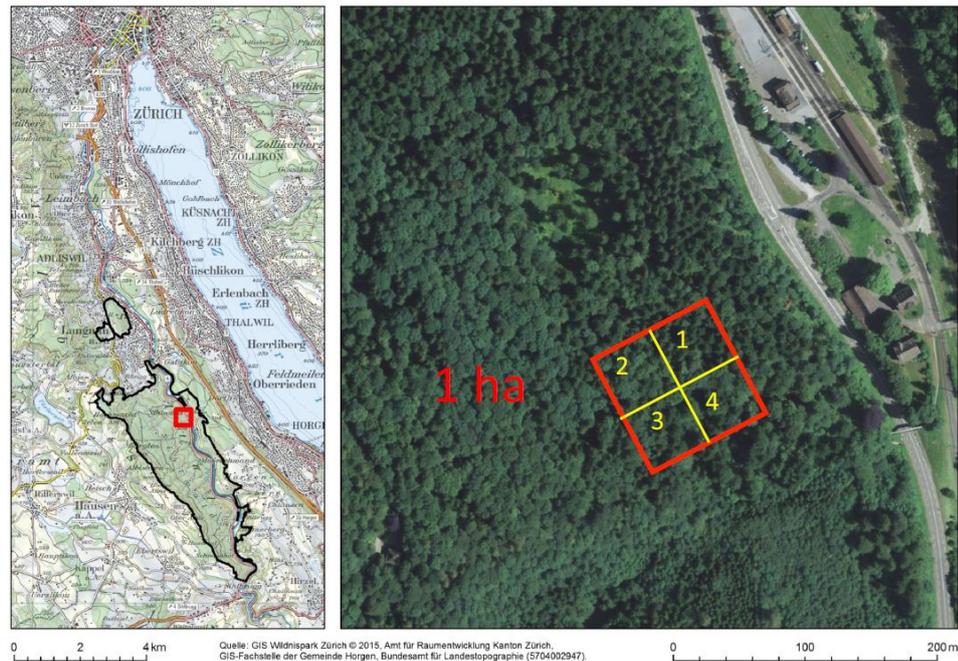


Figure 7 : Plan de localisation de Sihlwald

Le marteloscope s'étend sur une surface de 1 hectare qui a été divisé en quart de 0,25 ha. Il a été installé sous l'impulsion du projet « Integrate+ » développé par l'Institut Forestier Européen (EFI) en 2015. Tous les arbres ont été localisés et ont été inspectés à la recherche de dendromicrohabitats selon le protocole EFI.

Notre travail a été concentré sur les quarts 2 et 4 en raison de leur plus forte valeur écologique calculée selon le modèle EFI par rapport aux quarts 1 et 3.

2. Quelques données générales

Les quartiers 2 et 4 du marteloscope de Sihlwald représentent tous deux une surface de 0,25 ha et sont respectivement situés au Nord-Ouest et au Sud-Est par rapport au centre du marteloscope.

Nous avons évalués 41 arbres dans le quartier 2 et 31 arbres dans le quartier 4. Tous ont un diamètre supérieur à 36 cm.

Pour les arbres vivants supérieurs à 36 cm de diamètre, le quartier 2 présente une surface terrière de 48 m²/ha et le quartier 4 présente une surface terrière de 44 m²/ha. A cela s'ajoutent les arbres morts sur pied de plus de 36 cm de diamètre, présentant une surface terrière de 5 m²/ha pour chacun des deux quartiers.

Le quartier 2 est composé majoritairement de résineux (Sapin pectiné et Epicéa commun) en plus de quelques essences feuillues comme l'Erable sycomore, le Hêtre et le Frêne. Le quartier 4 est majoritairement composé de Sapin pectiné et de Hêtre et nous avons trouvé ponctuellement quelques Frênes.

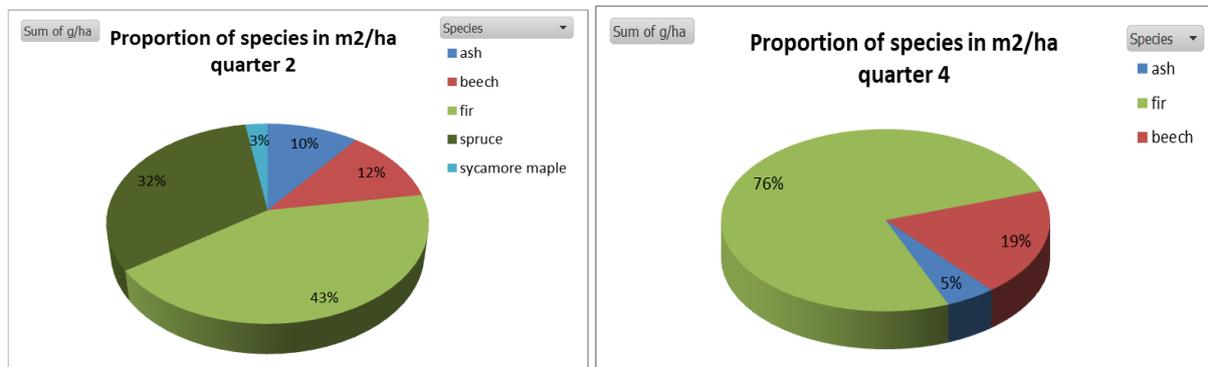


Figure 8 : Répartition des essences en surface terrière.

B. Reproduction de l'inventaire du marteloscope de Shilwald

L'inventaire des dendromicrohabitats a été réalisé une première fois en 2015. Nous souhaitons le reproduire afin de savoir si nous retrouvons les mêmes dendromicrohabitats et donc savoir si leur recensement est reproductible.

1. Méthode

Nous utilisons un catalogue de dendromicrohabitats aménagé à partir de celui du premier catalogue des dendromicrohabitats publiés par l'EFI. Ce nouveau catalogue nous permettra d'introduire des indications et des dendromicrohabitats supplémentaires tout en assurant la possibilité de revenir au catalogue initial. Il est explicité en annexe 5.

Les observations se font par 3 à 4 observateurs et sans limite de temps. Les observateurs peuvent utiliser des jumelles et l'inventaire est réalisé hors période de végétation de façon à respecter les conditions du premier inventaire.

2. Résultats

a) Les dendromicrohabitats présents selon le protocole LFITest.

Nous avons trouvés 20 microhabitats différents dans le quartier 2 et 28 dans le quartier 4. Ils sont représentés dans les tableaux ci-dessous. Sur chacune des surfaces, sont présents : des cavités, naturels ou de pics, des cavités racinaires, des galeries d'insectes, un nid, quelques branches cassées et quelques branches mortes quelle que soit leur dimension, un certain pourcentage de houppier mort ou cassé, des champignons, des fourches, un recouvrement du tronc par des bryophytes, des plages de bois sans écorce, des décollements d'écorce et quelques autres dendromicrohabitats ponctuellement.

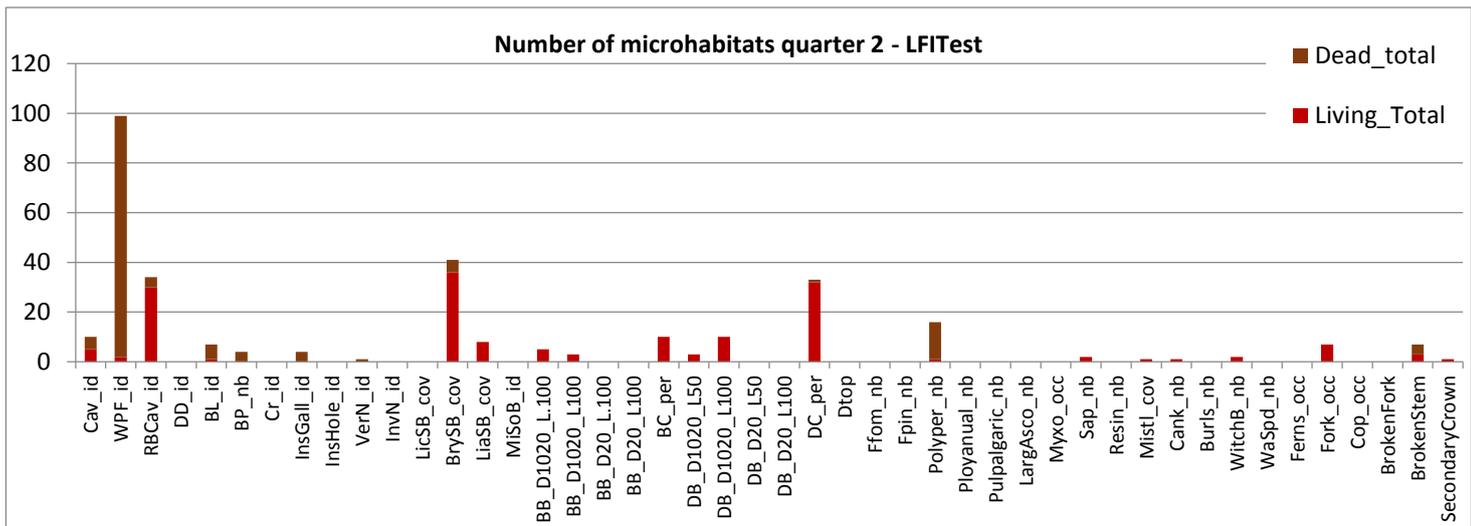


Figure 9 : Fréquence des dendromicrohabitats sur le quartier 2 d'après l'inventaire LFITest

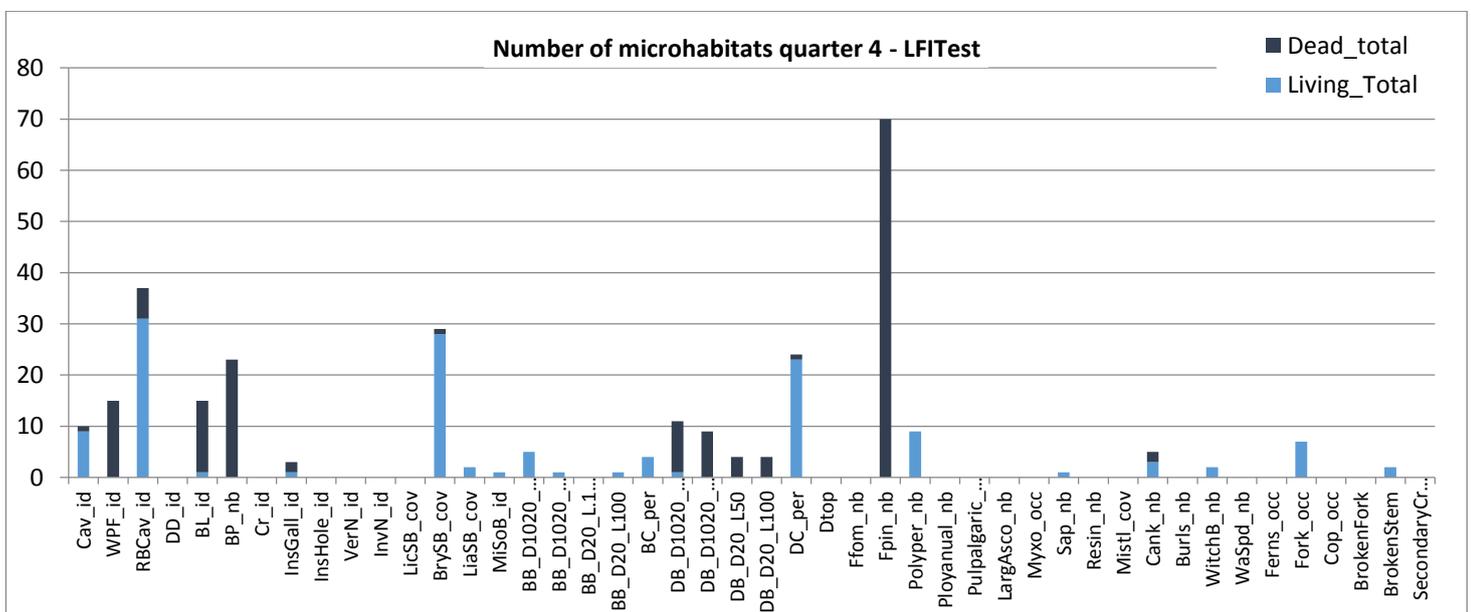


Figure 10 : Fréquence des dendromicrohabitats sur le quartier 4 selon l'inventaire LFITest

Les arbres évalués portent respectivement 1 à 52 microhabitats dans le quartier 2 et 1 à 48 microhabitats dans le quartier 4. Pour les deux quarts, il est possible de trouver 1 à 9 microhabitats différents sur un même arbre. Cependant, il faut noter premièrement que nous avons trouvé des bryophytes sur pratiquement tous les arbres et que nous les avons comptés même si leur surface est très faible et deuxièmement que sur les arbres morts il y avait un très grand nombre de répétition d'un type de microhabitat comme les 70 champignons *Formis pinicola* de l'arbre 353 dans le quartier 4.

b) Localisation des microhabitats.

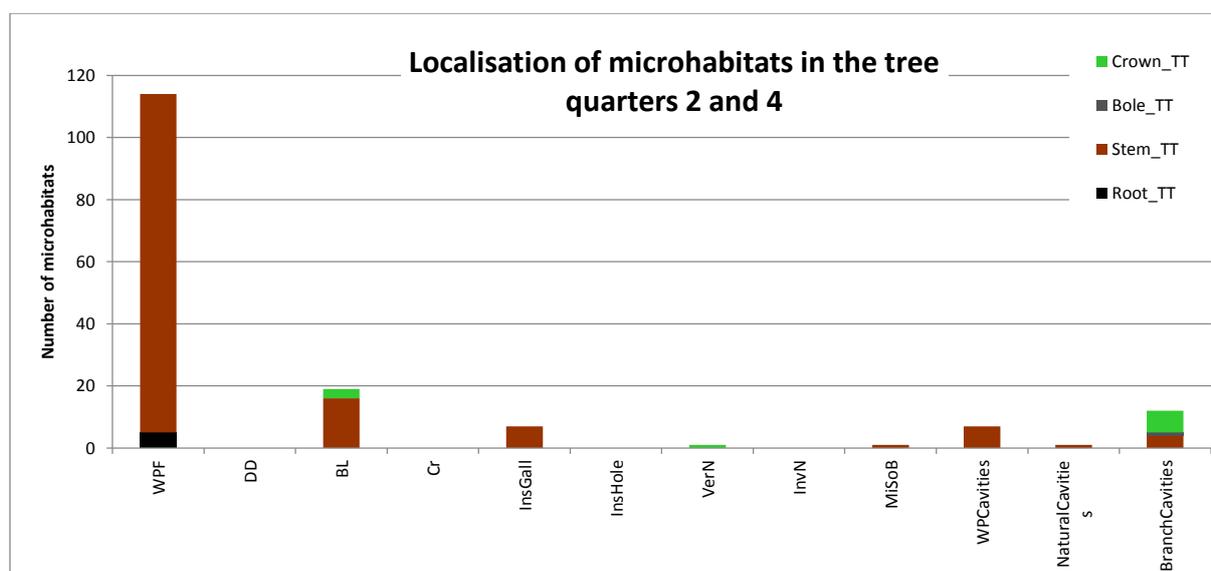


Figure 11 : Localisation sur l'arbre des dendromirohabitats, quartier 2 et 4 confondus

La localisation des dendromirohabitats varie très fortement en fonction de leur type. Si l'on veut définir un secteur de l'arbre à observer, il faudrait le faire pour chaque type d'habitat et non pour leur ensemble. Cependant, il faut souligner que la présence de certains types de microhabitats est également liée au statut de l'arbre comme les cavités de nutrition des pics.

c) Dimension des microhabitats.

