UNIL | Université de Lausanne
Faculté des géosciences
et de l'environnement

Travail de Bachelor

Étude du renouvellement et des micro-habitats des forêts alluviales de la Grande Cariçaie

Todorov Katia

Sous la direction du Dr. Pascal Vittoz et Lila Siegfried

Faculté des géosciences et de l'environnement, Université de Lausanne

Table des matières

RESUME 3

INTRODUCTION 5

DEMARCHE METHODOLOGIQUE 8

1. MILIEU D'ETUDE 8
2. RELEVE DE TERRAIN 11
   a. Matériel *11*
   b. Relevé des données *12*
3. ANALYSE DES DONNEES : 14
   a. General *14*
   b. Groupement de variable *14*
   c. Calculs *15*
   d. Tests statistiques *16*

RESULTATS 17

1. RENOUVELLEMENT ET RICHESSE DES ESPECES 17
   a. Renouvellement des essences d'arbres *17*
   b. Recouvrement et richesse spécifique des buissons *20*
2. TREMS ET FACTEURS ASSOCIES 21
   a. Observation générale des TreMs *21*
   b. Observation du bois mort *23*
   c. Observation des diamètres *25*
3. SURFACE TERRIERE ET BITTERLICH 26

DISCUSSION 28

1. RENOUVELLEMENT DES ESPECES 28
2. INDICATEURS DE TREMS 30
3. SURFACES TERRIERE ET BITTERLICH 31
4. LIMITES DE CETTE ETUDE 32

CONCLUSION 33

BIBLIOGRAPHIE 34

WEBOGRAPHIE 36

REMERCIEMENTS 38

ANNEXES 38

Table des illustrations

Figure 1 : Coupe schématique des forêts alluviales présentes dans la Grande Cariçaie 10
Figure 2 : Carte des stations de mesures dans la Grande Cariçaie. 11
Figure 3 : Schéma explicatif de la prise de mesure des arbres adultes et des grands arbres 12
Figure 4 : Représentation des transects de bois mort 13
Figure 5 : Comparaison des espèces d'arbres adultes et des jeunes arbres dans chaque forêt. 17
Figure 6 : Comparaison du renouvellement des stations composant chaque forêt. 19
Figure 7 : Recouvrement et richesse spécifique en buissons des forêts. 20
Figure 8 : Occurrence des TreMs par forêt. 21
Figure 9 : Proportions d'arbres portant des TreMs ainsi que leurs degrés d'abondance par station. 22
Figure 10 : Comparaison des volumes de bois mort au sol et sur pied. 24
Figure 11 : Degré de décomposition du bois mort. 25
Figure 12 : Distribution des diamètres des arbres sur pied. 26
Figure 13 : Comparaison des méthodes d'acquisition de la surface terrière. 27

Résumé

La Grande Cariçaie représente 6,5 % des forêts alluviales en Suisse. Ces forêts y sont peu influencées par l'activité humaine, ce qui leur a permis de suivre une évolution naturelle. Cette étude se concentre sur l'évolution des forêts alluviales de la Grande Cariçaie, en examinant leurs régénération, structure et quantité de micro-habitats. De plus, elle vise à tester l'application de la méthode MOTI pour évaluer les valeurs de surface terrière dans ces forêts alluviales.

Cette étude examine quatre types de forêts : les pinèdes, les aulnaies blanches, les aulnaies noires, et les frênaies, à travers douze parcelles de recherche. La démarche méthodologique utilisée pour l'acquisition des données s'appuie principalement sur la méthode définie par l'inventaire national suisse. Les mesures ont porté sur l'espèce de l'arbre, son diamètre, son état de vie, le bois mort, la quantité de micro-habitats liés aux arbres (TreMs) et la surface terrière à l'aide de MOTI.

Les résultats concernant le renouvellement des forêts révèlent que l'aulnaie blanche et l'aulnaie noire maintiennent bien leur composition. En revanche, la frênaie et la pinède semblent évoluer vers un nouvel équilibre. Dans la frênaie, on constate une absence totale de jeunes frênes et un nombre limité d'arbres adultes, en raison de l'infestation par un parasite qui provoque leur flétrissement. En ce qui concerne la pinède, le renouvellement des pins y est limité et l'on observe la germination de plusieurs autres essences, tels que l'aulne glutineux, le frêne et l'épicéa commun.

La deuxième question abordée dans cette étude porte sur l'abondance des TreMs dans les forêts alluviales de la Grande Cariçaie et les facteurs qui les influencent. Les facteurs étudiés sont le diamètre des arbres et le volume de bois mort. Il est généralement admis que de plus grands volumes de bois mort et des diamètres plus importants indiquent une plus grande quantité de TreMs. Cependant, les résultats de cette étude ne confirment pas cette relation. En effet, nos données indiquent que la forêt avec la plus grande abondance de TreMs présente des diamètres plus petits, tandis que la forêt avec la plus faible abondance de TreMs contient le plus grand volume de bois mort. Ces résultats suggèrent que d'autres facteurs spécifiques aux forêts alluviales doivent être pris en compte pour expliquer l'abondance des TreMs.

Enfin, cette étude compare les valeurs de surface terrière obtenues à l'aide de deux méthodes : l'une étant le calcul à partir des diamètres des arbres et l'autre étant l'utilisation de l'application

MOTI, qui est une adaptation de la méthode Bitterlich sur téléphone portable. Les résultats indiquent une cohérence des valeurs de surface terrière entre les deux méthodes dans les forêts de la Grande Cariçaie. Cependant, la validité de l'extrapolation de ces résultats aux forêts alluviales est limitée en raison du nombre restreint de stations observées.

En conclusion, les résultats de cette étude incitent à approfondir les recherches sur les TreMs de la Grande Cariçaie afin de mieux comprendre leurs dynamiques, en augmentant idéalement le nombre de stations observées.

Introduction

La Suisse est recouverte de forêts sur un tiers de son territoire (Brändli et al., 2020). Afin d'améliorer la gestion et les connaissances de cet environnement, l'Institut fédéral de recherches forestières (anciennement IFRF, WSL aujourd'hui) a lancé en 1970 la création d'un inventaire forestier national (IFN ; Brändli et al., 2020). À ce jour, quatre IFN ont été réalisés, permettant notamment de constater que la forêt suisse s'accroît depuis 150 ans, avec une croissance moindre ces dernières années (Brändli et al., 2020). Cependant, selon Ammer et al. (2018), la recherche doit se concentrer au niveau régional et local en raison de la grande diversité des écosystèmes forestiers et de la spécificité de chaque site, afin de permettre de prendre de meilleures décisions en matière de gestion du territoire.

Cette étude se concentre sur les forêts de la Grande Cariçaie, un ensemble de huit réserves naturelles situé sur la rive sud du lac de Neuchâtel. C'est un milieu intéressant pour sa biodiversité car, dans son ensemble, la Grande Cariçaie abrite un quart des espèces de la faune et de la flore suisse. Cette zone humide est apparue à la suite de la baisse de trois mètres du niveau du lac de Neuchâtel, causée par la première correction des eaux du Jura, qui eut lieu entre 1868 et 1891. S'en est suivi la deuxième correction des eaux du Jura, entreprise entre 1962 et 1973, pour éviter les inondations et variations importantes du niveau du lac. Ces corrections ont eu pour conséquence la baisse drastique de la surface des marais et une tendance au reboisement des marais. Étant donné que la Suisse a perdu 95% de la surface de ces marais depuis le 19e siècle, l'association de la Grande Cariçaie a entrepris leur maintien en 1982 (Association de la Grande Cariçaie, s.d.). Les forêts alluviales aux abords de ces marais sont donc assez jeunes, 150 ans pour les plus vieilles, et ont pour la grande majorité été laissées à leur évolution naturelle. Elles représentent aujourd'hui 6,5 % de la surface des forêts alluviales suisses (OFEV, 2020), ce qui en fait un acteur important pour la conservation de ces milieux. En effet, depuis deux siècles les forêts alluviales régressent en Suisse, principalement en raison des activités anthropiques (OFEV, 2020).

Les forêts sont des milieux en perpétuelle évolution (Bastien et Bournérias, 2023) et de par leur jeunesse et leur faible exploitation, les forêts de la Grande Cariçaie évoluent avec une dynamique naturelle (Roulier,1980). Les espèces d'arbres s'y ordonnent essentiellement en fonction du niveau d'inondation et de la maturité des peuplements (Schaller-Jolidon et al., 2004). Cette évolution naturelle peut entraîner la perte du caractère alluvial des forêts, les qualifiant alors de "transition", et le frêne est souvent prédominant dans ce type

d'environnement (Schaller-Jolidon et al., 2004). La Grande Cariçaie abrite ainsi une grande diversité de types de forêts.

Cette caractéristique implique une importance particulière concernant la faune qu'elle abrite, de par les micro-habitats particuliers qui peuvent s'y retrouver. Les micro-habitats liés aux arbres, désignés par le terme « TreMs » (pour tree-related microhabitats) dans la suite de cette étude, sont des structures présentes sur les arbres morts et vivants qui constituent un milieu de vie essentiel pour une partie de la micro-faune (Asbeck et al., 2021) notamment pour les espèces saproxiliques, qui sont les espèces qui vivent exclusivement sur le bois mort (Kraus et al., 2016). Ces TreMs soutiennent ainsi un large éventail de biodiversité (Larrieu et al., 2018) et sont communément acceptés comme indicateurs de la présence potentielle des espèces qu'elles peuvent accueillir (Asbeck et al., 2021). Plusieurs études se sont appliquées à catégoriser ces TreMs afin, d'une part, de permettre des mesures cohérentes entre les études et ainsi de pouvoir comparer des milieux, et d'autres part, d'avoir une idée de leur importance écologique (Asbeck et al., 2021).

Les études sur les TreMs permettent de répondre à des questions telles que la quantité nécessaire de TreMs pour soutenir une population viable des taxons qui y sont liés. Pour une utilisation optimale de cet indicateur, une connaissance des assemblages dans les forêts primaires serait utile afin de pouvoir s'y référer (Przepióra et Ciach, 2022). L'étude de Müller et Bütler (2010) fournit déjà une partie de réponse en fixant une limite minimale de 20-50 m^3/ha de bois mort en vue d'une conservation minimale des TreMs. Les TreMs sont des structure complexes et leur compréhension reste encore superficielle. Plusieurs études ont identifié trois facteurs principaux influençant les TreMs, à savoir l'espèce de l'arbre (Asbeck et al., 2021 ; Larrieu et Cabanettes, 2012), le diamètre (Ammer et al., 2018 ; Asbeck et al., 2021 ; Przepióra et Ciach, 2022) et l'état de vie (Asbeck et al., 2021 ; Larrieu et Cabanettes, 2012 ; Przepióra et Ciach, 2022). Cette étude souhaite donc donner un aperçu général des données sur les TreMs présents dans la Grande Cariçaie, ainsi qu'à observer l'influence des principaux facteurs sur l'occurrence des TreMs.

La collecte de données en forêt est souvent ardue, même pour des mesures plus rigoureuses que les TreMs, telles que la surface terrière. La surface terrière indique l'aire occupée par les arbres dans une forêt par unité de surface (en général l'hectare) et peut s'obtenir en sommant l'aire de chaque arbre où en utilisant la méthode de Bitterlich. Cette deuxième méthode désigne l'acquisition des données de la surface terrière à l'aide d'un relascope et de calculs algébriques

simples (Blutel, 1960). En 2013, cette méthode fut adaptée à l'utilisation sur téléphone avec l'application MOTI, la version la plus récente étant sortie en 2018 (MOTI, s.d.). Ainsi, MOTI vise à faciliter les inventaires forestiers, mais il demeure encore récent et n'a pas été testé dans certaines conditions, telles que les zones à forte pente (Rosset et al. 2015). Cette étude se propose de tester MOTI dans les conditions de forêt humide.

L'objectif principal de cette étude est de comparer les différentes forêts alluviales de la Grande Cariçaie sur plusieurs aspects. Les questions de recherches qui seront abordées sont :

1. Quelle est la trajectoire évolutive potentielle des forêts de la Grande Cariçaie en fonction de la régénération actuelle ?
2. Est-ce que ces forêts accueillent des quantités similaires de TreMs ? Si ce n'est pas le cas, est-ce cohérent avec l'abondance de bois mort et le diamètre moyen ?
3. Est-ce que l'application MOTI fournit des résultats comparables à la méthode de sommation des diamètres d'arbres pour estimer la surface terrière dans les forêts alluviales de la Grande Cariçaie ?

Les deux premières questions de recherche seront examinées à travers les hypothèses suivantes :

1.1 Les forêts alluviales de la Grande Cariçaie régressent, avec un remplacement des espèces d'arbres typiques de forêts alluviales par des espèces peu communes aux milieux humides.

2.1 Les forêts avec la plus grande quantité de bois mort et de grands diamètres d'arbres abritent plus de TreMs que les autres.

Démarche méthodologique

1. Milieu d'étude

La région de la Grande Cariçaie est sujette au brouillard en raison de la présence du lac de Neuchâtel, ainsi que de sa position géographique. En effet, la région est située entre la chaîne des Alpes et le Jura, ce qui favorise la formation de brouillard et de précipitations. Les précipitations y sont maintenues entre 580 mm et 1100 mm par an depuis 1965 (MétéoSuisse, s.d.). Cependant, on constate une tendance à la hausse en ce qui concerne le nombre d'heures d'ensoleillement au cours des cinquante dernières années. La moyenne était de 1630 heures par an pour la période 1965-1975, tandis qu'elle s'établit à 1964,5 heures par an pour la période 2012-2022, soit une augmentation de 334,5 heures en 50 ans (MétéoSuisse, s.d.). En ce qui concerne les températures, on observe une augmentation de 2°C en moyenne au cours des cinquante dernières années. La moyenne était de 8,3°C pour la période 1965-1975, comparativement à 10,3°C pour la période 2012-2022 (MétéoSuisse, s.d.). Il convient de noter que ces chiffres correspondent à la station météorologique la plus proche, située à Payerne.

La Grande Cariçaie regroupe un panel de forêts diverses dont les forêts alluviales évoquées en introduction. Les forêts alluviales sont des forêts marquées par la dominance d'essences hygrophiles, et dont les principaux facteurs d'influence de la composition des espèces sont la dynamique des crues et les fluctuations de la nappe phréatique (Delarze et Gonseth, 2008). Dans la Grande Cariçaie, différents types de forêts humides sont présents, dont les aulnaies noires, les aulnaies blanches, les frênaies humides et les pinèdes. Cette étude portera sur ces quatre forêts. Les paragraphes suivants offrent une présentation générale de ces milieux.

Les aulnaies noires sont constituées principalement de peuplements d'*Alnus glutinosa*, avec une strate buissonnante peu abondante composée de *Salix cinerea* et de *Frangula alnus* (Delarze et Gonseth, 2008). Cette végétation thermophile s'établit dans des milieux souvent inondés, mais non exposées à des alluvionnements (dépôts de cailloux, sables ou boues par le ruissellement d'eau). L'eau stagnante entraîne des conditions asphyxiantes et l'activité biologique du sol est ralentie, rendant la disponibilité des nutriments faible et les sols riches en matières organiques. En Suisse, ces forêts ont diminué en raison du drainage et de l'assainissement des régions marécageuses. Elles se retrouvent aujourd'hui principalement dans la région zurichoise (Delarze et Gonseth, 2008).

Les aulnaies blanches, ou alluviales, sont dominées par les *Alnus incana*, qui forment des forêts denses mais à faible hauteur (Delarze et Gonseth, 2008). Leur sous-bois est généralement luxuriant et regroupe des espèces telles que le *Rubus caesius* et le *Prunus padus*. Ces forêts sont normalement liées à des sédiments sableux ou limoneux, voire des éboulis, car l'aulne blanc a une croissance rapide et résistante aux alluvionnements. Ces forêts se retrouvent sur des sols neutres à alcalins et humides, à des altitudes entre 200 m et 1300 m. Elles indiquent usuellement que le milieu est dynamique, avec des inondations périodiques (Delarze et Gonseth, 2008). Cependant dans la Grande Cariçaie, ces conditions ne sont plus rencontrées depuis les corrections des eaux. La classification des forêts en tant qu'aulnaies blanches repose principalement sur la composition des espèces dominantes (P. Vittoz, communication personnelle, 7 mai 2023). Les menaces générales des aulnaies blanches sont liées à la perte de dynamique alluviale et aujourd'hui ce type de forêt est menacé en Suisse en raison de l'endiguement des cours d'eau et de l'extraction des graviers (Delarze et Gonseth, 2008).

Les frênaies humides sont des forêts constituées de diverses essences à bois dur, comme le frêne, le chêne, l'orme et le tilleul (Delarze et Gonseth, 2008). Elles possèdent souvent des structures complexes dues à la production élevée et aux fluctuations périodiques du milieu. La frênaie regroupe des associations liées à divers types d'habitats humides. Elles colonisent surtout les régions de plaines éloignées du massif alpin, où les sédiments fins prédominent (Delarze et Gonseth, 2008). Ces sédiments fins indiquent un faible courant et peu de crue (Delarze et Gonseth, 2008), correspondant bien aux conditions rencontrées dans le Grande Cariçaie (P. Vittoz, communication personnelle, 7 mai 2023). Leur point commun est d'occuper des milieux trop humides pour le hêtre. Elles se retrouvent sur des sols neutres à alcalins et plutôt humides, à des altitudes allant de 200 m à 1000 m. Ces forêts possèdent une diversité exceptionnelle, tant par la richesse en espèces que par celle des formes biologiques. De nombreuses espèces rares liées au régime hydrique s'y trouvent ainsi que des espèces proches de l'extinction. Ces forêts sont sensibles à l'abaissement des nappes phréatiques dû aux corrections des eaux mais ne sont pas impactées par la diminution de la dynamique alluviale. En Suisse, avant la fin du 19e siècle, ces forêts ont été détruites en plaines par le défrichement et la mise en culture, ainsi que par leur remplacement par des populations de peupliers (Delarze et Gonseth, 2008). Aujourd'hui le défrichement est interdit et la valeur commerciale du peuplier est nulle, cependant des nouveaux facteurs limitant apparaissent, comme l'agent pathogène *Hymenoscyphus fraxineus* qui cause le dépérissement des populations de frênes (Ammer et al., 2018).

Les pinèdes sont des forêts dominées par le pin sylvestre (Delarze et Gonseth, 2008). Cet arbre a une grande tolérance face à la sècheresse, l'humidité et la pauvreté en nutriments des sols. Il ne peut cependant pas résister à la concurrence des autres essences forestières. Les pinèdes se rencontrent dans des milieux extrêmes, en Suisse principalement dans des conditions très sèches (Valais et Grisons) mais également dans les situations topographiques particulières qui empêchent la formation des sols (Delarze et Gonseth, 2008). Ces forêts se trouvent entre 500 et 1300 m d'altitude sur des sols humides à secs et neutres à alcalins. Les pinèdes sont riches en espèces héliophiles rares et protégées. Ce groupement est toujours confiné à de petites surfaces et sa situation générale est stable. La principale menace locale réside dans les interventions humaines destinées à lutter contre l'érosion (Delarze et Gonseth, 2008). Dans la Grande Cariçaie, les pinèdes se situent principalement là où la molasse affleure, ce qui correspond à des sols peu épais (Schaller-Jolidon et al., 2004). De plus, ces pinèdes se trouvent dans des zones humides et sur des terrains plats, ce qui les expose davantage aux menaces liées au développement d'autres espèces capables d'exclure le pin sylvestre.

