

2022-2023

MASTER AETPF

Agrosciences, Environnement, Territoire, Paysage, Forêt

Parcours

BFD

Bilan et étude de la gestion des peuplements sur la biodiversité d'une forêt périurbaine : le Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy (54500)



FABIEN POTESTAT

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 04/09/2023

Monsieur RIGOLOT Raynald, Président de la Fédération FLORE 54 (Maitre de stage)
Monsieur ARNOULD Maxence, Ingénieur de recherches à AgroParisTech Nancy
(Enseignant référent)

FLORE 54
65 rue Léonard Bourcier
54000 Nancy



INRAE

AgroParisTech Nancy
14 Rue Girardet
54000, Nancy

Remerciements

Je tiens à remercier cordialement l'ensemble des personnes m'ayant assisté ou encore aidé durant ce stage de fin d'études :

Monsieur ARNOULD Maxence, ingénieur de recherches à AgroParisTech Nancy, pour s'être porté volontaire afin d'être le référent pédagogique universitaire de mon stage. Je le remercie également pour ses conseils, son soutien et sa disponibilité durant toute la durée de ce stage me permettant d'élaborer ce mémoire.

Monsieur MONTPIED Pierre, ingénieur de recherches à l'INRAE de Champenoux, pour avoir généreusement partagé les nombreuses données qu'il possédait sur le site d'étude : le Bois de la Champelle, acquises au cours de travaux avec ses étudiants du Master AETPF. Je le remercie également pour sa disponibilité et ses conseils concernant la partie floristique du travail ainsi que le traitement des données de ce projet.

Monsieur RIGOLOTT Raynald, président de la Fédération FLORE 54, pour m'avoir accueilli au sein de la Fédération FLORE 54 et de m'avoir proposé ce sujet de stage. Je le remercie également pour sa disponibilité, son sens critique et sa rigueur.

Madame PERNOT Océane, service civique – stagiaire FLORE 54, pour sa disponibilité et son aide précieuse durant tout le long du stage, notamment sur le terrain avec les nombreux relevés effectués.

Monsieur CARCELES Lucas et Madame SALM Orlande, respectivement stagiaire et service civique à FLORE 54, pour leur précieuse aide sur le terrain ainsi que leur soutien permanent durant toute la durée du stage.

Monsieur VERNIER François, ingénieur forestier retraité – fondateur et ancien président de Floraine (Association des Botanistes Lorrains), pour ses explications et ses conseils afin de mener à bien l'étude floristique sur le Bois de la Champelle. Je le remercie également de son aide sur le terrain ou bien même de sa disponibilité pour l'identification de certaines espèces.

La mairie de Vandœuvre-lès-Nancy représentée par Madame ACKERMANN Dany, 7^{ème} adjointe, déléguée à l'écologie urbaine, à l'environnement et au patrimoine ; Madame PIBOULE Nadine, conseillère municipale déléguée biodiversité et coteaux, bois, ainsi que Madame BOUDINOT Eloïse, coordonnatrice biodiversité/environnement/écologie, à la suite de leur demande d'une étude sur le bois communal de Vandœuvre-lès-Nancy et de m'avoir fait confiance dans le projet mené.

Monsieur PAILLET Yoan, ingénieur de recherches à l'INRAE de Grenoble, et Madame MACIEJEWSKI Lise, responsable « Surveillance des habitats forestiers » à l'OFB et AgroParisTech Nancy, pour leur aide sur la recherche de bibliographie concernant les dendromicrohabitats.

Madame VUILLAUME Marilène et Monsieur DUBOIS Jean-Luc, respectivement responsable SAM à l'ONF et gestionnaire forestier à l'ONF, pour leurs conseils et pour m'avoir communiqué de nombreuses informations concernant l'historique des interventions sylvicoles menées dans le Bois de la Champelle depuis le début des années 2000.

Madame AKYOL Meliha, ancienne service civique de la Fédération FLORE 54, pour son aide apportée sur le terrain lors des relevés floristiques.

Je remercie toutes les autres personnes faisant partie du réseau de la Fédération FLORE 54 ayant joué un rôle, quel qu'il soit, dans le déroulement de ce stage de fin d'études de deuxième année de Master Agrosociétés – Environnement – Territoire – Paysage - Forêt (AETPF), parcours Bois – Forêt - Développement durable (BFD).

Sommaire

Liste des abréviations.....	1
Glossaire	2
Liste des Tableaux / Liste des Figures	4
Présentation de la structure d'accueil : FLORE 54.....	5
Compte rendu d'activités au sein de la Fédération FLORE 54.....	6
Introduction.....	7
Etat de l'art.....	9
I / Synthèse sur les îlots de sénescence	9
1) <i>Généralités</i>	9
2) <i>Intérêts des îlots de sénescence</i>	9
3) <i>Critères pour caractériser un îlot de sénescence</i>	10
II / La mise en place des îlots de sénescence dans les forêts françaises	10
1) <i>Les îlots de sénescence en forêt publique</i>	10
2) <i>Les îlots de sénescence en forêt privée</i>	11
3) <i>Le cas particulier des zones Natura 2000 : les îlots Natura 2000</i>	11
III / Les îlots de sénescence intégrés au sein d'un réseau : la trame de vieux bois.	12
Matériel et méthode	13
I / Présentation du site d'étude	13
II / Protocole expérimental	14
1) <i>Plan d'échantillonnage et protocole général</i>	14
2) <i>Protocoles particuliers</i>	15
III / Traitement et analyse des données	18
Résultats	18
I / Bois mort	18
II / Bois vivant et DMH	19
III / Flore vasculaire	21
Discussion	22
I / Analyse méthodologique du protocole	22
II / Analyses des résultats	23
III / Analyse réflexive sur le mode de gestion	26
Conclusion	28
Perspectives : Recommandations à la mairie de Vandœuvre-lès-Nancy	29
Bibliographie	30
Annexes.....	32
Annexe 1 : Informations complémentaires à la partie « Matériel & Méthode » du mémoire.....	32
Annexe 2 : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023, avec leur présence suivant la gestion et leur présence totale, le tout suivant la parcelle.	34
Annexe 3 : Synthèse des moyennes des variables réponses indicatrices indirectes de la biodiversité, par parcelle, de la forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy : Le Bois de la Champelle.....	37
RESUME.....	38
ABSTRACT	38

Liste des abréviations

ANCOVA : *Analysis of Covariance* : Analyse de covariance

ASPAS : Association pour la Protection des Animaux Sauvages

BMP : Bois Mort sur Pied

BMS : Bois Mort au Sol

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BVP : Bois Vivant sur Pied

CHP : Circonférence à Hauteur de Poitrine (soit à 1,30 m)

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

DMH : Dendromicrohabitats

FRENE : FoRêts en libre Evolution NaturElle / Forêts Rhônalpines en Evolution NaturElle

FSC : Forest Stewardship Council

G : Surface terrière

GLM : *Generalized Linear Models* : Modèle linéaire généralisé

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

OFB : Office Français de la Biodiversité

ONF : Office National des Forêts

ORE : Obligation Réelle Environnementale

PBMS : Petit Bois Mort au Sol

PEFC : Programme de reconnaissance des certifications forestières

PSDRF : Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières

V : Volume

Glossaire

Arbre habitat : « Arbre sur pied présentant un intérêt pour la biodiversité, désigné comme arbre disséminé à haute valeur biologique dans l'instruction biodiversité et aussi appelé « arbre bio », arbre biologique ou arbre à conserver pour la biodiversité » (ONF, 2017). Un arbre habitat est un arbre portant au moins un dendromicrohabitat (Bütler et al., 2020).

Arbre sénescent : Arbre vivant ayant atteint la phase finale de son développement et qui commence à montrer des signes de dépérissement.

Aubier : Correspond à la partie du bois périphérique, physiologiquement active. L'aubier est composé d'un ensemble de cellules vivantes, contenant en partie un ensemble de vaisseaux servant à acheminer la sève brute du système racinaire jusqu'au système foliaire : on parle des vaisseaux du xylème.

Biodiversité : « Désigne l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent. Ce terme comprend également les interactions des espèces entre elles et avec leurs milieux » (OFB, 2023).

Bryophyte : Correspond à un groupe de végétaux non vasculaires tels que les mousses et les hépatiques.

Cycle sylvigénétique : « Succession des phases par lesquelles passent les peuplements forestiers (de la naissance des arbres à leur mort) sans intervention de l'Homme » (Saintonge et al, 2023).

Dendromicrohabitat : « Singularité morphologique portée par un arbre et qui est utilisée par des espèces parfois hautement spécialisées, au moins durant une partie de leur cycle de vie. Ils constituent des refuges, des lieux de reproduction, d'hibernation et de nutrition cruciaux pour des milliers d'espèces » (Bütler et al, 2020).

Epiphyte : « Champignon, plante ou bactérie qui vit à la surface d'un végétal support mais qui n'y prélève pas de nourriture » (Saintonge et al, 2023).

Flore vasculaire : Ensemble des plantes présentant une tige, des feuilles et des racines permettant une circulation de l'eau dans l'ensemble de ces dernières. Les algues et les bryophytes sont des plantes non vasculaires.

Futaie irrégulière : Mode de sylviculture où les peuplements forestiers possèdent des arbres avec une grande diversité de caractéristiques (essence, âge, taille) ce qui n'est pas le cas dans une futaie régulière où tous les arbres sont globalement uniformes (ONF, 2023).

Ilot de sénescence : « Petit peuplement laissé en évolution libre sans intervention culturelle et conservé jusqu'à son terme physique, c'est-à-dire jusqu'à l'effondrement des arbres » (ONF, 2017).

Ilot de vieillissement : « Petit peuplement ayant dépassé les critères optimaux d'exploitabilité économique et qui bénéficie d'un cycle sylvicole prolongé pouvant aller jusqu'au double de ceux-ci » (ONF, 2017).

Ilot de vieux bois : « Terme générique regroupant les îlots de vieillissement et les îlots de sénescence » (ONF, 2017).

Indice d'équitabilité de Piélou : Cet indice de diversité est souvent utilisé avec l'indice de Shannon. Il prend en compte l'abondance des espèces, en plus de la diversité spécifique. Cet indice varie de 0 (situation d'un déséquilibre où une seule espèce domine le peuplement) à 1 (situation dans laquelle les espèces ont des abondances similaires dans le peuplement).

Indice de Shannon : Indice de diversité permettant d'exprimer la diversité spécifique dans un peuplement donné. La diversité spécifique correspond au nombre d'espèces présentes dans un peuplement. Cet indice varie de 0 (milieu homogène donc constitué d'une seule et même espèce) à 5 (milieu hétérogène constitué de nombreuses espèces).

Indice de Simpson : Cet indice de diversité mesure la probabilité que deux individus tirés au hasard appartiennent à la même espèce au sein d'un même peuplement.

Plante patrimoniale : Terme désignant les espèces protégées, les espèces menacées, les espèces rares ou encore les espèces présentant un objectif pour la recherche scientifique ou ayant une représentation symbolique.

Plante rudérale : Terme désignant les plantes se développant dans les décombres issus des activités anthropiques.

Rémanents : « *Reste de branches ou de troncs laissés sur place en forêt* » (Saintonge et al, 2023).

Réserve biologique intégrale : Correspondant à une aire forestière protégée, souvent non-ouverte aux visiteurs, dont l'objectif principal est d'assurer la protection d'espèces ou encore d'habitats vulnérables des milieux forestiers.

Richesse spécifique : Terme correspondant à une mesure de la biodiversité désignant le nombre d'espèces présentes au sein d'un milieu précis.

Saproxylique : « *Animal, principalement parmi les insectes qui, à un stade de son développement, dépend de tissus ligneux morts ou de la présence d'autres organismes saproxyliques* » (Saintonge et al, 2023).

Surface terrière : grandeur permettant de quantifier la compétition entre les arbres au sein d'un peuplement forestier. Elle correspond à la surface de la section du tronc d'un arbre à 1,3 m de hauteur.

Liste des Tableaux / Liste des Figures

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Présentation des résultats des différentes variables réponses pour le bois mort.

Tableau 2 : Présentation des résultats des différentes variables réponses pour le BVP et les arbres porteurs de DMH (ou arbres habitats).

Tableau 3 : Présentation des moyennes à l'hectare des classes de DMH recensés suivant le type de gestion.

Tableau 4 : Présentation des résultats des différentes variables réponses issues de l'inventaire floristique de la flore vasculaire.

Tableau 5 : Correspondance entre les descriptions des communautés végétales, la valeur du coefficient d'abondance–dominance de Braun–Blanquet associé (valeur semi-quantitative) et le recouvrement moyen de Dufrêne associé (valeur quantitative).

Tableau 6 : Historique de la dernière exploitation forestière des peuplements suivant la parcelle du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Tableau 7 : Signification des codes E (état de l'écorce), P (degré de pourriture du bois) et C (état de la couronne), utilisés pour décrire l'état du bois mort.

Tableau 8 : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023 du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Tableau 9 : Synthèse des moyennes des variables réponses indicatrices indirectes de la biodiversité, par parcelle, du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Liste des Figures

Figure 1 : Exemple d'îlot de sénescence (parcelle 4) du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy. Juin 2023. Potestat Fabien.