Pour chaque type de microhabitat, leur nombre d'apparition est trop faible pour en tirer des conclusions significatives et établir de façon rigoureuse des règles générales. Cependant, certaines tendances peuvent apparaître.

Diameter average	Quarter 4		Quarter 2		Total	
	nb	%	nb	%	nb	%
3 - 9 cm	12	80	79	80	91	80
≥ 10 cm	3	20	20	20	23	20
total	15	100	99	100	114	100

Tableau 6 : Diamètre des cavités de nutrition des pics

D'après le tableau précédent, 80 % des cavités de nutrition de pics font moins de 10 cm de diamètre moyen. Ne pas les prendre en compte revient à sous-estimer considérablement la valeur écologique de l'arbre ou du peuplement. Cependant, sur les arbres morts, compter chacun d'eux demande beaucoup de temps et est fastidieux. Un relevé par classes serait plus efficace.

Largeur	Quarter 2		Quarter 4		Total	
	nb	%	nb	%	nb	%
< 10 cm	8	27	7	19	15	22
≥ 10 cm	22	73	30	81	52	78
total	30	100	37	100	67	100

Tableau 7 : Largeur à la base des cavités racinaires

En nous limitant à une profondeur minimale de 10 cm, il apparaît qu'environ 80 % des cavités racinaires ont une largeur supérieure à 10 cm. Enlever les cavités dont la largeur est inférieure à 10 cm du protocole ne sous-estime que faiblement la valeur écologique de l'arbre.

Plages sans écorce	Quarter 2		Quarter 4		Total	
	nb	%	nb	%	nb	%
25-99 cm ²	2	29	7	47	9	41
100-599 cm ²	0	0	4	27	4	18
≥ 600 cm ²	5	71	4	27	9	41
total	7	100	15	100	22	100

Tableau 8 : Surface des plages de bois sans écorce

Les plages sans écorce ont des dimensions très variables. Limiter inférieurement leur surface à 100 cm² ferait perdre une part importante des plages sans écorce. Cependant, leur nombre est insuffisant pour pouvoir décider de façon significative d'une limite inférieure de surface.

Champignons	Quarter 2		Quarter 4		Total	
	nb	%	nb	%	nb	%
≥5 cm	9	56	37	47	46	48
≥ 10 cm	7	44	42	53	49	52
total	16	100	79	100	95	100

Tableau 9 : Diamètre minimal des champignons

Nous pouvons observer qu'il y a autant de champignons avec un diamètre compris entre 5 et 9 cm qu'avec un diamètre supérieur à 10 cm. Prendre comme limite un diamètre minimal ferait perdre ainsi la moitié des données concernant les champignons pour le marteloscope de Sihlwald.

	Quarter 2						Quarter 4						Total					
	BrySB_cov		BryS_cov		Bry7m_cov		BrySB_cov		BryS_cov		Bry7m_cov		BrySB_cov		BryS_cov		Bry7m_cov	
	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%
< 25 %	25	61	29	71	28	68	21	68	22	71	22	71	46	64	51	71	50	69
> 25 %	16	39	12	29	13	32	10	32	9	29	9	29	26	36	21	29	22	31
Total	41	100	41	100	41	100	31	100	31	100	31	100	72	100	72	100	72	100

Tableau 10 : Recouvrement de la surface de l'arbre par les bryophytes (limite inférieur de 25 %)

D'après le tableau 13, la limite inférieure de 25 % de recouvrement de la surface par les bryophytes élimine environ 70 % des arbres. Cela permet de faire une différence pertinente en termes de valeur écologique entre ces différents arbres.

N.B : Aucun arbre ne porte de lichens et seulement quelques-uns portent des lianes. Cela ne nous permet pas de faire des analyses similaires à celle des bryophytes pour ces derniers.

d) Comparaison avec les résultats trouvés lors de la campagne EFI (début 2015).

(1) Critères identiques après regroupement.

Nous avons analysé pour chaque arbre le nombre de différence entre les microhabitats trouvés lors de notre campagne et le nombre de microhabitats trouvés lors de la campagne réalisée avec l'équipe de l'EFI. Deux arbres ont été soustraits à l'analyse : l'arbre 344 a été retrouvé couché au sol et l'arbre 247 n'a pas été traité dans le quart 4 mais dans le quart 3 lors de la campagne de l'EFI. Un total de 71 arbres a ainsi été évalué.

Seulement 8 arbres ne présentent pas de différence entre les deux campagnes et les deux campagnes montrent qu'ils ne portent aucun microhabitat. 84 % des différences sont de type présence/absence d'un microhabitat, c'est-à-dire qu'un microhabitat donné a été trouvé lors d'une campagne mais pas dans l'autre, et 16 % des différences concernent le nombre de microhabitats d'un type donné, c'est-à-dire que la présence d'un microhabitat donné a été trouvée lors des deux campagnes mais que le nombre de fois où il est visible sur l'arbre n'est pas le même. Par exemple, sur l'arbre 353, 70 champignons ont été trouvés lors de l'inventaire LFITest contre seulement 8 lors de l'inventaire EFI.

Tous les types de microhabitats sont concernés par des différences. Les microhabitats qui n'ont été trouvés durant aucune des campagnes d'inventaire ont été retirés.

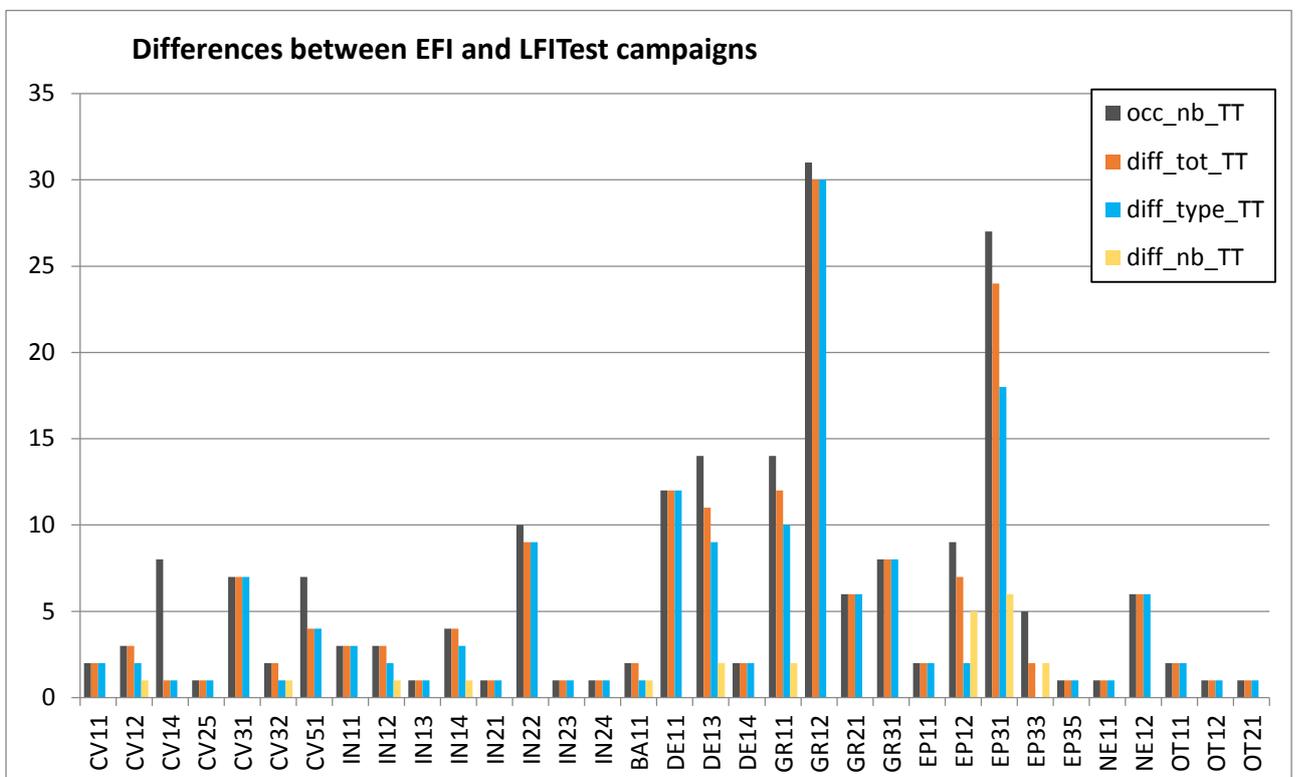


Figure 12 : Analyse des différences entre les campagnes d'inventaire EFI et LFItest

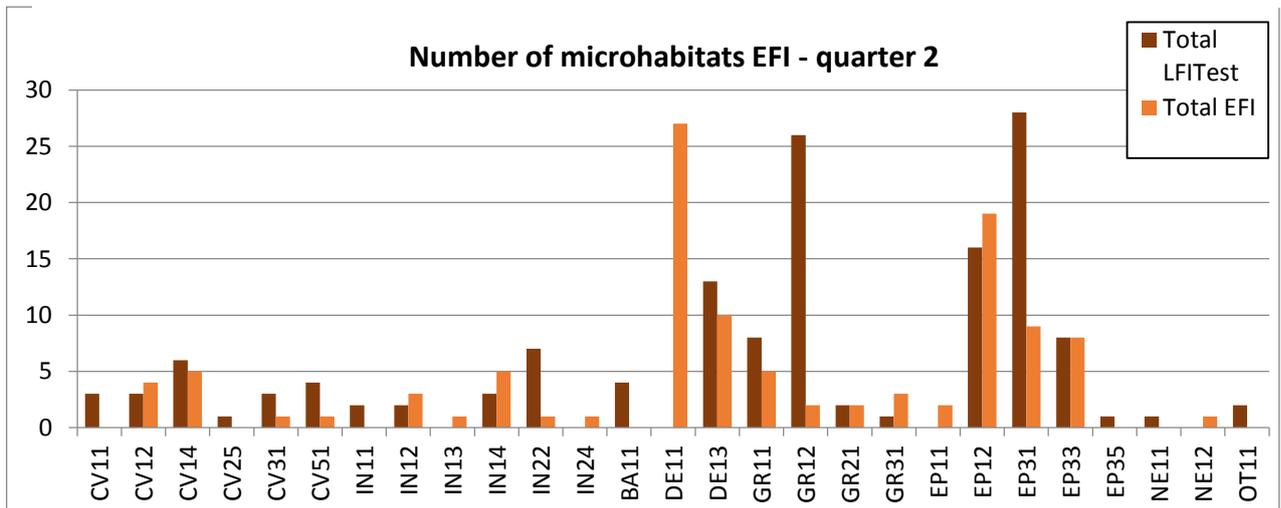


Figure 13 : Inventaire des dendromicrohabitats durant les campagnes d'inventaire EFI et LFItest, quartier 2

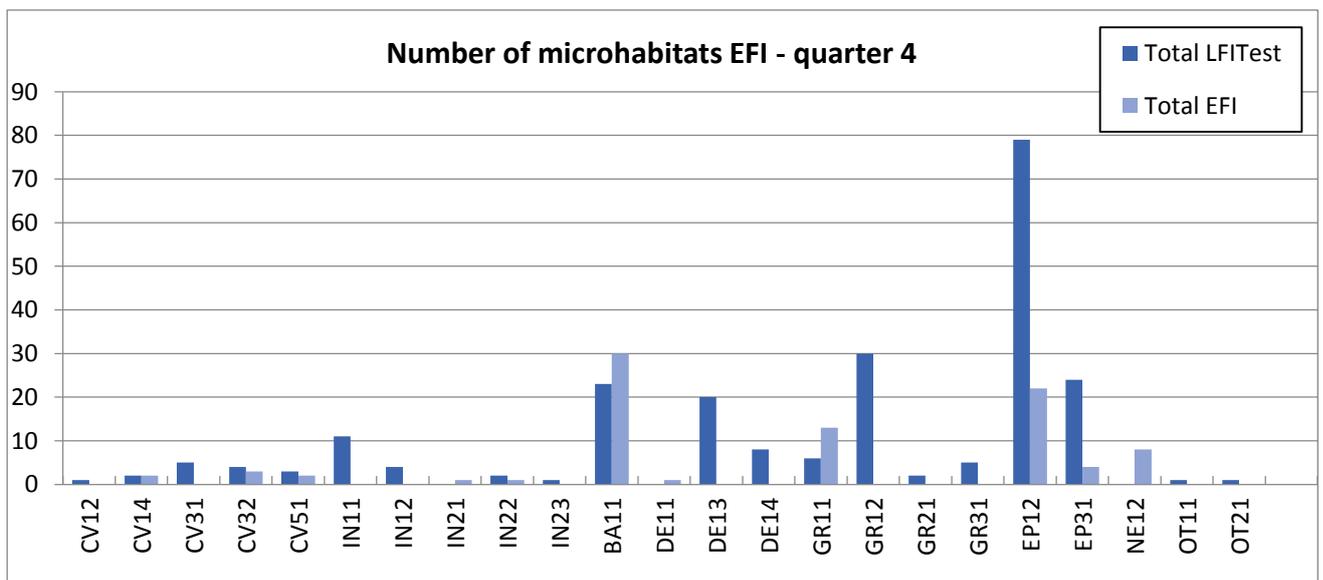


Figure 14 : Inventaire des dendromicrohabitats durant les campagnes EFI et LFItest, quartier 4

Des **cavités de pics** (CV11 et CV12) n'ont été trouvées que lors de la campagne LFItest. Deux hypothèses peuvent être faites. Soit elles ont été formées pendant le laps de temps entre les deux campagnes, soit il y a un effet de l'observateur qui doit estimer si la cavité forme un cratère (Legrand et Bartoli 2005, EFI catalogue) ou est creuse. En ce sens, Lachat (2016) travaille sur un projet de caméra 360° permettant de décrire l'intérieur des cavités.

La présence de **trous de nutrition des pics** ne présente que peu de différences entre les deux campagnes. En effet, ce microhabitat est clairement distinguable. Il est présent en majorité sur des arbres morts au moment de la campagne LFItest. La différence de présence est sans doute lié au changement de statut de l'arbre 118 qui est passé de sain à dépérissant suite à la perte d'une grande partie de sa couronne.