Dans la Grande Cariçaie, les forêts alluviales se répartissent en fonction de plusieurs variables écologiques, parmi lesquelles le régime hydrologique joue un rôle essentiel. Cette caractéristique se traduit par une distribution spécifique des forêts en fonction de la hauteur de la nappe phréatique, dépend à son tour de la proximité au lac et de la répartition des ruisseaux. La Figure 1 permet d'illustrer cette répartition en mettant en évidence la succession des différents types de forêts alluviales dans la Grande Cariçaie. On observe ainsi que généralement la pinède est localisée au plus près du lac, suivie de l'aulnaie blanche, de l'aulnaie noire, et enfin de la frênaie. Cependant, cette représentation demeure une généralisation, puisque dans certains cas, la pinède peut se retrouver éloignée du lac, lorsque la molasse affleure en ces lieux.

Figure 1 : Coupe schématique des forêts alluviales présentes dans la Grande Cariçaie (Association de la Grande Cariçaie, s.d.).

Les stations étudiées dans cette étude ont été sélectionnées parmi les points d'observation déjà définis par Lila Siegfried dans sa thèse. Ainsi douze stations ont été retenues afin d'obtenir trois stations pour chaque type de forêt présenté ci-dessus (voir Figure 2). Une fiche descriptive des stations est disponible en annexe (Annexes I-XII).

Figure 2 : Carte des stations de mesures dans la Grande Cariçaie. Cette carte présente les douze points de mesure de l'étude, qui sont colorés en fonction du type de forêt. La Grande Cariçaie se situe sur la rive sud du lac de Neuchâtel. Les aulnaies se caractérisent par des sols régulièrement saturés en eau, tandis que les frênaies présentent des sols humides mais non saturés. Les pinèdes sont des forêts adaptées à des conditions environnementales extrêmes, capables de supporter des conditions difficiles mais qui ne sont pas compétitives. Dans le cas de la Grande Cariçaie, ce type de forêt se trouve dans les zones où le sol est peu épais en raison de l'affleurement de la molasse.

2. Relevés de terrain

a. Matériel

Le matériel utilisé pour réaliser cette étude comprend : un mètre ruban de 16 mètres minimum, un GPS de poche, un téléphone équipé de l'application MOTI, un appareil photo, une boussole, un formulaire de terrain, un télémètre laser Bosch, un compas forestier de 65 cm et un couteau de poche. Le formulaire de terrain a été effectué par L. Siegfried, suite à la définition des objectifs de l'étude (Voir Annexe XIII). La méthode adoptée s'appuie sur celle décrite dans l'IFN (Keller, 2011) et sera détaillée plus précisément dans les parties suivantes. Le travail de terrain a été effectué entre juillet et décembre 2022.

b. Relevé des données

i. Relevé des arbres adultes

Le terme « arbre adulte » fait référence aux arbres présents dans la forêt actuelle, ayant un diamètre minimum de douze centimètres. Ce terme est utilisé pour distinguer ces arbres des jeunes arbres mesurés dans le cercle de rajeunissement, qui se trouvent dans la strate basse (en dessous de la canopée) et représentent la future forêt.

Dans le cadre de cette étude, les données ont été collectées en examinant les arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP), c'est-à-dire à 1,3 m du sol, supérieur à 12 centimètres dans un rayon de 8 mètres autour du point GPS de chaque station. Chaque cercle a donc une surface de 200 m². Les données suivantes ont été collectées pour chaque arbre : la distance au centre, l'orientation (en degrés à l'aide de la boussole), la hauteur (estimation), le DHP (obtenu avec le compas forestier), l'espèce, l'état sanitaire et les TreMs ont été enregistrés.

L'ensemble de ces éléments ont également été récoltés dans un cercle plus grand, de 12,6 mètres, à la différence que cette fois seuls les arbres avec un DHP supérieur ou égal à 36 centimètres ont été inventoriés (voir Figure 3). Ces arbres sont dénommés « grands arbres » dans la suite de cette étude.

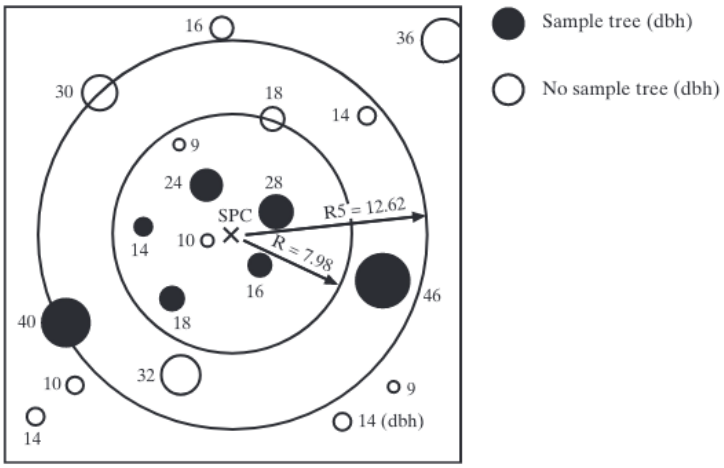


Figure 3 : Schéma explicatif de la prise de mesure des arbres adultes et des grands arbres dans l'IFN (Keller, 2011), dont s'inspire la méthode présente.

L'état sanitaire identifie si l'arbre est vivant ou mort et son état de santé général. La nomenclature des TreMs comprend les sections : mousses, lichens, cavités et champignons. Les « mousses » et « lichens » ont été relevés sans distinction d'espèces, en observant le tronc des arbres. Avec une échelle de présence allant de 0 (absence) à 5 (forte présence). La catégorie « champignon » regroupe les moisissures et fructifications fongiques, sans distinction d'espèce. L'ensemble des « cavités » est constitué des trous d'insecte, des trous de pic, des fissures et autres cavités. Les données relatives aux champignons et aux cavités ont été enregistrées en utilisant une codification binaire, indiquant leur présence ou leur absence.

ii. Relevé des cercles de rajeunissement

Pour chaque station, deux cercles de rajeunissement sont définis à une distance de 10 m du point GPS, à l'est et à l'ouest avec un rayon de quatre mètres (Keller, 2011). Dans chaque cercle sont relevé des données sur les arbres et buissons. Pour les arbres les données collectées sont le DHP, la hauteur et l'espèce. Pour les buissons, les données collectées sont la hauteur moyenne, l'espèce et le recouvrement. Le recouvrement a été estimé en pourcentage de surface recouverte.

Les arbres ainsi collectés sont dénommés « jeunes arbres » dans la suite de cette étude. Ces jeunes arbres ont étés séparés en trois classes de hauteurs (voir section 3.b) ce qui permet d'étudier les plus grands jeunes arbres comme principaux arbres de la future forêt.

iii. Transect de bois mort

En se basant sur la méthode de l'IFN (voir Figure 4), trois transects avec une orientation de 31°, 153°, et 270° ont été effectués. Chaque transect mesure 15 mètres de longueur et commence à une distance d'un mètre du point central (afin d'éviter de compter plusieurs fois la même branche). Le long de ces transects, les données suivantes ont été récoltées pour chaque branche ou tronc de bois mort au sol ayant un diamètre supérieur ou égal à 7 cm :

1. La distance au centre ;
2. La distinction entre branche et tronc ;
3. Deux diamètres perpendiculaires entre eux (Keller, 2011) ;
4. Le degré de dégradation. Le degré de décomposition se mesure à l'aide d'un couteau de poche ;
5. La position : couché au sol, penché, reposant sur d'autres arbres, etc. ;
6. Les micros-habitats (similairement à l'étude des arbres adultes, partie 1.b.i).

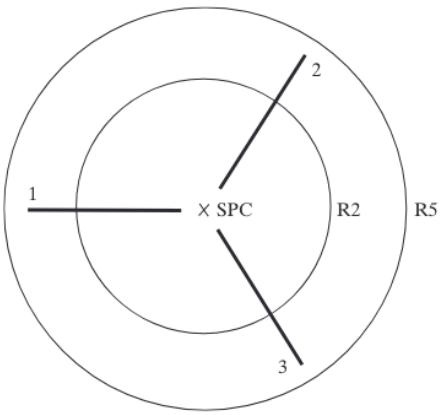


Figure 4 : Représentation des transects de bois mort (Keller, 2011).

Le degré de dégradation du bois mort est défini par cinq classes, telles qu'utilisées par l'IFN (Keller, 2011). La première classe regroupe le bois frais vert, le cambium est encore vivant. La deuxième classe recense le bois mort ferme (sans sève, résistant ; le couteau pénètre très

difficilement dans le sens des fibres). La troisième classe concerne le bois pourri (moins résistant que la classe 2 ; le couteau pénètre facilement dans le sens des fibres (>1 cm), mais pas transversalement). La quatrième classe est définie comme le bois pourrissant (tendre ; le couteau pénètre facilement dans toutes les directions (>1 cm)). Enfin, la cinquième classe désigne le bois en mulch (très friable ou pulvérulent ; à peine cohérent).

iv. MOTI – Bitterlich sur téléphone

La démarche suivie pour l'acquisition des données Bitterlich sur téléphone est tirée de la méthode proposée par Gollut et Rosset (2012). Lorsqu'un arbre apparaît comme étant plus large que le viseur, il est saisi à l'aide d'une simple pression sur l'écran tactile, tandis qu'un arbre apparaissant plus mince que le viseur est ignoré (Gollut et Rosset, 2012). Cet outil est assez simple d'utilisation : après avoir calibré le téléphone il est possible de mesurer la surface terrière, exprimée en m^2/ha, et de mesurer la hauteur, ce qui permet de calculer le volume par hectare.

Dans cette étude, un seul téléphone a été utilisé pour recueillir l'ensemble des données. Pour chaque station, deux mesures ont été effectuées afin de tester les différences de valeurs entre les observateurs. Les deux mesures ont été effectuées depuis le centre du cercle. Les valeurs utilisées pour comparer les valeurs de MOTI avec la surface terrière par le calcul sont les moyennes des deux mesures par station.

3. Analyse des données :

a. General

Une fois les données récoltées, elles ont été retranscrites dans le logiciel Excel. L'analyse statistique et la création de graphiques ont été effectuées avec le logiciel R (version 4.2.3).

b. Groupement de variable

Afin d'effectuer au mieux des analyses statistiques, il a été nécessaire de condenser l'information dans différentes variables. Les regroupements effectués sont listés dans cette section.

Concernant les espèces, les classes *Populus* sp., autres arbres et grands buissons sont des regroupements. La classe « *Populus* sp. » contient les espèces : *Populus canescens*, *Populus*

nigra et *Populus tremula*. La classe « autres arbres » contient les espèces observées en nombre insuffisant pour justifier une catégorie distincte : *Betula pendula, Prunus avium, Quercus robur, Prunus padus, Juglans regia* et les arbres dont l'espèce n'a pas pu être identifiée. La classe « grands buissons » regroupe les espèces qui ne deviennent qu'exceptionnellement des arbres : *Corylus avellana, Juniperus communis, Rhamnus cathartica, Salix cinerea* et *Salix caprea* (P. Vittoz et L. Siegfried, communication personnelle, 1 mars 2023).

Les jeunes arbres sont répartis en trois classes de hauteur inspirée de l'IFN (Keller, 2011). La première classe va de 0 à 29 cm, la deuxième de 30 à 129 cm, et la troisième regroupe tous les arbres ayant une hauteur supérieure ou égale à 130 cm. Cette troisième classe est utilisée pour considérer uniquement les jeunes arbres ayant le plus de chances de faire partie de la future forêt.

c. Calculs

i. Surface terrière

La surface terrière est la somme des surfaces de tronc à hauteur de poitrine (DHP) en mètres carrés par hectare (Asaël, 2015). Pour la calculer, il faut d'abord obtenir l'aire des troncs en transformant les centimètres en mètres, puis faire la somme de toutes ces aires par stations. Pour finir, ce résultat est multiplié par cinquante pour passer d'un cercle de 200 m^2 à l'hectare. Cette surface terrière obtenue à partir de nos diamètres mesurés sera nommée « méthode par le calcul » dans la suite de cette étude.

ii. Volume de bois mort

Les calculs concernant les volumes de bois mort sont tirés de l'article de Silva et al. (2021) qui fournit les formules suivantes :

- Volume pour le bois mort sur pied (Bütler (2003) dans Silva et al., 2021, p. 50)

$$\frac{\mathrm{v}}{\mathrm{ha}} = \sum(\text{aire basale} * \text{hauteur} * \text{index de forme}) * \text{facteur}$$

Aire basale : $\pi * (d/2)^2$ (diamètre en mètre) ;
Hauteur du tronc : [m] ;
Index de forme : Valeur utilisée = 0,5 (Silva et al., 2021) ;

Facteur de report à l'hectare selon la surface de la placette, ici f = 50.

- Volume de bois mort au sol (Böhl et Brändli (2007) dans Silva et al., 2021, p. 50)

$$\frac{v}{ha} = \frac{\pi^2}{8 * L} * \sum di^2 * \frac{1}{h}$$

L : longueur du transect = 15 m ;

di : diamètre intersecté en cm ;

h : nombre de transects par placette = 3.

d. Tests statistiques

Plusieurs tests statistiques ont été utilisés pour analyser les données collectées. Cette section résume les tests appliqués, leur contexte d'application et leurs prérequis de fonctionnement. Dans cette étude, les tests sont considérés comme significatifs à un niveau de confiance de 5%.

Le test de l'ANOVA a été conduit pour comparer la richesse spécifique en buisson et les volumes de bois entre les types de forêts. Ce test a pour prérequis la normalité des données, l'homogénéité des variances et l'indépendance des variables. L'homogénéité des données a été testée à l'aide du test de Levene. Pour obtenir une analyse plus approfondie de l'ANOVA, le test de Tukey a été entrepris.

Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney a été effectué pour comparer le recouvrement en buissons des types de forêts. Pour effectuer ce test, les prérequis suivants doivent être réunis : les données sont quantitatives et continues, les groupes sont indépendants, et il y a homogénéité des variances. Ce test est également connu sous le nom de test de Mann-Whitney U ou de test des rangs de Wilcoxon.

Un t-test apparié a été utilisé pour comparer les deux méthodes d'acquisition de la surface terrière. Les prérequis pour un t-test apparié sont les suivants : des variables quantitatives continues, des variables appariées, une distribution normale des données, une taille d'échantillon assez grande (généralement plus de 30), et une homogénéité des variances. La normalité des données a été testée avec le test de Shapiro-Wilk. L'homogénéité des variances a été testée à l'aide d'un test F.

Le test de Kruskal-Wallis a été mené pour comparer les moyennes de diamètre entre les types de forêts. Les prérequis du test de Kruskal-Wallis sont l'indépendance des échantillons, une échelle ordinale des données, une homogénéité des formes de distribution et des échantillons suffisamment grands. Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney a été effectué comme test post-hoc.

Résultats

1. Renouvellement et richesse des espèces

a. Renouvellement des essences d'arbres

Le renouvellement des espèces pour chaque type de forêt est présenté dans la Figure 5. Les paragraphes suivants décrivent en détail ce graphique.

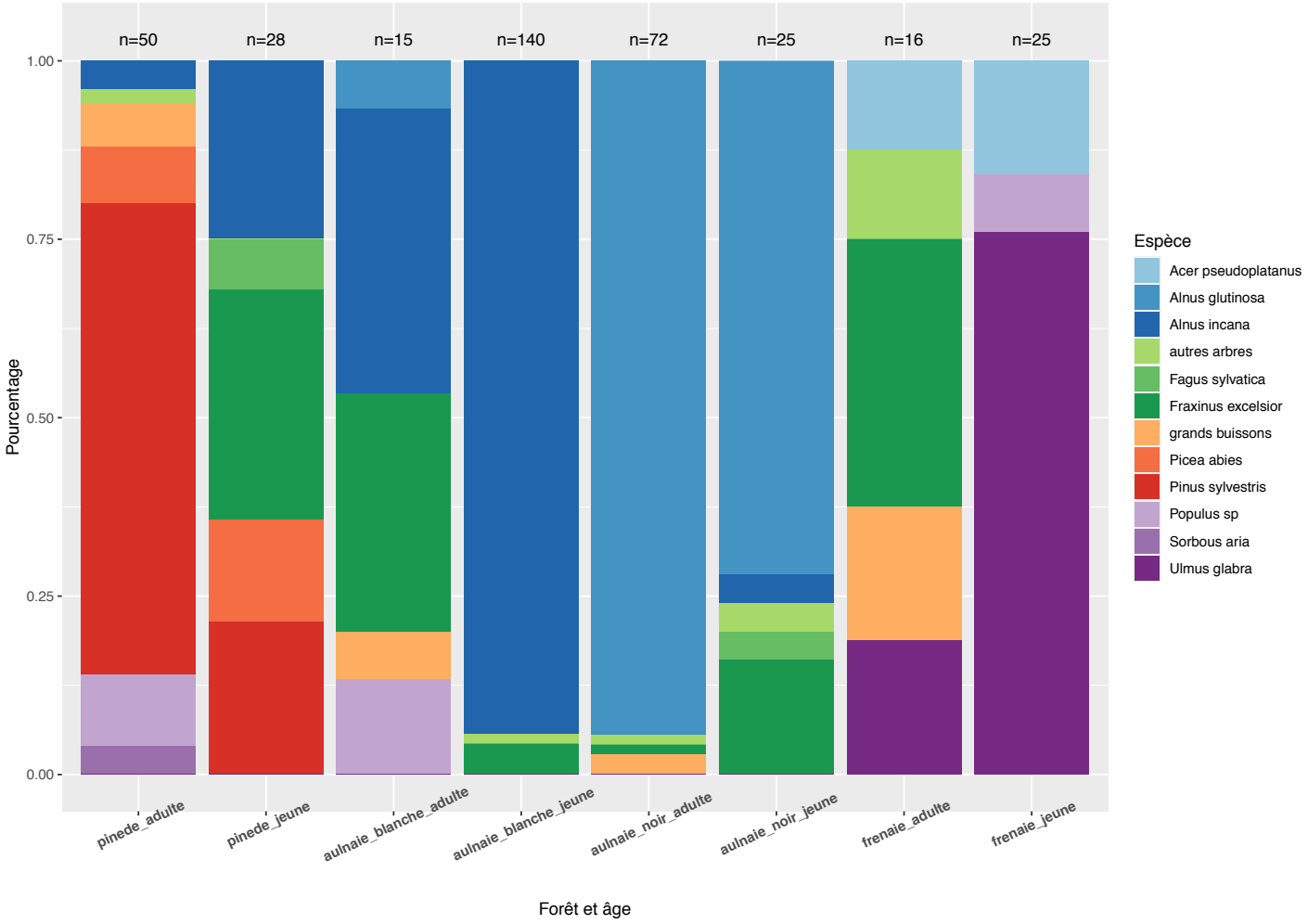


Figure 5 : Comparaison des espèces d'arbres adultes et des jeunes arbres dans chaque forêt. Ce graphique présente les quatre types de forêts à l'aide de deux colonnes, représentant les arbres adultes (à gauche) et les jeunes arbres (à droite, ceux mesurant plus de 130 cm et inventoriés dans les deux cercles de rajeunissement). Les forêts sont classées selon le cas général de proximité au lac, avec la pinède la plus proche et la frênaie la plus éloignée. Pour observer le renouvellement de la pinède, par exemple, il faut se concentrer sur les deux premières colonnes du graphique et comparer les arbres adultes (à gauche) et les jeunes arbres (à droite). Le nombre « n » au-dessus de chaque colonne indique le nombre d'arbres observés.