Figure 2 : Schéma théorique de la trame de vieux bois mise en place par l'ONF pour la conservation des vieux arbres et du bois mort à différentes échelles afin d'assurer la dispersion et la dynamique de la biodiversité forestière. (Schéma conçu sur la base de la référence suivante : (Lachat et Bütler, 2007)).

Figure 3 : Localisation du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy, commune intégrée à la Métropole du Grand Nancy.

Figure 4 : Plan d'échantillonnage du Bois de la Champelle ordonné selon un réseau systématique de 82 placettes, utilisé dans le cadre de cette étude.

Figure 5 : Schéma théorique des placettes de relevé utilisées : deux placettes carrées emboîtées. (Schéma conçu sur la base du travail de M.Montpied (Montpied, 2020)).

Figure 6 : Schéma théorique illustrant la méthodologie appliquée pour mesurer le BMS et le PBMS. (Schéma conçu sur la base du travail de M.Montpied (Montpied, 2020)).

Figure 7 : Modèle linéaire généralisé (GLM) simple du nombre de DMH en fonction de la gestion et de la CHP (en cm).

Figure 8 : Modèle linéaire généralisé (GLM) simple du nombre de DMH en fonction de l'essence et de la CHP (en cm).

Présentation de la structure d'accueil : FLORE 54



En 1979, l'implantation d'une centrale d'enrobés à Laxou La Sapinière, dans l'actuel secteur d'Auchan, est le premier dossier qui a enrôlé de nombreux militants écologistes. De cet évènement est née FLORE 54, le 7 février 1983.

FLORE 54 est la Fédération Meurthe – et – Mosellane pour la Promotion de l'Environnement et du Cadre de Vie. C'est une union départementale des associations et des structures concernées par la protection de l'environnement, de la nature et du cadre de vie. Leur champ d'action se fait tant au niveau local, qu'intercommunal ou bien départemental voir même au-delà. De ce fait, la Fédération regroupe actuellement une soixantaine d'associations et de collectifs en comptant parallèlement plus de 6000 adhésions individuelles. FLORE 54 est adhérente à la structure « régionale » Lorraine Nature Environnement et est affiliée à France Nature Environnement.

La Fédération FLORE 54 présente de nombreux objectifs comme contribuer à définir les objectifs et les moyens visant à une gestion plus économique du patrimoine naturel, à la sauvegarde des sites, des paysages, de l'urbanisme et à la promotion d'une meilleure qualité de vie. Elle est la porte-parole qualifiée des associations et des organismes ; elle informe, éduque et sensibilise les administrations, les élus, les associations et le public ou encore maintient un contact permanent avec les pouvoirs publics et les organismes privés.

Les missions de FLORE 54 sont assez diversifiées et reposent sur de nombreuses activités mises en place tout au long de l'année comme l'organisation de nombreuses conférences, l'organisation (ou) la participation à des manifestations, des sorties naturalistes (sorties botaniques, sorties ENS, sorties découvertes et thématiques, etc.), la conception et la création de nombreux outils pédagogiques (réglette des insectes ou le livre sur la forêt de Haye par exemple) ainsi que des fiches sensibilisation pour le grand public, des journées de formation ou des actions vis-à-vis de la biodiversité.

Par ses engagements, la Fédération FLORE 54 a été récompensée par deux prix :

- ❖ En janvier 2019, FLORE 54 a reçu le grand prix de l'Académie Stanislas pour ses nombreuses actions.
- ❖ En octobre 2021, FLORE 54 a reçu le prix régional Initiative Associative Sainte Croix pour le projet TrameBioSol.

Pour assurer son bon fonctionnement, la Fédération FLORE 54 est constituée d'un conseil d'administration de 13 membres, dont son président est Monsieur RIGOLOT Raynald, et est gérée entièrement par des bénévoles (environ au nombre de 25). Parallèlement, FLORE 54 peut compter sur les nombreux stagiaires et services civiques qui se succèdent tout au long de l'année pour assurer un dynamisme constant de la Fédération avec des sujets d'études divers et variés. Ce pluralisme de personnes permet à FLORE 54 d'être une structure accueillante, chaleureuse et compétente avec un réseau de nombreux professionnels.

La Fédération a participé activement au classement de la forêt de Haye en forêt de protection en 2018, FLORE 54 a fêté ses 40 ans cette année avec une conférence de Marc-André Selosse, professeur au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, intitulée « Les Sols : ces compagnons que nous méconnaissons ».

Mission	Date	Evènement	Description
Animation	17/05/2023	Reconnaitre les plantes comestibles et les arbres sur les coteaux de Maxéville	Coanimation avec Océane Pemot et Maryse Louis
	14/06/2023	Reconnaissance des arbres et arbustes Jardin des 1000 fleurs à Laxou	Coanimation avec Océane Pemot
	09/08/2023	Savoir bien identifier les arbres de notre région	Coanimation avec Océane Pemot et Isabelle Richter
Organisation	03/02/2023	64 ^{ème} Conférence Laxou Vipère aspic – AUMAITRE Damien	Accueil du public Tenue de la buvette
	10/03/2023	65 ^{ème} Conférence Laxou Etonnantes fourmis – Vitzthum Stéphane	Accueil du public Tenue de la buvette
	19/03/2023	Conférence 40 ans FLORE 54 Les Sols – Marc-André Selosse	Accueil du public Réalisation d'énigmes Préparation et rangement de la salle
	07/06/2023	Bain de forêt – Découverte de la sylvothérapie / Bien-être auprès des arbres dans le bois d'Eulmont	Encadrement de la sortie Réalisation de livrets
	09/06/2023	67 ^{ème} Conférence Laxou Biodiversité au potager – Banvoy Jacques	Accueil du public Tenue de la buvette
Participation	28/01/2023	Assemblée Générale	Auditeur libre
	31/05/2023	Hirondelles et martinets : les connaître et les différencier pour mieux les protéger	Auditeur libre
	03/06/2023	A la découverte des orchidées sauvages sur le plateau de Domgermain	Auditeur libre
	28/06/2023	Sortie botanique : A la découverte de la végétation recolonisant une ancienne carrière	Auditeur libre
	05/07/2023	Préservation des hirondelles de fenêtre et rustique	Auditeur libre
	24/07/2023	Petit rallye : découverte de la biodiversité des sols	Auditeur libre
Stands	02/04/2023	Transhumance du plateau de Malzéville	Tenue de stand
	30/04/2023	Plateau de Brabois – DEVIBRA	Tenue de stand Participation à une sortie botanique Floraine
	27/05/2023	Fête de la biodiversité – Jardin Botanique	Tenue de stand
	04/06/2023	Désir de Nature – Vandœuvre-lès-Nancy	Tenue de stand Présentation du stage aux riverains
Aide apportée aux stagiaires et services civiques de FLORE 54	Ponctuel	Hirondelles et Martinets Stagiaire : CARCELES Lucas	Assistance sur le terrain
	Ponctuel	Projet « De la Graine à l'assiette » Service civique : SALM Orlane	Assistance sur le terrain
	Ponctuel	Projet « Sauvages de ma rue » Stagiaire : BLANCHETE Sully	Assistance sur le terrain
	Semaines :		
	10/04/2023 17/04/2023 08/05/2023 15/05/2023	Valorisation des coteaux de Maxéville Service civique : PERNOT Océane	Assistance sur le terrain

Introduction

Au cours de ces nombreuses décennies, les pressions sur les ressources naturelles n'ont fait que de s'accroître et aujourd'hui les conséquences se traduisent par un déclin de la biodiversité (OFB, 2023). De ce fait, une première démarche a été opérée en France en 1976 avec la Loi Sur La Protection De La Nature qui a permis de poser les directives principales du droit de l'environnement. Par la suite, en 1992, la conférence de Rio sur la Conservation de la Diversité Biologique a permis d'ouvrir la voie à la définition du concept de biodiversité et à l'élaboration de stratégies pour permettre la protection de cette biodiversité. En France, il a été constaté un déclin de la biodiversité forestière s'expliquant, notamment, par des perturbations de nature diverse (incendie, épidémie, espèce invasive) mais surtout par une sylviculture perturbant le cycle sylvigénétique de la forêt (Saintonge et al., 2023). Et pour cause, par l'exploitation forestière, les stades de vieillissement (150 – 250 ans) et d'effondrement (250 à supérieur à 300 ans) (Saintonge et al., 2023) du cycle sylvigénétique sont sous-représentés dans les peuplements forestiers français, pourtant essentiels à la faune et à la flore. Par exemple, ces stades offrent une accumulation de bois mort dont les espèces saproxyliques sont dépendantes, représentant 20 % de la biodiversité forestière, voir même 50 % pour le groupe des coléoptères (Lachat et Bütler, 2007). La préservation de ces étapes du cycle sylvigénétique étant d'autant plus importante car 20 à 50 % des organismes saproxyliques présents en France sont menacés d'extinction (Rouveyrol, 2009).

En réponse à cela, en 2007, le Grenelle de l'environnement et les Assises de la forêt ont proposé une gestion durable des forêts en associant l'aspect production de bois, tout en garantissant la préservation de la biodiversité forestière, par la signature d'un accord intitulé « *Produire plus de bois tout en préservant au mieux la biodiversité* » (ONF, 2017). Dès lors, le 29 octobre 2009, l'ONF a mis en place les décisions concrètes du Grenelle de l'environnement par l'élaboration d'un document cadre appelé « l'Instruction biodiversité » concernant la conservation de la biodiversité dans la gestion des forêts publiques. Ce texte a donné lieu à la mise en place de la trame de vieux bois fixant des objectifs sur la conservation du bois mort au sol et des souches hautes, la constitution d'une trame d'arbres habitats ainsi que la mise en place d'un réseau d'îlots de vieux bois (comportant les îlots de vieillissement et les îlots de sénescence) (ONF, 2017). Récemment, le gouvernement français a annoncé 264 millions d'euros de crédits supplémentaires consacrés à la biodiversité pour 2024 dont 15 millions d'euros pour la protection des milieux forestiers (Jacque, 2023).

Sensible à la protection de la biodiversité forestière, la municipalité de Vandœuvre-lès-Nancy (54500), l'une des 20 communes intégrées à la Métropole du Grand Nancy, a décidé de s'y investir pleinement notamment par une gestion adaptée de sa forêt communale « le Bois de la Champelle ».

Cette stratégie a commencé en 2015 en classant sa forêt communale en tant que Refuges Nature ASPAS où la Fédération FLORE 54 fut marraine de l'opération. Ce classement a permis à la municipalité d'avoir une forêt où la chasse y est interdite et où le débardage se fait uniquement à cheval. Par ailleurs, en tant que site préservé et intégré au réseau des Refuges Nature ASPAS, la protection de la faune, de la flore et des milieux y est pleinement assurée. La même année, lors de la révision du plan d'aménagement, pour la période 2015 – 2034, la commune a souhaité une gestion forestière avec une forte dominante environnementale et sociétale (Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy, 2015). De ce fait, l'objectif escompté du plan d'aménagement était de renforcer le rôle écologique du Bois de la Champelle tout en permettant un accueil idéal du public. De ce fait, l'aspect production de bois n'est pas entré en compte pour les décisions de gestion (Massote, 2014) (Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy, 2015). Dès lors, pour répondre à cette volonté de préservation écologique du bois, 14,23 hectares de la forêt ont été classés en îlot de sénescence (sur les 59,11 hectares du bois), le tout avec un maintien de 5 arbres habitats à l'hectare et une conservation d'une proportion importante de gros bois à très gros bois dans les peuplements en futaie irrégulière (Massote, 2014).

Ces deux engagements ont été reconnus et récompensés lors du « Concours Capitale Française de la biodiversité », organisé par l'OFB en 2023 sur le thème « Arbres et Forêts », où l'action de Vandœuvre-lès-Nancy fera l'objet d'une parution par le comité scientifique et technique de l'OFB (Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy, 2023).

Aujourd'hui, Vandœuvre-lès-Nancy souhaiterait revoir sa convention actuelle avec l'ONF pour proposer le développement de nouvelles zones de libre évolution dans son bois (en plus des îlots de

sénescence actuels) et d'intégrer le tout au dispositif « Havre de vie sauvage » avec des ORE, en partenariat avec l'ASPAS (Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy, 2023). Pour cela, la commune aurait besoin d'une étude permettant de conforter l'idée que la jeune sénescence déjà appliquée montrerait des signes encourageants pour la préservation de la biodiversité.

La municipalité ne possédant pas de données initiales (bois mort, dendromicrohabitats (DMH), etc.) sur son bois, l'objectif de cette étude serait, dans un premier temps, de faire un point initial sur de nombreux indicateurs indirects de la biodiversité forestière, et, dans un second temps, de comparer les îlots de sénescence avec le reste de la forêt, notamment les peuplements exploités en futaie irrégulière, pour statuer si possible, sur l'efficacité de la sénescence appliquée dans le Bois de la Champelle. La problématique est donc la suivante :

La sénescence appliquée dans le Bois de la Champelle est-elle efficace pour assurer la conservation de la biodiversité ?