Nous trouvons sensiblement le même nombre de **cavités formées à partir de branches** (CV31 et CV32) mais nous pouvons voir sur la figure 5 que ce ne sont jamais les mêmes cavités qui ont été trouvés excepté une fois sur l'arbre 335.

Nous observons qu'une **cavité naturelle** situé au niveau du tronc et avec un toit semi-ouvert est apparu entre les deux campagnes. Ce microhabitat est situé sur l'arbre 188 et son apparition est donc expliquée par le changement de statut de cet arbre.

Des **plages sans écorces** (IN11 à IN14) ont été trouvées lors des deux campagnes et sont globalement situés sur les mêmes arbres dans l'une et l'autre des campagnes. Ces arbres sont quasiment tous des arbres morts : 4 arbres sur les 5 portant des plages sans écorce sont morts dans le quartier 2 et 1 sur 2 dans le quartier 4. En outre, nous observons des différences dans l'estimation de l'état de décomposition et dans la façon d'évaluer leur nombre. Cette dernière caractéristique peut s'expliquer par le statut mort de l'arbre et plus précisément par l'avancement de leur état de décomposition et la difficulté de différencier les différents plages sans écorce lorsque le recouvrement de l'arbre par celle-ci est moindre. Ce microhabitat soulève la question de la différenciation des arbres morts et vivants : il serait souhaitable de définir pour les arbres morts un recouvrement de la surface par l'écorce et de garder pour les arbres vivants un compte du nombre de plage sans écorce.

Nous pouvons observer que le nombre de **brisure de la couronne** (IN22) a augmenté entre les deux campagnes dans le quart 2. Ce recru d'arbres brisés correspond aux arbres passés du statut vivant au statut mort entre les deux campagnes. Un tronc brisé (IN21), l'arbre 354, semble avoir disparu mais il a en fait été classé dans la catégorie couronne brisée (IN22). Cela montre la nécessité d'une dénomination et d'une définition claire pour ce microhabitat. Une branche principale cassée (IN23) est aussi apparue ainsi que un tronc éclaté. Ce dernier correspond à l'arbre 118 qui a changé de statut.

Les **décollements d'écorce** formant des poches (BA11) sont présents uniquement sur deux arbres, tous deux morts. La différence de présence entre les deux campagnes peut s'expliquer par la mort d'un des arbres entre les deux campagnes et la différence de nombre par la difficulté de les compter lorsqu'elles sont en très grand nombre. Ce microhabitat soulève également la question du lien entre ce dernier et le statut vivant ou mort des arbres.

Des **branches mortes** (DE11 à DE14) ont été trouvées lors des deux campagnes mais nous pouvons voir un certain nombre de différence. Lors de la campagne LFITest, nous n'avons pas été en mesure de classer les branches en fonction de leur exposition au soleil et avons donc décidé de les placer par défaut dans la classe non exposé au soleil. Cela explique l'absence totale de branches mortes exposées au soleil lors de la seconde campagne. Les différences peuvent aussi s'expliquer également par la difficulté constatée à estimer le diamètre des branches à une telle distance. Il faudrait pouvoir estimer avec quelle confiance nous pouvons utiliser cette estimation.

Des **cavités de contreforts** (GR11 et GR12) ont été trouvées lors des deux campagnes. Cependant, elles sont soumises à de très nombreuses erreurs et nous pouvons voir que lors de la campagne LFITest beaucoup plus de ces cavités ont été trouvées que lors de la campagne EFI. Cela peut provenir d'un manque de clarté de la définition qui propose un diamètre seuil de 10 cm mais ne précise pas à quel endroit ce diamètre doit être considéré.

Les observations concernant **les balais de sorcières** (GR21) et **les chancres** (GR31) sont complètement différentes d'un inventaire à l'autre.

Aucun **polypore annuel** (EP11) n'a été observé lors de la campagne LFITest alors que quelques-uns l'avaient été durant la campagne EFI. L'observation de ce microhabitat semble hasardeuse étant donné le cycle de vie de ces champignons.

La majorité des différences d'observation **des polypores pérennes** (EP12) repose sur une différence de nombre et non de présence. Nous pouvons avoir confiance en la reproductibilité de l'observation de ce microhabitat

L'observation des **bryophytes** (EP31) présente un nombre assez important de différence de présence avec un nombre important de relevés qui ont été fait lors de la campagne LFITest mais pas durant la campagne EFI.

Les **lianes** (EP33) sont observées de la même façon lors des deux campagne si ce n'est une différence de recouvrement qui peut être liée à sa croissance.

Des **nids** (NE11 et NE12) ont été observé lors de la campagne EFI mais pas dans la campagne LFITest et inversement. Il faut noter qu'il est difficile de différencier un nid d'une agglomération dense de branches de type balais de sorcières à des hauteurs aussi importantes que celles où ils ont pu être observés.

L'observation de **flux de sève** (OT11) ou de **résine fraîches** (OT12) est également complètement différente d'une campagne à l'autre.

(2) [Analyse des commentaires faits sur le terrain.](#)

A travers les commentaires écrits sur le terrain, quelques questions et idées à étudier ont été soulevés. L'estimation du diamètre des branches mortes et cassées pose apparemment problème puisque durant la campagne LFITest de nombreuses branches n'ont pas été comptabilisées même si elles ont été vues car nous estimions leur diamètre trop faible. Il est donc nécessaire de voir à quel point cette estimation peut être faussée et d'effectuer un calibrage avec l'équipe de terrain du LFI. De même, le risque de confusion entre nids et des balais de sorcière semble élevé dans la pratique. En outre, il est difficile de compter le nombre d'occurrence d'un microhabitat lorsqu'il est présent en très grand nombre, par exemple, les décollements d'écorce sur les arbres morts. Dans ce cas, il semble adapté de faire des catégories.

3. Comparaison avec le protocole LFI 4.

Comments		Quarter 2	Quarter 4
Number	Code		
1	TOT	41	31
	B	36	29
	D	5	2
2	TOT	6	1
	M	6	1

Tableau 11 : Commentaires selon le protocole LFI 4

Tous les arbres reçoivent un commentaire faisant référence à leur statut (B : *Normal sample tree* ce qui sous-entend un arbre vivant sur pied, D : *Snag* qui correspond à un arbre mort sur pied dont la hauteur est supérieur à 1.3 m) (LFI3 Manual, 2011). Un petit nombre d'entre eux reçoit un deuxième commentaire. Dans le marteloscope de Sihlwald, il s'agit uniquement de remarquer une proportion de branches mortes supérieur à 20 % du total des branches.

Damage number	Quarter 2	Quarter 4	Total	Total
	nb	nb	nb	%
0	34	25	59	82
1	7	3	10	14
2	0	3	3	4
total	41	31	72	100

Tableau 12 : Dégâts selon le protocole LFI4

Peu d'arbres présentent des dégâts, 18 % au total contre 82 % d'arbres sains. Les dégâts possibles sont des plages de bois sans écorce, des parties d'arbres cassées, des chancres, un flux de résine et la présence d'un champignon. Si l'on compare la figure 8 aux figures 6 et 7, nous pouvons nous rendre compte que :

- ✓ N'enregistrant pas les dégâts sur les arbres morts, nous perdons un nombre considérable d'information. Par exemple, nous avons sur la figure 8 une plage de bois sans écorce par quartier étudié alors que sur les figures 6 et 7, nous en recensons respectivement 7 et 15. Il en est de même pour les chancres.
- ✓ Nous avons enregistré des fentes avec le protocole LFI4 qui ne l'ont pas été selon le protocole LFITest. Cela correspond au fait que dans le LFITest, une largeur de la fente de 1 cm est exigée alors qu'elle ne l'est pas dans le protocole LFI4. Cependant, certaines fentes ont soulevés des questions par rapport à ce qui est réellement comptabilisé dans le protocole LFI4, notamment par rapport au fait qu'elles soient plus ou moins cicatrisées, c'est-à-dire plus ou moins recouvertes d'écorce. Cela sera testé au près des équipes de terrains lors du parcours.
- ✓ Nous retrouvons les parties d'arbres cassées, bien que celles-ci ne soient pas détaillées de la même façon dans tous les protocoles. Dans le protocole LFITest, nous avons conservés la classification *Broken bole* > ½, *broken bole* < ½ du protocole LFI4 pour les ruptures de l'axe

principal mais elle n'existe pas dans le protocole EFI. Cela se justifie par le fait que le microhabitat considéré dans le protocole EFI est l'entrée sur le bois créée par la rupture alors que dans le protocole LFI4, l'intérêt porte sur la capacité de l'arbre à survivre.

- ✓ Une branche cassée de plus de 20 cm a été recensée dans le quartier 4 selon le protocole LFI4Test alors qu'avec le protocole LFI 4, aucune branche principale manquante n'a été notée. Une clarification ou l'ajout d'une dimension seuil dans la définition LFI 4 pourrait permettre de mieux faire correspondre ces deux critères.
- ✓ Nous avons recensé selon le protocole LFI4 une coulée de résine qui ne l'a pas été selon le protocole LFI4Test à cause de la précision « fraîche » dans ce dernier. Cet élément sera aussi testé au près des équipes de terrains lors du parcours.

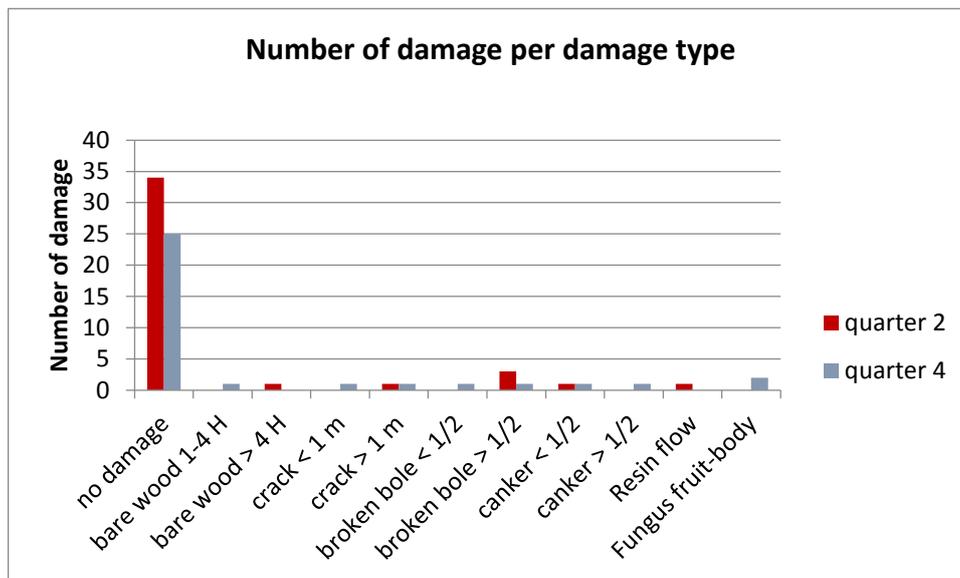


Figure 15 : Dégâts présents sur le marteloscope (quartiers 2 et 4)

C. Exercice avec l'équipe de terrain : estimation du diamètre des objets

1. Méthode

Au cours du parcours 1 de l'exercice avec l'équipe de terrain, un exercice était proposé afin de déterminer avec quelle précision le diamètre des objets pouvaient être estimé. Chaque participant donne une estimation du diamètre de trois perches dont nous aurons mesuré le diamètre réel auparavant et ce à des distances différentes. Ces objets seront assimilés aux microhabitats. Un animateur sera présent pour noter les réponses.

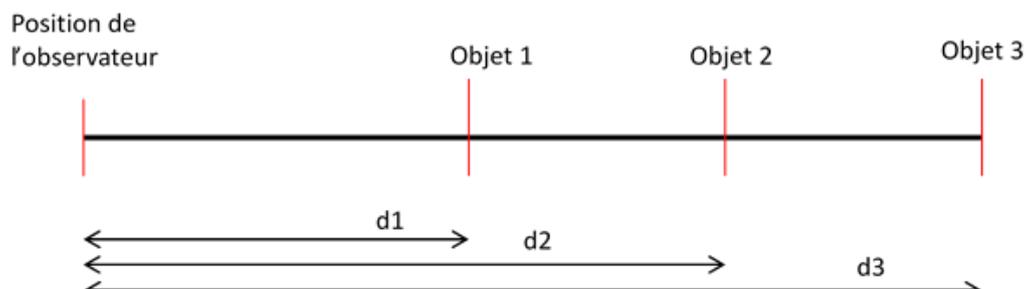


Figure 16 : Dispositif d'étude pour l'estimation du diamètre des objets

	Objet 1	Objet 2	Objet 3
Type d'objet	Perche	Perche	Perche
Diamètre exact	6	7	16
Distance	11,1	22,3	29,7

Tableau 13 : Détails du dispositif d'étude pour l'étude du diamètre des objets

2. Résultats

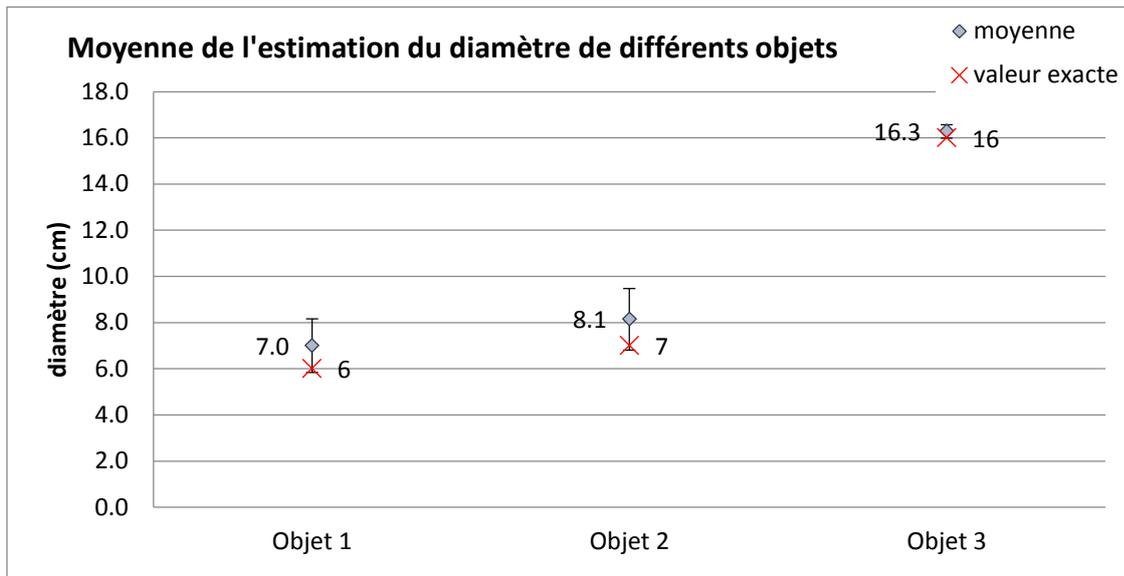


Figure 17 : Estimation moyenne du diamètre des objets et comparaison avec la valeur réelle

La figure nous montre que les estimations de diamètre se trouvent concentrées dans des intervalles respectivement de 2,4, 2,6 et 0,6 cm. Les valeurs moyennes sont plus élevées que la valeur exacte pour les deux premiers objets mais pas pour le dernier et cet écart reste relativement faible avec au plus 1.1 cm.