Dans les pinèdes, on observe une diminution des pins sylvestres (*Pinus sylvestris*), passant de 66% dans les adultes à 21% dans les jeunes arbres. La population de jeunes arbres est principalement composée de frênes communs (*Fraxinus excelsior*) avec 32%, puis à 25% d'aulnes blancs (*Alnus incana*) et 14% d'épicéas communs (*Picea abies*).

Les aulnaies blanches sont principalement composées d'aulnes blancs (*Alnus incana*), représentant 44% des arbres adultes et 94% des jeunes arbres. Les adultes des aulnaies blanches comprennent également une proportion importante (environ 31%) de frênes communs (*Fraxinus excelsior*), ainsi que près de 12% de peupliers (*Populus sp.*), 5% d'aulnes glutineux (*Alnus glutinosa*) et de grands buissons. Une densité élevée de jeunes arbres est observée (140 individus), tandis que les adultes sont en plus faible effectif (15 individus).

Les aulnaies noires, tant pour les adultes que pour les jeunes, sont principalement constituées d'aulnes glutineux (*Alnus glutinosa*), avec respectivement 90% et 70%. Cependant, on note une présence plus importante de frênes communs (*Fraxinus excelsior*) chez les jeunes (16%) par rapport aux adultes (moins de 3%).

Les frênaies présentent une faible présence de frênes. Chez les adultes, le frêne commun (*Fraxinus excelsior*) représente 37%, tandis que chez les jeunes, il est totalement absent. L'espèce prédominante chez les jeunes est l'orme de montagne (*Ulmus glabra*), avec 76%.

La Figure 6 propose une analyse plus approfondie du renouvellement des essences d'arbres au sein des différentes forêts, en fournissant des informations spécifiques pour chaque station les composants.

Dans la pinède, les stations 661 et 654 ne présentent plus de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) parmi les jeunes arbres. Par ailleurs, il est à noter que la station 661 présente seulement trois jeunes arbres, tous des épicéas communs (*Picea abies*). De plus, il est à noter que dans la station 654 on dénombre 12 jeunes arbres, dont les trois-quarts sont des frênes (*Fraxinus excelsior*), tandis qu'aucun pin n'est observé. Cette observation suggère un remplacement progressif des pins par les frênes dans cette zone.

Dans l'aulnaie blanche, on observe une faible présence d'arbres adultes par rapport au nombre de jeunes arbres. En moyenne, les stations comptent cinq arbres adultes, tandis qu'il y 15 à 74 jeunes individus. On constate également une plus grande diversité d'espèces parmi les arbres adultes. Les jeunes arbres sont principalement des aulnes blancs (*Alnus incana*), ce qui indique

un renouvellement important de cette espèce et donc un maintien de cette essence dans ces stations.

Au contraire, il est intéressant de noter que deux stations de l'aulnaie noire présentent un faible nombre de jeunes arbres. La station 229 explique en grande partie la proportion de frêne observée dans les aulnaies noires. Cependant, du fait que seulement 5 jeunes arbres ont été observés dans cette forêt, il serait prématuré de parler d'un renouvellement de l'aulnaie par le frêne. On parlera plutôt d'une faible régénération des aulnes noires dans cette station.

La frênaie, de manière générale, contient peu d'arbres (entre 4 et 6 individus) et la station 246 ne compte aucun jeune arbre. Seule la station 252 possède un nombre important de jeunes arbres, une vingtaine, et principalement des ormes de montagne (*Ulmus glabra*). Aucun frêne n'est observé parmi les jeunes arbres de ces stations, ce qui indique l'absence de renouvellement de cette essence dans ce milieu.

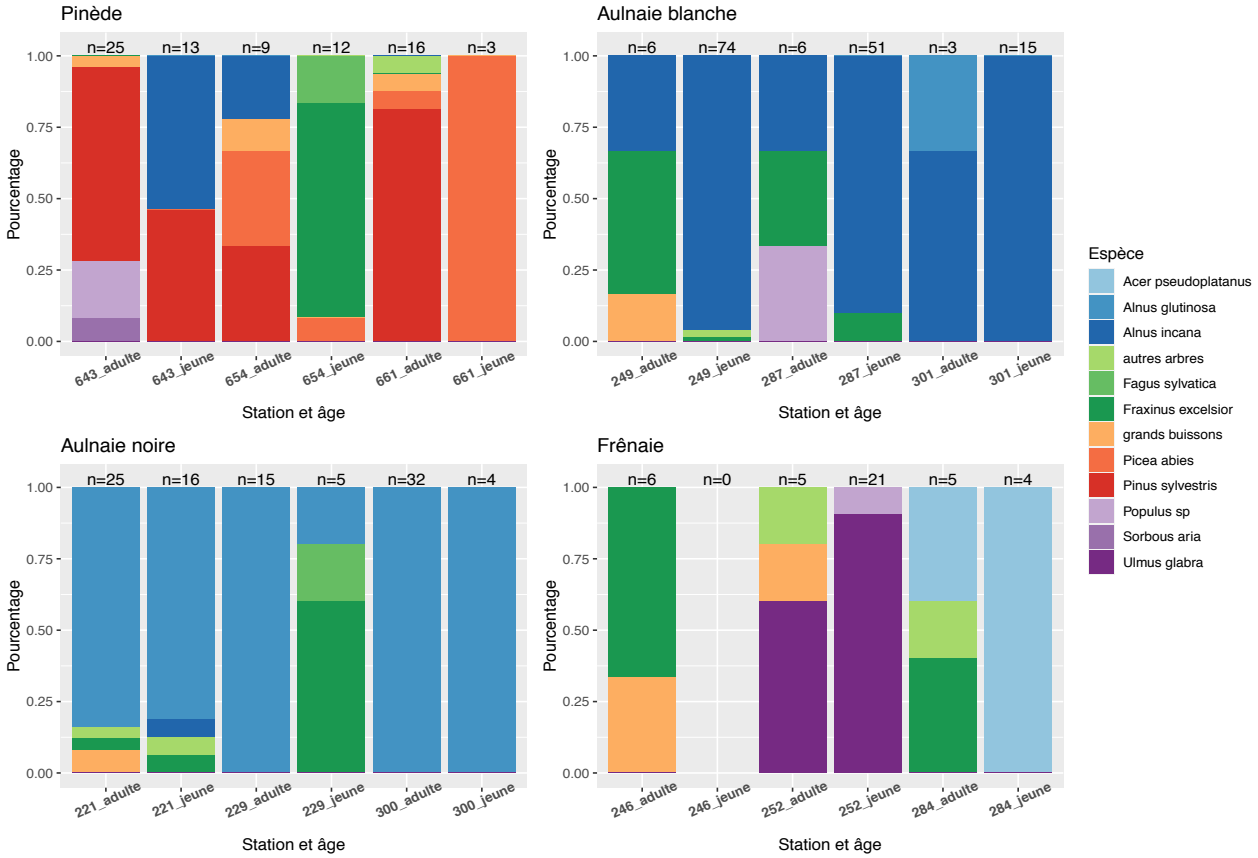


Figure 6 : Comparaison du renouvellement des stations composant chaque forêt. Ce graphique présente le pourcentage des espèces dans les stations en fonction de leur stade de développement. Chaque station est représentée par deux colonnes : la colonne de gauche présente les arbres adultes, tandis que celle de droite présente les jeunes arbres (ceux de plus de 130 cm de hauteur inventoriés dans les deux cercles de rajeunissement). Les forêts sont classées selon le cas général de proximité au lac, avec la pinède la plus proche et la frênaie la plus éloignée.

b. Recouvrement et richesse spécifique des buissons

Le recouvrement végétal et la richesse spécifique des buissons fournissent respectivement des informations sur la couverture végétale du sol et la diversité des espèces buissonnantes présentes. La Figure 7 présente ces données pour les différentes forêts étudiées.

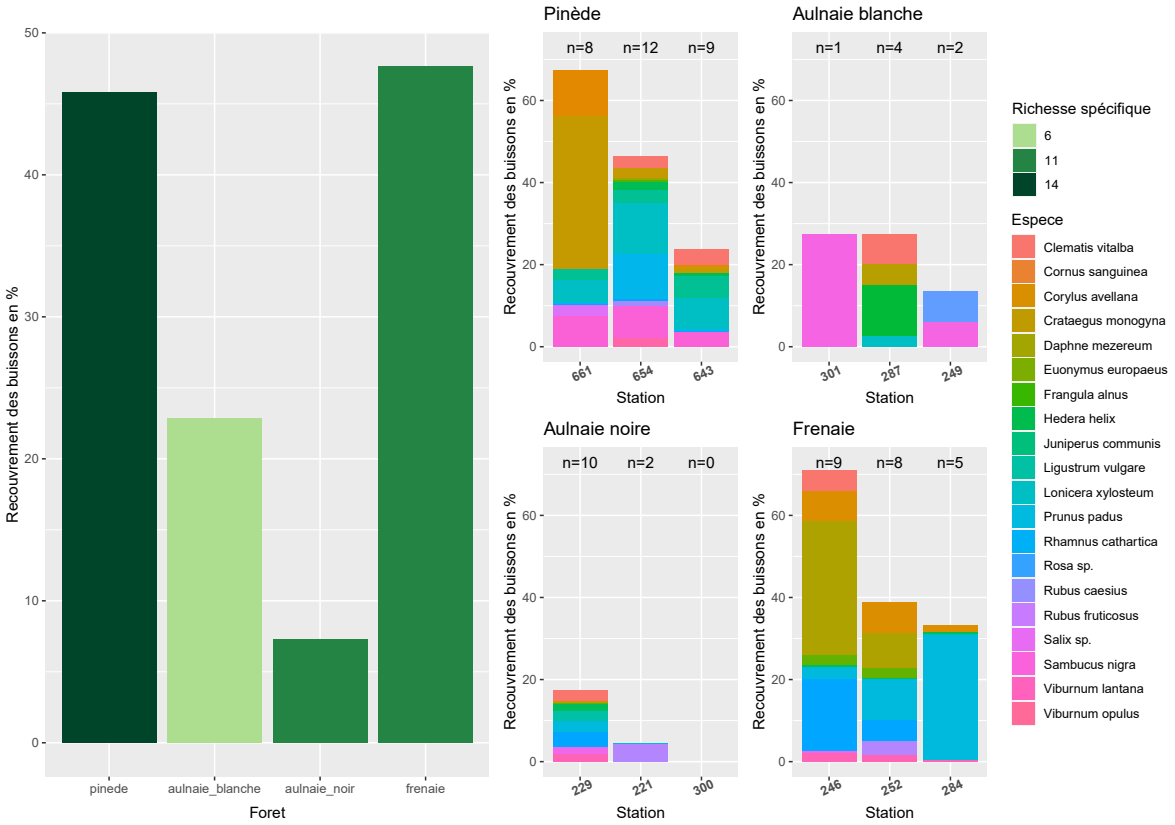


Figure 7 : Recouvrement et richesse spécifique en buissons des forêts. Cette figure montre d'une part la richesse spécifique des forêts avec le recouvrement en pourcentage des buissons (graphique de gauche) et d'autre part les espèces de buissons observées dans chaque forêt (graphiques de droite). Les forêts sont classées selon le cas général de proximité au lac, avec la pinède la plus proche et la frênaie la plus éloignée. Dans les graphiques de droites, on retrouve le nombre d'espèces différentes, indiqué par la lettre « n » pour chaque station. Aucune différence statistiquement significative n'a été constatée concernant le recouvrement et la richesse spécifique des buissons entre les différentes forêts.

On observe dans la Figure 7 que les pinèdes et frênaies ont un recouvrement en buissons en moyenne supérieure à 45%. Les aulnaies blanches ont un recouvrement autour des 23% et les aulnaies noire un recouvrement de 17%. Statistiquement, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ne permet pas de déduire une différence statistiquement significative entre le recouvrement des quatre forêts (p-value de 0.125).

Cependant cela ne fait pas de l'aulnaie noire la plus faible en richesse spécifique. C'est l'aulnaie blanche qui a la plus faible richesse spécifique totale, avec 6 espèces différentes. La forêt comportant la plus grande richesse spécifique est la pinède avec 14 espèces différentes.

Une ANOVA a été effectuée pour tester les différences de richesse spécifique des buissons entre les forêts. La p-value est à 0,07, ce qui se situe très proche du seuil de significativité de 5%, mais ne permet pas de rejeter l'hypothèse de moyenne similaire entre les forêts. Le test de Tukey indique que la différence est presque significative entre la pinède et l'aulnaie blanche, avec une p-value de 0,055, ce qui encore une fois est au seuil de significativité sans tout de même pouvoir rejeter l'hypothèse de similarité des moyennes entre deux groupes. On en conclut qu'il n'y a pas de différence significative entre les forêts concernant la richesse spécifique en buisson.

2. TreMs et facteurs associés

a. Observation générale des TreMs

La Figure 8 présente les données relatives au nombre de TreMs observés selon le type de forêt.

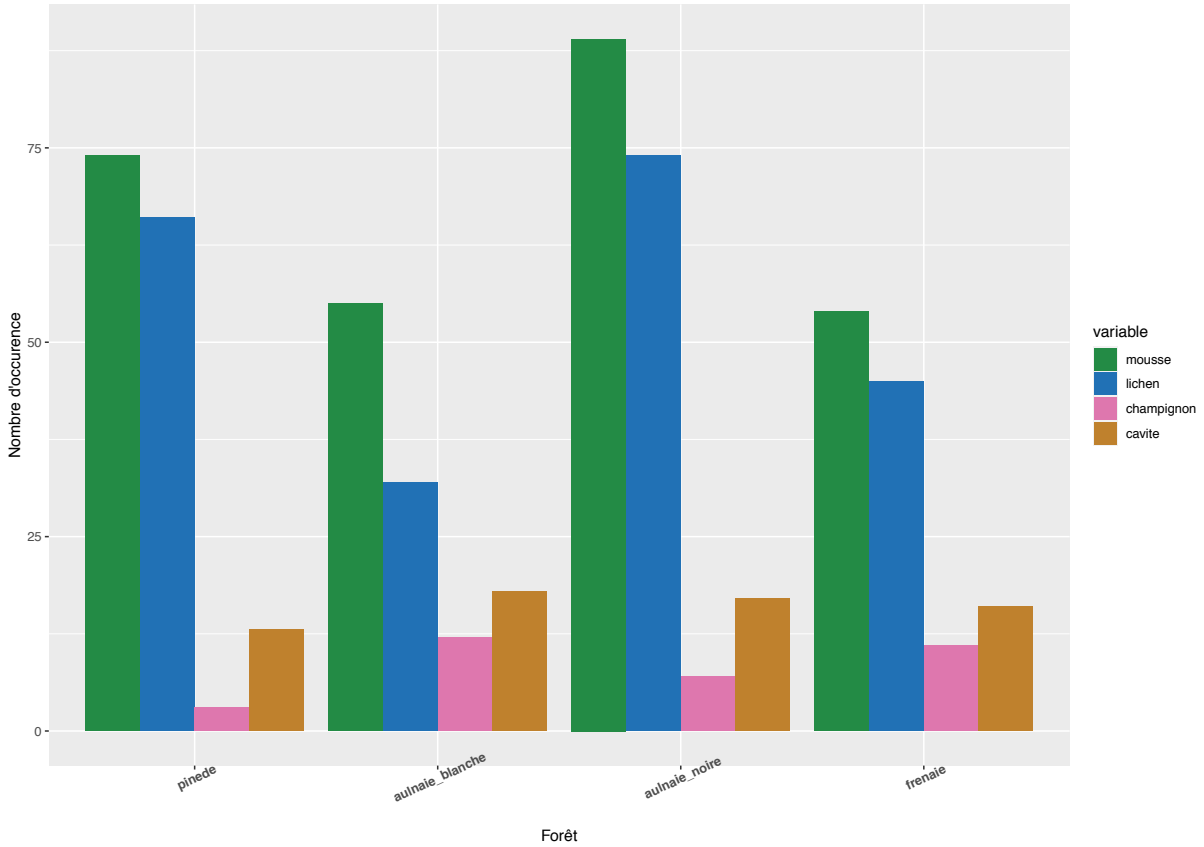


Figure 8 : Occurrence des TreMs par forêt. Cette figure présente les données des TreMs collectées à la fois sur les arbres vivants et morts (arbres adultes et grands arbres) ainsi que sur les arbres morts au sol. L'axe vertical présente la somme des valeurs des trois stations composant chaque forêt. Les forêts sont classées selon le cas général de proximité au lac, avec la pinède la plus proche et la frênaie la plus éloignée. Le nombre d'occurrences indique le nombre de fois qu'un TreMs a été observé, sans distinction de son degré de présence pour les mousses et les lichens.

Les résultats mettent en évidence que l'aulnaie noire se distingue par le plus grand nombre d'arbres au moins partiellement couverts de mousses et de lichens, respectivement 89 et 74 occurrences. La pinède se classe en deuxième position avec 74 arbres couverts de mousses et

66 de lichens. Quant à l'aulnaie blanche et la frênaie, elles présentent des nombres similaires d'arbres avec de la mousse, soit 55 et 54 respectivement, mais des occurrences de lichens différentes avec respectivement 32 et 45 occurrences.

En ce qui concerne les champignons et cavités, on observe des valeurs similaires entre les forêts. Les occurrences d'arbres portant des champignons varient entre 3 et 12, tandis que les occurrences de cavités varient entre 13 et 17. De plus, il est à noter qu'une prédominance des cavités par rapport aux champignons est observée dans toutes les forêts.

Maintenant que nous avons connaissance du nombre d'occurrences des TreMs dans ces forêts, il est intéressant d'observer les proportions de présence et les degrés d'abondance pour chaque type de forêt. La Figure 9 présente ces données par station pour le bois sur pied et le bois au sol.