Afin de répondre à cette problématique, la première partie du mémoire sera consacrée à un état de l'art sur le sujet des îlots de sénescence. La seconde partie du mémoire se concentrera sur l'étude précise du Bois de la Champelle avec une étude de nombreux indicateurs, supports indirects de la biodiversité comme le volume de bois mort, le capital sur pied de bois vivant, les arbres habitats et la diversité des DMH associés ; et une partie sur la biodiversité directe avec une étude floristique. Dès lors, de nombreuses hypothèses ont été proposées pour structurer le travail :

- Les peuplements sénescents seraient davantage riches en bois (mort et vivant), en arbres habitats (et DMH) et en flore vasculaire que les peuplements irréguliers.
- La dernière date d'exploitation des parcelles aurait un effet sur la structure et la biodiversité des peuplements.
- Les arbres habitats jouant un rôle central dans la préservation de la biodiversité forestière, il a été proposé d'étudier spécifiquement ces arbres porteurs de DMH. De ce fait, il est supposé que la circonférence, l'essence et la gestion influenceraient le nombre de DMH présents sur les arbres.



Figure 1 : Exemple d'îlot de sénescence (parcelle 4) du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy. Juin 2023. Potestat Fabien.

Etat de l'art

I / Synthèse sur les îlots de sénescence

1) Généralités

Selon la définition de l'ONF, un îlot de sénescence est un « *petit peuplement laissé en évolution libre sans intervention culturale et conservé jusqu'à son terme physique, c'est-à-dire jusqu'à l'effondrement des arbres* » (ONF, 2017). L'objectif global d'un îlot de sénescence est donc d'assurer que chaque stade du cycle sylvigénétique soit représenté au sein d'un même peuplement afin de garantir une diversité de milieux et de substrats spécifiques nécessaires au développement de la faune et de la flore.

A l'inverse, un peuplement forestier traité en futaie irrégulière est un peuplement où la sylviculture est à visée de production (ONF, 2023) et où toutes les phases du cycle sylvigénétique ne sont pas présentes. En effet, cette exploitation de peuplement consiste à des coupes tous les 8 à 10 ans (appelées éclaircies) afin de couper, soit des arbres objectifs pour produire du bois de haute qualité, soit des arbres souffrants ou compromettants pour assurer le bon développement des arbres objectifs (ONF, 2023). Dans une futaie irrégulière, les arbres possèdent une grande diversité de caractéristiques (essence, âge, taille) ce qui n'est pas le cas dans une futaie régulière où tous les arbres sont globalement uniformes (ONF, 2023).

2) Intérêts des îlots de sénescence

Les îlots de sénescence sont des zones permettant la conservation de la biodiversité forestière. Cette protection passe tout d'abord par la préservation d'habitats spécifiques à certains taxons. C'est par exemple le cas du bois mort où de nombreuses espèces saproxyliques vont être dépendantes (insectes, champignons) représentant 20 % de la biodiversité forestière (Lachat et Bütler, 2007). Parallèlement, ce bois mort est aussi incontournable pour la flore non vasculaire forestière. C'est le cas notamment des bryophytes, des lichens ou encore des hépatiques (Rouveyrol, 2009).

Par la suite, ces îlots de sénescence permettent la conservation d'arbres morts sur pied, d'arbres vieux, d'arbres sénescents ou encore à cavités. De manière générale, les îlots de sénescence permettent la préservation d'arbres habitats. Un arbre habitat est un arbre caractérisé par la présence d'au moins un microhabitat, appelé dendromicrohabitat (DMH) quand ce dernier est lié à un arbre (Bütler et al., 2020). Consécutivement, un DMH est une « *singularité morphologique* » (Bütler et al., 2020) qui est portée par un arbre et qui est exploitée souvent par des espèces strictement dépendantes du type de DMH associé (Bütler et al., 2020). Il existe une très grande diversité de DMH. Les travaux de Larrieu ont permis de mettre en place une classification organisée sur la base de 7 formes (cavités ; blessures & bois apparents ; bois mort dans le houppier ; excroissances ; sporophores de champignons & myxomycètes ; structures épiphytiques, épixyliques ou parasites ; exsudats) en 15 groupes pour un total de 47 types de DMH (Larrieu et al., 2018). La formation des DMH est aléatoire et se fait spontanément à la suite de divers aléas pouvant être biotiques (attaque par des champignons, martelage par des pics, ...) ou abiotiques (lors d'une tempête, les dégâts de la foudre, ...) (Bütler et al., 2020) (Bütler et al., 2020). Par ailleurs, il est important de comprendre qu'un DMH n'est pas un microhabitat figé mais c'est une structure qui évolue constamment dans le temps : un type de DMH n'est donc que provisoire (Bütler et al., 2020). Par exemple, il est intéressant de prendre le cas d'une blessure au pied d'un arbre exposant l'aubier aux agressions extérieures directes. Si l'arbre abîmé n'arrive pas à refermer son entaille alors ce DMH initial de forme « blessure » évoluera progressivement vers un DMH de forme « cavité » en se transformant en une cavité à terreau ne cessant de croître (Bütler et al., 2020). En résumé, les DMH sont essentiels pour de nombreuses espèces de plantes, de lichens ou encore d'animaux (Bütler et al., 2020). Par exemple, les cavités représentent une grande forme de DMH et il a été montré que 40 % des oiseaux des milieux forestiers sont dépendants de ces cavités : ils sont dits cavicoles (Rouveyrol, 2009).

Enfin, les îlots de sénescence présentent un rôle de protection sanitaire (Rouveyrol, 2009). En effet, comme vu précédemment, les îlots de sénescence permettent la conservation de bois mort. Or, cette conservation de bois mort va augmenter, d'une part, le nombre d'individus décomposeurs et, d'autre part,

va accroître aussi la quantité de leurs prédateurs et de leurs parasites (Rouveyrol, 2009). En conséquence, les épisodes d'invasions de ravageurs vont être moins courants et moins virulents (Rouveyrol, 2009).

3) *Critères pour caractériser un îlot de sénescence*

L'ONF a mis au point un ensemble de critères à suivre afin d'effectuer le bon choix lors de la caractérisation et de l'implantation d'îlots de sénescence dans une forêt. Dans un premier temps, la surface de l'îlot de sénescence doit se situer entre 0,5 et 5 ha, avec une surface optimale de 3 ha (ONF, 2017). Par la suite, l'îlot de sénescence ne doit pas se situer là où la fréquentation du public est significativement soutenue (chemins, routes, installations pour les loisirs, etc) (ONF, 2017). De plus, afin de s'affranchir au mieux de l'effet lisière, l'îlot de sénescence doit avoir une forme compacte et présenter des limites aisément discernables par le personnel de gestion (ONF, 2017). Enfin, les peuplements d'essences autochtones ainsi que les peuplements difficiles à exploiter ou encore de mauvaise qualité sont des peuplements de premier choix et largement prioritaires pour être classés en îlot de sénescence (ONF, 2017).

Cependant, les critères précédents ne sont pas exhaustifs. En effet, à la suite d'une réflexion sur la mise en place d'un réseau d'îlots de sénescence en montagnes dans la forêt communale de la Motte-Servolex, en Savoie, d'autres critères sont apparus pour définir des emplacements adéquates pour les futurs îlots de sénescence (ONF, 2017) (Cateau et al., 2013). Dès lors, de nombreux éléments ont été ajoutés à la liste précédente, à savoir l'ancienneté de la dernière exploitation du peuplement (autrement dit la date à laquelle a eu lieu la dernière coupe doit être la plus lointaine possible), la maturité des peuplements (souvent caractérisée par la présence d'arbres présentant de forts diamètres), le volume de bois mort (sur pied et au sol, ce volume doit être le plus fort que possible), la présence significative d'arbres habitats, le statut de protection du futur emplacement de l'îlot (public, privé ou zone Natura 2000) et enfin la prise en compte des risques naturels (ONF, 2017) (Cateau et al., 2013).

II / La mise en place des îlots de sénescence dans les forêts françaises

En étudiant la mise en place des îlots de sénescence en France, il a été décidé de présenter succinctement les différentes méthodologies appliquées suivant les divers types de forêt (à savoir les forêts publiques, les forêts privées et les forêts classées en site Natura 2000).

1) *Les îlots de sénescence en forêt publique*

Dans le cas des forêts publiques, ces dernières sont gérées exclusivement par l'ONF. Cependant, la mise en place d'îlots de sénescence ne suit pas le même modèle entre les forêts domaniales et les forêts communales.

Dans le cas des forêts domaniales, selon l'instruction INS-09-T-71 du 29 octobre 2009 sur « *la conservation de la biodiversité dans la gestion courante des forêts publiques* », l'objectif de l'ONF est de classer progressivement d'ici 2030, pour chaque forêt domaniale, 3 % de la surface forestière boisée en îlots de vieux bois dont 2 % en îlots de vieillissement et 1 % en îlot de sénescence (ONF, 2017). Néanmoins, dans le cas d'un espace présentant de grands enjeux de protection de la biodiversité (une réserve naturelle par exemple) ou encore d'un espace où l'exploitation du bois est très faible pour des raisons techniques ou économiques (le cas de peuplements inaccessibles en montagne par exemple), ce classement en îlots de vieux bois peut atteindre les 8 % dont 5 % en îlots de vieillissement et 3 % en îlots de sénescence (ONF, 2017).

Dans le cas des forêts communales, l'objectif précédent ne présente en aucun cas une obligation pour le propriétaire. En effet, ce dernier est libre d'accepter, ou non, la mise en place d'îlots de sénescence proposée par l'ONF (Arnaudet et Bastianelli, 2013). Ainsi, en 2009, l'ONF a mis en place un réseau d'îlot de sénescence dans la forêt communale de la Motte -Servolex de 510 ha, en Savoie (Cateau et al., 2013) (ONF, 2017). A la suite d'une réflexion sur la prise en compte de contraintes d'accueil du public et de connectivité entre les vieux peuplements forestiers, la commune a accepté la création de 11 îlots de sénescence, représentant une superficie totale de 3,95 % de la forêt, avec des îlots ayant une surface comprise

entre 0,3 et 5,6 ha (Cateau et al., 2013).

2) *Les îlots de sénescence en forêt privée*

Dans le cas d'une forêt privée, le propriétaire n'est soumis à aucune loi l'obligeant à installer un ou des îlots de sénescence dans ses peuplements (Arnaudet et Bastianelli, 2013). Suivant ses convictions personnelles et sa sensibilité au sujet de la préservation d'une trame de vieux bois, le propriétaire peut décider ou non la mise en place d'îlots de sénescence. Cependant, pour les propriétaires forestiers volontaires à la mise en place d'îlots de sénescence, il existe des réseaux dédiés pour les aider dans leurs démarches. De ce fait, le cas de deux de ces réseaux va être développé dans la suite de cette partie.

Le premier réseau se situe en région Rhône-Alpes et il s'agit du réseau FRENE (Forêts Rhônalpines en Evolution NaturElle) (Arnaudet et Bastianelli, 2013). Ce réseau est disponible pour tous les propriétaires volontaires (privés ou publics) de la région Rhône-Alpes et exprimant la volonté de classer une partie de leur forêt, ou la totalité, en libre évolution (ou sénescence) (ONF, nd). Dès lors, dans le cas d'une forêt privée, le propriétaire s'engage, par une convention, à ne pratiquer aucune intervention sylvicole pendant toute la durée de la convention, hormis pour les coupes de sécurité des peuplements (ONF, nd). Cependant, pour qu'un propriétaire privé puisse rattacher le peuplement désiré au réseau FRENE, ce dernier doit répondre à au moins plusieurs critères : une superficie minimale de 1 hectare ; la présence d'arbres sénescents ou d'un important volume de bois mort (debout ou au sol) ; n'avoir présenté aucune exploitation si le peuplement est jeune ou n'avoir présenté aucune exploitation depuis plusieurs décades si le peuplement est ancien (ONF, nd). Dans le cas d'une forêt publique, le rattachement est effectif lorsque l'aménagement forestier est validé (ONF, nd). Par la mise en place du réseau FRENE depuis 2009, ce dernier a permis de donner le mouvement à la mise en place de manière volontaire d'îlots de sénescence et a permis de hisser la région Rhône-Alpes comme région la plus avancée dans ce domaine (Arnaudet et Bastianelli, 2013). Par sa stratégie de communication et de sensibilisation auprès des propriétaires forestiers, le réseau FRENE réussit progressivement à changer les habitudes de pensées des propriétaires forestiers sur la nécessité de laisser en libre évolution des peuplements ainsi que la conservation du bois mort (Arnaudet et Bastianelli, 2013).

Enfin, à une échelle plus locale, en région Grand Est, l'association Libre Forêt milite pour laisser la forêt en libre évolution et est soutenue par la Fédération FLORE 54. Leur moyen d'action se base sur deux stratégies. La première consiste à acheter des parcelles forestières en Lorraine puis de les laisser évoluer librement sans aucune intervention sylvicole (Libre Forêt, 2023). La seconde consiste à informer les propriétaires forestiers, à les sensibiliser et à les inciter à laisser, au sein de leurs forêts privées, des espaces en libre évolution (Libre Forêt, 2023).