3. Conclusion et discussion

Les résultats sont plutôt satisfaisants étant donné le faible écart de la moyenne à la valeur exacte et ce pour des distances à l'objet assez élevées.

Cependant, ces résultats ont été obtenus pour des objets verticaux et éloignés sur des distances horizontales contrairement aux dendromicrohabitats qui peuvent être verticaux (cavités) ou horizontaux (branches mortes) et qui sont observés à des distances verticales. Or ce sont des directions auxquelles les équipes de terrains sont habituées contrairement à celles des dendromicrohabitats. Pour être certain que ces estimations sont aussi valables pour les dendromicrohabitats, il faudrait reproduire cette expérience sur des objets à distance verticale.

En outre, la vue était plus ou moins dégagée du feuillage, ce qui n'est pas le cas pour les dendromicrohabitats.

D. Exercice avec l'équipe de terrain : observation des dendromicrohabitats et étude de différents effets sur cette observation.

1. Méthode

a) *Catalogue de dendromicrohabitats*

Le catalogue de dendromicrohabitats utilisé est aménagé à partir du premier catalogue de dendromicrohabitats et du catalogue utilisé pour la reproduction de l'inventaire EFI. Il a été remis en page et traduit en allemand et quelques modifications y ont été apportés mais toujours dans le souci d'une correspondance possible avec les deux premiers cités. Il est présenté en annexe 6.

b) *Choix des arbres*

Les arbres ont été choisis sur les quartiers 2 et 4 du marteloscope de Sihlwald dans le souci de relever un nombre assez grand de dendromicrohabitats et des dendromicrohabitats suffisamment divers pour pouvoir les analyser. Ces arbres sont donc ceux où le plus grand nombre possible de dendromicrohabitats et la plus grande diversité de dendromicrohabitats possibles sont observables. En effet, si nous avions choisis des arbres au hasard, il y aurait eu une trop forte probabilité d'avoir des arbres sans dendromicrohabitats ou d'observer seulement certains types de dendromicrohabitats. En outre, nous avons respecté la proportion d'arbres morts et d'arbres vivants du peuplement pour notre échantillon.

c) *Index de Shannon.*

L'indice de Shannon est un outil permettant de mesurer habituellement la diversité en espèces d'un ensemble donné. Nous l'utilisons ici pour mesurer la diversité des réponses données par les observateurs. Il se calcule de la façon suivante :

$$S = - \sum_i p_i \times \ln p_i \quad \text{avec} \quad p_i = \frac{n_i}{N}$$

Où n_i est le nombre de réponses égales à la réponse i
 N est le nombre de réponses totale

L'indice dépendant du nombre de réponses totales, il est nécessaire qu'il soit identique lorsque nous comparons deux Indices de Shannon entre eux.

L'indice de Shannon est calculé pour chaque arbre et pour chaque dendromicrohabitat.

Pour l'interprétation de l'indice de Shannon dans notre cas, il faut se souvenir que plus il est petit, moins il y a de réponses différentes pour un dendromicrohabitat donné sur un arbre donné et donc plus le recensement de ce dendromicrohabitat est reproductible pour cet arbre.

d) *Pourcentage de réponses justes par rapport à une valeur de référence*

Le pourcentage de réponses justes par rapport à une valeur de référence permet de mesurer à quel point les réponses des observateurs sont proches de la valeur de référence, considérée comme la vérité. Il se calcule de la façon suivante :

$$\%_{réponses\ justes} = \frac{\sum_i [(n_i - n_0) = 0]}{N} \times 100$$

Où n_i est la réponse de l'observateur i
 n_0 est la réponse de référence
 N le nombre total de réponse

Le pourcentage de réponses justes est calculé pour chaque arbre et chaque dendromicrohabitat. Pour son interprétation, il faut se souvenir que plus il est élevé, plus le nombre d'observateurs ont donné la réponse de référence pour un dendromicrohabitat donné sur un arbre donné et donc plus le recensement de ce dendromicrohabitat est reproductible pour cet arbre.

e) *Principe des boîtes à moustaches*

La distribution de chacun des indices est ensuite représentée sous forme de boîtes à moustaches selon les dendromicrohabitats ou selon les différents groupes d'observateurs étudiés. Elles permettent de voir si les indices sont centrés autour d'une certaine valeur ou encore de voir l'intervalle dans lequel la majorité des réponses se trouvent.

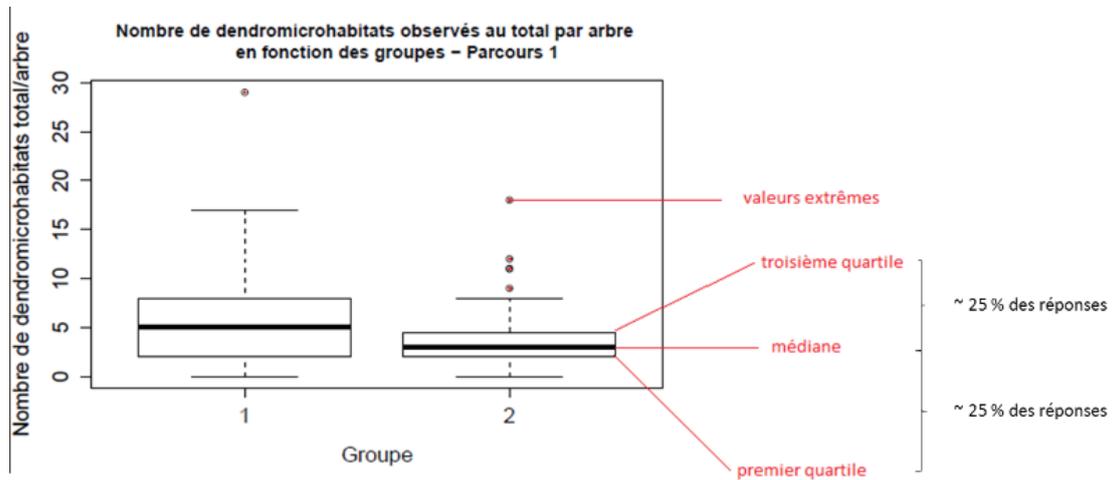


Figure 18 : Description d'une boîte à moustache

2. Résultats

a) Effet d'apprentissage : comparaison des groupes 1 et 2.

Dans cette partie, nous comparons les résultats des groupes 1 et 2 sur à la fois le parcours 1 et les cinq premières minutes du parcours 2. Nous ne pouvons pas appliquer ici l'indice de Shannon car nous avons un nombre d'observateurs différents dans chaque groupe. Les différentes figures utilisées pour cette analyse se trouvent en annexe 5.

(1) En nombre de dendromicrohabitats observés par arbre :

- Les histogrammes montrent :
 - Des courbes de distributions non normales.
 - Pour le parcours 1, la majorité des arbres portent de 0 à 5 dendromicrohabitat, quel que soit le groupe (50 % pour le groupe 1, 75 % pour le groupe 2).
 - Pour le parcours 2, la majorité des arbres portent de 0 à 20 dendromicrohabitats, quel que soit le groupe.
- Les boîtes à moustaches montrent que :
 - Il y a une plus grande diversité de réponses pour le groupe 1 que pour le groupe 2.
 - La médiane est plus faible pour le groupe 2 que pour le groupe 1 quel que soit le parcours.
 - Pour le parcours 1, 50 % des arbres portent 0 à 5 dendromicrohabitats pour le groupe 1 et 75 % des arbres portent 0 à 5 dendromicrohabitats pour le groupe 2.
 - Pour le parcours 2, 50 % des arbres portent 0 à 15 dendromicrohabitats pour le groupe 1 et 75 % des arbres portent 0 à 15 dendromicrohabitats pour le groupe 2.
 - Lorsque nous excluons les valeurs extrêmes, les nombres précédents ne sont pas modifiés pour le parcours 1 mais le sont pour le parcours 2 : 50 % des arbres portent 0 à 10 dendromicrohabitats pour le groupe 1 et 75% des arbres portent 0 à 10 dendromicrohabitats pour le groupe 2.
- Les tests de Wilcoxon montrent que :
 - les moyennes du nombre de dendromicrohabitat observés par arbre sont significativement différentes que ce soit pour le parcours 1, le parcours 2 ou les deux parcours ensemble.

(2) En pourcentage de réponses justes

- Les histogrammes montrent :
 - des courbes de distributions non normales
 - des pourcentages de réponses justes concentrées de 60 à 80 % lorsque la réponse de référence est nulle.
 - des pourcentages de réponses justes concentrées de 0 à 40 % lorsque la réponse de référence est non nulle
- Les boîtes à moustaches montrent que :
 - les variations sont plus grandes au sein du groupe 1 qu'au sein du groupe 2, quelle que soit la réponse de référence et quel que soit le parcours.
 - le groupe 2 semble avoir un pourcentage de réponses justes plus élevé que le groupe 1 lorsque la réponse de référence est nulle, quel que soit le parcours.

- les deux groupes ont un pourcentage de réponses justes très faible lorsque la réponse de référence est non nulle avec une médiane à 0% de réponses justes, quel que soit le parcours.
- Les tests de Wilcoxon montrent que :
- Lorsque la réponse de référence est nulle, les moyennes des deux groupes sont significativement différentes, quel que soit le parcours.
 - Lorsque la réponse de référence n'est pas nulle, les moyennes des deux groupes ne sont pas significativement différentes, quel que soit le parcours.

(3) Bilan :

De façon générale, le groupe 1 montre une plus grande variation de ses réponses que le groupe 2 et le groupe 2 a vu moins de dendromicrohabitats que le groupe 1.

Le pourcentage de réponses juste diffère si la réponse de référence est nulle ou non. Il est plutôt élevé dans le premier cas alors qu'il est plutôt faible dans le second. Dans le cas où la réponse de référence est nulle, le groupe 2 montre un meilleur pourcentage de réponses justes que le groupe 1. Cependant, dans le cas où la réponse de référence est non nulle, les deux groupes présentent des pourcentages de réponses justes similaires.

Cependant, les différences entre le groupe 1 et le groupe 2 se font toujours dans le même sens, autrement dit, quel que soit le parcours. Or, s'il existait un réel effet d'apprentissage, nous devrions observer des différences opposées selon le parcours puisque le groupe 1 a bénéficié de plus d'expérience durant le parcours 2 que durant le parcours 1 et inversement pour le groupe 2.

Les différences entre les groupes 1 et 2 ne résultent donc pas d'un effet d'apprentissage mais plutôt des effets intrinsèques de chaque observateur. Nous pouvons donc ultérieurement agréger les résultats des groupes 1 et 2.

b) Effet jumelles : comparaison des groupes avec ou sans jumelles.

Dans cette partie, nous comparerons les résultats des groupes selon s'ils portaient des jumelles ou non. La comparaison se fait sur le parcours 2, périodes de temps I et II confondues. Nous ne pouvons pas appliquer ici l'indice de Shannon car nous avons un nombre d'observateurs différents dans chaque groupe. Les différentes figures utilisées pour cette analyse se trouvent en annexe 6.

(1) En nombre de dendromicrohabitats observés par arbre

- Les histogrammes montrent :
- des courbes de distribution non normales.
 - des courbes de distribution similaires avec la majorité des réponses comprises entre 0 et 20 dendromicrohabitats observés par arbre.
- Les boîtes à moustaches montrent :
- une variation du nombre de dendromicrohabitats observés par arbre plus grande pour le groupe sans jumelles que pour le groupe avec jumelles.
 - une médiane du nombre de dendromicrohabitats observés par arbre plus grande pour le groupe sans jumelles que pour le groupe avec jumelles.

- Le test de Wilcoxon montre :
 - le nombre moyen de dendromicrohabitats observés par arbre sans jumelles n'est pas significativement différent de celui observé avec jumelles.

(2) En pourcentage de réponses justes

- Les histogrammes montrent :
 - des courbes de distribution non normales.
 - des courbes de distribution similaires dans le cas d'une réponse de référence nulle avec une concentration du pourcentage de réponses justes entre 60 et 80 %.
 - des courbes de distribution similaires dans le cas d'une réponse de référence non nulle avec une concentration du pourcentage de réponses justes entre 0 et 20 %.
- Les boîtes à moustache montrent :
 - une variation du pourcentage de réponses justes plus grande pour le groupe sans jumelles que pour le groupe avec jumelles, quelle que soit la réponse de référence.
 - une médiane du pourcentage de réponses justes plus grande pour le groupe sans jumelles que pour le groupe avec jumelles dans le cas d'une réponse de référence nulle.
 - une médiane identique et égale à 0 % de réponses justes pour les deux groupes dans le cas d'une réponse de référence non nulle.
 - une médiane différente mais comprises entre 60 et 80 % de réponses justes pour les deux groupes, dans le cas d'une référence nulle.
- Les tests de Wilcoxon montrent :
 - les moyennes du pourcentage de réponses justes du groupe avec et du groupe sans jumelles sont significativement différentes dans le cas où la réponse de référence est nulle.
 - les moyennes du pourcentage de réponses justes du groupe avec et du groupe sans jumelles ne sont pas significativement différentes dans le cas où la réponse de référence est non nulle.

(3) Bilan :

Le groupe avec jumelles et le groupe sans jumelles ont vu sensiblement le même nombre de dendromicrohabitats par arbre.

Ils ont un pourcentage de réponses justes équivalent et plutôt faible lorsque la réponse de référence n'est pas nulle. Ils ont un pourcentage de réponses justes différent mais dans le même ordre de grandeur et plutôt élevé (60-80%) lorsque la réponse de référence est nulle.

Cependant, nous observons que la supériorité approximative du pourcentage de réponses justes et du nombre de dendromicrohabitats observés sur un arbre se fait au profit du groupe sans jumelles avec en parallèle une supériorité des variations des observations. Or, les jumelles sont supposées améliorer l'observation

Les jumelles n'ont donc pas d'effet positif sur l'observation dans ce cas et nous pouvons supposer que les différences graphiquement observés proviennent plutôt des effets intrinsèques des observateurs. Nous pouvons donc ultérieurement agréger les personnes avec et sans jumelles.

En outre, cet exercice a été réalisé après le début de la saison de végétation et nous pouvons supposer que le feuillage réduit le champ d'observation des personnes portant des jumelles à celui

des personnes n'en portant pas. Pour en être certain, il faudrait reproduire l'exercice par les mêmes personnes hors saison de végétation.

c) *Observation des dendromicrohabitats*

L'effet d'apprentissage et l'utilisation de jumelles n'ayant pas d'impact significatif dans le cas de cet exercice, nous pouvons agréger toutes les observations réalisées sur une période de 5 minutes, quel que soit l'arbre, le parcours et l'observateur.