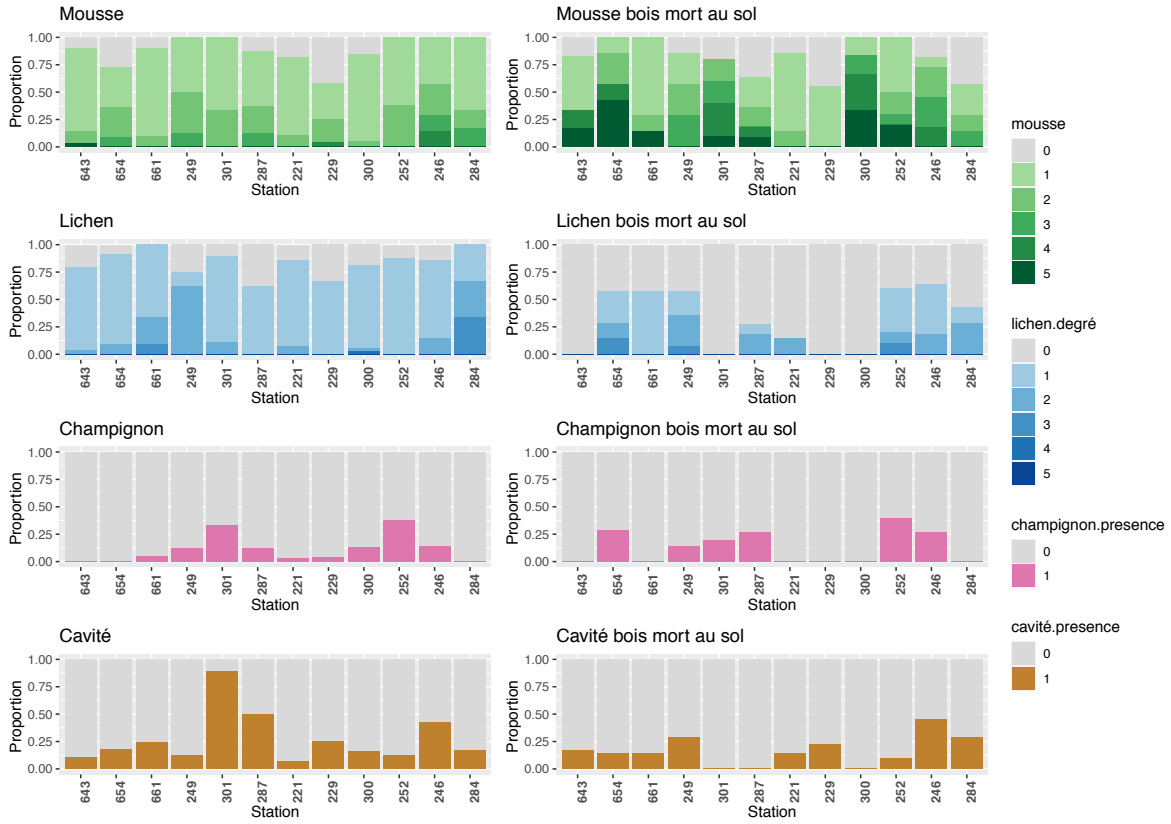


Figure 9 : Proportions d'arbres portant des TreMs ainsi que leurs degrés d'abondance par station. Les graphiques de gauche sont les TreMs observés sur les arbres sur pied, vivant et mort. Les graphiques de droites sont les TreMs observés sur le bois mort au sol. Les stations sont classées par types de forêt, selon le cas général de proximité au lac. Ainsi, les trois premières stations correspondent à la pinède, puis vient l'aulnaie blanche, l'aulnaie noire, et enfin la frênaie (voir Figures 11 et 12 pour une aide visuelle). Les degrés de présence pour les mousses et lichens vont de 0 (absence) à 5 (forte abondance).

En ce qui concerne la présence des mousses sur les arbres sur pied, on observe que la proportion d'arbres sans signe de mousse est plus élevée dans l'aulnaie noire et la pinède. En revanche, des degrés plus élevés de mousse sont observés dans la frênaie. Pour ce qui est du bois au sol, des degrés plus élevés sont constatés que sur les arbres sur pieds dans toute les stations, à l'exception des stations 221 et 229 de l'aulnaie noire.

La répartition des lichens est globalement similaire entre les différentes forêts pour le bois sur pied. En revanche, pour le bois au sol, on en retrouve plus fréquemment dans les frênaies.

On remarque que les champignons ont une occurrence générale faible, ce qui rend difficile l'identification d'une tendance générale solide entre les différents types de forêts.
En ce qui concerne les cavités, on observe généralement une abondance similaire entre les forêts pour le bois sur pied, à l'exception de l'aulnaie blanche qui en présente davantage dans les stations 301 et 287. Pour le bois au sol, on constate une moindre présence de cavités dans l'aulnaie blanche, tandis qu'elles sont plus fréquentes dans la frênaie. En général, il y a moins de cavité sur le bois au sol que sur pied.

b. Observation du bois mort

La Figure 10 présente le volume de bois mort dans les stations étudiées. Le volume de bois mort est séparé en deux catégories, sur pied et au sol, qui sont illustrées par la couleur des barres sur le graphique suivant.

Visuellement, on observe que toutes les forêts ont un volume plus important de bois mort au sol que sur pied. La forêt avec le plus grand volume total moyen de bois mort est la frênaie, suivie par l'aulnaie blanche, la pinède et enfin l'aulnaie noire. Cet ordre ne change pas lorsque l'on considère uniquement le bois mort au sol. On observe de grandes variations de volume entre les stations pour le bois mort au sol (écart maximal d'environ 100 m^3/ha), ainsi que pour le bois mort sur pied (écart maximal d'environ 150 m^3/ha). Cependant, si l'on se concentre sur le bois mort sur pied, l'ordre change : c'est l'aulnaie blanche qui présente le plus grand volume, suivie de la frênaie, de l'aulnaie noire et enfin de la pinède.

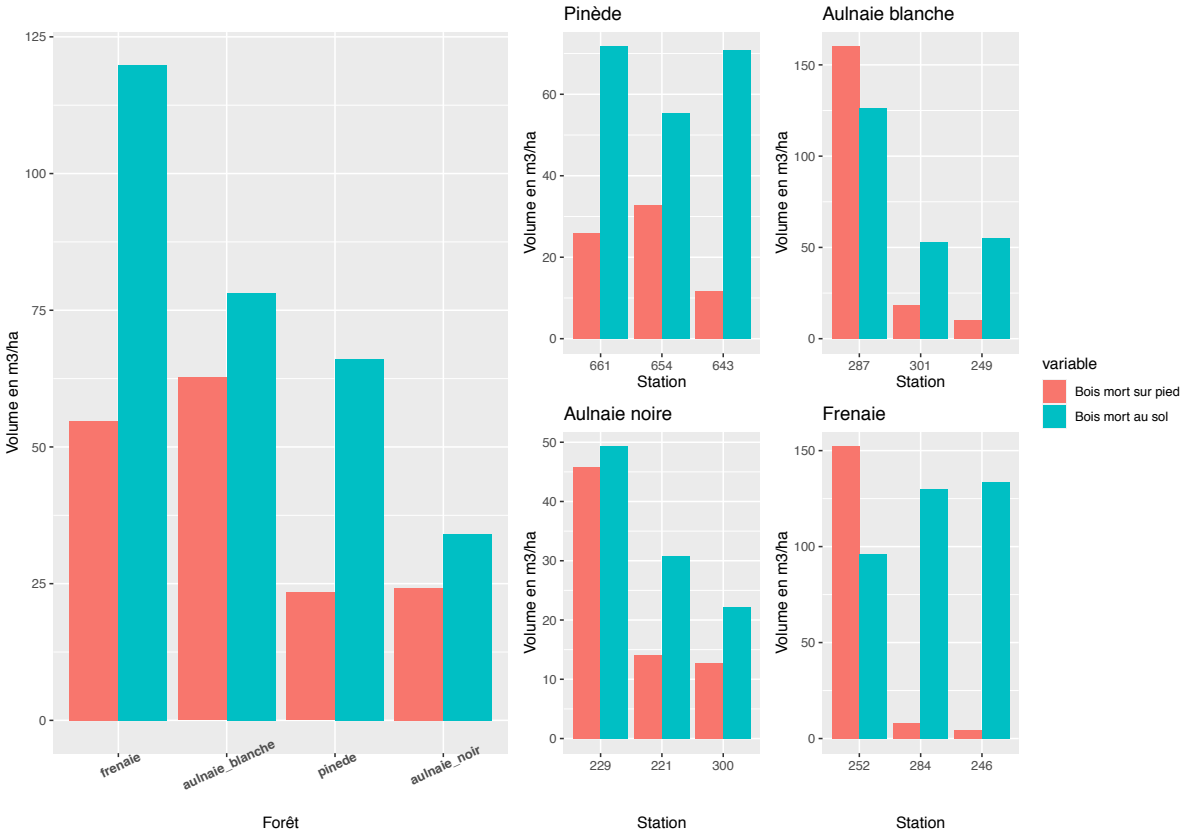


Figure 10 : Comparaison des volumes de bois mort au sol et sur pied. Le graphique de gauche présente les volumes de bois mort moyen par forêt, organisé par ordre décroissant de quantité totale de bois mort (cumul des valeurs sur pied et au sol). Les graphiques de droite présentent les mêmes données, organisées par forêt, en fonction de la distribution générale des forêts selon leur proximité au lac. Prudence à la lecture de ces graphiques car l'échelle de l'axe y est plus grande pour la frênaie et l'aulnaie blanche que pour la pinède et l'aulnaie noire. Une différence statistiquement significative a été observée en ce qui concerne les volumes de bois mort entre la frênaie et l'aulnaie noire.

Du point de vue statistique, des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées et ne permettent pas de conclure de la différence significative de volume de bois mort sur pied entre les forêts (p-value de 0.953). En revanche, une différence significative a été observée pour le bois mort au sol (p-value de 0.017). Le test de Tukey a indiqué que la différence se situe entre la frênaie et l'aulnaie noire (p-value de 0.012). La frênaie présente le plus grand volume de bois mort au sol, tandis que l'aulnaie noire présente le volume le plus faible.

À présent que nous avons connaissance des volumes de bois mort, nous pouvons nous intéresser aux degrés de dégradation auxquels ils appartiennent. La Figure 11 illustre les proportions de degrés de dégradation du bois mort au sol par station, ainsi que le nombre d'occurrences correspondant à chaque forêt.

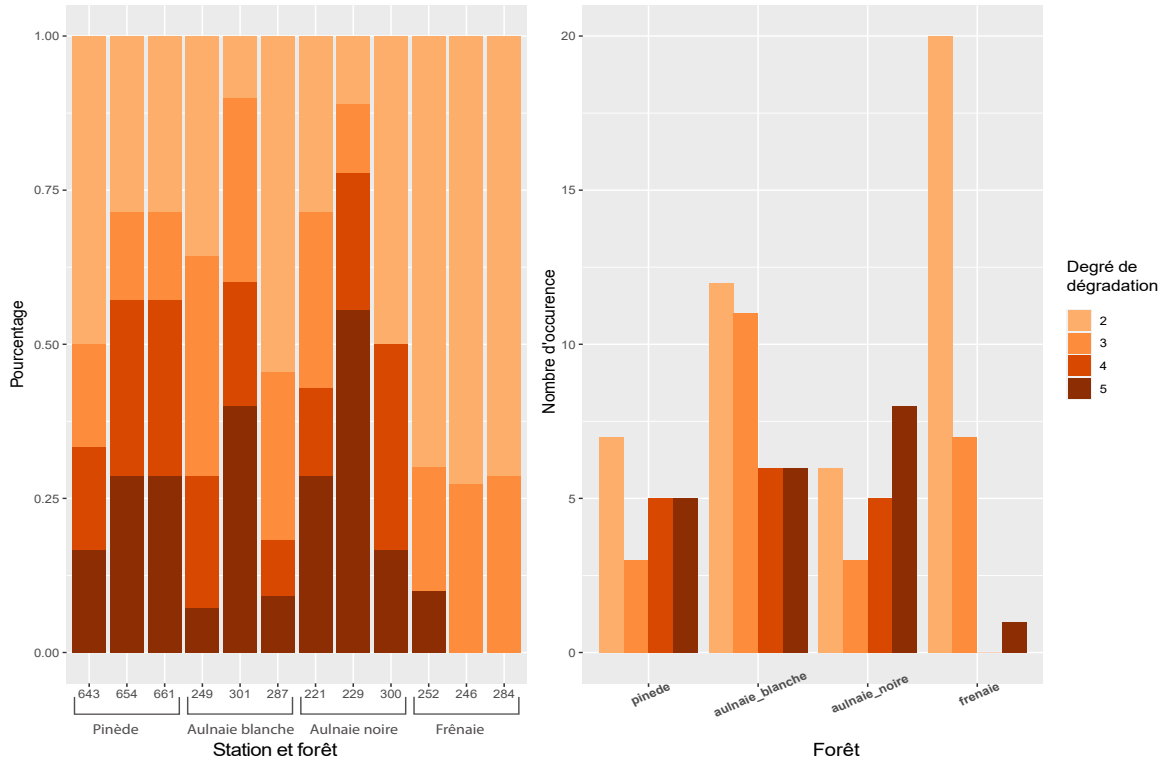


Figure 11 : Degré de décomposition du bois mort. Le graphique de gauche indique les proportions de degré de dégradation du bois mort au sol par station. La figure de droite présente le nombre d'apparition de chaque degré par type de forêt. Les forêts sont classées selon le cas général de proximité au lac, avec la pinède la plus proche et la frênaie la plus éloignée.

On observe que la frênaie présente une proportion plus élevée de bois mort moins décomposé par rapport aux autres forêts dans toutes ses stations. De plus, elle détient de loin la plus grande quantité de bois faiblement décomposé. En revanche, l'aulnaie noire semble contenir des proportions plus importantes de bois très décomposé. L'aulnaie blanche et la pinède présentent des profils de dégradation relativement équilibrés. En termes d'occurrence, on constate des profils relativement similaires entre l'aulnaie blanche, l'aulnaie noire et la pinède.

c. Observation des diamètres

La Figure 12 présente les diamètres des arbres observés dans les différentes stations.

Visuellement, on peut observer une tendance selon laquelle la moyenne des diamètres des arbres est plus faible dans l'aulnaie noire, tandis que les moyennes sont généralement plus élevées dans la frênaie. Quant à l'aulnaie blanche et à la pinède, elles présentent des valeurs hétérogènes entre leurs stations, avec deux stations affichant des diamètres homogènes et une station avec des diamètres très élevés.

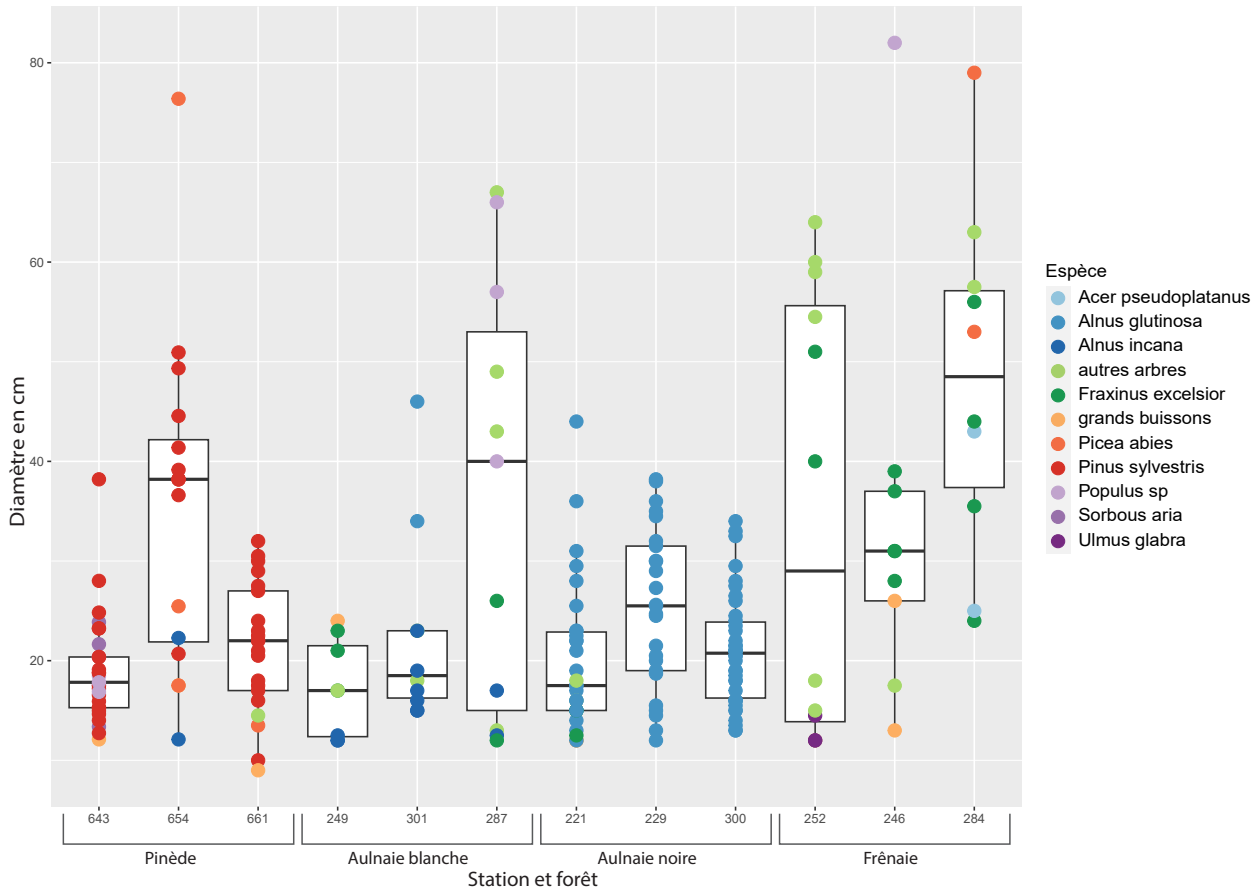


Figure 12 : Distribution des diamètres des arbres sur pied. Cette figure présente le diamètre des arbres vivant et mort sur pied ainsi que les grands arbres (arbre de plus de 36 cm de diamètre recueillis dans un cercle d'échantillonnage de 12,6 m, voir démarche méthodologique). Chaque point représente un arbre, on peut ainsi lire son diamètre sur l'axe des ordonnées et connaître son espèce par sa couleur. Les forêts sont classées selon le cas général de proximité au lac. Ainsi, les trois premières stations correspondent à la pinède, puis vient l'aulnaie blanche, l'aulnaie noire, et enfin la frênaie. Une différence significative de moyenne a été observée pour la frênaie par rapport aux autres forêts.

L'analyse statistique, réalisée à l'aide du test de Kruskal-Wallis, révèle une différence significative entre les moyennes de diamètre des groupes (p-value de 0.002). Les résultats du test post-hoc de Mann-Whitney U indiquent des différences significatives entre la frênaie et les autres types de forêts (p-value de 0.021 avec l'aulnaie blanche, de 0.001 avec la pinède et inférieure à 0.001 avec l'aulnaie noire).

3. Surface terrière et Bitterlich

La surface terrière a été obtenue en utilisant deux méthodes différentes : la méthode « par le calcul », qui consiste à sommer les aires calculées à partir des diamètres mesurés, et la méthode MOTI, qui est une adaptation de la méthode de Bitterlich utilisée sur téléphone. Les résultats sont présentés dans la Figure 13.