3) *Le cas particulier des zones Natura 2000 : les îlots Natura 2000*

Dans le cas des sites Natura 2000, afin de favoriser le développement de bois sénescents dans certaines zones du site, il est mis en place des îlots Natura 2000. Ces derniers ne sont donc pas considérés comme des îlots de sénescence car ils ne répondent pas à la définition de l'ONF de l'îlot de sénescence (ONF, 2017) (Arnaudet et Bastianelli, 2013). En effet, pour qu'un propriétaire puisse rendre éligible une portion de sa forêt, classée site Natura 2000, en îlot Natura 2000, il faut que ce futur îlot puisse comptabiliser au moins 10 arbres à l'hectare présentant des signes de sénescence ou encore que leur diamètre soit supérieur au diamètre moyen d'exploitabilité (ONF, 2017). Parallèlement, la superficie minimale de l'îlot doit être au minimum de 0,5 hectare (Arnaudet et Bastianelli, 2013) et le propriétaire doit s'engager sur une durée de 30 ans, par contrat, de n'effectuer aucune intervention sylvicole sur cet îlot (ONF, 2017) (Arnaudet et Bastianelli, 2013).

Dans le cadre d'un contrat Natura 2000, afin de compenser la perte de revenus due à l'absence d'exploitation de la surface classée îlot Natura 2000, le propriétaire peut recevoir une indemnisation plafonnée à 2000 euros par hectare (Arnaudet et Bastianelli, 2013).

III / Les îlots de sénescence intégrés au sein d'un réseau : la trame de vieux bois.

Bien que les îlots de sénescence assurent la conservation d'habitats spécifiques à de nombreuses espèces forestières dépendantes de ces derniers, ils ne sont pas suffisants pour assurer la pleine sauvegarde de cette biodiversité forestière. En effet, la survie des espèces est dépendante d'échanges entre des populations distinctes, notamment par le brassage génétique, pour assurer la pérennité dans le temps de l'espèce. Or, certaines espèces ont des capacités de dispersion très faibles et donc la distance parcourue par l'espèce doit être raisonnable pour assurer la survie de la population dans le milieu (ONF, 2017). C'est donc pour cela que les îlots de sénescence sont intégrés au sein d'un réseau nommé la trame de vieux bois.

Cette trame de vieux bois a été mise en place par l'ONF le 17 décembre 2009 suivant la note de service NDS-09-T-310 intitulée « îlots de vieux bois » (ONF, 2017). Dès lors, l'intérêt de la trame de vieux bois est de garantir la mobilité des individus et donc de perpétuer la survie de ces populations par la création d'un réseau avec des relais (ONF, 2017). De ce fait, comme précédemment énoncé en introduction, la trame de vieux bois intègre les îlots de sénescence au sein d'un réseau où il est retrouvé les réserves biologiques intégrales, les arbres habitats ainsi que les îlots de vieillissement (Figure 2).

Abritant une très grande proportion de bois mort et de vieux arbres, les réserves biologiques intégrales sont donc, en conséquence, des zones abondantes en richesse spécifique de ces espèces dépendantes (Lachat et Büttler, 2007). Afin d'assurer la dispersion et le croisement des populations entre ces réserves, les îlots de vieux bois servent de relais lors du déplacement de ces populations (ONF, 2017). Cependant, pour assurer une continuité spatiale et temporelle entre les îlots et les réserves mais aussi entre les îlots, il est nécessaire d'avoir un habitat intermédiaire pouvant être rapidement colonisé par ces espèces : ce sont les arbres habitats qui remplissent cette fonction (ONF, 2017) (Figure 2).

En conclusion, afin d'assurer la dispersion des espèces forestières, les îlots de sénescence servent de relais entre les réserves forestières et les arbres habitats servent de relais entre les îlots de sénescence (Lachat et Büttler, 2007). Parallèlement, arbres habitats, îlots de vieux bois et réserves biologiques intégrales garantissent la préservation des milieux et substrats dont de nombreuses espèces forestières (dont les saproxyliques) sont dépendantes (ONF, 2017).

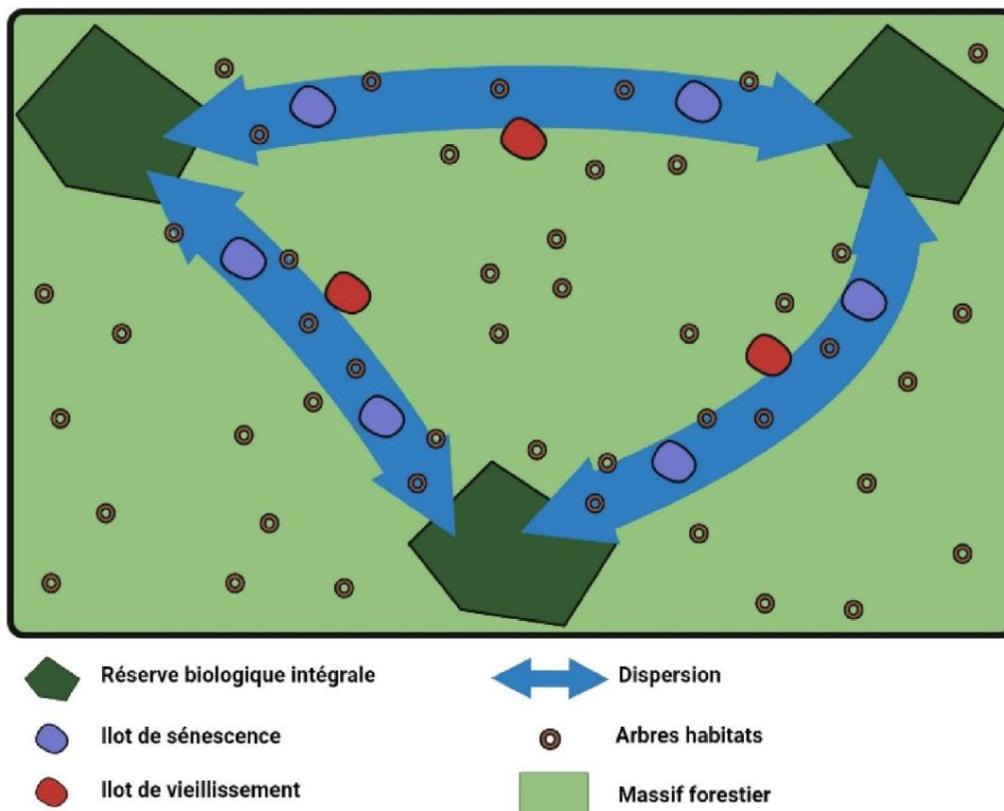


Figure 2 : Schéma théorique de la trame de vieux bois mise en place par l'ONF pour la conservation des vieux arbres et du bois mort à différentes échelles afin d'assurer la dispersion et la dynamique de la biodiversité forestière. (Schéma conçu sur la base de la référence suivante : (Lachat et Büttler, 2007)).

Matériel et méthode

I / Présentation du site d'étude

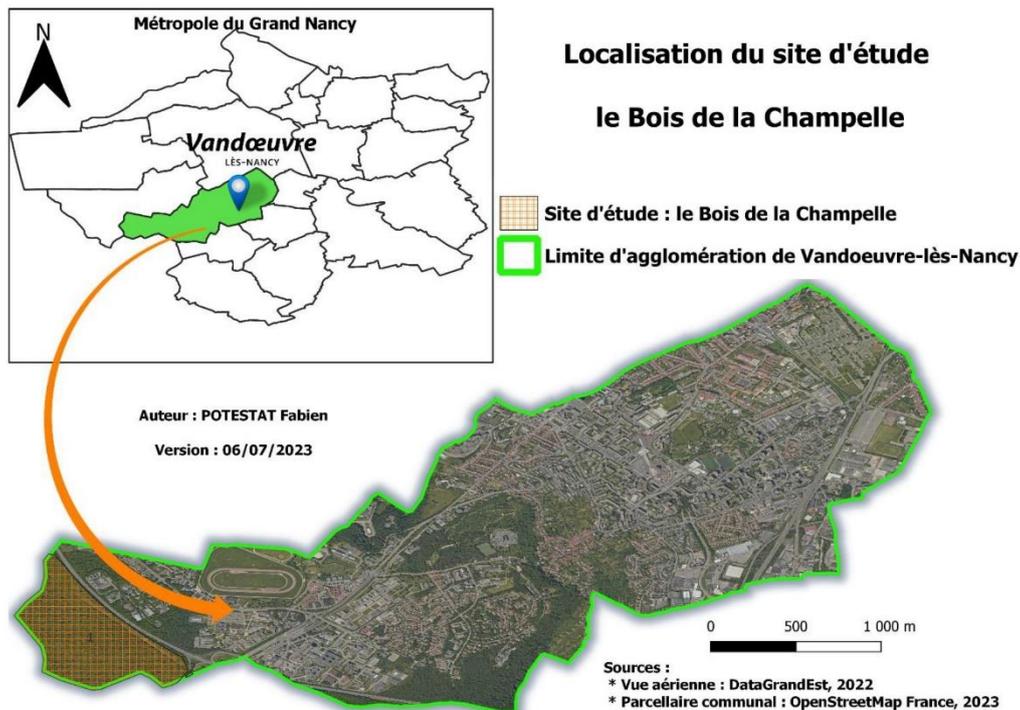


Figure 3 : Localisation du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy, commune intégrée à la Métropole du Grand Nancy.

Le Bois de la Champelle est une forêt communale de 59,11 ha appartenant à la municipalité de Vandœuvre-lès-Nancy, agglomération intégrée dans la Métropole du Grand Nancy. Ce bois est situé sur le plateau de Haye, à la limite ouest de la commune (Figure 3). Il se positionne entre l'autoroute A33 ainsi que l'échangeur Nancy Brabois, la départementale 974 conduisant vers Chavigny, la forêt communale de Chavigny, le Bois de la Sivrite d'AgroParisTech, la parcelle 456 de la forêt domaniale de Haye et enfin le quartier « Clairlieu » de Villers-lès-Nancy. Forêt périurbaine, elle fait donc l'objet d'une fréquentation assez marquée : promeneurs, VTT, etc... Une ligne électrique traverse la forêt le long de l'autoroute A33 (Figure 3).

Concernant les caractéristiques du site d'étude, l'altitude de la forêt est comprise entre 345 m et 385 m avec une légère pente orientée nord-ouest le long des parcelles 13 à 16 (Figure 4) (Massote, 2014). Le climat est un climat lorrain de type continental, sous influence océanique, caractérisé par des précipitations relativement faibles comportant des périodes sèches peu importe la saison et des températures moyennes annuelles globalement basses (Massote, 2014). Au niveau pédologique, les limons représentent la grande majorité du substrat de ce bois avec une épaisseur variable d'un endroit à l'autre. Cette épaisseur alterne entre 40 et 80 cm dans certaines zones et peut être supérieure à 80 cm dans d'autres (BRGM, 1978) (Massote, 2014). De ce fait, ces limons confèrent une bonne capacité de rétention en eau sur l'ensemble de la surface (Vernier, 2017). Au niveau géologique, la forêt est située sur un plateau calcaire à polypiers datant du Jurassique Dogger Bajocien (Massote, 2014) (BRGM, 1978). La limite nord-ouest le long des parcelles 13 à 16 est constituée d'oolithe blanche et, en bas de pente, de calcaires oolithiques ferrugineux (minerai de fer « minette ») datant du Jurassique Dogger Aalénien (Massote, 2014) (BRGM, 1978).

Enfin, au sujet du plan de gestion du site, 4 types de groupe d'aménagement ont été définis pour assurer la gestion désirée par la commune (Figure 4) : le groupe sénescence (14,23 ha) bénéficiant d'une zone tampon au bord des routes et des chemins ; le groupe jeunesse (7,59 ha sous futaie régulière) correspondant aux zones replantées auparavant détruites lors de la tempête de 1999 ; le groupe amélioration (1,15 ha sous futaie régulière) présentant un peuplement de perchis de 15 m de hauteur ; le groupe irrégulier (31,48 ha) prévoyant une coupe tous les 8 à 10 ans afin d'assurer le renouvellement du peuplement forestier (Massote, 2014) (Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy, 2015).