(1) En pourcentage de réponses justes

Les résultats sont présentés graphiquement dans l'annexe 7.

Nous pouvons observer graphiquement et de façon générale que le pourcentage de réponses justes est plus élevé lorsque la réponse de référence est nulle que lorsqu'elle ne l'est pas. Par exemple, pour le dendromicrohabitat cavités racinaires, la médiane du pourcentage de réponse juste pour le parcours 1 est de plus de 70 % lorsque la réponse de référence est nulle alors qu'elle est inférieure à 30 % lorsque la réponse de référence est non nulle. Ainsi, il apparaît plus facile de donner une réponse juste lorsqu'elle signifie une absence de microhabitat que lorsqu'elle signifie sa présence, un certain nombre d'apparition de celui-ci ou une catégorie. Analysons donc séparément ces deux groupes.

Lorsque la réponse de référence est nulle, nous pouvons observer :

- beaucoup de dendromicrohabitats ne sont observés que sur un seul arbre et nous ne pouvons donc pas tirer d'information générale. Cependant, le pourcentage de réponses justes est très élevé (supérieur à 80 %). Cela signifie que la plupart des observateurs ont confirmé l'absence du dendromicrohabitat alors que seulement l'un d'entre eux l'a infirmé. Nous pouvons alors supposer un effet observateur, les résultats individuels pourront confirmer ou infirmer cette supposition.
- des distributions du pourcentage de réponses justes larges pour les dendromicrohabitats **cavités racinaires, fourches au-dessus de 9,0 m.** et les **dendrothelmes** avec un intervalle de 30 % de réponses justes pour 75 % des observations. Les observations sont trop dispersées pour conclure à une tendance du pourcentage de réponses justes nous permettant de juger de leur reproductibilité.
- des distributions du pourcentage de réponses justes assez restreintes pour les dendromicrohabitats **branches vertes cassées de classe 2 et 4, branches mortes de classe 1, gourmands, chancres, loupes, recouvrement par les lichens, plages de bois sans écorce, parties de couronne brisées, tronc cassé et branches principales manquantes** avec 75 % des observations concentrés dans un intervalle de moins de 30 % de réponses justes. Pour ces dendromicrohabitats une tendance nous permettant de juger de leur reproductibilité peut être observée plus facilement.
 - pour les **branches vertes de classe 4, branches mortes de classe 3, chancres, loupes, recouvrement par des lichens, plages de bois sans écorces et branches principales manquantes**, 75 % des observations ont un pourcentage de réponses justes supérieur à 70 %.
 - pour les **branches vertes cassées de classe 2, branches mortes de classe 1, gourmands et partie de couronne brisée**, 75 % des observations ont un pourcentage de réponses justes supérieur à 60 %.

- pour le **tronc cassé**, 50 % des observations ont un pourcentage de réponses justes supérieur à 50 %.

Lorsque la réponse de référence est non nulle, nous pouvons observer :

- beaucoup de dendromicrohabitats ne sont observés que sur un seul arbre et nous ne pouvons pas en tirer d'information générale. Toutefois, la majorité d'entre eux a un pourcentage de réponses justes nul, autrement dit personne n'a donné de la réponse de référence.
- des distributions du pourcentage de réponses justes larges pour les dendromicrohabitats **recouvrement par des mousses** et les **parties de la couronne brisée** avec un écart de plus de 50 % de réponses justes pour l'ensemble des observations. Les observations sont trop dispersées pour conclure à une tendance du pourcentage de réponses justes nous permettant de juger de leur reproductibilité.
- le dendromicrohabitat **fourche au-dessus de 9,0 m** présente une distribution non normale avec une concentration des observations au niveau de 100 % de réponses justes et un minimum éloigné à 0% de réponses justes.
- les dendromicrohabitats **galeries d'insectes**, **cavités racinaires** et **recouvrement par des lianes** ont une distribution normale assez restreinte avec 50 % des observations inclus dans un intervalle de moins de 40 %. Pour ces dendromicrohabitats une tendance nous permettant de juger de leur reproductibilité peut être observée plus facilement.
 - pour les **galeries d'insectes** et les **cavités racinaires**, la médiane est en dessous de 30% de réponses justes
 - pour le **recouvrement par des lianes**, la médiane est un peu au-dessus de 50 %.
- pour les **branches mortes de classe 1 et 2**, les **chancres** et les **cavités** autres que racinaires, on observe une concentration des observations à 0% de réponses justes tandis que le pourcentage de réponses justes maximum reste faible (inférieur à 30% pour 3 des microhabitats et inférieur à 50% pour le dernier).

(1) En indice de Shannon

Les résultats sont présentés graphiquement dans l'annexe

7.

L'indice de Shannon varie entre 0.0 et 1.7. 0.0 indique que les observations sont complètement homogènes : tous les observateurs ont donné la même réponse. 1.7 indique que les observations sont complètement hétérogènes : aucun observateur n'a donné la même réponse. Entre 0.8 et 1.1, les observations sont moyennement homogènes : il y a 3 réponses différentes, au moins 3 personnes ont donnés la même réponse jusqu'au plus 5 personnes ont donnés la même réponse. L'échelle proposée ci-contre permet de juger de l'homogénéité des observations plus facilement d'après l'indice de Shannon. Plus les observations d'un dendromicrohabitat sont homogènes, plus le recensement de ce dendromicrohabitat est reproductible.

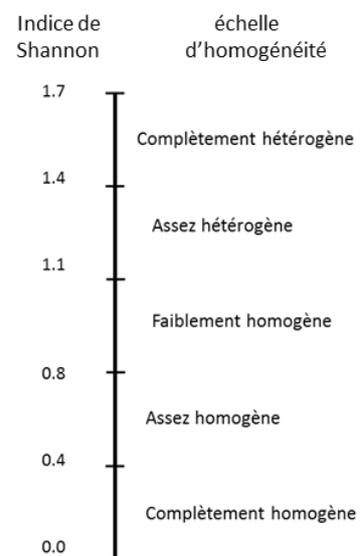


Figure 19 : Echelle de correspondance entre l'indice de Shannon et l'homogénéité des réponses

Nous pouvons observer graphiquement et de façon générale que l'indice de Shannon est plus élevé lorsque la réponse de référence est non nulle que lorsqu'elle est nulle. Par exemple, pour le dendromicrohabitat cavité racinaire l'indice de Shannon médian est de 0.6 lorsque la réponse de référence est nulle et d'un peu plus de 1.1 lorsque la réponse de référence est non nulle. Ainsi, il semble plus facile d'obtenir des observations homogènes quand celles-ci correspondent à une absence du microhabitat que lorsqu'elles correspondent à sa présence, un certain nombre d'apparition de celui-ci ou une catégorie. Cependant, cette distinction est moins évidente qu'avec le pourcentage de réponses justes. Analysons tout de même séparément ces deux groupes.

Lorsque la réponse de référence est nulle, nous observons :

- un certain nombre de dendromicrohabitats ne sont observés que sur un seul arbre et nous ne pouvons donc pas tirer d'information générale.
- pour les dendromicrohabitats **cavités racinaires, gourmands, dendrothelmes et parties de couronnes brisées**, les distributions sont larges 75 % des observations entre 0.4 et 1.0. Les observations sont trop dispersées pour conclure à une tendance d'homogénéité des observations nous permettant de juger de leur reproductibilité.
- pour les dendromicrohabitats **branches mortes de classe 1 et 3, chancres, loupes, plages de bois sans écorce et branche principale manquante**, l'indice de Shannon est concentré vers la valeur 0.4 qui correspond à la médiane et au moins 75 % des observations sont comprises entre 0.4 et 0.8. Les observations sont donc assez homogènes.
- pour les dendromicrohabitats **branche verte cassée de classe 2 et 4, recouvrement par des lichens, recouvrement par des lianes, fourches au-dessus de 9.0 m et les troncs cassés**, les indices de Shannon médians sont plus dispersés que précédemment mais 75 % ou plus des observations sont comprises entre 0.4 et 0.8. Les observations sont donc également assez homogènes.
- pour les dendromicrohabitats **nids de vertébrés, nids d'invertébrés et les flux de résine**, toutes les valeurs de l'indice de Shannon sont concentrés à 0.4 Or la réponse de référence est nulle. Il n'y a donc eu qu'une seule réponse positive pour chaque arbre et nous pouvons alors supposer un effet observateur. Les résultats individuels pourront confirmer ou infirmer cette supposition.

Lorsque la réponse de référence est non nulle, nous observons :

- un certain nombre de dendromicrohabitats n'ont été observés que sur un seul arbre et nous ne pouvons donc pas tirer d'information générale
- les dendromicrohabitats **cavités de nutrition des pics, branches mortes de classe 2, chancres, recouvrement par la mousse et cavités** autre que cavités racinaires ont des distributions larges avec plus de 75 % de leurs observations qui diffèrent de plus de 0.5. Les observations sont trop dispersées pour conclure à une tendance d'homogénéité des observations nous permettant de juger de leur reproductibilité.
- le dendromicrohabitat **cavité racinaire** a 50 % de ses observations entre 0.8 et 1.3 pour une dimension supérieur au cylindre test et entre 0.9 et 1.4 pour une dimension supérieur à un poing. Les observations sont de faiblement homogènes à assez hétérogènes.
- le dendromicrohabitat **branche morte de classe 1** a 50 % de ses observations entre 0.5 et 0.9. Les observations sont donc assez à faiblement homogènes.
- le dendromicrohabitat **recouvrement par des lianes** a 50 % de ses observations entre 0.8 et 1.1. Les observations sont donc faiblement homogènes.

- le dendromicrohabitat **tronc cassé** a la totalité de ses observations entre 0.6 et 0.9. Les observations sont donc assez à faiblement homogènes.
- le dendromicrohabitat **fourches au-dessus de 9.0 m** a toutes ses valeurs de l'indice de Shannon regroupé à 0.0. Pour tous les arbres, les observations sont complètement homogènes.

(2) Bilan intermédiaire

A ce stade, nous pouvons dire que :

- l'observation de l'absence de dendromicrohabitat peut être reproductible avec des pourcentages de réponses justes élevées et des indices de Shannon faibles.
- seuls quelques dendromicrohabitats peuvent prétendre à être observés de manière reproductible : les fourches supérieures à 9.0 m, le recouvrement par des lianes.
- nous manquons de données pour certains dendromicrohabitats
- certains dendromicrohabitats ont des pourcentages de réponses justes et des indices de Shannon trop dispersés et leur observation ne peut donc pas être considérée comme reproductible.

Ainsi, une analyse complémentaire des résultats individuels est nécessaire pour expliquer les résultats observés.

(3) En comparant les résultats individuellement

Les résultats sont présentés sous forme de tableau dans les annexes 8 et 9.

(a) Le recouvrement par l'écorce des arbres morts

Sur l'ensemble des arbres observés, 4 sont déclarés morts et ont reçu un pourcentage de recouvrement par l'écorce. Pour 3 d'entre eux, les réponses sont comprises dans un intervalle absolu de 10 à 15%. Le dernier a des réponses plus diverses mais tout de même comprises dans un intervalle absolu de 20%. Le recouvrement par l'écorce est donc facilement identifiable sur ce parcours.

(b) Les cavités

Lors de l'inventaire de référence LFITest, des **cavités** ont été repérées sur 7 arbres. Lors de l'exercice avec l'équipe de terrain, les cavités n'ont été repérées que ponctuellement sur certains de ces arbres. Il y a cependant un arbre pour lequel plus de la moitié des observateurs (5 sur 7) ont observés une ou plusieurs cavités (n° 133). Or cet arbre est mort et sans feuillage et l'inventaire LFITest a été réalisée hors période de végétation. Les cavités sont donc trop **difficilement identifiables** en période de végétation pour que leur observation soit reproductible. Par ailleurs, sur l'arbre 133, les cavités ont toutes été indiquées comme étant celle de pics sauf pour une personne qui n'a pas répondu à la question. Ainsi quand les cavités sont visibles, la distinction de leur origine semble possible.

Des **cavités de nutrition de pics** ont été repérées sur 4 arbres lors du LFITest alors qu'elles n'ont été vues par plus de la moitié des observateurs que sur un seul de ces arbres (n° 133 de nouveau) et avec un nombre assez différent. En outre, l'arbre 133 est mort et l'inventaire LFITest a été réalisé hors période de végétation. Les cavités de nutrition des pics sont d'une part, **facilement identifiables sur les arbres morts mais pas sur les arbres vivants** en période de végétation et d'autre part, **difficilement dénombrable**.

Les **cavités racinaires** ont été observés sur de 17 arbres tant lors de l'inventaire LFITest que lors de l'exercice avec l'équipe de terrain. Cependant, les réponses individuelles sont diverses avec un indice de Shannon moyen de 1.1 ± 0.4 et un pourcentage de réponses justes moyen de 36.8 ± 23.0 % pour la méthode du poing et un indice de Shannon moyen de 1.2 ± 0.3 pour la méthode du cylindre test. Il semble donc **difficile de dénombrer rigoureusement ce dendromicrohabitat**. N'existant aucun problème de visibilité, nous pouvons supposer qu'un problème de dimension seuil conduit à cette diversité de résultats et un manque de formation. Cependant, même avec l'utilisation du cylindre test, qui présente un volume identique pour tous les observateurs contrairement au poing, les résultats sont dispersés. En outre, un observateur n'a vu aucune cavité racinaire, il n'a peut-être pas assimilé correctement la définition ou le protocole. Il serait alors judicieux d'approfondir la formation sur ce dendromicrohabitat.

Des **dendrothelmes** ont été observés sur deux arbres lors de l'exercice avec l'équipe de terrain alors qu'aucun n'avait été observé par l'inventaire de référence. Sur le premier arbre, seul un observateur en a recensé un mais sur le deuxième, quatre observateurs en ont recensé un. Nous pouvons supposer soit qu'il y a eu une erreur lors de l'inventaire de référence soit qu'il y a eu une incompréhension ou un manque de clarté de la définition.

Des **galeries d'insectes** ont été observées sur 4 arbres lors de l'exercice avec l'équipe de terrain contre 3 lors de l'inventaire LFITest mais seulement par une minorité d'observateurs. Ce dendromicrohabitat est donc **difficilement identifiable**. Sa définition manque d'une dimension seuil qui la rendrait plus objective comme le nombre de trous sur une surface lorsque les galeries ne sont pas directement visibles.

(c) *Les blessures et cassures de l'arbre*

Des **brisures de la couronne** ou des **cassures du tronc** ont été relevés sur 4 arbres lors de l'exercice avec l'équipe de terrain contre 3 lors du LFITest. Pour tous ces arbres, la quasi-totalité des observateurs a observé une cassure même si elle n'a pas été catégorisée de la même façon. Cela explique des indices de Shannon assez élevés et des pourcentages de réponses justes plutôt faibles qui montrent que ce dendromicrohabitat est **difficilement catégorisable** alors qu'il est **facilement identifiable**.