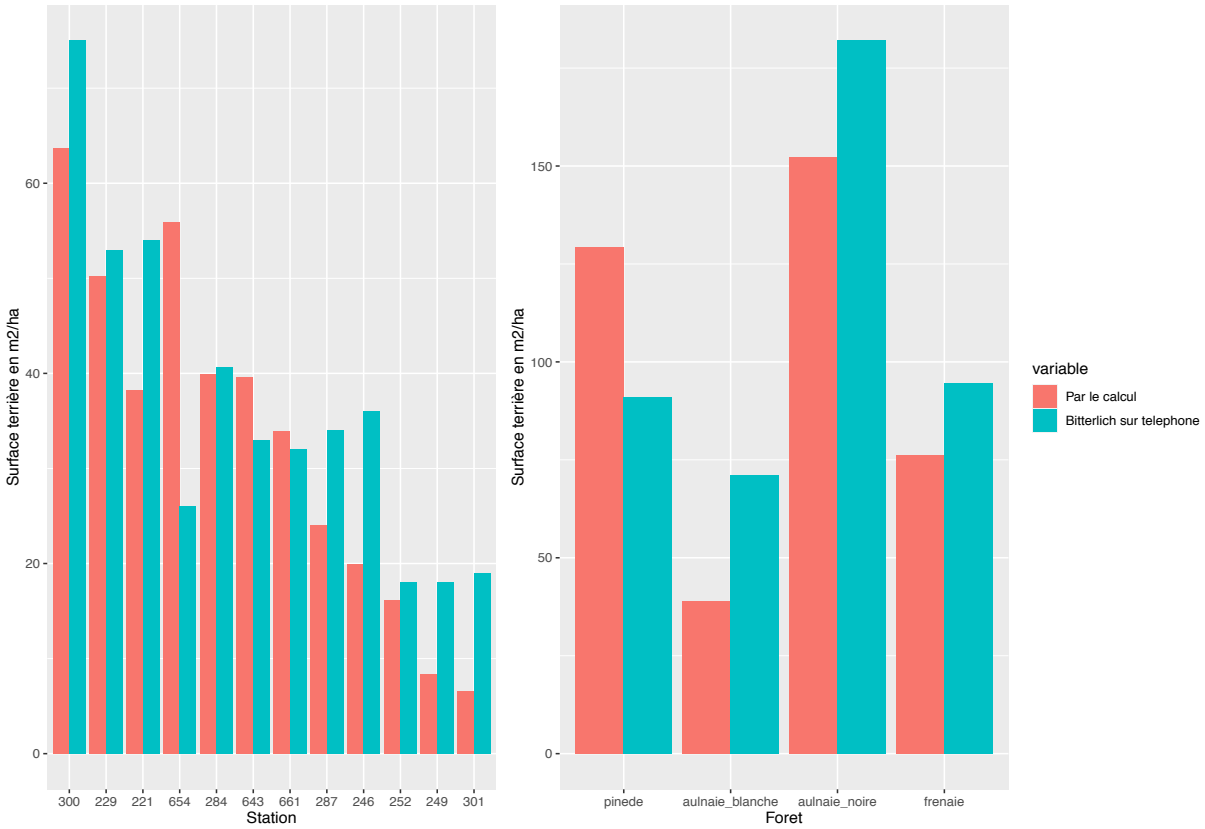


Figure 13 : Comparaison des méthodes d'acquisition de la surface terrière. Dans le graphique de gauche, les stations sont organisées par ordre décroissant de surface terrière total (cumul des valeurs de calcul et Bitterlich). Dans le graphique de droite, les informations sont présentées en fonction du type de forêt, organisées selon leur proximité générale avec le lac. La variable Bitterlich sur téléphone représente les valeurs obtenues avec MOTI. Le t-test apparié ne permet pas de rejeter l'hypothèse des moyennes égales donc on ne peut pas conclure d'une différence significative entre les deux méthodes d'acquisition de la surface terrière.

Dans les deux méthodes, l'aulnaie noire présente la plus grande surface terrière, dépassant les 150 m^2/ha, tandis que l'aulnaie blanche présente les plus faibles valeurs, restant inférieures à 75 m^2/ha. Cependant l'ordre diffère pour la seconde et troisième place entre les méthodes. La méthode par le calcul indique que la pinède a une bien plus grande surface terrière que la frênaie alors que les données MOTI indiquent des valeurs similaires entre les deux forêts.

Les distributions des deux méthodes sont normales (test de normalité de Shapiro-Wilk ; avec une p-valeur de 0,8 pour la méthode par le calcul, et une p-value de 0,18 pour MOTI) et la variance des différences entre les observations appariées est approximativement égale (f-test avec une p-value de 0,8).

Ces caractéristiques permettent de conduire un t-test apparié pour conclure que les moyennes des deux méthodes ne sont pas significativement différentes (p-value de 0,36). On peut donc

dire que la méthode MOTI (Bitterlich sur téléphone) n'est pas significativement différente de la méthode par le calcul, malgré les fluctuations observées dans les résultats (voir Figure 13).

On observe tout de même que la méthode Bitterlich fournit des résultats très différents (avec des écarts supérieurs à 10 m^2/ha) pour cinq stations. Dans la station 654 (pinède), la méthode de Bitterlich sous-estime grandement la surface terrière. Dans les quatre autres cas, les stations 300 et 221 (aulnaie noire), 301 (aulnaie blanche) et 246 (frênaie), la méthode de Bitterlich surestime la surface terrière comparé aux résultats obtenus avec la méthode « par le calcul ».

Discussion

Les résultats de cette étude révèlent des renouvellements différents des peuplements actuels pour la frênaie et la pinède. En ce qui concerne les TreMs, il a été observé que la frênaie présente le plus grand volume de bois mort et la plus grande moyenne de diamètre, mais accueille le moins de TreMs. Tandis que, l'aulnaie noire, caractérisée par des diamètres plus petits, présente la plus grande occurrence de TreMs. Enfin, les deux méthodes utilisées pour mesurer la surface terrière n'ont pas révélé de différence significative. Cette partie établit un lien entre ces résultats et la littérature, fournissant ainsi des réponses aux questions de recherche de cette étude.

1. Renouvellement des espèces

En ce qui concerne les pinèdes, on observe un faible renouvellement de *Pinus sylvestris*, mais un bon développement d'autres espèces telles que *Alnus incana* dans la station 643, *Fraxinus excelsior* dans la station 654 et *Picea abies* dans la station 661. Le pin sylvestre est considéré comme incapable de résister à la concurrence des autres essences forestières, sauf dans des conditions très sèches ou très humides (Delarze et al., 2015). Ainsi, il semblerait que les pinèdes de la Grande Cariçaie soient en train d'être remplacées par de nouvelles essences, ce qui pourrait à terme entraîner une modification de la classification de ce milieu. Ces observations corroborent les résultats des recherches menées par Beuvier (2019), qui ont suggéré la disparition des pins. Cependant, il existe une divergence quant à l'évolution des peuplements, car Beuvier (2019) avançait l'hypothèse d'une transformation des pinèdes de la rive sud du lac de Neuchâtel en chênaies à charmes.

Les aulnaies blanches de la Grande Cariçaie présentent un fort renouvellement de l'aulne blanc, ce qui est surprenant car *Alnus incana* est une espèce pionnière qui, à long terme, devrait être remplacée par d'autres essences. Ces forêts comptent peu d'arbres de grande taille et beaucoup

de jeunes arbres. Cette caractéristique rend l'aulnaie blanche moins propice à une grande diversité de TreMS, car les arbres anciens ont une plus grande influence qu'une grande quantité de jeunes arbres sur la richesse en TreMs (Przepióra et Ciach, 2022).

Les aulnaies noires de la Grande Cariçaie présentent, au contraire, une prédominance d'arbres adultes par rapport aux jeunes arbres. Le renouvellement y est effectivement faible avec seulement 4 et 5 jeunes arbres dans deux stations. La majorité des espèces présentes dans ces renouvellement sont des *Alnus glutinosa*. Étant donné que l'aulne noire conserve sa dominance, il semble que cet environnement se maintienne sans signe d'une évolution drastique future. Cette stabilité est une bonne nouvelle, car l'aulnaie noire est un milieu menacé sur le Plateau (Delarze et al., 2015).

Ammer et al. (2018) indiquent que les forêts composées de plusieurs espèces sont généralement plus résistantes et résilientes face aux perturbations. Ainsi, les aulnaies de la Grande Cariçaie seraient plus vulnérables aux perturbations que les pinèdes en théorie.

La diminution observée des frênes peut s'expliquer par l'arrivée de l'agent pathogène *Hymenoscyphus fraxineus* entre 2008 et 2010, et des preuves ADN existent depuis 2011 dans la Grande Cariçaie (L. Siegfried, communication personnelle, 02 juin 2023). Selon Ammer et al. (2018), ce pathogène pourrait devenir de plus en plus préoccupant dans les années à venir. L'évolution des frênaies de la Grande Cariçaie semble donc indiquer un remplacement de l'espèce dominante *Fraxinus excelsior* par *Ulmus glabra* dans la station 252, et par *Acer pseudoplatanus* dans la station 284. Ces espèces se retrouvent fréquemment dans les frênaies (Delarze et al., 2015), donc ces remplacements n'indiquent pas nécessairement un changement dans la classification du milieu.

Notre hypothèse initiale, qui prévoyait un changement de milieu dans les forêts alluviales, s'avère donc incorrecte pour les aulnaies. Les frênes composant les frênaies, en revanche, sont effectivement en train de disparaitre, mais pour des raisons différentes de celles entraînant la régression des forêts alluviales en Suisse. Les pinèdes, quant à elles, connaissent également des modifications impliquant une diminution des pins. Par conséquent, nous pouvons conclure que toutes les forêts alluviales de la Grande Cariçaie ne sont pas en régression. Cependant, les frênaies et les pinèdes subissent effectivement des changements qui pourraient entraîner une modification des milieux.

2. Indicateurs de TreMs

Les résultats de cette étude indiquent qu'il y a plus de TreMs dans les aulnaies noires et moins dans les frênaies et aulnaies blanches. De plus, il a été démontré que les diamètres sont plus grands dans la frênaie et plus faibles dans l'aulnaie noire. Ces deux informations ne coïncident pas avec les observations de plusieurs études qui considèrent le diamètre comme le facteur déterminant de l'abondance de TreMs (Ammer et al., 2018 ; Asbeck et al., 2021 ; Przepióra et Ciach, 2022). De surcroît, la frênaie possède le plus grand volume de bois mort et l'aulnaie noire affiche le plus petit volume, ce qui vient encore une fois contredire les attentes basées sur l'occurrence des TreMs (Asbeck et al., 2021 ; Larrieu et Cabanettes, 2012 ; Przepióra et Ciach, 2022).

Les facteurs qui pourraient expliquer cette situation sont le faible niveau de dégradation du bois mort dans la frênaie (Figure 11), en raison de la mortalité récente des arbres, ainsi que la grande surface terrière de l'aulnaie noire (Figure 13). Cependant, la frênaie pourrait connaître une augmentation significative de la quantité des TreMs à mesure que les importantes quantités de bois mort se décomposent. La présence abondante de mousses et de lichens dans l'aulnaie noire peut également s'expliquer par l'humidité ambiante favorable à leur développement.

Dans cette étude, la surface terrière élevée et un bois mort plus dégradé semblent être des facteurs plus importants pour l'abondance de TreMs que des diamètres élevés et un fort volume de bois mort.

Les volumes de bois mort que nous avons observés dans chaque forêt ont atteint le seuil minimal de 50 m3/ha recommandé par Müller et Bütler (2010) pour la conservation des espèces dépendantes du bois mort. Ainsi, on peut conclure que toutes les forêts observées offrent des conditions favorables à la conservation des espèces qui dépendent de TreMs, indépendamment des fluctuations d'abondance observées.

Cette étude n'a pas approfondi l'impact des essences d'arbres sur l'abondance des TreMs, qui est pourtant l'un des principaux facteurs agissant sur les TreMs selon la littérature (Asbeck et al., 2021 ; Larrieu et Cabanettes, 2012). Cette étude semble indiquer que l'aulnaie noire présente une plus grande abondance de TreMs par rapport aux autres essences. Une recherche approfondie, en comparant les essences principales de ces forêts à des diamètres égaux, serait bénéfique pour une meilleure interprétation des résultats obtenus dans cette étude. En examinant de manière plus détaillée l'influence des différentes essences d'arbres sur la présence

et l'abondance des TreMs, nous pourrions obtenir une meilleure compréhension de leurs relations, ainsi que des facteurs sous-jacents qui influencent la distribution des TreMs dans la Grande Cariçaie.

L'hypothèse initiale de cette étude s'est révélée fausse, car il n'a pas été observé de corrélation entre la présence de bois mort et de grands diamètres d'arbres avec l'abondance des TreMs. Les différents types de forêts présentent des valeurs similaires en termes de champignons et de cavités, mais l'aulnaie noire semble avoir une plus grande abondance de mousses et de lichens. Il est important de noter que d'autres facteurs peuvent influencer la présence et l'abondance des TreMs, telles que les conditions environnementales spécifiques à chaque type de forêt. Cette constatation souligne l'importance d'approfondir notre compréhension des interactions complexes entre les différentes composantes de l'écosystème forestier afin d'élaborer des modèles plus précis de la dynamique des TreMs.

3. Surfaces terrière et Bitterlich

La surface terrière d'un peuplement forestier est utilisée pour étudier divers processus, tels que l'évolution du système forestier, ce qui en fait un outil précieux pour l'observation des forêts (Asaël, 2015). Parmi les différentes méthodes de mesure, on trouve la méthode de Bitterlich qui permet de prendre facilement des mesures à l'aide d'un relascope. Cependant, l'introduction de cette méthode a suscité plusieurs réactions d'opposition, qui ont été classifiées ultérieurement par Viney (1956). La première catégorie d'objections concerne le manque de précision de l'appareil et l'impact significatif d'une seule erreur, pouvant entraîner rapidement des variations considérables. En effet, dans les peuplements forestiers comportant peu d'arbres de grande taille, une seule erreur peut avoir des répercussions importantes sur les valeurs mesurées. Un deuxième type d'objection concerne les peuplements denses, touffus ou avec un sous-bois dense, où l'utilisation de la méthode de Bitterlich peut être rendue difficile, voire impossible, en raison des difficultés de prise de mesure (Viney, 1956). Les mêmes objections peuvent logiquement s'appliquer à MOTI.

Dans notre étude, l'application de MOTI a fourni des valeurs relativement proches de la surface terrière mesurée par la méthode par le calcul, mais des écarts ont néanmoins été observés. Cependant, les écarts entre ces valeurs ne semblent pas être liés à la présence de buissons des différentes forêts. En effet, la frênaie est la forêt la mieux estimée par MOTI et présente également le plus grand recouvrement en buissons. Toutes les autres forêts présentent des écarts

similaires de valeurs entre les deux méthodes, mais ont des recouvrements en buissons très différents. Face à ces constatations, il est plausible que le recouvrement en buissons ne soit pas une mesure adéquate de la densité du sous-bois, mais cela pourrait être dû à la négligence de la hauteur de la strate arbustive dans cette évaluation. Une autre possibilité est que le feuillage des buissons concernés ne compromette pas la collecte des données MOTI.

La défaillance de MOTI dans l'aulnaie noire et la pinède peut potentiellement être expliquée par le grand nombre d'arbres présents, ce qui rend leur mesure individuelle difficile avec MOTI. Cela explique la valeur plus faible de MOTI observée pour la pinède. Cependant, cela ne permet pas d'expliquer pourquoi MOTI présente des valeurs plus élevées dans l'aulnaie noire.

En revanche, dans le cas de l'aulnaie blanche, le faible nombre d'arbres accroît le risque d'erreurs qui pourraient avoir des conséquences significatives, ce qui rejoint l'objection mentionnée par Viney (1956).

La réponse à notre question de recherche est donc que l'application MOTI fournit en moyenne des résultats cohérents en termes de surface terrière dans les forêts alluviales de la Grande Cariçaie. Cependant, une question demeure sans réponse : pourquoi observe-t-on une sous-estimation de la surface terrière dans la pinède, tandis que dans les autres forêts on observe une surestimation ? Cette question revêt une importance particulière pour comprendre les erreurs de mesure et identifier d'éventuels facteurs correctifs propres à chaque milieu.

4. Limites de cette étude

Cette section met en évidence plusieurs limites de l'étude qui pourraient être améliorées lors de futures recherches.

Tout d'abord, il convient de souligner que le nombre restreint de stations limite notre capacité à observer des tendances générales dans les forêts étudiées. En effet, certains tests statistiques utilisés dans notre analyse nécessitent une distribution normale des données. Cependant, dans des échantillons de petite taille, il est difficile de prouver cette normalité (Statsoft ; s.d.). Afin d'obtenir des résultats statistiquement plus robustes, il serait donc nécessaire de recueillir des échantillons suffisamment grands, adaptés aux facteurs étudiés. Par conséquent, les résultats obtenus dans cette étude ne sont pas nécessairement fiables et pourraient ne pas refléter de manière précise la dynamique réelle des écosystèmes forestiers.

Un autre aspect qui mérite une attention particulière est la définition précise des différents niveaux de présence des TreMs, tels que les mousses et les lichens. Une définition plus détaillée de chaque niveau aurait été bénéfique pour garantir la reproductibilité des résultats de l'étude. De plus, il serait intéressant de mesurer la richesse spécifique des mousses et des lichens, qui pourrait fournir des informations sur la diversité des TreMs présents.

En ce qui concerne l'application MOTI, malgré sa facilité d'utilisation, certains problèmes techniques ont été rencontrés, notamment des difficultés de connexion à la caméra. Cela a entraîné la nécessité de réinstaller l'application, ce qui a malheureusement conduit à la perte des données des stations précédentes. De plus, le calibrage a dû être effectué sur le terrain, malgré la nécessité d'être sur une surface plane. Cette situation pourrait avoir impacté la qualité des données collectées, en particulier pour la station 661.

Conclusion

Cette étude aboutit à trois conclusions principales. Tout d'abord, l'observation de la régénration révèle que les aulnaies blanches et noires sont stables, à l'opposé des frênaies et des pinèdes de la Grande Cariçaie. Ces deux dernières voient leurs espèces dominantes se faire remplacer par d'autres espèces, ce qui pourrait conduire à une évolution du milieu actuel. Des études futures visant à observer ces changements permettraient de continuer à étudier l'évolution naturelle de ces forêts.

Ensuite, cette étude met en évidence que l'aulnaie noire présente le plus grand nombre de TreMs malgré un volume de bois mort plus faible et des diamètres moyens plus petits. Ce résultat est surprenant, car il contredit les observations faites lors des études précédentes. Ainsi, de nouvelles études portant sur les TreMs de la Grande Cariçaie devraient être encouragées afin de comprendre les mécanismes structurant ces éléments dans ces forêts alluviales. La prise en compte de la richesse spécifique des TreMs constituerait un véritable atout, car elle permettrait d'obtenir davantage de détails sur la véritable biodiversité des forêts humides de la Grande Cariçaie.

Enfin, les résultats de cette étude concluent que l'application MOTI fournit des résultats satisfaisants pour évaluer la surface terrière dans les forêts alluviales de la Grande Cariçaie.

Cependant, des études supplémentaires devraient être menées pour comprendre les variations d'erreurs entre les différents types de forêts, et une taille d'échantillon plus importante serait souhaitable afin de parvenir à des conclusions plus précises sur l'utilisation de MOTI dans ces milieux.

En conclusion, la Grande Cariçaie est un milieu d'étude fascinant en raison de sa grande diversité de forêts et d'espèces. Les mécanismes qui régissent le fonctionnement de ces écosystèmes restent encore largement méconnus. Ainsi, des études futures menées dans ces milieux ainsi que dans d'autres forêts alluviales primaires contribueront certainement à éclairer les zones d'ombre présentées dans cette étude. Il est essentiel de poursuivre les recherches afin de mieux comprendre les processus qui sous-tendent ces écosystèmes uniques et d'en tirer des enseignements pour leur conservation et la gestion des habitats forestiers.