II / Protocole expérimental

1) Plan d'échantillonnage et protocole général

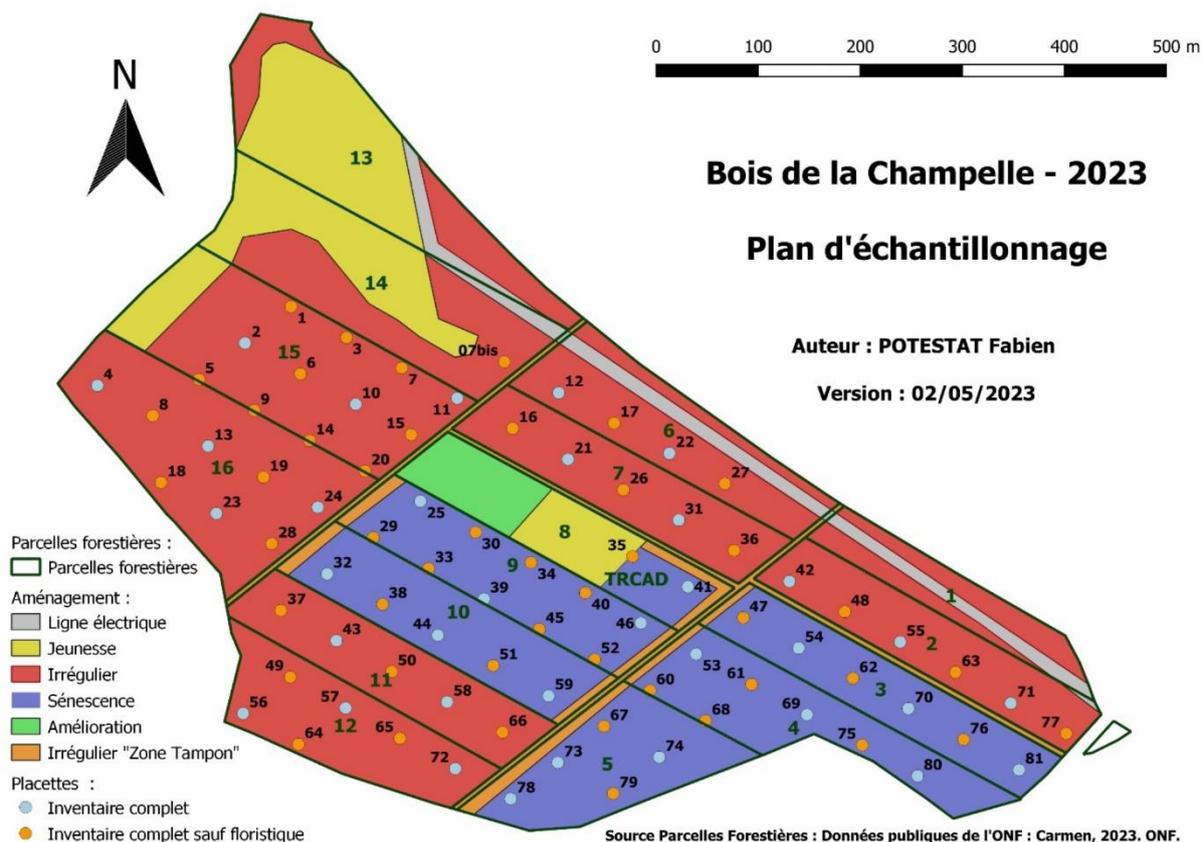


Figure 4 : Plan d'échantillonnage du Bois de la Champelle ordonné selon un réseau systématique de 82 placettes, utilisé dans le cadre de cette étude.

Dans le cadre de l'étude menée sur le Bois de la Champelle, le plan d'échantillonnage se résumait à 82 placettes réparties selon un réseau systématique, à savoir une maille carrée de 70,7 m par 70,7 m, permettant une disposition de 2 placettes à l'hectare (Montpied, 2020). L'objectif était de couvrir l'ensemble de la forêt à l'exception des jeunes peuplements des parcelles 13 et 14 (fortement fragilisés par la tempête de 1999) ainsi que de la parcelle 1 (où la proximité avec la ligne à haute tension était trop élevée) (Figure 4) (Montpied, 2020).

D'un point de vue théorique, chaque placette correspondait à deux placettes carrées emboîtées (dont le centre et chaque sommet sur le terrain, ont été matérialisés par des jalons agricoles) (Figure 5) : une petite placette de dimensions 20 m × 20 m de côté, soit une superficie de 400 m² ; une grande placette de dimensions 31,62 m × 31,62 m, soit une superficie de 1000 m² (Montpied, 2020). Dès lors, chaque placette a été caractérisée par un numéro (de 01 à 81) et des coordonnées précises au GPS en coordonnées WGS84 décimales (au moins 5 décimales) permettant de retrouver les positions exactes des placettes lors des différentes campagnes d'inventaire (Montpied, 2020).

Au cours de l'automne des années 2019 et 2020, l'inventaire du bois mort sur l'ensemble des placettes, encadré par monsieur Montpied Pierre, a été effectué par 5 équipes de 3-4 étudiants du Master AETPF dans le cadre de l'unité d'enseignement 7.13 (Montpied, 2020). De même pour l'automne des années 2021 et 2022, l'ensemble des données de bois vivant ainsi que les données sur les DMH ont été collectées (Montpied, 2022). Enfin, dans l'objectif d'accumuler de nouvelles données et de compléter l'étude de cette forêt communale, un inventaire floristique sur la flore vasculaire a été réalisé au printemps 2023 dans le cadre de ce stage de fin d'études.

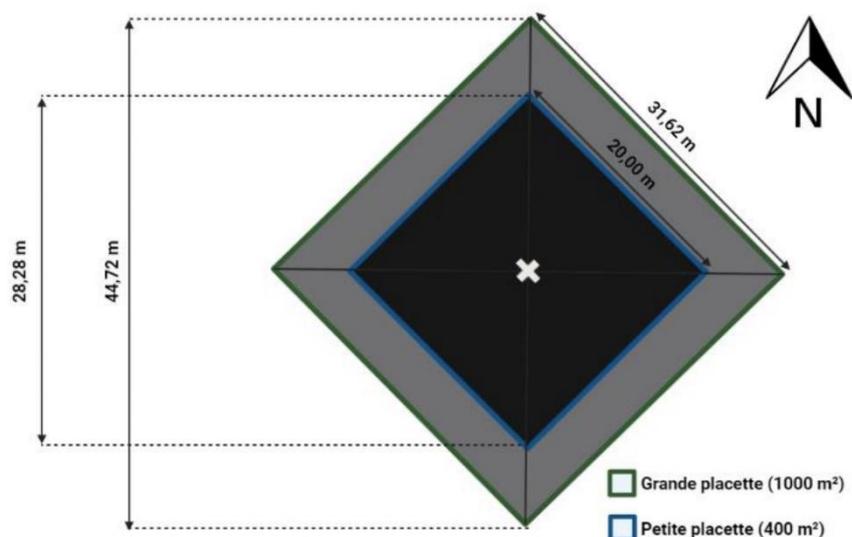


Figure 5 : Schéma théorique des placettes de relevé utilisées : deux placettes carrées emboîtées. (Schéma conçu sur la base du travail de M.Montpied (Montpied, 2020)).

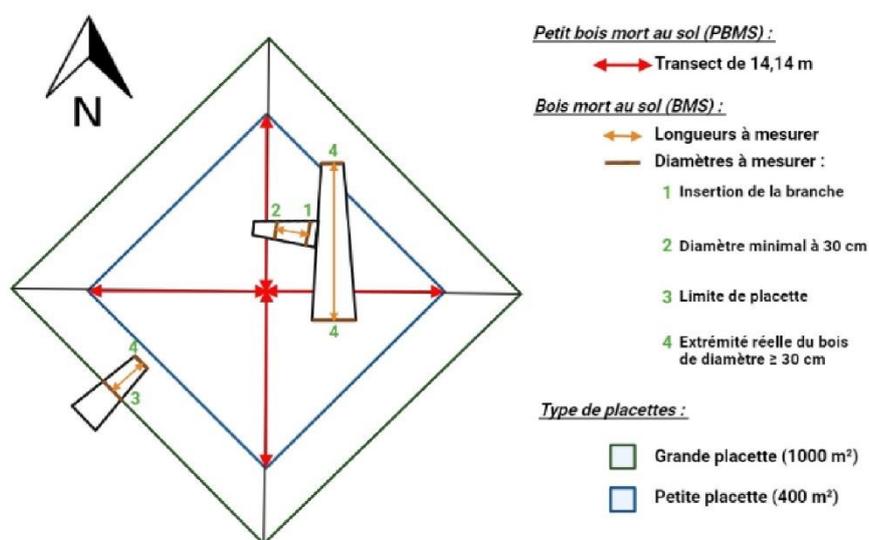


Figure 6 : Schéma théorique illustrant la méthodologie appliquée pour mesurer le BMS et le PBMS. (Schéma conçu sur la base du travail de M.Montpied (Montpied, 2020)).

2) Protocoles particuliers

a) Inventaire du bois mort (BMP, BMS, PBMS)

Bois mort sur pied (BMP) :

Dans la petite placette (400 m²), il a été recensé toutes les tiges mortes sur pied pour un diamètre égal ou supérieur à 7,5 cm (soit une circonférence à hauteur de poitrine (CHP) supérieure ou égale à 24 cm) (Montpied, 2020). Parallèlement, dans la grande placette (1000 m²), il a été inventorié toutes les tiges mortes sur pied d'un diamètre égal ou supérieur à 22,5 cm (soit une CHP supérieure ou égale à 71 cm) (Montpied, 2020). Les bois morts étaient considérés comme morts sur pied s'ils tenaient debout sans appui ou alors si l'axe principal dessinait un angle supérieur à 45° avec le sol (Montpied, 2020). Pour chaque BMP, il a été noté la CHP (en cm) ; l'espèce (si identifiable) ; l'état de l'écorce (Code E) - le degré de pourriture du bois (Code P) - l'état de la couronne (Code C) (Annexe 1 : Tableau 7) (Montpied, 2020).

La surface terrière de BMP à l'hectare a été calculée par la formule ci-dessous. Pour obtenir la surface terrière de BMP à l'hectare par placette, il suffisait de faire la somme des surfaces terrières de BMP à l'hectare de chaque arbre sur la même placette.

$$g = \frac{c^2}{4 \times \pi \times P}$$

g = Surface terrière de la tige à l'hectare (m²/ha)
c = Circonférence de la tige à CHP (cm)
P = La superficie de la placette où la tige a été recensée (m²), soit *P* = 400 m², soit *P* = 1000 m²

Bois mort au sol (BMS) :

Dans la grande placette (1000 m²), il a été recensé les gros et les moyens BMS à partir desquels le diamètre était égal ou supérieur à 30 cm (soit une CHP supérieure ou égale à 94 cm) (Montpied, 2020). Pour chaque BMS, il a été mesuré la longueur du morceau de bois, le diamètre médian si la longueur était inférieure à 1 m ; le diamètre à chaque extrémité si la longueur était égale ou supérieure à 1 m ; l'état de l'écorce (Code E) (Annexe 1 : Tableau 7) (Montpied, 2020). Il est à noter que les parties de BMS en dehors de la placette ou d'un diamètre inférieur à 30 cm ont été exclues de ce recensement. En résumé, les limites sur les extrémités d'un BMS recensable étaient l'intersection du BMS avec la limite de la placette, le point d'insertion de la branche de BMS, le point où le diamètre du BMS devenait inférieur à 30 cm (cas d'une branche par exemple) ou encore l'extrémité réelle physique du BMS (Figure 6) (Montpied, 2020).

Le volume de BMS à l'hectare a été calculé par la formule ci-dessous (suivant le cas). Pour obtenir le volume de BMS total à l'hectare par placette, il suffisait de faire la somme des volumes de BMS à l'hectare de chaque morceau de bois sur la même placette.

$$V_{BMS} = \frac{(L \times \pi \times (dm)^2)}{0,4} \qquad V_{BMS} = \frac{(L \times \pi \times \left(\frac{(dext1 + dext2)}{2}\right)^2)}{0,4}$$

V_{BMS} = Volume de BMS à l'hectare (m³/ha)
L = Longueur du BMS (m)
dm = Diamètre médian du BMS (m) si *L* < 1 m
dext1 & *dext2* = Diamètres de chaque extrémité du BMS (m) si *L* ≥ 1 m

Petit bois mort au sol (PBMS) :

Les PBMS ont été recensés à l'aide de quatre transects le long des demi-diagonales de la petite placette, soit 4 fois 14,14 m (Figure 6) (Montpied, 2020). Les PBMS ont été sélectionnés pour des diamètres compris entre 5 et 30 cm (autrement dit pour une CHP comprise entre 15,7 et 94 cm) (Montpied, 2020). A chaque intersection d'un PBMS avec le transect, il a été noté : l'identité du transect (Nord (N), Sud (S), Est (E) ou Ouest (O)) ; la distance sur le transect par rapport à l'origine du centre de la placette ; le diamètre du PBMS à l'intersection du transect ; l'état de l'écorce (Code E) - le degré de pourriture (Code P) (Annexe 1 : Tableau 7) (Montpied, 2020). A noter que si un même PBMS coupait le transect plusieurs fois, il était mesuré plusieurs fois. Dans le cas où un PBMS était parallèle au transect, uniquement la mesure du diamètre médian était effectuée (Montpied, 2020).