Une **cassure du tronc en éclat** n'a été précisée que par une seule personne. Il peut s'agir d'une mauvaise compréhension de la définition. Il en est de même pour **les branches principales manquantes** qui n'ont été signalées que ponctuellement par une ou deux personnes.

Une **couronne secondaire** a été enregistrée sur l'arbre 112 lors du LFITest et lors de l'exercice avec l'équipe de terrain. Cependant, elle n'a été observée que par 3 observateurs sur 7. Ce dendromicrohabitat est donc **moyennement identifiable**. Sa définition étant assez claire, un manque de temps d'assimilation et d'entraînement expliquerait plus probablement ces différences d'observations.

Concernant les **branches vertes cassées**, nous pouvons noter des observations très ponctuelles même en regroupant les différentes catégories de dimensions. Ces dendromicrohabitats semblent **très difficilement identifiables**. Ils obtiennent malgré cela des indices de Shannon et des pourcentages de réponses justes plutôt bons car l'observation de l'absence du dendromicrohabitat est majoritaire.

Concernant les **branches mortes**, il apparait en regroupant les catégories de dimensions que pour certains arbres la quasi-totalité des observateurs en a vues (arbres 94, 95 et 353). Ce dendromicrohabitat est donc **assez facilement identifiables** mais il est **difficile à dimensionner et à dénombrer**. Par ailleurs, nous pouvons noter des données ponctuelles qui montrent un effet individuel très fort d'un des observateurs.

Des **plages de bois sans écorce** sont vues ponctuellement et sur des arbres où elles n'ont pas été recensées lors de l'inventaire LFITest alors que celles recensées pendant cet inventaire ne sont pas vues. Elles sont donc **difficilement identifiables**.

Les **décollements d'écorce formant des abris** ont été observés par des personnes différentes sur deux arbres mais pas par la majorité des observateurs. Elles sont **moyennement identifiables**. Leur définition étant assez précise, un manque de temps d'assimilation et d'entraînement expliquerait plus probablement ces différences d'observations.

Des **fentes** ont été observées sur l'arbre 132 par deux personnes. L'une en a observée seulement une, déclarée fermée, alors que l'autre en a observée deux dont l'ouverture n'a pas été précisée. Il se peut que par habitude du protocole LFI et à cause du temps d'assimilation restreint de ce protocole, les personnes n'aient pas relevés les fentes refermées comme demandées dans ce protocole. Nous ne pouvons pas conclure quant à la facilité d'identification de ces fentes.

(d) Déformations et excroissances

Des **gourmands** ont été observés sur 8 arbres lors de l'exercice avec l'équipe de terrain alors qu'aucun n'a été vu lors de l'inventaire de référence LFITest. Ils peuvent être observés de manière ponctuelle sur certains arbres, en nombre très différents sur d'autres. Cela soulève un problème de définition. Elle manque de précision quant à leur dimension minimum. Nous ne pouvons donc pas conclure quant à la facilité d'identification des gourmands.

Des **balais de sorcières** ont été vus sur deux arbres. Pour le premier arbre, l'observation est ponctuelle mais pour le second, la majorité des observateurs l'ont vu. Etant donné la différence de ces résultats, nous pouvons difficilement conclure quant à la facilité d'identification de ce dendromicrohabitat.

Des **chancres** ont été vus sur 6 arbres dont 4 où ils ont été observés de manière ponctuelle et 2 où ils ont été vus par deux à trois personnes. Etant donné la ponctualité des observations, ce dendromicrohabitat est très fortement soumis à l'effet observateur.

Des **loupes** ont été vus 4 arbres dont 3 où ils ont été observés de manière ponctuelle et 1 où ils ont été vus par deux personnes. Ce dendromicrohabitat est très fortement soumis à l'effet observateur.

(e) Les champignons : polypores pérennes

Des champignons sous forme de **polypores pérennes** ont été observés sur deux arbres : 133 et 353. La quasi-totalité des observateurs les ont observés mais en nombres différents et parfois en espèces différentes. Les polypores pérennes sont donc **facilement identifiables** mais **plus difficilement dénombrables** et la détermination de leur espèce peut parfois poser problème.

(f) Les plantes épiphytes

Le **recouvrement des arbres par la mousse** a été observé sur tous les arbres. Seul deux d'entre eux ont reçu la même catégorie de tous les observateurs. Les autres présentent des réponses diverses nous pouvons voir que ces données se groupent soit plutôt vers une valeur haute (rouge)

soit plutôt vers une valeur basse (bleue) avec un palier franc autour de 3. Seuls 3 arbres ont des valeurs trop disparates pour détecter une telle tendance. Ainsi, les bryophytes sont **facilement identifiables mais difficilement quantifiables** et pour faciliter cette quantification, nous pouvons suggérer de créer une limite à 25%, limite supérieur de la catégorie 3 pour avoir des valeurs moins dispersées. Cette limite correspond également à celle donnée par le catalogue EFI.

Le **recouvrement des arbres par les lichens** a été observé sur 18 arbres sur 20 mais seulement par 3 personnes différentes. Il y a de façon évidente un très fort effet observateur et nous pouvons supposer qu'il s'agit ici d'un problème de compréhension de la définition puisque le protocole demande explicitement d'observer seulement les lichens ayant des formes tridimensionnelles, qui n'ont par ailleurs jamais été trouvés durant l'inventaire de référence LFITest. Nous ne pouvons donc pas conclure quant à la qualité de leur recensement.

Le **recouvrement des arbres par les lianes** a été observé sur 6 arbres avec un certain nombre de catégories différentes pour un même arbre. En observant le détail des réponses, il apparaît des tendances mais qui sont toutefois gênées par des données ponctuelles. Il est donc **facile de remarquer la présence de lianes** mais plus difficile de **la quantifier**.

(g) Les nids

Les **nids** sont enregistrés ici très ponctuellement et par les mêmes personnes. Il y a ici un effet observateur très fort et nous ne pouvons pas conclure quant à la facilité de leur recensement.

(h) Les coulées de résine.

Des **coulées de résine** ont été observées sur 5 arbres et toujours par la même personne sauf pour un arbre où une seconde personne a également fait l'observation. L'effet observateur est très fort et nous ne pouvons donc **pas conclure** quant à la réalité de leur recensement.

(i) Les fourches.

Des fourches supérieures à 9,0 m ont été recensées sur 10 arbres. Sur 3 d'entre eux, elles ont été observées par la totalité des observateurs. Sur 3 autres, elles ont été recensées par plus de la moitié des observateurs. Sur les 4 dernières, elles ont été recensées de façon ponctuelle. Les fourches sont donc **facilement identifiables** mais il peut y avoir des situations peu claires et une précision de la définition ou un calibrage des observateurs pourrait aider à harmoniser les décisions dans ce genre de situations.

(4) Bilan

D'après l'analyse ci-dessus, nous pouvons catégoriser les dendromicrohabitats dans trois tableaux. Le premier tableau présente les dendromicrohabitats pour lesquels nous ne pouvons pas tirer de conclusions, soit à cause de leur absence du peuplement, soit à cause d'effet observateurs trop importants.

Dendromicrohabitats non présent dans le peuplement	Dendromicrohabitats sans conclusion possibles effet observateurs trop importants
flutes	dendrothelmes
trous d'insectes	fentes
champignons autres que des polypores pérennes	gourmands
Myxomycetes	balais de sorcière
Nid d'invertébrés	loupes
coulée de sève	Chancre décomposés
taillis	lichens
gui	nids
	coulées de résine

Tableau 14 : Dendromicrohabitats pour lesquels nous ne pouvons pas conclure

Le second tableau présente les améliorations qu'il faudrait faire pour rendre reproductibles certains dendromicrohabitats.

Dendromicrohabitats qui nécessitent une amélioration de la définition	Dendromicrohabitats qui nécessite une formation supplémentaire
dendrothelmes	cavités racinaires
galeries d'insectes	dendrothelmes
brisures de la couronne	couronne secondaire
cassure du tronc	décollement d'écorce formant des abris
branches mortes	
polypores pérennes	
recouvrement par la mousse	
recouvrement par les lianes	

Tableau 15 : Dendromicrohabitats qui nécessitent des améliorations

Enfin, le dernier tableau présente les dendromicrohabitats pour lesquels nous pouvons tirer des conclusions et les classe selon leur facilité d'identification et donc leur reproductibilité.

Dendromicrohabitats difficilement identifiables	Dendromicrohabitats moyennement identifiables	Dendromicrohabitats facilement identifiables
cavités de pics, provenant de branches, naturelles	couronnes secondaires	brisures de la couronne
cavités de nutrition des pics	décollement d'écorce	cassure du tronc
cavités racinaires		branches mortes
galeries d'insectes		polypores pérennes
branches vertes cassées		recouvrement par la mousse
plages de bois sans écorce		recouvrement par les lianes
		Fourches
		Recouvrement par l'écorce

Tableau 16 : Facilité d'identification des dendromicrohabitats

En **vert** : les dendromicrohabitats qui peuvent être considérés comme reproductibles sans transformations

En **orange** : les dendromicrohabitats qui pourraient être reproductibles si leur définition ou leur instruction était améliorée.

En **rouge** : les dendromicrohabitats qui sont considérés comme non reproductibles pour cet exercice.

3. Commentaires des observateurs après l'exercice.

Après la réalisation de l'exercice, nous avons recueilli les remarques et questions des observateurs.

La première question concernait les troncs cassés : doivent-ils être comptés aussi comme plages de bois sans écorce ? La définition des plages de bois sans écorce doit explicitement préciser que les plages de bois exposées suite à une cassure du tronc ou d'une partie de la couronne n'entrent pas dans cette catégorie. La seconde question concerne l'endroit où le diamètre d'une branche morte ou d'une branche verte cassée doit être estimé. Les définitions doivent donc respectivement préciser que le diamètre se prend à la base de la branche dans le premier cas et à l'endroit de la cassure dans le second cas.

En outre, les observateurs ont remarqués qu'il est difficile d'estimer la différence de catégorie de diamètre des champignons, de distinguer les balais de sorcières des nids et de définir la base des branches mortes. Pour ce dernier critère, nous pourrions dire que la base d'une branche morte correspond à la dernière ramification où l'un des axes est encore vivant. Quelques exemples sont proposés dans la figure ci-dessous.

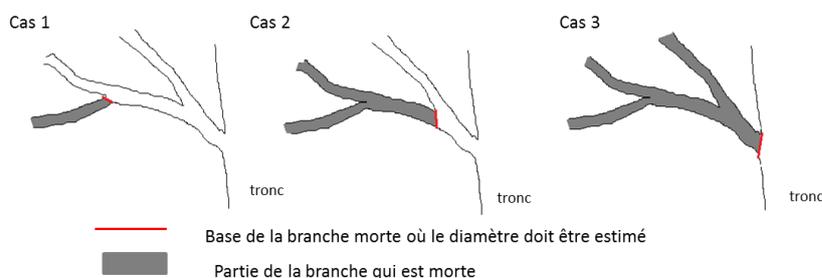


Tableau 17 : Exemples de définition de la base d'une branche morte

Des doutes ont été également exprimés quant aux conséquences des différences de feuillage au cours de la saison d'inventaire et quant à la précision des observations à partir d'une certaine hauteur.

4. Conclusion et discussion

En définitive et pour cet exercice, nous n'avons décelé ni effet d'apprentissage, ni effet de l'utilisation de jumelles d'une part et nous avons vu que seulement quelques dendromicrohabitats peuvent être considérés comme reproductibles d'autre part. Certains d'entre eux n'ont pu être étudiés étant donné leur absence dans le peuplement considéré. En outre, des faiblesses de définition et de formation ont pu être détectées.

Cependant, il faut considérer que ces conclusions sont établies dans des conditions spécifiques.

En premier lieu, les observateurs ont découvert le protocole seulement le matin de l'exercice et n'avaient qu'une heure de formation théorique pour se l'approprier alors qu'il contient un nombre de nouvelles notions conséquent. Le manque de temps d'apprentissage pourrait expliquer ces résultats faibles et il faudrait réitérer cet exercice avec une meilleure formation.

En outre, les parcours étaient chronométrés. Cela a pu engendrer un peu de stress nuisible aux observations. Malheureusement, nous ne bénéficions pas de conditions plus favorables pour cet exercice.

Par ailleurs, les analyses sur les dendromicrohabitats n'ont pu être réalisées que de manière qualitative à cause du manque de données. Pour pouvoir réaliser des analyses statistiques, il faudrait réaliser le même type d'étude sur plus d'une trentaine d'arbres pour chaque dendromicrohabitat. Ce qui n'est pas réalisable en pratique. Ce manque de données ne permet pas d'avoir des conclusions généralisables mais seulement applicables à notre cas.

De plus, l'exercice a été réalisé en période de végétation contrairement à l'inventaire de référence. Cela pourrait expliquer les résultats faibles des pourcentages de réponses justes mais pose aussi la question de la reproductibilité des observations au cours de la saison d'inventaire LFI pour un même observateur. Pour trancher sur cette question, il faudrait répéter l'exercice sur les mêmes arbres par le même observateur à deux périodes de végétation différentes et après avoir quantifié l'effet d'apprentissage qu'il y a pu avoir entre ces deux périodes, ce qui semble extrêmement difficile.

V. Temps dédié à l'observation des dendromicrohabitats

A. Effet du temps d'observation : comparaison des périodes d'observations de 5 minutes (I) et de 10 minutes (I+II).

1. Méthode

Sur le deuxième parcours de l'exercice de terrain, les observateurs devaient indiquer de façon distincte la période à laquelle ils ont réalisés l'observation d'un dendromicrohabitat donné : soit lors des 5 premières minutes (I), soit lors des 5 minutes suivantes (II). Leurs observations ont été ensuite analysées en utilisant différents indicateurs : le nombre de dendromicrohabitats observé par arbre, le pourcentage de réponses juste par rapport à la valeur de référence, établie lors de l'inventaire LFITest et l'indice de Shannon qui indique la diversité de réponses – plus l'indice de Shannon est faible, moins les observations sont diverses et plus la reproductibilité est bonne-. Différents tests statistiques ont également pu être réalisés sur ces données selon les cas particuliers : Wicoxon et Student.

2. Résultats

a) Comparaison en nombre de dendromicrohabitats observés par arbre :

Les résultats sont présentés graphiquement dans l'annexe 10.

- En moyenne, les observateurs ont observés 82 % des dendromicrohabitats observés au total durant les 5 premières minutes.
- Les histogrammes montrent :
 - des courbes de distribution non normales.
 - des courbes de distribution de forme similaire avec une concentration du nombre de dendromicrohabitats observés par arbre entre 0 et 20.
- Les boîtes à moustaches montrent :
 - une médiane quasiment à même hauteur quelle que soit la période de temps consacrée à l'observation.
 - un intervalle d'observation légèrement plus élevés pour la période d'observation de 10 minutes par rapport à la période d'observation de 5 minutes.
- Le test de Wicoxon montre :
 - que le nombre moyen de dendromicrohabitats observés sur une période de 10 minutes ou sur une période de 5 minutes n'est significativement pas différents

b) Comparaison en pourcentage de réponses justes

Les résultats sont présentés graphiquement dans l'annexe 10.