Bibliographie

Ammer, C., Fichtner, A., Fischer, A., Gossner, M. M., Meyer, P., Seidl, R., … Wagner, S. (2018). Key ecological research questions for Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, *32*, p. 3-25. https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.07.006

Asbeck, T., Großmann, J., Paillet, Y., Winiger, N., et Bauhus, J. (2021). The use of tree-Related microhabitats as forest biodiversity indicators and to guide integrated forest management. *Current Forestry Reports*, *7*(1), p. 59-68. https://doi.org/10.1007/s40725-020-00132-5

Beuvier, S. (2019). Écologie, évolution et devenir des pinèdes de la Rive sud du lac de Neuchâtel [mémoire de master, université de Lausanne et Neuchâtel]. https://grande-caricaie.ch/data/biblio_web_export_citavi/files/Beuvier_2019_Ecologie_evolution_et_deven.pdf

Blutel, Y. (1960). Mesures de volumes au relascope de Bitterlich. *Revue Forestière Française*, *12*, p. 775-788. https://doi.org/10.4267/2042/24237

Brändli, U.-B., Abegg, M., et Allgaier-Leuch, B. (2020). Inventaire forestier national suisse. Résultats du quatrième inventaire 2009-2017. Birmensdorf, *Institut fédéral de recherches*

sur la forêt, la neige et le paysage WSL ; Berne, *Office fédéral de l'environnement*, p. 341. https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.147

Delarze, R., et Gonseth, Y. (2008). *Guide des milieux naturels de Suisse* (2ème éd.). Bussigny, Rossolis, p. 424.

Delarze, R., Gonseth, Y., Eggenberg, S. et Vust, M. (2015). *Guide des milieux naturels de Suisse* (3ème éd.). Bussigny, Rossolis, p. 440.

Gollut, C., Rosset, C. (2012). Bitterlich sur smartphone. *Forêt Bernoise, 43*, p.1.

Keller, M. (ed.) (2011). *Swiss National Forest Inventory. Manual of the Field Survey 2004–2007*. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, p. 269. http://www.wsl.ch/publikationen/pdf/10919.pdf

Kraus, D., Bütler, R., Krumm, F., Lachat, T., Larrieu, L., Mergner, U., Paillet, Y., Schuck, A., et Winter, S. (2016). *Catalogue of tree microhabitats: Reference field list*. European Forest Institute, p. 16.

Larrieu, L., et Cabanettes, A. (2012). Species, live status, and diameter are important tree features for diversity and abundance of tree microhabitats in subnatural montane beech–fir. *Canadian Journal of Forest Research*, *42*(8), p. 1433-1445. https://doi.org/10.1139/x2012-077

Larrieu, L., Paillet, Y., Winter, S., Bütler, R., Kraus, D., Krumm, F., Lachat, T., Michel, A. K., Regnery, B., et Vandekerkhove, K. (2018). Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators*, *84*, p. 194-207. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.051

Müller, J., et Bütler, R. (2010). A review of habitat thresholds for dead wood : A baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research*, *129* (6), p. 981-992. https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5

OFEV (éd.) (2020). *Inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale – État et besoin d'action*. Bern, Office fédéral de l'environnement.

Przepióra, F., et Ciach, M. (2022). Tree microhabitats in natural temperate riparian forests : An ultra-rich biological complex in a globally vanishing habitat. *Science of The Total Environment*, *803*, p. 31-425. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149881

Rosset, C., Brand, R., Wuillemin, E., Gollut, C., Caillard, I., Fiedler, U. (2015). MOTI, les inventaires forestiers dans la poche. *Forêt-entreprise, 220,* p. 30-33.

Schaller-Jolidon, D., Michaud, J., Alfter, P., Antoniazza, M., Clerc, C., Gander, A., … Perrin, C. (2004). Les forêts alluviales : entre marais boisés et boisements humides. *Journal des Grèves. Bulletin d'information sur la gestion de la Grande Cariçaie* (57).

Silva, M.-A., Drollinger, F., Morard, E., et Bütler, R. (2021). Évolution du bois mort dans les forêts de Montricher. *Mémoire de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 29*, p. 47-61.

Tinner, R., Streit, K., Commarmot, B., et Brang, P. (2013). *Stichprobeninventur in Schweizer Naturwaldreservaten – Anleitung zu Feldaufnahmen*. Birmensdorf, Schnee und Landschaft WSL, *44*.

Traub, B., et Wüest, R. O. (2020). Analysing the quality of Swiss National Forest Inventory measurements of woody species richness. *Forest Ecosystems*, *7*(1), p. 37. https://doi.org/10.1186/s40663-020-00252-1

Viney, R. (1956). Les objections à la méthode de Bitterlich. *Revue forestière française*, 8 (3), p. 185-188. https://hal.science/hal-03383838/document

Webographie

Asaël, S. (2015). *La surface terrière : une mesure très terre à terre*. Zimmer. Consulté le 6 avril 2023, à l'adresse https://www.zimmersa.com/blog-forestier/la-surface-terriere-une-mesure-tres-terre-a-terre-n134

Association de la Grande Cariçaie. (s. d.). *Association de la Grande Cariçaie*. Consulté le 4 mai 2023, à l'adresse www.grande-caricaie.ch

Bastien, Y., Bournérias, M. (s.d.). *FORÊTS - La forêt, un milieu naturel riche et diversifié*. Encyclopædia Universalis. Consulté le 25 mai 2023, à l'adresse https://www.universalis.fr/encyclopedie/forets-la-foret-un-milieu-naturel-riche-et-diversifie/4-evolution-de-la-foret-et-du-milieu-forestier/

Brändli et al. (2020, décembre 1). *L'inventaire forestier national suisse IFN*. Waldwissen. Consulté le 26 avril 2023, à l'adresse https://www.waldwissen.net/fr/planification/inventaire-forestier/linventaire-forestier-national#:~:text=Le%20Conseil%20f%C3%A9d%C3%A9ral%20a%20donc,sur%20les%20for%C3%AAts%20de%201993

MétéoSuisse (s.d.). *Valeurs mesurées et réseaux de mesure*. Consulté le 20 avril 2023 à l'adresse https://www.meteosuisse.admin.ch/services-et-publications/applications/valeurs-mesurees-et-reseaux-de-mesure.html#param=messwerte-lufttemperatur-10min&lang=fr&station=PAY&chart=year

MOTI (s.d.). *Sortie de la version 1.2.0 de MOTI sur Android*. Consulté le 25 mai 2023 à l'adresse http://www.moti.ch/

Statsoft (s.d.). *Statistiques Fondamentales : Tests Non-Paramétriques*. Consultée le 09 juin 2023 à l'adresse https://www.statsoft.fr/concepts-statistiques/test-non-parametriques/test-non-parametriques.php

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Pascal Vittoz pour m'avoir permis de réaliser ce travail de bachelor.

Je souhaite également adresser mes remerciements à Lila Siegfried pour le partage de ses connaissances en botanique et son assistance sur le terrain.

Un immense merci à ma sœur Helena Todorov pour son aide précieuse en programmation et pour sa relecture attentive de ce travail. Ses conseils avisés ont toujours été d'une grande aide.

Mes remerciements vont également à Audrey Demont pour nos nombreuses heures de travail à la bibliothèque, pour son soutien constant et ses commentaires constructifs.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Šárka Todorova et Elise Ødegård pour leur relecture et leurs précieux conseils.

Annexes

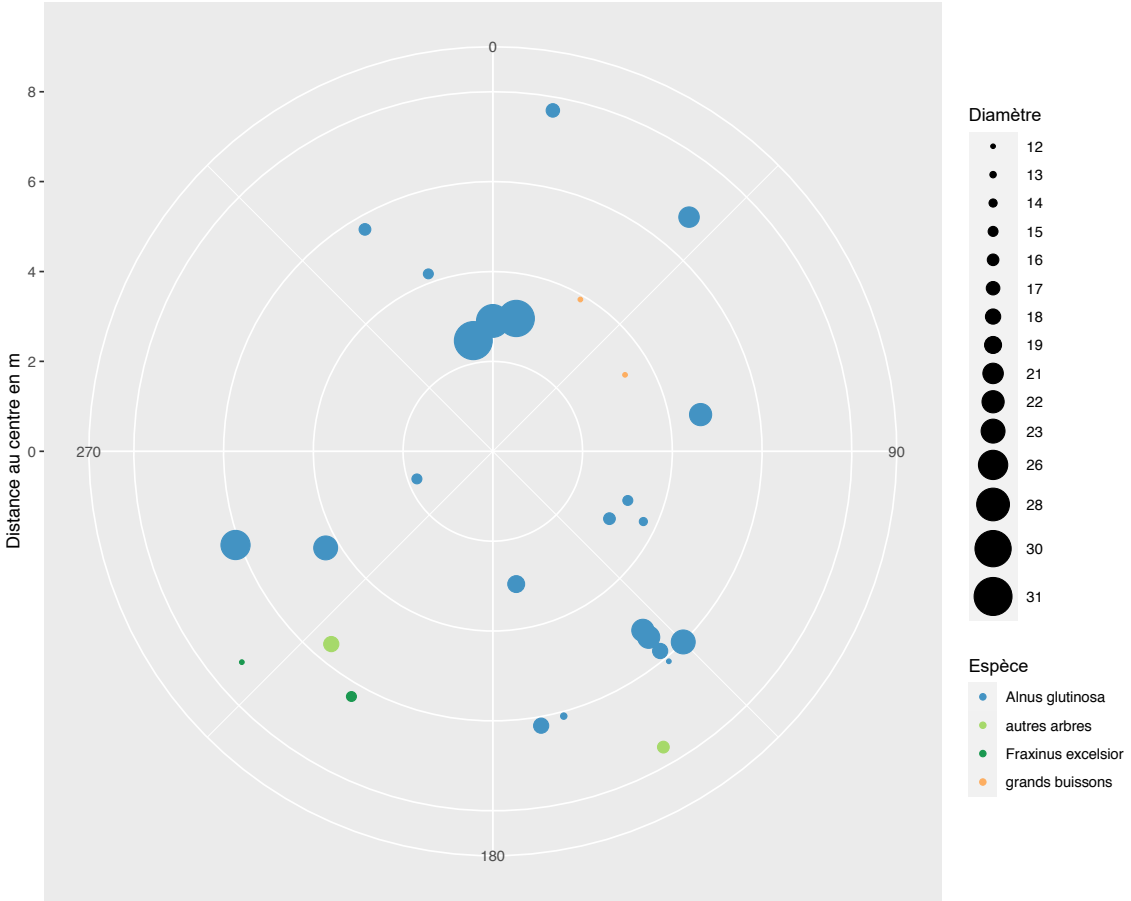
Annexe I : Fiche station 221 39
Annexe II : Fiche station 229 40
Annexe III : Fiche station 246 41
Annexe IV : Fiche station 249 42
Annexe V : Fiche station 252 43
Annexe VI : Fiche station 284 44
Annexe VII : Fiche station 287 45
Annexe VIII : Fiche station 300 46
Annexe IX : Fiche station 301 47
Annexe X : Fiche station 643 48
Annexe XI : Fiche station 654 49
Annexe XII : Fiche station 661 50
Annexe XIII : Formulaire de terrain 51

Annexe I : Fiche station 221

Station	221
Date d'observation	28.07.2022
Réserve	Cheyres
Coordonnée GPS	2551848, 1186866
Altitude	429 m

Photo de la station 221 (Katia Todorov)

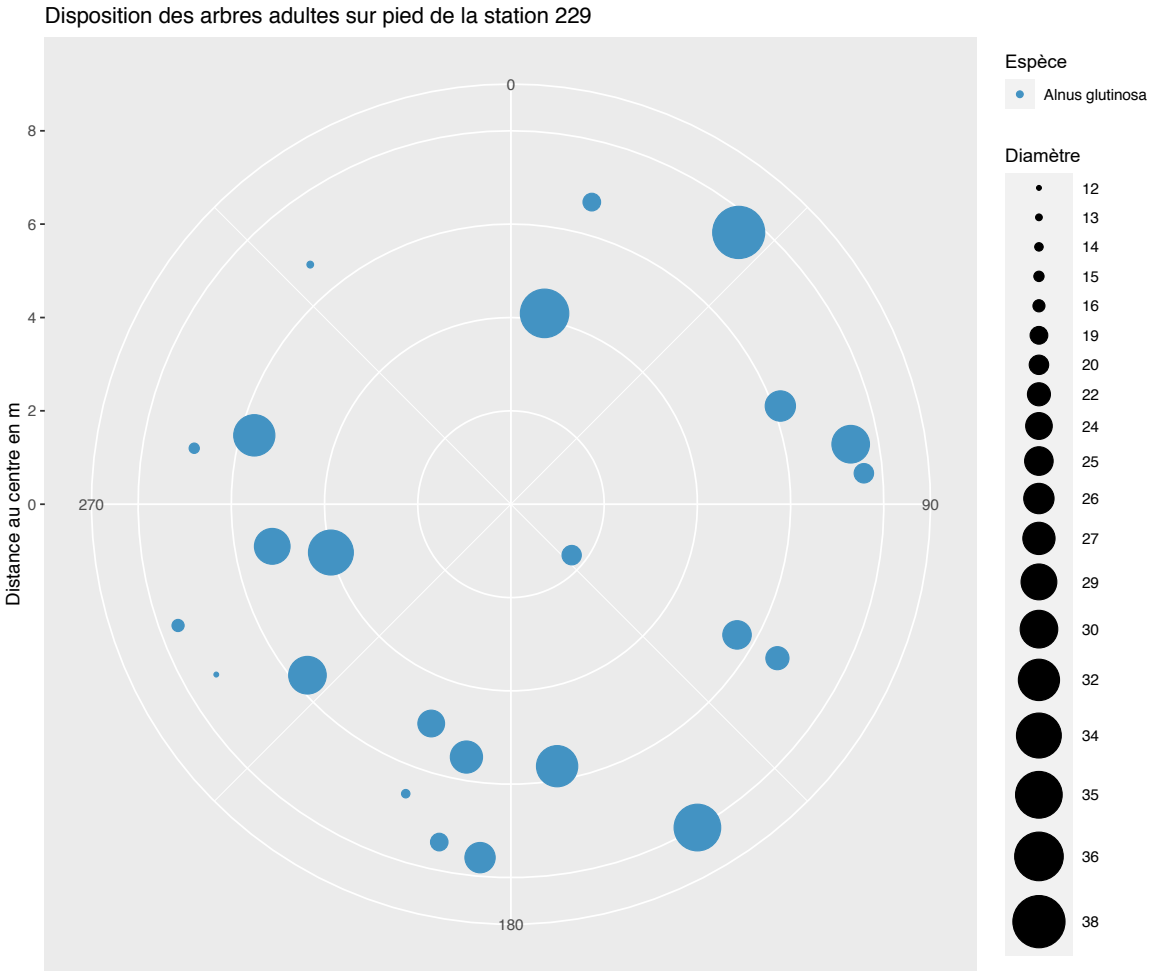
Disposition des arbres adultes sur pied de la station 221



Annexe II : Fiche station 229

Station	229
Date d'observation	28.07.2022
Réserve	Cheseaux
Coordonnée GPS	2542054, 1182281

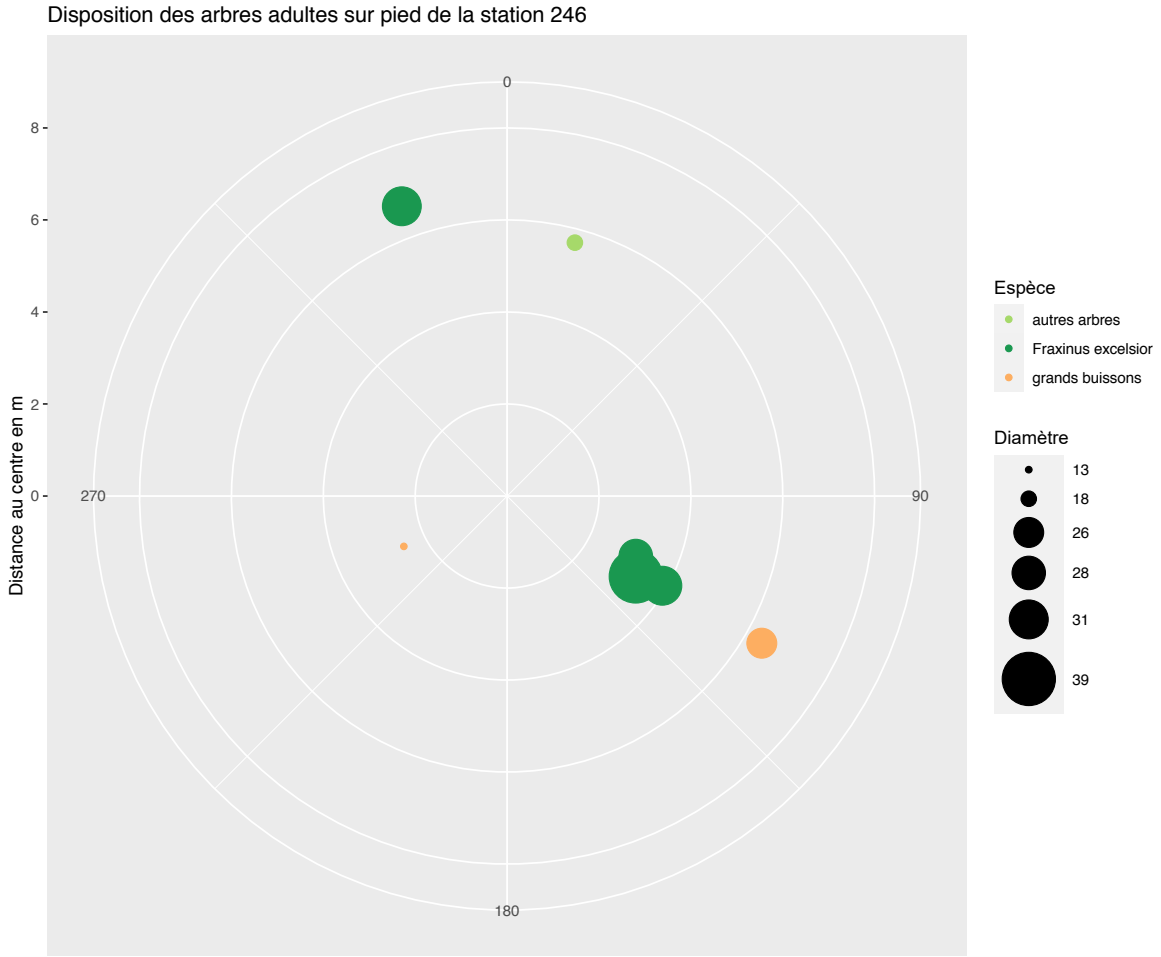
Photo de la station 229 (Katia Todorov)



Annexe III : Fiche station 246

Station	246
Date d'observation	11.11.2022
Réserve	Cudrefin
Coordonnée GPS	2570546, 1202844
Altitude	464 m

Photo de la station 246 (Katia Todorov)