Le volume de PBMS a été calculé par la formule ci-dessous. Pour obtenir le volume de PBMS total à l'hectare par placette, il suffisait de faire la somme des volumes de PBMS à l'hectare de chaque morceau de bois sur la même placette.

$$V_{PBMS} = \left(\frac{\pi^2}{(8 \times L_{Transect})} \right) \times \sum d^2$$

V_{PBMS} = Volume de PBMS à l'hectare (m³/ha)
L_{Transect} = Longueur totale du transect (m)
d = Diamètre PBMS à l'intersection avec le transect (cm)

b) Inventaire du bois vivant sur pied (BVP)

Dans la petite placette (400 m²), il a été recensé toutes les tiges vivantes ou mortes sur pied pour un diamètre égal ou supérieur à 7,5 cm (soit une CHP supérieure ou égale à 24 cm) (Montpied, 2022). Parallèlement, dans la grande placette (1000 m²), il a été inventorié toutes les tiges vivantes ou mortes sur pied d'un diamètre égal ou supérieur à 22,5 cm (soit une CHP supérieure ou égale à 71 cm) (Montpied,

2022). Dans le cas particulier d'une cépée, chaque tige qui pouvait faire l'objet d'un recensement était inventoriée séparément et cette cépée était indiquée dans la fiche de relevé. Il était considéré l'appartenance à une même cépée des tiges lorsqu'il était impossible de poser un pied entre elles (Montpied, 2022). Pour chaque bois sur pied, il a été noté la CHP (en cm) ; l'espèce (si cette dernière était identifiable) ; l'état (vivant quand l'arbre présentait des organes vivants au-dessus d'une hauteur de CHP ou mort sur pied quand l'arbre était maintenu au sol par au moins une partie de ses racines) ; la présence d'une cépée ; la présence d'une fourche (même stratégie appliquée que pour les cépées) (Montpied, 2022).

La surface terrière de BVP à l'hectare a été calculée par la formule ci-dessous. Pour obtenir la surface terrière de BVP à l'hectare par placette, il suffisait de faire la somme des surfaces terrières de BVP à l'hectare de chaque arbre sur la même placette.

$$g = \frac{c^2}{4 \times \pi \times P}$$

g = Surface terrière de la tige à l'hectare (m²/ha)
c = Circonférence de la tige à CHP (cm)
P = La superficie de la placette où la tige a été recensée (m²), soit *P* = 400 m², soit *P* = 1000 m²

c) Inventaire des dendromicrohabitats (DMH)

Selon le classement de Larrieu (Larrieu et al., 2018), les DMH ont été recensés sur chaque arbre, vivant ou mort, de diamètre égal ou supérieur à 30 cm (soit une CHP supérieure ou égale à 94 cm) (Montpied, 2022). Ce recensement a été fait dans la grande placette (1000 m²), à la suite de l'inventaire du bois sur pied où chaque arbre potentiellement porteur de DMH a été indiqué et identifié d'un numéro unique. Néanmoins, chaque arbre sans DMH a été spécifié aussi (Montpied, 2022).

A l'aide du Guide de poche des dendromicrohabitats (Bütler et al., 2020), il a été recherché les 47 types de DMH selon la typologie de Larrieu (Larrieu et al., 2018). L'observation de chaque arbre a été soigneuse et méthodique en commençant par le pied de l'arbre et en finissant par sa cime, tout en n'oubliant pas de faire le tour de l'arbre (Montpied, 2022). Pour l'examen des DMH en hauteur, les jumelles ont été employées (Montpied, 2022). A noter que si le même DMH était observé à plusieurs points dans un même arbre, son nombre d'occurrences a été indiqué. Dans le cas où le nombre d'occurrences était complexe à renseigner (cas de nids d'invertébrés par exemple), la présence du DMH a été notée arbitrairement par 1 (Montpied, 2022).

d) Inventaire floristique

L'inventaire floristique a été mené sur l'ensemble des espèces végétales vasculaires du bois. Pour se faire, en prenant en compte les moyens matériels et humains disponibles, un total de 35 placettes (sur les 82 possibles) a été sélectionné selon deux critères. Le choix des placettes a été fait de sorte à privilégier au mieux les placettes qui n'étaient pas en limite de parcelles et de sélectionner au mieux les placettes pour qu'elles soient alternes le plus possible entre elles afin de couvrir un maximum de surface inventoriée.

Conformément à la littérature (Chevalier et al., 2010), la surface de relevé a été fixée à 400 m², soit la petite placette. Afin de prendre en compte le facteur saisonnalité de la végétation (Chevalier et al., 2010), chaque placette a fait l'objet de deux relevés : l'un fin mars – début avril 2023 (pour une appréciation idéale des plantes vernales) et le second, cumulatif, début à mi – juin 2023 (pour une appréciation optimale des plantes estivales).

La méthodologie employée pour chaque relevé était celle de la phytosociologie de Braun – Blanquet. A partir d'une surface de relevé de 400 m², chaque espèce végétale recensée a été affectée d'un coefficient d'abondance – dominance tenant compte à la fois de son recouvrement et de la densité de ses individus (Annexe 1 : Tableau 5) (Delassus, 2015). Par ailleurs, la végétation a été distinguée en 3 étages : la strate arborescente pour les végétaux ligneux de plus de 7 m de hauteur ; la strate arbustive pour les végétaux ligneux d'une hauteur comprise entre 0,5 m et 7 m ; la strate herbacée pour tout type de végétaux d'une hauteur inférieure à 0,5 m. Concernant les noms des espèces végétales, la nomenclature qui a été employée est celle du Muséum National d'Histoire Naturelle « Taxref 16 » (Annexe 2 : Tableau 8) (Gargominy et al., 2022).

Enfin, un certain nombre de données a été renseigné pour le relevé sur chaque placette : le numéro

de placette et de parcelle ; la date et les expérimentateurs ; les différents recouvrements (total et suivant les 3 strates en %) ; les perturbations (nature et en %) ; l'effort de recherche ainsi que les coordonnées GPS en WGS84 à 5 décimales de la placette.

Les données issues des relevés ont été utilisées pour calculer de nombreuses variables comme la richesse spécifique (S) (correspondant au nombre d'espèces dans un relevé) ainsi que de nombreux indices de biodiversité comme l'indice de Shannon (H), l'indice d'équitabilité de Pielou (J) et l'indice de Simpson (E).

III / Traitement et analyse des données

Dans cette étude, de nombreuses variables explicatives ont été prises en compte et testées. Dans un premier temps, il y avait le « type de gestion » qui était une variable explicative qualitative sous deux modalités : irrégulier et sénescence. Ensuite, il y avait l'« ancienneté de la dernière exploitation des parcelles » (« Années sans exploitation » en Annexe 1 : Tableau 6) , qui était une variable explicative quantitative. Dans un second temps, plus spécifique à la partie du bois sur pied avec les DMH, il y avait, d'une part, la « circonférence à 1,30 m » qui était une variable explicative quantitative, et, d'autre part, la « nature de l'essence » qui était une variable explicative qualitative.

Par ailleurs, les variables réponses correspondaient à des surfaces terrières à l'hectare, des volumes de bois mort à l'hectare, des nombres d'arbres habitats ainsi que de DMH à l'hectare et le nombre de DMH par arbres habitats. Pour la partie floristique de cette étude, les données issues des relevés ont été utilisées pour calculer de nombreuses variables comme la richesse spécifique (S) ainsi que des indices de biodiversité (indice de Shannon (H), indice d'équitabilité de Pielou (J) et indice de Simpson (E)), calculées avec le package VEGAN sous le logiciel R version 4.1.2.

Concernant l'analyse des données, l'ensemble des résultats a été obtenu grâce à la version 4.1.2 du logiciel R avec le choix d'un risque d'erreur alpha à 5 % ($p < 0.05$). L'ensemble des analyses a été mené, soit par des modèles linéaires généralisés (GLM) simples, suivant une distribution de Poisson, en utilisant la fonction « glm » incluse par défaut dans R (Noguès et al., 2022), soit par des analyses de covariance (ANCOVA), si la variable réponse testée avait une distribution gaussienne de ses données, en utilisant la fonction « aov » incluse par défaut dans R (Noguès et al., 2022). GLM ou ANCOVA ont été appliqués pour traiter, d'une part, chaque variable réponse de volume, de surface terrière, d'arbres DMH, de richesse spécifique et d'indices de biodiversité en fonction des variables explicatives « type de gestion » et « ancienneté de la dernière exploitation des parcelles » ; et d'autre part, le nombre de DMH en fonction de la « circonférence à 1,30 m », du « type de gestion » ou de la « nature de l'essence ».

Enfin, dans le cas de la comparaison du nombre de DHM à l'hectare de chaque forme de DMH en fonction de la variable explicative « type de gestion », des tests non paramétriques de Wilcoxon-Mann-Whitney ont été réalisés.

Résultats

A la suite des campagnes d'inventaire présentées dans la partie précédente du rapport, les résultats obtenus ont été traités et cette partie du rapport va permettre leur présentation. Le plan de cette exposition des résultats suivra celui du bois mort, puis du bois vivant ainsi que les arbres habitats et les DMH, et enfin la flore vasculaire.

I / Bois mort

Dans un premier temps, les résultats ont montré que la moyenne des surfaces terrières à l'hectare de BMP n'était pas significativement différente suivant le type de gestion ($p = 0,421$). Par ailleurs, le nombre d'années passées sans exploitation n'a pas eu d'effet significatif sur la surface terrière à l'hectare de BMP ($p = 0,488$). Il a donc été impossible de conclure que le type de gestion ou encore le temps passé depuis la

dernière exploitation influençait la quantité de BMP présente. De ce fait, la surface terrière à l'hectare de BMP moyenne dans le Bois de la Champelle est d'environ 0.673 m²/ha (Tableau 1).

Dans un second temps, les résultats ont indiqué que la moyenne des volumes de BMS (gros et moyen bois) à l'hectare n'était pas significativement différente suivant le type de gestion ($p = 0,207$). Par ailleurs, le nombre d'années passées sans exploitation n'a pas eu d'effet significatif sur le volume de BMS à l'hectare ($p = 0,0642$). Il était donc impossible de conclure que le mode de gestion ou encore le temps écoulé depuis la dernière exploitation influençait la quantité de gros et moyen BMS présente. De ce fait, le volume de BMS (gros et moyen bois) à l'hectare dans le Bois de la Champelle est d'environ 5,57 m³/ha (Tableau 1).

Enfin, les résultats ont illustré le fait que la moyenne des volumes de PBMS à l'hectare était significativement différente suivant le type de gestion ($p = 0,00875$). Cependant, le nombre d'années écoulées sans exploitation n'avait pas d'effet significatif sur le volume de PBMS à l'hectare ($p = 0,169$). De ce fait, il a été possible de conclure que le type de gestion influençait significativement la quantité de PBMS à l'hectare : il y a significativement plus de PBMS à l'hectare dans les parcelles où les peuplements sont irréguliers (19,9 m³/ha) que dans les parcelles en sénescence (11,2 m³/ha) (Tableau 1). Enfin, il fut impossible de conclure sur l'effet de la dernière année d'exploitation des parcelles sur le volume de PBMS à l'hectare.

Tableau 1 : Présentation des résultats des différentes variables réponses pour le bois mort.

Variable réponse	Moyenne générale	Moyenne suivant le type de gestion : Irrégulier ; Sénescence
G BMP (m²/ha)	0,673 ± 0,120	0,588 ± 0,141 ; 0,783 ± 0,204
V BMS (m³/ha)	5,57 ± 1,17	6,33 ± 1,79 ; 4,60 ± 1,38
V PBMS (m³/ha)	16.1 ± 2,7	19,9 ± 3,8 ; 11,2 ± 3,6 ***

Légende : G BMP : Surface terrière de bois mort sur pied ; V BMS : Volume de bois mort au sol ; V PBMS : Volume de petit bois mort au sol ; ± : Erreur standard ; *** : Différence significative.

II / Bois vivant et DMH

Tableau 2 : Présentation des résultats des différentes variables réponses pour le BVP et les arbres porteurs de DMH (ou arbres habitats).

Variable réponse	Moyenne générale	Moyenne suivant le type de gestion : Irrégulier ; Sénescence
G BVP (m²/ha)	25,2 ± 0,7	23,1 ± 0,8 ; 28,0 ± 1,1 ***
Nombre d'arbres DMH à l'hectare	99 ± 4	93 ± 6 ; 108 ± 7 ***

Légende : G BVP : Surface terrière de bois vivant sur pied ; DMH : Dendromicrohabitats ; ± : Erreur standard ; *** : Différence significative.

Dans un premier temps, l'ANCOVA incluant le facteur « type de gestion » et la variable concomitante « ancienneté de la dernière exploitation des parcelles » a mis en avant que la gestion avait un effet significatif sur la surface terrière de BVP à l'hectare ($p < 0,001$; $F = 14,872$; $ddl_{numérateur} = 1$; $ddl_{dénominateur} = 78$). De ce fait, la surface terrière de BVP à l'hectare est, en moyenne, significativement plus élevée en sénescence (28,0 m²/ha) qu'en irrégulier (23,1 m²/ha) (Tableau 2). A l'inverse, cette même ANCOVA n'a affirmé, ni d'effet significatif du temps passé depuis la dernière exploitation ($p = 0,310$), ni de l'existence d'une quelconque interaction entre les deux variables explicatives ($p = 0,0716$), sur la surface terrière de BVP à l'hectare.