- Les histogrammes montrent :
 - des courbes de distribution non normales.
 - des courbes de distribution similaires dans le cas où la réponse de référence est nulle avec une concentration du pourcentage de réponses justes entre 70 et 90 %.
 - des courbes de distribution similaires dans le cas où la réponse de référence n'est pas nulle avec une concentration du pourcentage de réponses justes entre 0 et 20 %.
- Les boîtes à moustaches montrent :

- une médiane et un intervalle similaires avec une médiane à plus de 80 % de réponses justes quelle que soit la période d'observation et avec une réponse de référence nulle
 - une médiane et un intervalle similaires avec une médiane à 0 % de réponses justes quelle que soit la période d'observation et avec une réponse de référence non nulle.
- Les tests de Wicoxon montrent :
- un pourcentage moyen de réponses justes pour une période d'observation de 5 minutes non significativement différent du pourcentage moyen de réponses justes pour une période d'observation de 10 minutes, quelle que soit la réponse de référence.

c) Comparaison en indice de Shannon

Les résultats sont présentés graphiquement dans l'annexe 10.

- Les histogrammes montrent :
- des courbes de distribution non normales et similaires avec une concentration de l'indice de Shannon entre 0.4 et 0.6, lorsque la réponse de référence est nulle
 - des courbes de distribution normales et similaires avec un intervalle de [0 :2] lorsque la réponse de référence n'est pas nulle.
- Les boîtes à moustaches montrent :
- des médianes similaires et égales à 0.4 lorsque la réponse de référence est nulle.
 - des médianes similaires proches de 1.0 lorsque la réponse de référence n'est pas nulle.
 - un intervalle d'observations plus petit pour la période de 10 minutes que pour la période de 5 minutes lorsque la réponse de référence est nulle et inversement lorsque la réponse de référence est non nulle.
- Le test de Wicoxon montre :
- que la moyenne de l'indice de Shannon pour une période d'observation de 5 minutes n'est pas différente de la moyenne de l'indice de Shannon pour une période d'observation de 10 minutes lorsque la réponse de référence est nulle.
- Le test de Student montre :
- que la moyenne de l'indice de Shannon pour une période d'observation de 5 minutes n'est pas différente de la moyenne de l'indice de Shannon pour une période d'observation de 10 minutes lorsque la réponse de référence est non nulle.

3. Conclusion

Les différents indicateurs sont les mêmes quelle que soit la durée de la période d'observations mais différent selon la réponse de référence. Lorsque la réponse de référence est nulle, les indicateurs sont plutôt bons (% de réponses justes élevés, indice de Shannon bas) alors que les indicateurs sont plutôt mauvais lorsque la réponse est non nulle (% de réponses juste bas, indice de Shannon haut).

L'allongement du temps d'observation au-delà de 5 minutes n'apporte donc pas dans ce cas de précision à l'observation.

B. Estimation du temps utilisé par les forestiers de terrain.

1. Méthode

A la fin de l'exercice, nous avons demandé aux observateurs de nous indiquer approximativement combien de temps ils estiment avoir réellement utilisé à l'observation de l'arbre et au repérage des dendromicrohabitats.

2. Résultats

Les observateurs ont estimé avoir eu besoin en moyenne de 3,5 minutes pour inspecter un arbre.

VI. Modélisation de la valeur écologique des peuplements.

Le premier objectif de cette partie est la construction de modèles comparables permettant de donner une valeur écologique à un peuplement à partir de différents ensembles de dendromicrohabitats et selon deux méthodes de calculs différents. Le second objectif est la comparaison de ces modèles.

A. Méthode

1. Données utilisées

Les données utilisées pour tester les différents modèles proposés sont celles récoltées lors de l'inventaire LFITest, réalisé en avril 2016 sur le marteloscope de Sihlwald (voir paragraphe IV.A). Cela correspond à un ensemble de 71 arbres répartis sur 0.5 hectare. Un arbre a été retiré de l'ensemble en raison de données omises (arbre 98).

2. Construction des modèles

La construction de modèles commence par la construction d'ensembles de dendromicrohabitats comparables à celui utilisé pour l'inventaire LFITest.

Une partie de ces ensembles sont issus des protocoles utilisés par l'EFI pour l'installation des marteloscopes du projet « Integrate+ », par le LFI au cours de la première, de la troisième et de la quatrième campagnes de l'inventaire forestier national et pour l'Inventaire d'échantillonnage dans les réserves forestières suisses conduit au sein du projet « Recherche et contrôle d'efficacité dans les réserves forestières naturelles » du WSL. Pour ce faire, une comparaison de ces protocoles a été réalisée et est résumée en annexe 11.

Les deux autres sont issus d'une part du regroupement des dendromicrohabitats sans distinction de dimensions et d'autre part de la liste des dendromicrohabitats jugés « reproductibles » d'après une étude précédente (cf IV.D)

De façon pratique, une modification des catégories de dendromicrohabitats du protocole LFITest a été effectuée par identité ou équivalence. Les manipulations réalisées pour chaque modèle sont présentées en annexe 12.

Finalement, nous avons définis 7 modèles différents.

Modèle	Définition	Nombre de dendromicrohabitats
M0	Modèle avec tous les dendromicrohabitats du protocole LFITest	62
MI	Modèle comparable au protocole EFI	40
MII	Modèle comparable au protocole LFI 4 et LFI 3 sans le gui	12
MIII	Modèle comparable au protocole LFI 1	7
MIV	Modèle comparable au protocole « Réserves forestières »	11
MV	Modèle avec tous les dendromicrohabitats du protocole LFITest mais sans distinction de dimensions	36
MVI	Modèle avec les dendromicrohabitats « surs » quant à leur reproductibilité i.e ceux pouvant être identifiables de façon reproductible si leur définition ou leur enseignement est amélioré (cf IV.C.5)	12

Tableau 18 : Description des modèles

3. Calculs

a) *Méthode selon R. Büttler*

La première méthode de calcul consiste à la somme simple des dendromicrohabitats pour chaque arbre puis à la somme des valeurs écologiques de tous les arbres du peuplement.

$$R = \sum_i \sum_j n_{i,j}$$

Où i l'arbre

j le type de dendromicrohabitat

$n_{i,j}$ le nombre de dendromicrohabitats de type j porté par l'arbre

b) *Méthode proposée.*

La seconde méthode de calcul consiste à calculer la somme simple des dendromicrohabitats pour chaque arbre qui est multiplié le nombre de dendromicrohabitats différents de cet arbre puis à la somme des valeurs écologiques de tous les arbres du peuplement.

$$T1 = \sum_i m_{i,j} \times \sum_j n_{i,j}$$

Où i l'arbre

j le type de dendromicrohabitat

m_i le nombre de dendromicrohabitats différents portés par l'arbre i

$n_{i,j}$ le nombre de dendromicrohabitats de type j porté par l'arbre i

c) *Choix des méthodes*

La première méthode permet d'avoir la quantité de dendromicrohabitats dans un peuplement tandis que la seconde méthode permet d'avoir une idée à la fois de leur quantité et de leur diversité. En effet, deux arbres portant le même nombre de dendromicrohabitats et ayant donc la même valeur écologique selon la première méthode de calcul peuvent présenter deux profils très différents. L'un peut ne porter que quelques microhabitats différents mais un grand nombre de répétition de l'un d'eux alors que l'autre peut porter plus de microhabitats différents mais uniques. Or, les dendromicrohabitats ne supportent pas les mêmes cortèges d'espèces. Nous pouvons donc supposer que le second arbre offrira un habitat pour d'avantage d'espèces que le premier. La seconde méthode permet de différencier ces deux profils.

Dans le cadre du projet « Integrate + », l'EFI a construit un modèle qui donne une note écologique à chaque dendromicrohabitat selon les dires d'experts (voir paragraphe III.C.1). Dans cette partie, nous n'utilisons pas cette modélisation à cause d'une part des inconvénients sa méthodologie « à dire d'experts » - la relativité de la valeur écologique des dendromicrohabitats n'est pas étayée par des études scientifiques (voir paragraphe III.C.1) - et d'autre part de notre incapacité à faire correspondre ces scores aux types de dendromicrohabitats modifiés par la nécessité de présenter des modèles comparables.

d) Cas particulier du pourcentage d'écorce sur les arbres morts et des plages de bois sans écorce sur les arbres vivants.

Selon si l'arbre est mort ou vivant, nous considérons respectivement et uniquement le pourcentage d'écorce ou les plages de bois sans écorce. Or les plages de bois sans écorces sont distinguées en trois catégories selon leur surface. Si nous les comptons séparément, une différence systématique du nombre de dendromicrohabitats différents portés par l'arbre sera engendrée entre les arbres morts et les arbres vivants. Il est donc nécessaire de regrouper les trois catégories de plages de bois sans écorce en un seul dendromicrohabitat pour l'utilisation de la seconde méthode. De même lorsque l'un ou l'autre des critères n'est pas comparable aux autres modèles, les deux doivent être supprimés.

B. Résultats

1. Méthode de calcul R. Bütler

Modèle	Note Ecologique du Peuplement	Note Ecologique du Peuplement en % de M0	Note Ecologique du Peuplement en % de MI
M0	498	100	158.1
MI	315	63.3	100
MII	38	7.6	12.1
MIII	9	1.8	2.9
MIV	153	30.7	48.6
MV	498	100	158.1
MVI	316	63.5	100.3

Tableau 19 : Note écologique des peuplements selon la méthode de calcul R. Bütler

Dans ce tableau, nous pouvons voir qu'à l'échelle du peuplement et selon la méthode de calcul R. Bütler :

- ✓ Le modèle MV a la même note écologique que le modèle M0 : le regroupement des catégories ne modifie pas la valeur écologique du peuplement.
- ✓ La note écologique des modèles MVI et MI représentent environ chacun 63 % de la note écologique du modèle M0 : si nous conservons uniquement les dendromicrohabitats « sûrs » quant à leur reproductibilité, nous gardons plus de 60% de la valeur écologique du peuplement, soit autant que le modèle comparable au protocole EFI.
- ✓ Les notes écologiques des modèles MII et MIII ne représentent respectivement que 7.6 et 1.8% de la note écologique du modèle M0 : la valeur écologique pouvant être calculées à partir des protocoles LFI des campagnes précédentes serait très peu représentative de la valeur écologique des peuplements obtenue avec le modèle M0.
- ✓ La note écologique du modèle MIV représente 30.7 % de la note écologique du modèle M0 : la valeur écologique pouvant être calculées à partir du protocole utilisé pour les « Réserves Forestières » serait moyennement représentative de la valeur écologique des peuplements selon le modèle M0.
- ✓ La note écologique des modèles M0 et MV représentent plus de 100% de la note écologique du modèle MI : le modèle comparable au protocole EFI ne représente qu'en partie la valeur écologique du peuplement comparé à ces deux autres modèles.
- ✓ La note écologique du modèle MVI est quasi-identique à celle du modèle MI (100.3 %) : les deux modèles calculent des notes écologiques équivalentes.
- ✓ Les notes écologiques des modèles MII et MIII ne représentent respectivement que 12.1 et 2.9 % de la note écologique du modèle MI : la valeur écologique pouvant être calculées à partir des protocoles LFI des campagnes précédentes serait très peu représentative de la valeur écologique des peuplements obtenue avec le modèle MI.
- ✓ La note écologique du modèle MIV représente 48% de la note écologique du modèle MI : la valeur écologique pouvant être calculées à partir du protocole utilisé pour les « Réserves Forestières » serait moyennement représentative de la valeur écologique des peuplements selon le modèle MI.

2. Méthode de calcul T1

Modèle	Note Ecologique du Peuplement	Note Ecologique du Peuplement en % de M0	Note Ecologique du Peuplement en % de MI
M0	3410	100	262.1
MI	1301	38.2	100
MII	49	1.4	3.8
MIII	9	0.3	0.7
MIV	241	7.1	18.5
MV	2627	77	201.9
MVI	970	28.4	74.6

Tableau 20 : Note écologique des peuplements selon la méthode de calcul T1

Dans ce tableau, nous pouvons voir qu'à l'échelle du peuplement et selon la méthode de calcul T1 :

- ✓ La note écologique du modèle MV représente 77 % de la note écologique du modèle M0 : le regroupement des catégories diminue la valeur écologique du peuplement de 23 %.
- ✓ La note écologique du modèle MI représente 38.2 % de la note écologique du modèle M0 : le modèle comparable au protocole EFI diminue la valeur écologique du peuplement de plus de 60 %, ce qui ne serait que très moyennement représentatif.
- ✓ La note écologique du modèle MVI représente 28.4 % de la note écologique du modèle M0 : si nous conservons uniquement les dendromicrohabitats « sûrs » quant à leur reproductibilité, nous perdons plus de 60% de la valeur écologique du peuplement calculée selon le modèle M0.
- ✓ Les notes écologiques des modèles MII et MIII ne représentent respectivement que 1.4 et 0.3% de la note écologique du modèle M0 : la valeur écologique pouvant être calculées à partir des protocoles LFI des campagnes précédentes serait très peu représentative de la valeur écologique des peuplements calculée pour le modèle M0.
- ✓ La note écologique du modèle MIV représente 7.1 % de la note écologique du modèle M0 : la valeur écologique pouvant être calculées à partir du protocole utilisé pour les « Réserves Forestières » serait moyennement représentative de la valeur écologique des peuplements calculées selon le modèle M0.
- ✓ Les notes écologiques des modèles M0 et MV représentent plus de 200 % de la note écologique du modèle MI : le modèle comparable au protocole EFI ne représente qu'en partie la valeur écologique du peuplement comparé à ces deux autres modèles.
- ✓ Les notes écologiques des modèles MII et MIII représentent respectivement 3.8 et 0.7 % de la note écologique du modèle MI : la valeur écologique pouvant être calculées à partir des protocoles LFI des campagnes précédentes serait très peu représentative de la valeur écologique des peuplements calculée pour le modèle MI.
- ✓ La note écologique du modèle MIV représente seulement 18.5% de la note écologique du modèle MI : la valeur écologique pouvant être calculées à partir du protocole utilisé pour les « Réserves Forestières » serait moyennement représentative de la valeur écologique des peuplements calculées selon le modèle MI.
- ✓ La note écologique du modèle MVI représente 74.6 % de la note écologique du modèle MI : si nous conservons uniquement les dendromicrohabitats « sûrs » quant à leur reproductibilité, nous ne perdons que 26% de la valeur écologique du peuplement calculée selon le modèle MI.

C. Conclusions et discussion

En définitive, les modèles M0, MI et MVI ont des valeurs écologiques assez proches avec la méthode de calcul R.Bütler mais pas avec la méthode T1. Ils sont donc comparables en quantité mais pas en diversité.