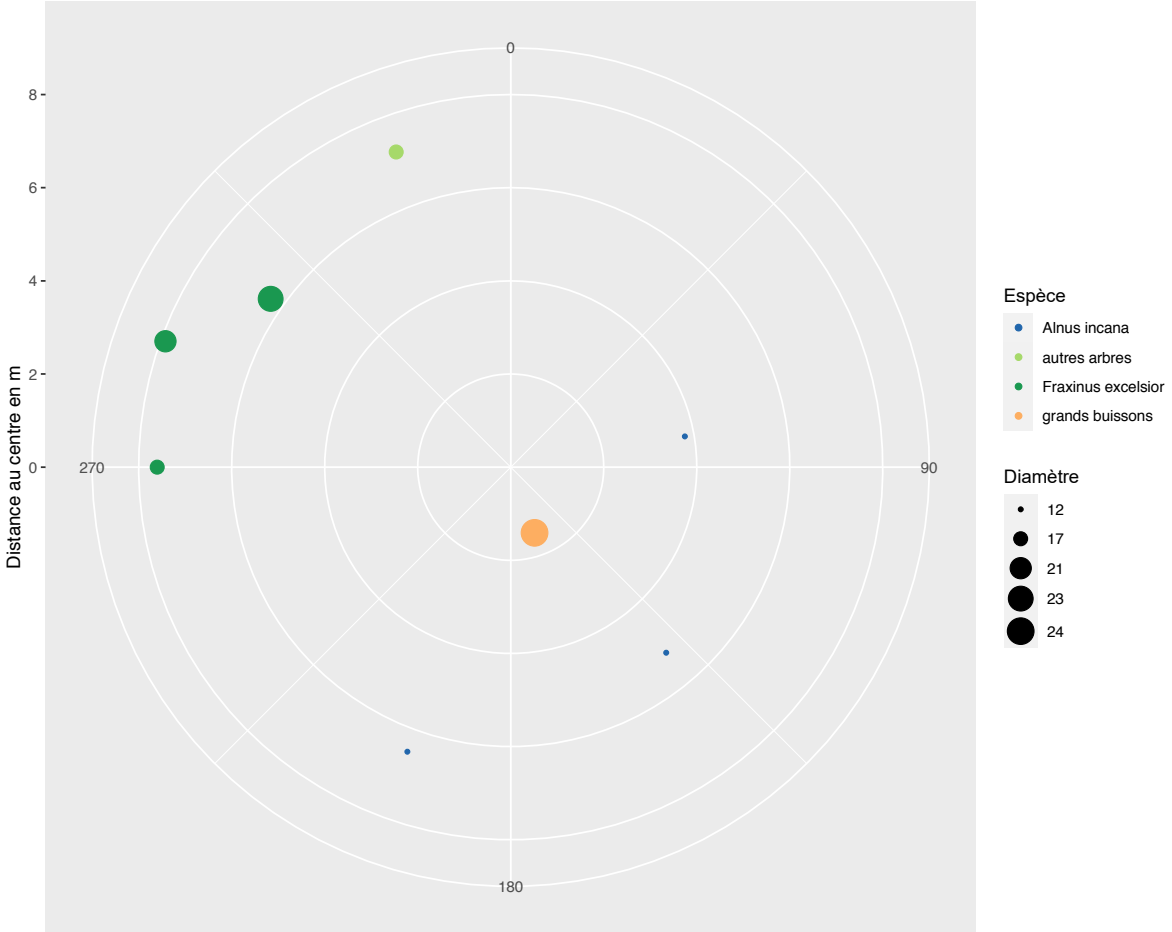


Annexe IV : Fiche station 249

Station	249
Date d'observation	11.11.2022
Réserve	Cudrefin
Coordonnée GPS	2569995, 1202674
Altitude	429 m

Photo de la station 249 (Katia Todorov)

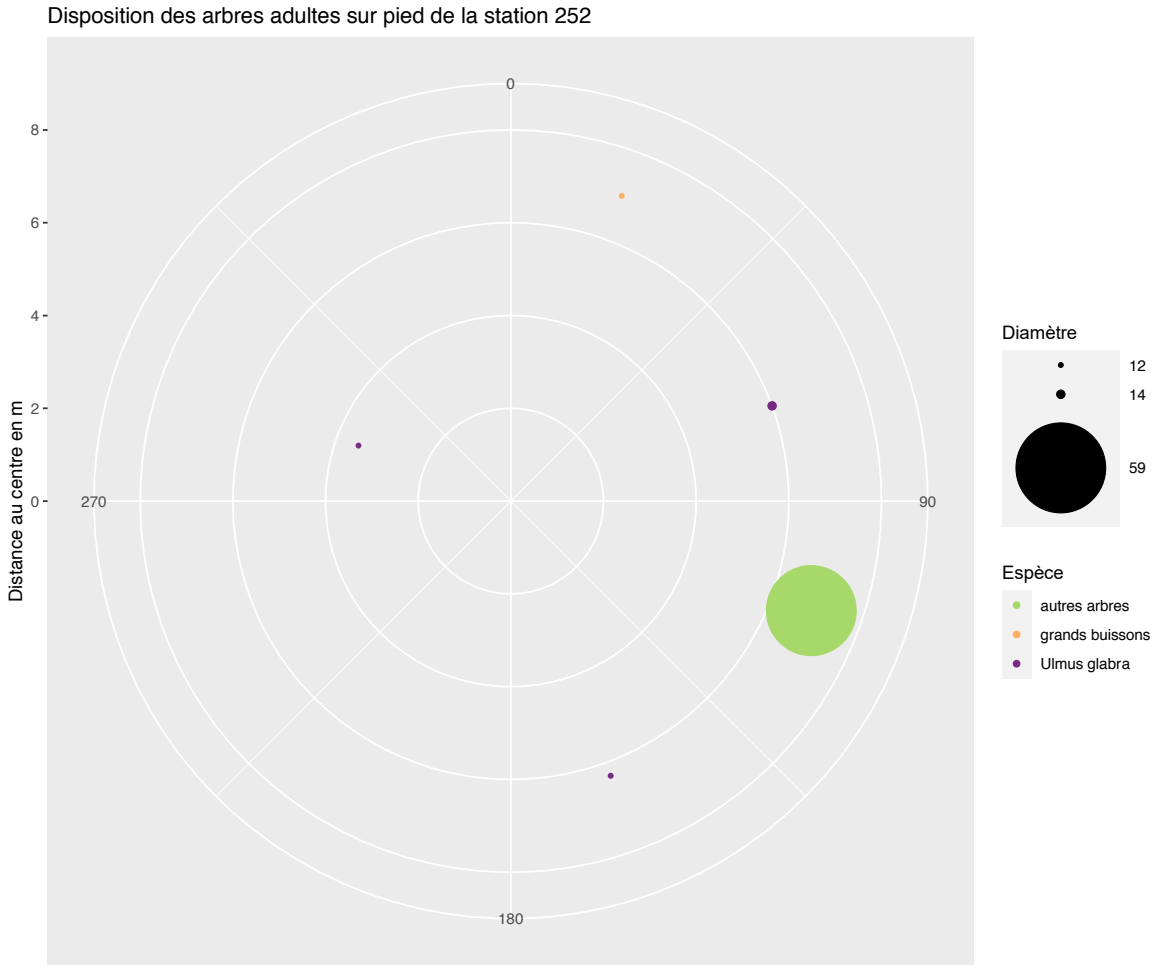
Disposition des arbres adultes sur pied de la station 249



Annexe V : Fiche station 252

Station	252
Date d'observation	11.11.2022
Réserve	Cudrefin
Coordonnée GPS	2569678, 1202183
Altitude	441 m

Photo de la station 252 (Katia Todorov)



Annexe VI : Fiche station 284

Station	284
Date d'observation	10.11.2022
Réserve	Ostende
Coordonnée GPS	2560111, 1194124
Altitude	435 m

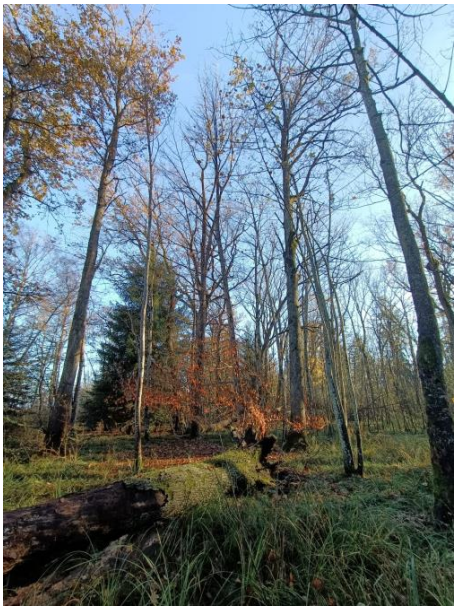
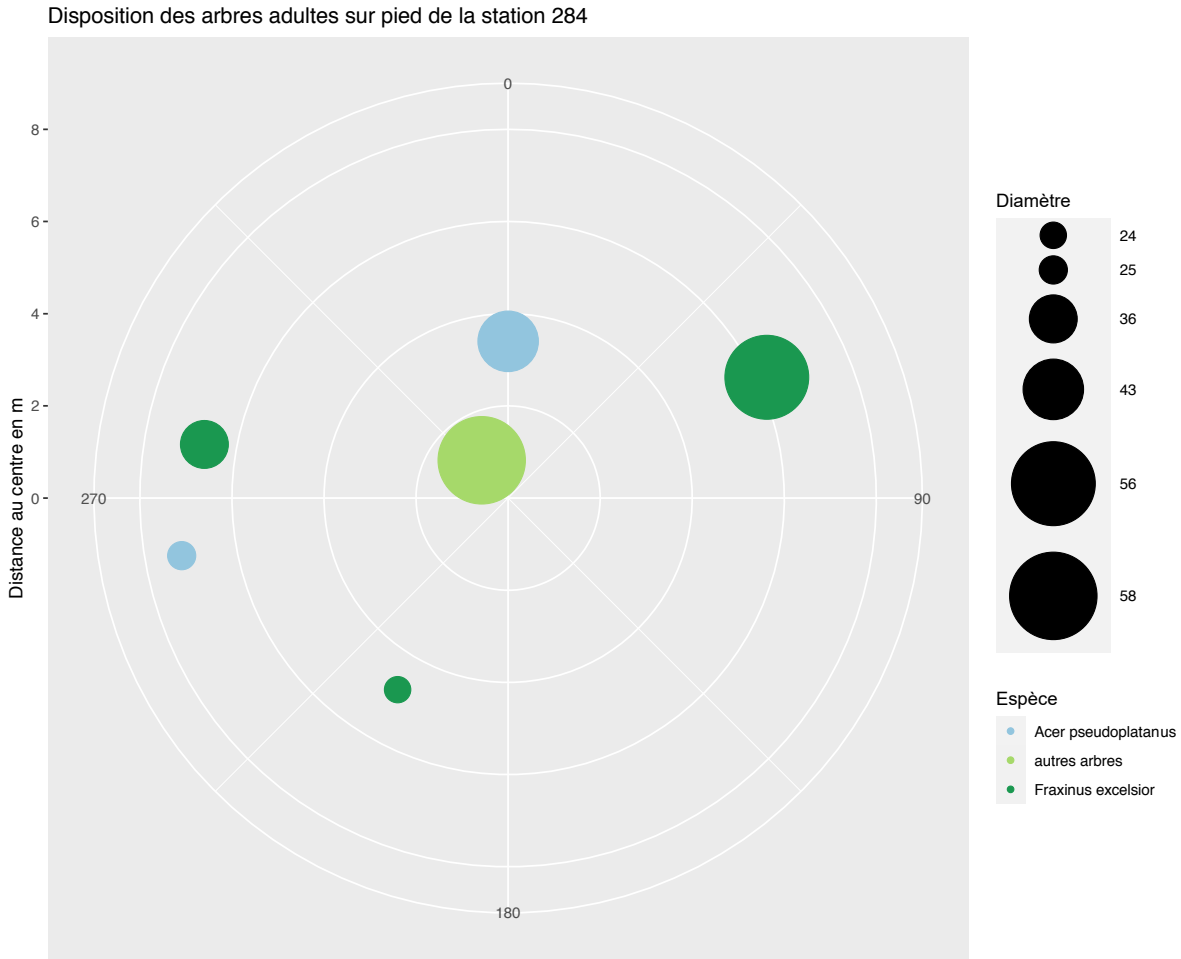


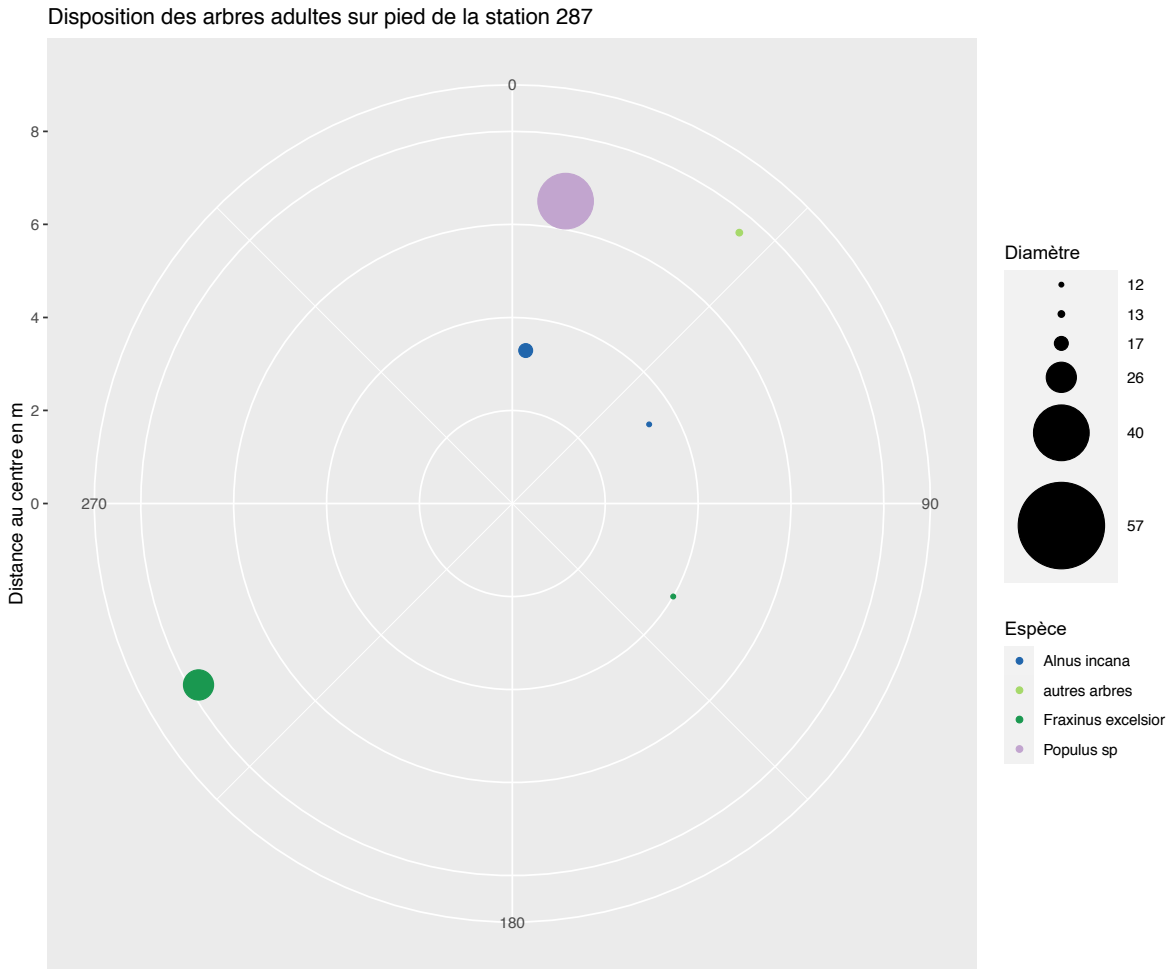
Photo de la station 284 (Katia Todorov)



Annexe VII : Fiche station 287

Station	287
Date d'observation	10.11.2022
Réserve	Ostende
Coordonnée GPS	2561870, 1195318
Altitude	447 m

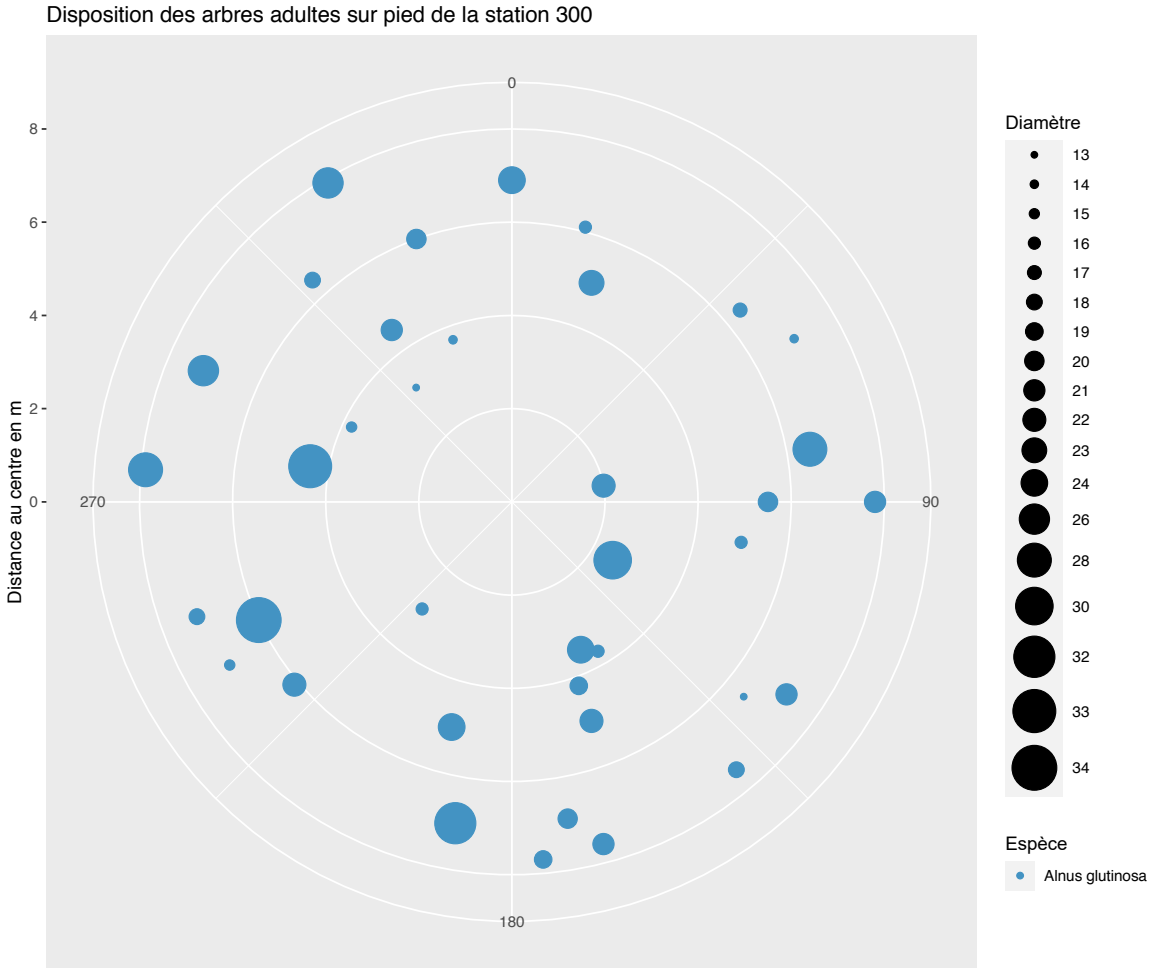
Photo de la station 287 (Katia Todorov)



Annexe VIII : Fiche station 300

Station	300
Date d'observation	28.10.2022
Réserve	Cheyres
Coordonnée GPS	2551734, 1187223