Dans un second temps, l'ANCOVA incluant le facteur « type de gestion » et la variable concomitante « ancienneté de la dernière exploitation des parcelles » a décelé que la gestion avait un effet significatif sur le nombre d'arbres DMH à l'hectare ($p = 0,003$; $F = 9,416$; $ddl_{\text{numérateur}} = 1$; $ddl_{\text{dénominateur}} = 78$). De ce fait, le nombre d'arbres DMH à l'hectare est, en moyenne, significativement plus élevé en sénescence (108) qu'en irrégulier (93) (Tableau 2). A l'inverse, cette même ANCOVA n'a rapporté, ni d'effet significatif du temps passé depuis la dernière exploitation ($p = 0,310$), ni de l'existence d'une quelconque interaction entre les deux variables explicatives ($p = 0,0716$), sur le nombre d'arbres DMH à l'hectare.

Tableau 3 : Présentation des moyennes à l'hectare des classes de DMH recensés suivant le type de gestion.

Types de DMH	Irrégulier	Sénescence
Blessures	23 ± 3 (10%)	26 ± 3 (11%)
Bois mort houppier	33 ± 4 (14%)	40 ± 4 (17%)
Cavités	29 ± 3 (12%)	34 ± 5 (14%)
Champignons	22 ± 3 (9%)	15 ± 2 (6%)
Epiphytes (plantes, lichens, ...)	69 ± 7 (29%)	70 ± 6 (29%)
Epiphytes autres	28 ± 3 (12%)	27 ± 4 (11%)
Excroissances	17 ± 2 (7%)	18 ± 2 (7%)
Exsudats	13 ± 1 (6%)	11 ± 1 (5%)
Total des DMH	234 ± 7 (100%)	241 ± 7 (100%)
Nombre d'arbres avec DMH	93 ± 6	108 ± 7

Légende : DMH : Dendromicrohabitats ; ± : Erreur standard ; % : Pourcentage du total.

Avant toute chose, après recensement des DMH et étude des données recueillies, il a été décidé de regrouper les DMH par forme de DMH (Tableau 3) afin de faciliter le traitement et la présentation des résultats. De ce fait, il a été décidé de classer par formes de DMH en suivant la typologie de Larrieu (Larrieu et al., 2018) ainsi que le guide de poche des dendromicrohabitats (Bütler et al., 2020). A noter, au vu du nombre d'occurrences, les épiphytes ont été distingués entre, d'un côté, les épiphytes de type lichens, bryophytes, ... ; et de l'autre, les nids et les microsols.

Dès lors, les résultats ont montré que le nombre de chaque forme de DMH à l'hectare, ainsi que le total, n'étaient pas très différents suivant le type de gestion des peuplements (Tableau 3). De plus, cette différence n'était pas significative dans chaque cas ($p > 0,05$; test U de Mann-Whitney bilatéral). Il a donc été impossible de conclure que le type de gestion influençait significativement le nombre de chaque forme de DMH ainsi que le nombre total de DMH à l'hectare.

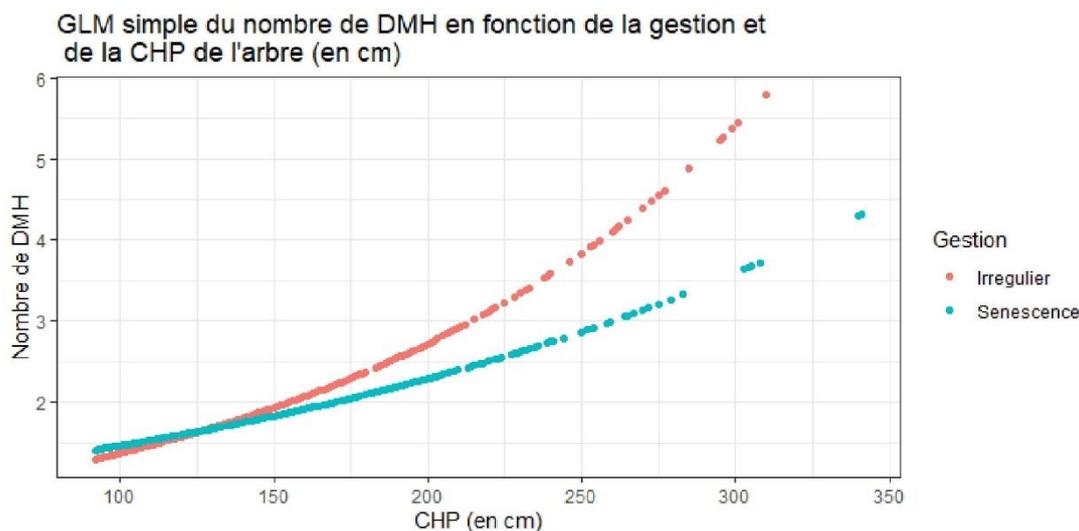


Figure 7 : Modèle linéaire généralisé (GLM) simple du nombre de DMH en fonction de la gestion et de la CHP (en cm). Légende : DMH : Dendromicrohabitats ; CHP : Circonférence à hauteur de poitrine ; GLM : Modèle linéaire généralisé.

Concernant le GLM simple pour tester l'effet de la CHP et de la gestion sur le nombre de DMH par arbre (Figure 7), ce dernier a révélé, que la CHP avait un effet significatif sur le nombre de DMH ($p < 2,2 \times 10^{-16}$), tout comme la gestion ($p = 0,05$). Enfin, l'interaction entre ces deux variables explicatives a été testée et il s'est avéré que l'interaction était significative ($p = 0,002$). Par conséquent, il a été possible de conclure que plus la circonférence de l'arbre augmente, plus le nombre de DMH présents croît, et cela étant davantage illustré pour un traitement sylvicole en futaie irrégulière qu'en îlot de sénescence.

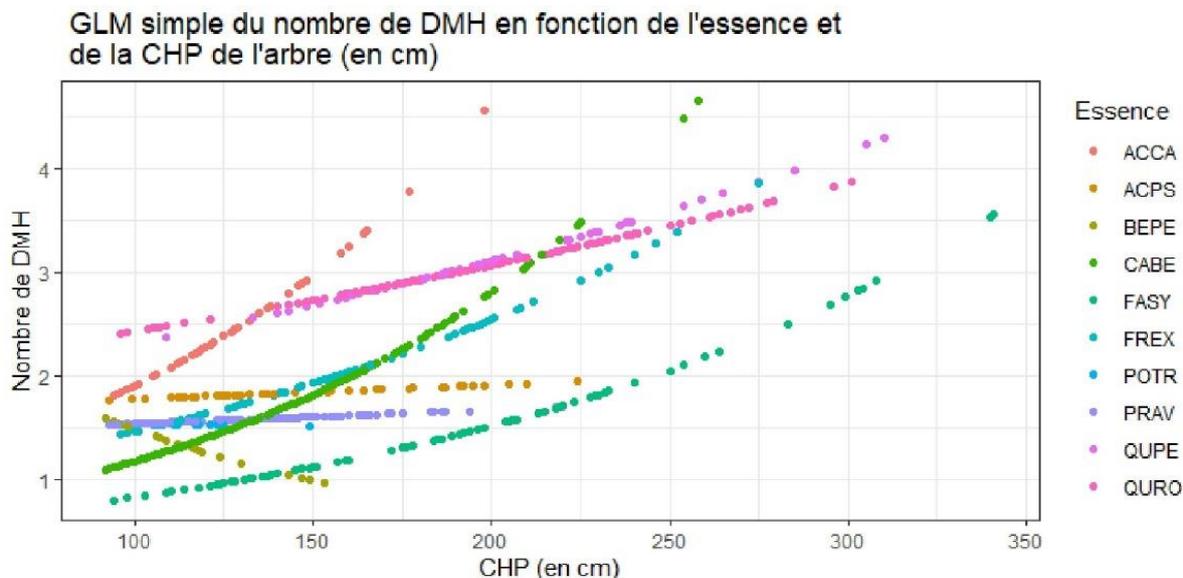


Figure 8 : Modèle linéaire généralisé (GLM) simple du nombre de DMH en fonction de l'essence et de la CHP (en cm). Légende : DMH : Dendromicrohabitats ; CHP : Circonférence à hauteur de poitrine ; GLM : Modèle linéaire généralisé ; ACCA : *Acer campestre* ; ACPS : *Acer pseudoplatanus* ; BEPE : *Betula pendula* ; CABE : *Carpinus betulus* ; FASY : *Fagus sylvatica* ; FREX : *Fraxinus excelsior* ; POTR : *Populus tremula* ; PRAV : *Prunus avium* ; QUPE : *Quercus petraea* ; QURO : *Quercus robur*.

Concernant le GLM simple pour tester l'effet de la CHP et de l'essence sur le nombre de DMH par arbre (Figure 8), ce dernier a dépeint que la CHP avait un effet significatif sur le nombre de DMH ($p < 2,2 \times 10^{-16}$) ainsi que la nature de l'essence ($p < 2,2 \times 10^{-16}$). Enfin, l'interaction entre ces deux variables explicatives a été testée et il s'est révélé que l'interaction était significative ($p < 0,001$). Par conséquent, il a été possible de conclure que plus la circonférence de l'arbre augmente, plus le nombre de DMH présents augmente, et cela étant différent pour au moins deux essences.

Consécutivement, les tests de comparaisons par paires ont permis de montrer que le nombre de DMH en fonction de la circonférence était significativement différent entre deux groupes distincts : d'un côté, les deux essences de chênes (*Quercus robur* et *Quercus petraea*), et de l'autre, les essences de charme (*Carpinus betulus*) et de hêtre (*Fagus sylvatica*) (QUPE – CABE : $p = 0,03$; QUPE – FASY : $p = 0,04$; QURO – CABE : $p < 0,001$; QURO – FASY : $p = 0,001$).

En résumé, pour une même circonférence, il a été montré statistiquement que le nombre de DMH est plus élevé pour les essences de chênes que pour les essences de charme et de hêtre.

III / Flore vasculaire

Concernant l'étude floristique du Bois de la Champelle, les résultats issus des GLM simples ont illustré le fait (Tableau 4) que la richesse spécifique (S) ainsi que les différents indices de biodiversité calculés (Shannon, Simpson, Piélou) n'étaient pas significativement différents suivant le mode de gestion (respectivement $p = 0,788$, $p = 0,662$, $p = 0,425$, $p = 0,632$). Par ailleurs, la même conclusion a été émise sur le fait que le nombre d'années passées sans exploitation n'a pas eu d'effet significatif sur la richesse spécifique et les différents indices de biodiversité (respectivement $p = 0,185$, $p = 0,127$, $p = 0,137$, $p = 0,150$). Cependant, il a été remarqué que l'indice de Simpson (E) tendait vers 1 (Tableau 4), ce qui traduit que les peuplements présentent une flore relativement homogène. En conclusion, il a donc été impossible

d'émettre que le mode de gestion ou encore le temps passé depuis la dernière exploitation influençait la richesse spécifique ainsi que les différents indices de biodiversité proposés. De ce fait, les peuplements forestiers du Bois de la Champelle présentent une flore relativement homogène avec une richesse spécifique moyenne de 44 espèces végétales vasculaires.

Tableau 4 : Présentation des résultats des différentes variables réponses issues de l'inventaire floristique de la flore vasculaire.

Variable réponse	Moyenne générale	Moyenne suivant le type de gestion : Irrégulier ; Sénescence
Richesse spécifique (S)	43.1 ± 1.4	43.9 ± 8.2 ; 42.2 ± 8.0
Indice de Shannon (H)	2.61 ± 0.07	2.65 ± 0.42 ; 2.57 ± 0.35
Indice d'équitabilité de Pielou (J)	0.695 ± 0.013	0.701 ± 0.084 ; 0.687 ± 0.065
Indice de Simpson (E)	0.889 ± 0.008	0.891 ± 0.052 ; 0.887 ± 0.042

± : Erreur standard.

En Annexe 2 : Tableau 8, la liste de l'ensemble des espèces végétales vasculaires recensées durant l'inventaire floristique de 2023 est indiquée. Un total de 106 espèces a été identifié avec une variabilité allant de 26 espèces pour la placette la moins diversifiée à 59 espèces pour la placette la plus diversifiée.

Discussion

I / Analyse méthodologique du protocole

Dans cette partie de la discussion, l'analyse critique de certains protocoles employés lors de l'étude sera effectuée afin de prendre de la distance sur certains résultats obtenus.

Analyse du protocole sur le recensement des DMH :

Dans le cas du protocole de recensement des DMH, il est important de prendre en compte l'existence d'une possible sous-estimation du nombre de DMH, en dressant un inventaire depuis le sol. En effet, certains DMH sont difficiles à observer depuis le sol car ils sont en hauteur (Lachat et Bütler, 2007). C'est par exemple le cas des cavités qui sont difficiles à observer notamment à cause des grosses branches de feuillus, ce qui conduit généralement à une sous-estimation de leur nombre réel (Larrieu et al., 2011). De ce fait, de nombreux biais sont possibles avec une lecture des DMH depuis le sol. De ce constat, des études exploratoires sont en cours afin de combiner la caractérisation des DMH au sol avec une caractérisation verticale, permettant d'affiner le recensement des DMH (Mosnier, 2023). En effet, cette première approche de caractérisation verticale a permis d'identifier en moyenne 58 % de DMH supplémentaires, par rapport au sol, un pourcentage variant suivant le type de DMH (Mosnier, 2023).