Les modèles M0 et MV conservent des valeurs écologiques assez proches dans les deux cas. Cela nous permet de dire que le regroupement des dendromicrohabitats au-delà de leurs dimensions est possible sans modifier de façon importante la valeur écologique du peuplement. Ce serait plus facile pour les équipes de terrain et de fait, cela pourrait réduire les erreurs.

Les modèles II, III et IV ont des valeurs écologiques éloignées de celles obtenues avec le modèle M0 dans les deux cas. Il serait donc peu valorisant d'étudier l'évolution de la valeur écologique au cours du temps à partir des inventaires précédents et de comparer la valeur écologique des peuplements étudiés par le prochain inventaire à celle des réserves forestières.

Les modèles ont été construits sur la base de la comparaison des ensembles de dendromicrohabitats proposés par différents protocoles. Certains dendromicrohabitats, bien qu'apparaissant dans deux ensembles différents, n'ont pu être comparés en raison de la différence de protocole de leur recensement. Par exemple, les dégâts d'insectes sont cités dans les protocoles LFI 4 et LFI 3 mis ne peuvent pas être comparés au protocole LFITest car ils englobent un plus large ensemble de dégâts que les galeries et les trous proposés par le LFITest et que ceux-ci ne peuvent pas être différenciés dans cette catégorie.

VII. Conclusion : bilan général et propositions

Au cours de cette étude, nous avons pu voir que les dendromicrohabitats sont généralement difficile à observer de manière certaine. Cependant, voici quelques propositions et recommandations pour décider de leur intégration au sein du LFI.

A. A propos des dendromicrohabitats

Les dendromicrohabitats devraient être recensés sans distinction de dimensions. Cela facilite le travail de terrain et améliore la reproductibilité du recensement inter-personnes sans diminuer de façon trop importante la valeur écologique des peuplements avec les méthodes de calcul R.Bütler et T1.

Dendromicrohabitat	Seuil minimum	Questions principales	Questions secondaires		
Cavités d'habitation des pics	$\varnothing > 4 \text{ cm}$	nombre			
Flute	3 distantes de moins de 2m	présence			
Cavités formées à partir de branches	$\varnothing > 3 \text{ cm}$	nombre			
Autres cavités naturelles	$\varnothing > 3 \text{ cm}$	nombre	degré d'ouverture	contact avec le sol	présence d'humus
Cavités de nutrition de pics	$\varnothing > 3 \text{ cm}$	absence/présence			
Cavités racinaires	> poing	nombre			
Dendrothelme	$\varnothing > 3 \text{ cm}$	nombre			
Galleries d'insectes	nombre de trous donné sur une paume de main	absence/présence			
Trous de gros insectes	$\varnothing ? 2 \text{ cm}$	nombre			
Cassure de la couronne ou du tronc	$\varnothing > 20 \text{ cm}$	oui/non	en éclat		
Couronne secondaire		absence/présence			
Fentes et cicatrices	largeur > 1 cm, profondeur > 10 cm, longueur > 10 cm	nombre	cause : feu	cause : foudre	
Décollements d'écorce	10 x 10 x 1	nombre			
Branches mortes	$\varnothing > 10 \text{ cm}$ L > 50cm	nombre			
Plages de bois sans écorce	> 1 paume de main	nombre			
Branches vertes cassée	$\varnothing > 10 \text{ cm}$	nombre			
Balais de sorcière	$\varnothing > 20 \text{ cm}$	absence/présence			
Gourmands	$\varnothing > 20 \text{ cm}$				
Loupe	$\varnothing > 20 \text{ cm}$				
Chancre décomposé	$\varnothing > 20 \text{ cm}$				
Polypores pérennes	$\varnothing > 5 \text{ cm}$	nombre jusqu'à dix puis classe de dix en dix			
Autres champignons	$\varnothing > 5 \text{ cm}$	nombre jusqu'à dix puis classe de dix en dix			
Bryophytes	> 25 %	catégorie			
Lichens	> 25 %	catégorie			
Lianes	> 25 %	catégorie			
Mistletoe		absence / présence			
Nids de vertébrés		absence / présence			
Coulée de sève active		nombre			
coulée de résine fraîche		nombre			
Fourche	H : 1.3 -9.0 m	absence / présence			
	H > 0.9m	absence / présence			
Taillis		oui/non			
Recouvrement par l'écorce	Arbres morts	catégorie			

Tableau 21 : Propositions de dendromicrohabitats

Cette liste est tout d'abord basée sur la littérature à laquelle nous avons soustrait les dendromicrohabitats non importants d'après l'analyse de fréquence sur les 14 marteloscopes EFI. Les couleurs indiquent les résultats quant à leur reproductibilité.

En brun : les dendromicrohabitats dont la reproductibilité n'a pas pu être étudiée ou recevoir de conclusion

En rouge : les dendromicrohabitats très difficilement reproductibles

En orange : les dendromicrohabitats qui pourraient être reproductibles après quelques améliorations

En vert : les dendromicrohabitats reproductibles.

Pour les différents recouvrements, les catégories seraient les mêmes (Tableau 24). Elles permettent de faciliter la décision en soulignant les extrêmes facilement identifiables par les observateurs (IV.D.2 .c).

catégorie	pourcentage de recouvrement
0	< 25 %
1	25 - 49 %
2	50 - 74 %
3	75 - 89%
4	> 90 %

Tableau 22 : Catégories de recouvrement

Certains dendromicrohabitats sont déjà recensés dans les protocoles des LFI précédents. Il faut conserver la façon dont ils sont recensés pour assurer une continuité des données LFI. Cependant, le regroupement des dendromicrohabitats partie de la couronne brisée et tronc cassé serait judicieux. Les deux recensements pourraient alors être gardés et réalisés en parallèle. Cela concernerait :

Dendromicrohabitats
Plages de bois sans écorce
Partie de la couronne brisée
Tronc cassé
Fentes et cicatrices

Tableau 23 :Liste des dendromicrohabitats à double recensement

B. Le protocole

Les dendromicrohabitats devraient être recensés sur tous les arbres, quel que soit leur diamètre et quel que soit leur statut. Pour réduire le temps destiné à l'observation des dendromicrohabitats, il faudrait alors observer tous les arbres mais sur une surface donnée plus petite que celle des placettes.

Un temps de 5 minutes permet d'avoir tous les microhabitats de manière significative d'après l'exercice avec les équipes de terrain. Les équipes de terrain le réduisent à une estimation de 3,5 minutes.

Les jumelles ne permettent pas de voir plus de dendromicrohabitats d'après les résultats de l'exercice avec les équipes de terrain

C. Les limites

L'effet observateur est très important et la reproductibilité des observations est très faible dans l'ensemble.

L'impact du feuillage sur les observations en fonction de la période de végétation à laquelle elles sont réalisées est certain mais non quantifié et non contrôlable.

Certains dendromicrohabitats n'ont pas pu être étudiés à cause de leur absence de ce peuplement comme par exemple les troncs creux.

Des structures particulières et des notions ont été également mises de côté car elles ne rentrent pas dans la définition d'un dendromicrohabitat mais n'en sont pas moins importantes. Par exemple, la luminosité est un facteur très important pour les cortèges animaux et végétaux mais n'est pas un dendromicrohabitat.

VIII. Bibliographie

Livres et rapports :

- ✓ **Kraus Daniel, Krumm Frank (dir.),** Les approches intégratives en tant qu'opportunités de conservation de la biodiversité forestière. Institut Européen des forêts, **2013**, 308 pages.
- ✓ **Lachat T., Bütler R., 2007.** Gestion des vieux arbres et du bois mort : Ilots de sénescence, arbres-habitat et métapopulation saproxyliques. Mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV. 87 p.
- ✓ **Larrieu L., 2014.** Les dendro-microhabitats : facteurs clés de leur occurrence dans les peuplements forestiers, impact de la gestion et relation avec la biodiversité taxonomique. Université de Toulouse : Dynamique et écologie des paysages agriforestiers Dynafor UMR 1201. 111 p. + annexes.
- ✓ **Prosylva, 2003.** Méthodologie d'évaluation du coût d'un martelage favorable à certains éléments de la biodiversité : Cas de la forêt de Zittersheim. 25 p.
- ✓ **Meier S., 2009.** Beurteilung des ökologischen und ökonomischen Wertes von Habitatbäumen in Wirtschaftswäldern am Beispiel des Forstbetriebs Baden. Eth Zürich, 107 p.

Articles scientifiques :

- ✓ **Bouget C., Larrieu L., Brin A., 2013.** Key features for saproxylic beetle diversity derived from rapid habitat assessment in temperate forests. Ecological Indicators 36 , p.656-664
- ✓ **Bouget C., Larrieu L., Nusillard B., Parmain G., 2013.** In search of the local habitat drivers for saproxylic beetle diversity in temperate deciduous forests. Biodiversity Conservation 22, 211-2130.
- ✓ **Brändli U.-B., Abegg M., Bütler R., 2011.** Lebensraum-Hotspots für saproxyliche Arten mittels LFI-Daten erkennen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 9, 312-325.
- ✓ **Buchanan J., Fleming T., Irwin L., 2004.** A comparison of barred and spotted owl nest-site characteristics in the eastern cascade mountains, Washington. J. Raptor Res. 38 (3) : 231-237.
- ✓ **Bütler R., Lachat T., Larrieu L., Paillet Y.** Arbres-habitats, éléments-clés de la biodiversité forestière. Les approches intégratives en tant qu'opportunités de conservation de la biodiversité forestière. P86-93. Institut Européen des forêts, **2013**.
- ✓ **Bütler R., Lachat T., 2009.** Wälder ohne Bewirtschaftung : eine Chance für die saproxyliche Biodiversität. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 11, 324-333.
- ✓ **De Zan L., Belloti F., D'Qmqto D., Carpaneto G.M., 2014.** Saproxylic beetles in three relict beech forests of central Italy : Analysis of environmental parameters and implications for forest management. Forest Ecology and Management 328, 229-244.
- ✓ **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 LX. 727-748.
- ✓ **Larrieu L., Cabannettes A., Lachat T., Paillet Y., Winter S., Bouget C., Deconchat M., 2014.** Deadwood and tree microhabitat dynamics in unharvested temperate mountain mixed forests : a life-cycle approach to biodiversity monitoring. Forest Ecology and Management 334, 163-173.
- ✓ **Larrieu L., Cabannettes A., 2012.** Species, live status, and diameter are important tree features for diversity and abundance of tree microhabitats in subnatural montane beech-fir forests. Canadian Journal of Forest Research 42, 1433-1445.

- ✓ **Larrieu L., Cabannettes A., 2012.** Impact of silviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in montane beech-fir forests of Pyrenees. *European Journal of Forest Research* 131, 773-786.
- ✓ **Larrieu L., Cabannettes A., 2014.** Tree microhabitats at the stand scale in montane beech-fir forests : practical information for taxa conservation in forestry. *European Journal of Forest Research* 133, 355-367.
- ✓ **Michel A.K., 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, USA. *Forest Ecology and Management* 257, 1453-1464.
- ✓ **Michel A.K., Winter S., Linde A., 2011.** The effect of tree dimension on the diversity of bark microhabitats and bark use in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). *Canadian Journal of Forest Research* 41, 300-308.
- ✓ **Möller G., 2005.** Habitatstrukturen holzbewohnender Insekten und Pilze. *LÖBF-Mitteilungen* 3/05, 30-35.
- ✓ **Müller J., Jarzabek-Müller A., Bußler H., Gossner M.M., 2014.** Hollow beech trees identified as keystone structures for saproxylic beetles by analyses of functional and phylogenetic diversity. *Animal Conservation* 17, 154-162.
- ✓ **Müller J., Bußler H., Kreib T., 2008.** Saproxylic beetle assemblages related to silvicultural management intensity and stand structures in a beech forest Southern Germany. *Journal Insect Conservation* 12, 107-124.
- ✓ **Müller J., Wende B., Strobl C., Eugster M., Gallenberger I., Floren A., Steffan-Dewenter I., Linsenmair K.E., Weisser W.W., Gossner M.M., 2015.** Forest management and regional tree composition drive the host preference of saproxylic beetle communities. *Journal of Applied Ecology* 52, 753-762.
- ✓ **Ouin A., Cabannettes A., Andrieu E., Deconchat M., Roume A., Vigan M., Larrieu L., 2015.** Comparison of tree microhabitats abundance and diversity in the edges and interior of small temperate woodlands. *Forest Ecology and Management* 340, 31-39.
- ✓ **Regenry B., Couvet D., Kubarek L., Julien J.-F., Kerbiriou C., 2013.** Tree microhabitats as indicators of bird and bat communities in Mediterranean forests. *Ecological Indicators* 34, 221-230.
- ✓ **Regenry B., Paillet Y., Couvet D., Kerbiriou C., 2013.** Which factors influence the occurrence and density of tree microhabitats in Mediterranean oak forests? *Forest Ecology and Management* 295, 118-125.
- ✓ **Remm J., Löhmus A., 2011.** Tree cavities in forests – The broad distribution pattern of a keystone structure for biodiversity. *Forest Ecology and Management* 262, 579-585.
- ✓ **Vuidot A., Paillet Y., Archaux F., Gosselin F., 2011.** Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats. *Biological Conservation* 144, 441-450.
- ✓ **Winter S., Brambach F., 2011.** Determination of a common forest life cycle assessment method for biodiversity evaluation. *Forest Ecology and Management* 262, 2120-2132.
- ✓ **Winter S., Höfler J., Michel A., 2015.** Association of tree and plot characteristics with microhabitat formation in European beech and Douglas-fir forests. *European Journal of Forest Research* 134, 335-347.
- ✓ **Winter S., Möller G., 2008.** Microhabitats in lowland beech forests as monitoring tool for nature conservation. *Forest Ecology and Management* 255, 1251-1261.

Ouvrages techniques :

- ✓ **Emberger, Larrieu L., 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. Extrait. 6 p.
- ✓ **Kraus D., Büttler R., Krumm F., Lachat T., Larrieu L., Mergner U., Paillet Y., Rydkvist T., Schuck A., Winter S., 2016.** Catalogue of tree microhabitats – Reference field list Integrate+ Technical Paper, 16p.
- ✓ **Reber A., Larrieu L., Schubert M., Büttler R., 2015.** Mini-guide des dendromicrohabitats. DGE Forêt(Canton de Vaud), CNPF, Dynafor. 23 p.
- ✓ **Prosylva, 2003.** Notation écologique d'un arbre. Extrait de : Quantification du coût d'une gestion écologique. 1p.
- ✓ **2013.** Fiche de relevés IBP. CRPF Midi-Pyrénées, IDF-CNPF, INRA Dynafor. 1p.

Non publiés :

- ✓ **Laurent L., Lachat T., mars 2016.** Typologie des dendromicrohabitats. Microsoft Excel. [Document interne confidentiel].
- ✓ **Laurent L. et al, juillet 2015.** Annexe 4 : Dendromicrohabitats biodiversité. Microsoft Word, 11p. [Document interne confidentiel].