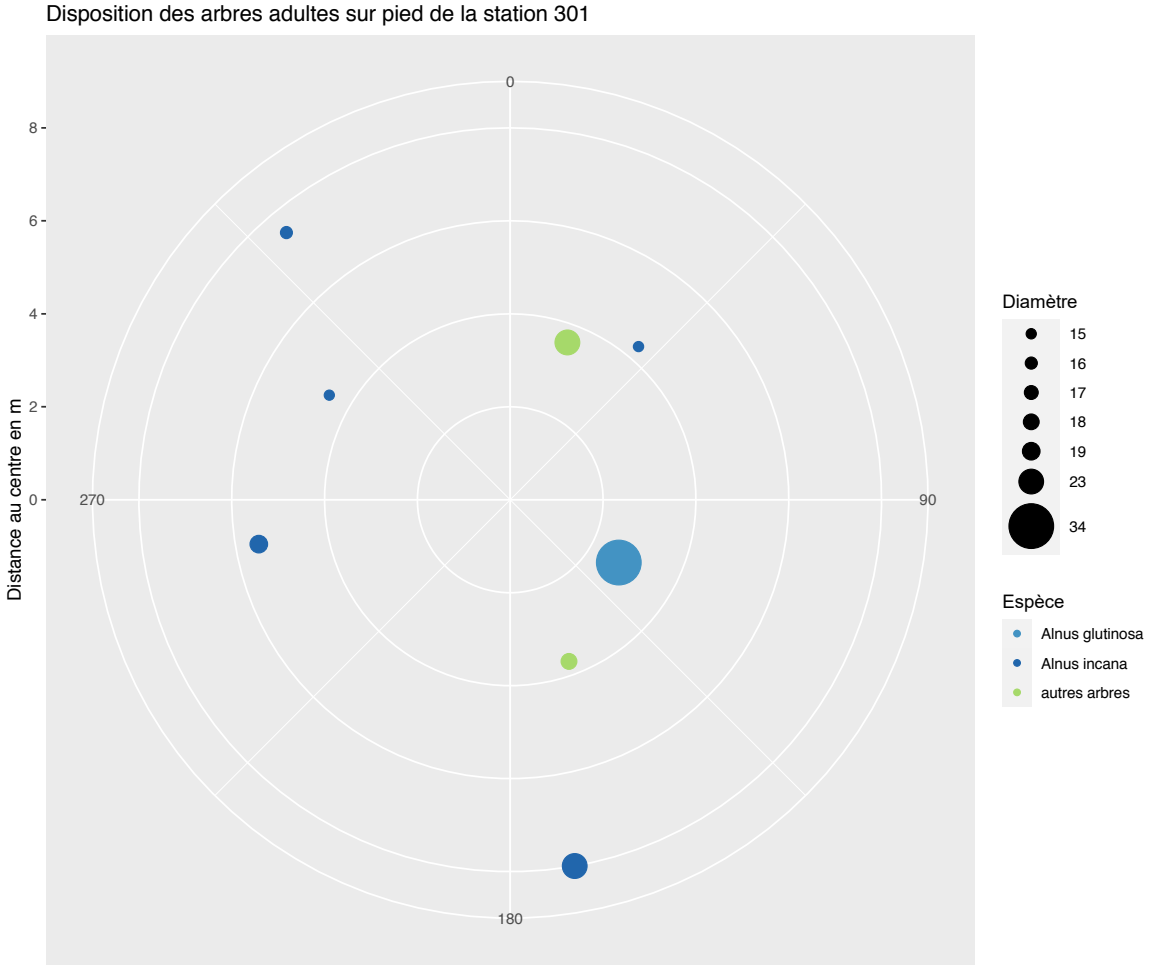
Photo de la station 300 (Katia Todorov)



Annexe IX : Fiche station 301

Station	301
Date d'observation	28.10.2022
Réserve	Cheyres
Coordonnée GPS	2551593, 1187120
Altitude	434 m

Photo de la station 301 (Katia Todorov)

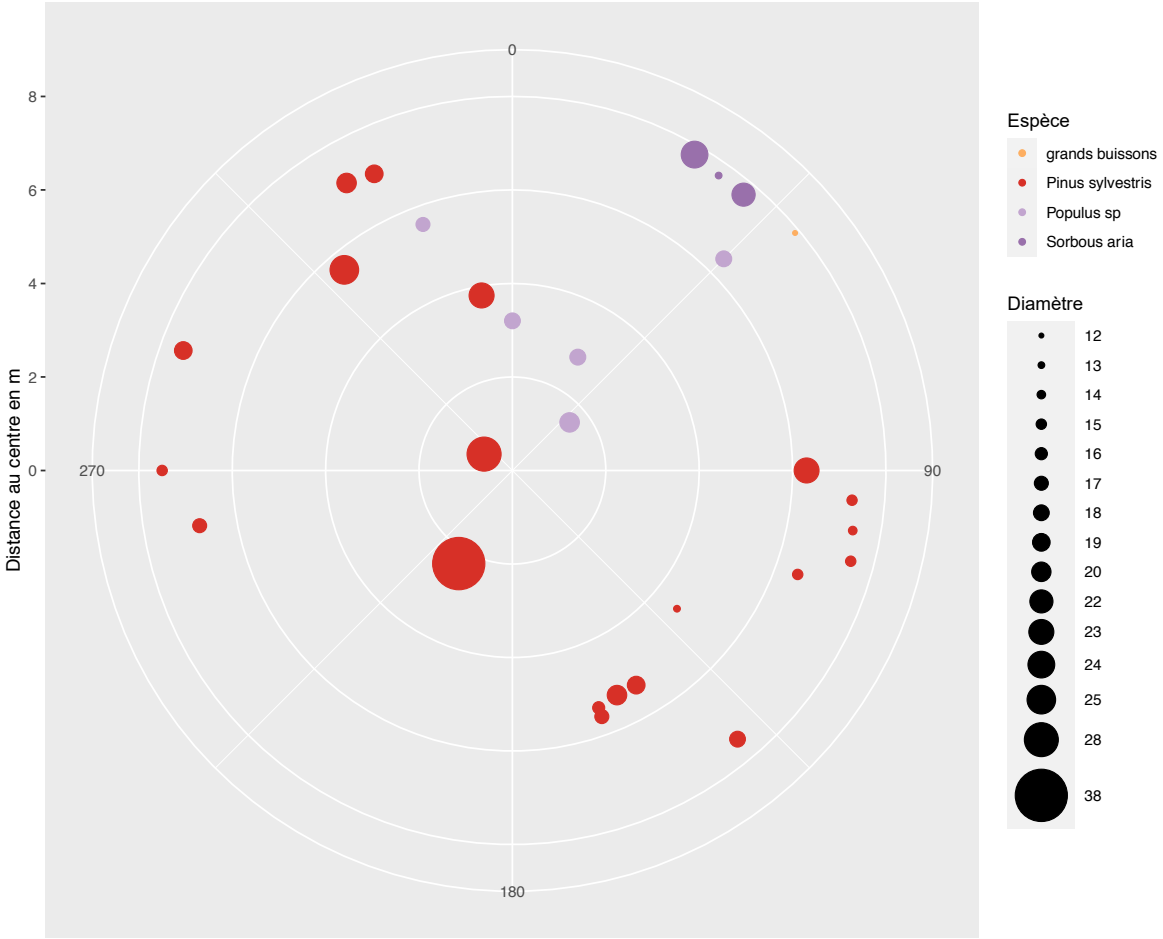


Annexe X : Fiche station 643

Station	643
Date d'observation	11.07.2022 et 02.12.2022
Réserve	Motte
Coordonnée GPS	2564397, 1197858
Altitude	446 m

Photo de la station 643 (Lila Siegfried)

Disposition des arbres adultes sur pied de la station 643



Annexe XI : Fiche station 654

Station	654
Date d'observation	11.07.2022 et 02.12.2022
Réserve	Motte
Coordonnée GPS	2565685, 1198810
Altitude	448 m

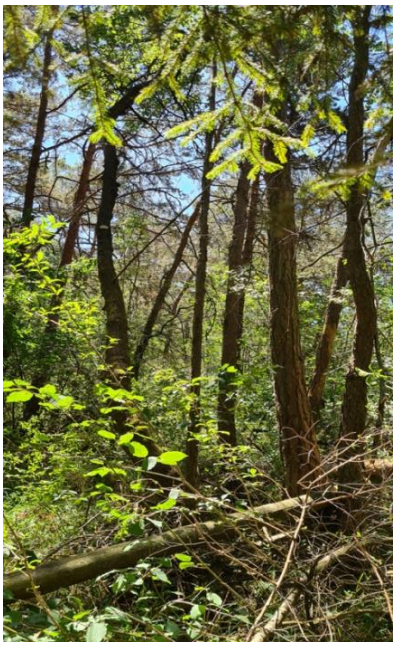
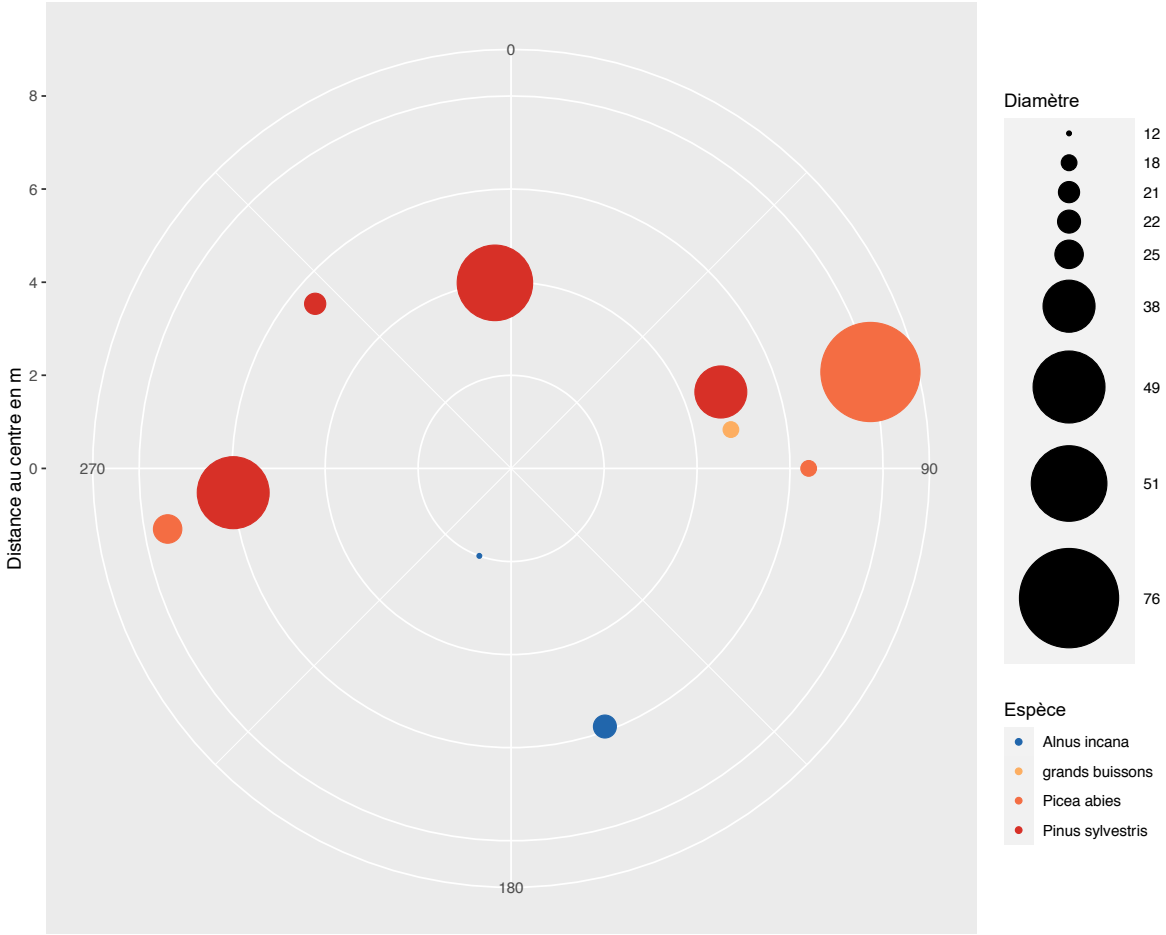


Photo de la station 654 (Lila Siegfried)

Disposition des arbres adultes sur pied de la station 654

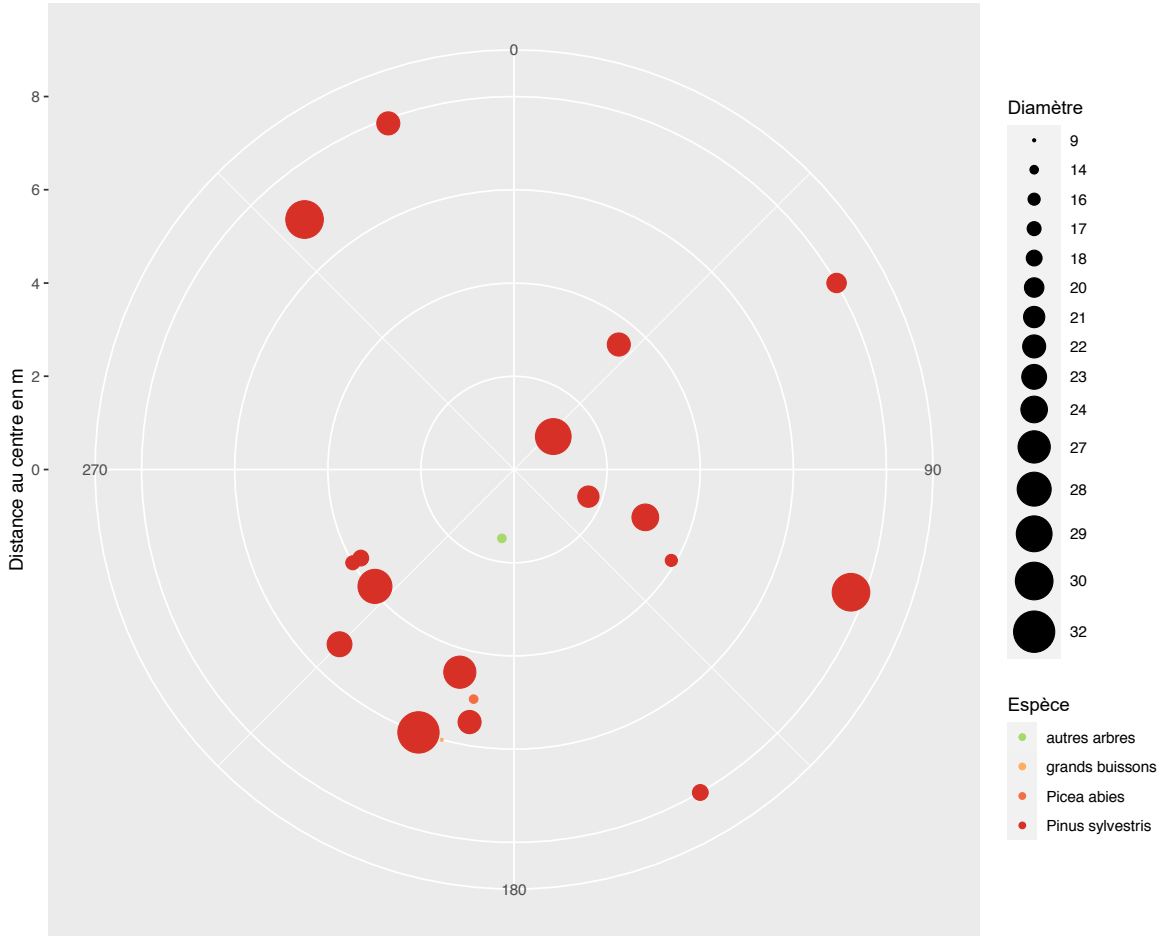


Annexe XII : Fiche station 661

Station	661
Date d'observation	02.12.2022
Réserve	Corbière
Coordonnée GPS	2556845, 1191107
Altitude	431 m

Photo de la station 661 (Katia Todorov)

Disposition des arbres adultes sur pied de la station 661



Annexe XIII : Formulaire de terrain

N° Station :		Réserve :
Date :	Heure début :	Heure fin :
Coordonnée GPS du piquet :		
Description de la station :		

1) Cercle de 8 m de rayon (200m2) => relevé des arbres DHP > 12 cm

N°	Distance	Orientation	Diamètre	Hauteur	Espèce	Si arbre vivant	Si arbre mort sur pied ou souche	Micro habitats
						Etat sanitaire, port de l'arbre, autre…	Degré de décomposition, couverture d'écorce,…	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								

2) Cercle de 12.6 m de rayon (500m2) => relevé des arbres DHP > 36 cm

N°	Distance	Orientation	Diamètre	Hauteur	Espèce	Si arbre vivant	Si arbre mort sur pied ou souche	Microhabitat
						Etat sanitaire, port de l'arbre, autre…	Degré de décomposition, couverture d'écorce,…	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Code pour les micro habitats :
V : végétation sur le tronc (liane, gui), préciser l'espèces et l'abondance
M : mousse sur le tronc, préciser l'abondance
L : lichen sur le tronc, préciser la forme (thalles crustacé, foliacé, fruticuleux et complexe) et l'abondance
Ch : Champignon sur le tronc (polypore, moisissure ou autre)
T : Trou de pic ou de tarière (mesure pour la dendrologie)
C : Cavité, degré d'avancement (Classe sur 7)

3.E) Cercle de rajeunissement EST de 4 m de rayon à 10m du centre

Tree species				Chaque individu
N°	Classe	Diamètre	Hauteur	Espèce
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Shrub species			Par espèces
N°	Hauteur moyenne	Recouvrement	Espèce
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Young forest class

Classe
1 : 10 – 39 cm height
2 : 40 – 129 cm height
3 : dbh 0.1 - 1.9 cm

3.O) Cercle de rajeunissement OUEST de 4 m de rayon à 10m du centre

Tree species				Chaque individu
N°	Classe	Diamètre	Hauteur	Espèce
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Shrub species			Par espèces
N°	Hauteur moyenne	Recouvrement	Espèce
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Young forest class

Classe
1 : 10 – 39 cm height
2 : 40 – 129 cm height
3 : dbh 0.1 - 1.9 cm

4.A) Transect de 15m pour le bois mort couché à 1 m du centre => 31.5 ° depuis le centre. Diamètre de > 7cm

N°	Distance	Branche, tronc, …	Diamètre 1	Diamètre 2	Degré de dégradation	Position (angle avec le sol, submergé, …)	Micro habitats
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

4.B) Transect de 15m pour le bois mort couché à 1 m du centre => 153 ° depuis le centre. Diamètre de > 7cm

N°	Distance	Branche, tronc, …	Diamètre 1	Diamètre 2	Degré de dégradation	Position (angle avec le sol, submergé, …)	Micro habitats
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Code pour les micro habitats :
V : végétation sur le tronc (liane, gui), préciser l'espèces et l'abondance
M : mousse sur le tronc, préciser l'abondance
L : lichen sur le tronc, préciser la forme (thalles crustacé, foliacé, fruticuleux et complexe) et l'abondance
Ch : Champignon sur le tronc (polypore, moisissure ou autre)
T : Trou de pic ou de tarière (mesure pour la dendrologie)
C : Cavité, degré d'avancement (Classe sur 7)

4.c) Transect de 15m pour le bois mort couché à 1 m du centre => 270 ° depuis le centre. Diamètre de > 7cm

N°	Distance	Branche, tronc, …	Diamètre 1	Diamètre 2	Degré de dégradation	Position (angle avec le sol, submergé, …)	Micro habitats
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

5) Bitterlich

Surface terrière [m2/ha]	Nombre de tige /ha	Hauteur [m]	Volume [m3/ha]