Dans un second temps, lors de l'inventaire des DMH, l'effet observateur est très important (Paillet et al., 2015). En effet, de nombreux paramètres rentrent en compte pour chaque personne, à savoir l'expérience et les compétences personnelles dans la reconnaissance des DMH mais aussi la sensibilité aux perturbations extérieures (végétation par exemple) et enfin l'appréciation personnelle quand il faut renseigner le nombre de DMH du même type pour un même arbre (nombre pouvant varier d'une personne à l'autre) (Paillet et al., 2015). Par conséquent, le recensement des DMH par des équipes de 3 à 4 personnes était judicieux pour permettre une concertation des observateurs et produire des données sur un consensus. Cette stratégie a permis de réduire l'effet opérateur.

Analyse du protocole de l'inventaire floristique :

Au cours de cette étude, le protocole employé pour l'inventaire floristique a bien fonctionné et a permis de caractériser la flore vasculaire des peuplements visités. Néanmoins, par un constat personnel, lors du déplacement dans le Bois de la Champelle, il s'est avéré que la majorité des chemins forestiers semblaient présenter une abondance de flore significative par rapport aux peuplements adjacents. En effet, des espèces très peu recensées au sein des peuplements se retrouvaient bien présentes le long des routes forestières (exemples : *Arctium lappa*, *Campanula trachelium*, ...).

Après une recherche dans la littérature, il s'est avéré qu'une étude s'est intéressée à l'impact des routes forestières sur la biodiversité floristique. Cette dernière a montré que les bords de route comportaient entre 1,3 à 6,2 fois plus d'espèces selon le site d'étude (Bergès et al., 2013), avec un effet route variant suivant l'âge du peuplement (plus le peuplement est jeune, plus les espèces non forestières peuvent s'enfoncer et s'installer dans les peuplements adjacents) (Bergès et al., 2013). Parallèlement, il a été observé dans cette étude que la nature des espèces s'installant dans les chemins forestiers était très diversifiée : plantes péri forestières, plantes de prairies, plantes de pelouses, plantes rudérales, plantes patrimoniales ou encore plantes invasives (Bergès et al., 2013).

Dès lors, ce protocole aurait pu être amélioré en ne faisant pas seulement que l'inventaire floristique au sein des peuplements mais aussi le long des routes forestières, au moyen de transects, pour apprécier au mieux, possiblement, une plus grande richesse floristique.

II / Analyses des résultats

Dans cette partie de la discussion, les résultats précédemment présentés ont été confrontés à la littérature afin d'interpréter et d'échanger sur ces derniers.

Bilan d'une forêt de peuplements vieillissants :

Le Bois de la Champelle possède une surface terrière de BVP à l'hectare de $25,2 \pm 0,7$ m²/ha qui a pu être comparée à la moyenne nationale avec les données de l'IGN car les protocoles étaient similaires (IGN, 2022). Dès lors, la surface terrière moyenne de BVP à l'hectare, suivant la campagne d'inventaire 2017 – 2022, dans le cas d'une forêt publique avec une essence principale feuillue, est de $21,8 \pm 0,7$ m²/ha (IGN, 2023). Bien que l'ordre de grandeur soit sensiblement le même, il est constaté que la surface terrière moyenne de BVP à l'hectare dans le Bois de la Champelle est plus élevée que la valeur moyenne nationale. Et pour cause, cela s'explique par le fait que le Bois de la Champelle est une forêt où les peuplements en maturation sont sur-représentés (pour 71 % soit 39 ha contre 8 ha de jeunes peuplements, 6 ha de peuplements clairs et 1 ha de peuplements en croissance active) (Massote, 2014). Cela se traduit alors par une accumulation de bois sur pied avec un vieillissement global des peuplements (Massote, 2014). Cette conclusion avait déjà été émise lors du précédent aménagement de 1985 où l'âge des peuplements avait été estimé entre 100 et 200 ans (Massote, 2014). Il peut donc être supposé que si l'aménageur a laissé cette maturation continuer à s'opérer, c'est peut-être dans l'optique d'éviter trop d'éclaircies qui pourraient fortement déséquilibrer les vieux peuplements. La présence de vieux peuplements est donc un point positif en vue de l'installation d'un nouvel îlot de sénescence.

Une sénescence riche en capital sur pied ainsi qu'en arbres habitats :

D'après l'étude menée, il a été démontré que la gestion avait un effet significatif sur la surface terrière de BVP à l'hectare où cette dernière était significativement plus élevée en îlot de sénescence qu'en peuplement de futaie irrégulière. Ce résultat est en accord avec la littérature (Pernot, 2013) (Burrascano et al., 2013). En effet, comme évoqué dans l'état de l'art, en sénescence, les peuplements évoluent vers des phases avancées du cycle sylvigénétique, se traduisant, notamment par la présence d'arbres fortement âgés avec généralement un diamètre conséquent et de nombreux arbres sénescents (Saintonge et al., 2023) (ONF, 2017).

Parallèlement, le nombre d'arbres habitats est plus élevé dans les îlots de sénescence que dans les peuplements irréguliers, ce qui a aussi été mis en avant dans la littérature (Vuidot et al., 2011). Et pour cause, lors du processus de sénescence et de décomposition de l'arbre, les conditions sont favorables à la formation de DMH (Vuidot et al., 2011). En effet, il va y avoir une alternance de ramollissement et de séchage du bois permettant aux organismes vivants de creuser des cavités (comme les pics) (Vuidot et al., 2011) (Paillet et al., 2019). Dès lors, ces cavités vont être utilisées par d'autres taxons (oiseaux, mammifères, chauve-souris) dont les organismes saproxyliques tels les polypores qui vont permettre la construction d'habitats pour les insectes mais aussi vont servir de sources de nourriture pour ces derniers (Vuidot et al., 2011).

Cela étant valable à l'échelle du peuplement, si l'intérêt se porte à l'échelle de l'arbre, alors la gestion n'a pas d'effet significatif sur le nombre de chaque forme de DMH (Tableau 3) (Vuidot et al., 2011). En accord avec la littérature (Vuidot et al., 2011), l'absence d'effet de l'exploitation sur le nombre de DMH s'explique par le fait que les îlots de sénescence ont des dates de dernière exploitation encore très récentes (Annexe 1 : Tableau 6). C'est pour cela que le nombre de chaque forme de DMH ainsi que le total suivant le type de gestion ne présente pas de différences significatives, résultats mis en avant lors de cette étude.

Enfin, il a été démontré que le nombre d'arbres habitats moyen s'élevait à 99 par hectare sur l'ensemble de la forêt. Or, le plan d'aménagement du bois indique un nombre d'arbres habitats à 5 par hectare. Cependant, ce contraste peut s'expliquer par une différence de définition « d'arbres habitats ». En effet, dans le cas de l'étude menée, conformément à la définition selon laquelle un arbre habitat est un arbre sur pied (mort ou vivant) porteur d'au moins un DMH (Butler et al., 2020), peu importe le nombre et le type de DMH présent, chaque arbre porteur d'un DMH était comptabilisé arbre habitat. Cependant, pour l'ONF, un arbre est considéré comme un arbre habitat si, sur pied, il appartient à l'une des catégories suivantes : arbres morts ou arbres sénescents (catégories 1 et 2), arbres à cavités visibles (à cavité basse ou à cavités de pics ou à cavité haute « naturelle » et à fentes : catégories 3, 4 et 5) et gros ou vieux arbres (catégorie 6) (ONF, 2017). De ce fait, les 5 arbres habitats à l'hectare de l'engagement environnemental de l'ONF sur le Bois de la Champelle sont répartis à travers ces 6 catégories (ONF, 2017).

Des peuplements irréguliers riches en PBMS :

Avec un volume de PBMS statistiquement plus élevé en futaie irrégulière qu'en îlot de sénescence, ce résultat est surprenant par rapport à ce qui peut être retrouvé dans la littérature, avec un volume de PBMS plus élevé dans des parcelles non exploitées qu'exploitées (Pernot et al., 2013) (Hahn et Christensen, 2004) (Burrascano et al., 2013). Cependant, en étudiant le document d'aménagement de la forêt, une explication de ce résultat peut être trouvée. En effet, il est expliqué qu'au sein des parcelles exploitées, les rémanents dont le diamètre est inférieur ou égal à 7 cm sont laissés au sol afin d'« assurer le cycle de la matière minérale pour la végétation et la fertilité des sols » (Massote, 2014). Or, dans le protocole de relevé du PBMS, le seuil de comptage était fixé à partir de 5 cm de diamètre (Montpied, 2020). Par conséquent, le résultat obtenu ne serait pas décousu de sens et montrerait l'application et le respect de cet engagement environnemental par l'ONF suite à la demande de la commune de Vandœuvre-lès-Nancy.

Un nombre de DMH influencé par la circonférence et l'essence de l'arbre mais aussi la gestion :

Dans un premier temps, l'étude menée a montré que le nombre de DMH augmentait significativement avec la circonférence de l'arbre, ce qui correspond aussi aux résultats de nombreux travaux sur les DMH (Paillet et al., 2019) (Vuidot et al., 2011). Au cours de leur vie, les arbres sont confrontés à de nombreux événements météorologiques (pluie, orage), à des blessures lors de l'exploitation d'arbres voisins ou encore à des attaques par des espèces dépendantes du bois vivant (pics, insectes, champignons) (Bütler et al., 2020) (Paillet et al., 2019) (Vuidot et al., 2011). Cet ensemble de phénomènes occasionne des dégâts à l'origine de la création de DMH. Or, un arbre de circonférence élevée est (généralement) ancien et, par conséquent, il a été exposé abondamment aux agressions extérieures, responsables de la création de ces DMH. C'est donc pour cela que plus l'arbre a une circonférence élevée, plus le nombre et l'occurrence des DMH sont importants (Paillet et al., 2019) (Vuidot et al., 2011).

Dans un deuxième temps, conjointement à la circonférence, la nature de l'essence a un effet

significatif sur le nombre de DMH (Paillet et al., 2019) (Vuidot et al., 2011) (Courbaud et al., 2017). Il a été difficile de trouver de la littérature pouvant expliquer les résultats de l'étude. La majorité des études sur l'effet de l'essence sur le nombre de DMH a comparé les essences de feuillus et de résineux pour arriver à la conclusion que, pour une même circonférence, le nombre de DMH est plus élevé chez les feuillus que chez les résineux (Paillet et al., 2019) (Vuidot et al., 2011) (Courbaud et al., 2017). Ce résultat s'explique par le fait que les feuillus, par rapport aux résineux, ont, d'une part, des grosses branches et de nombreuses fourches pouvant se casser (Paillet et al., 2019) (Courbaud et al., 2017) et, d'autre part, une écorce plus fine avec un bois se décomposant plus facilement (Courbaud et al., 2017). Par conséquent, tout ceci facilite le développement des DMH (comme les cavités par exemple) (Courbaud et al., 2017). Néanmoins, le fait que le nombre de DMH, pour une même circonférence, est plus élevé chez le chêne que chez le hêtre pourrait trouver son explication en lien avec les DMH de type épiphytes et l'épaisseur de l'écorce. En effet, les épiphytes tels que le lierre, les bryophytes et les lichens profitent des caractéristiques de l'écorce de bois vivant pour se développer : c'est un milieu stable pour eux (Paillet et al., 2019). Or, quand l'écorce disparaît, ces communautés épiphytiques sont profondément déstabilisées et leur abondance diminue sur du bois sans écorce (Paillet et al., 2019). Parallèlement, le hêtre est caractérisé par une écorce fine par rapport au chêne, favorisant alors sa perte (Larrieu et al., 2011). Par conséquent, il apparaît que, chez le hêtre, les DMH de type épiphytes (lierre, bryophytes et lichens) ont une durée de vie écourtée du fait de l'épaisseur de l'écorce. Ceci peut donc être une approche pour expliquer que, pour une même circonférence, le nombre de DMH est inférieur chez le hêtre par rapport au chêne.

Dans un troisième temps, simultanément avec l'augmentation de la circonférence de l'arbre, la gestion en futaie irrégulière augmente significativement le nombre de DMH par rapport à la sénescence. En effet, dans les peuplements exploités, en plus des dégâts pouvant être causés par des catastrophes naturelles, les arbres peuvent subir des dégâts à la suite de l'exploitation des arbres voisins (lors des éclaircies par exemple) (Larrieu et al., 2011) (Courbaud et al., 2017). Et pour cause, lors des opérations de débardage et d'abattage des arbres, ces derniers peuvent tomber sur d'autres arbres leur causant des blessures comme un arrachage de l'écorce exposant l'aubier (Larrieu et al., 2011) (Courbaud et al., 2017). De même, des dégâts occasionnés au niveau du pied de l'arbre permettent de mettre en place une surface apte à une décomposition conséquente et à la formation d'une cavité, qui donnera par la suite un dendrotelme (Larrieu et al., 2011) (Courbaud et al., 2017). Néanmoins, l'effet de la gestion est assez limité car ce dernier ne concerne globalement que la formation initiale de ces deux types de DMH (Larrieu et al., 2011) (Courbaud et al., 2017).

Une différence de gestion peu impactante sur le reste du bois mort ainsi que sur la flore :

Ensuite, en s'intéressant à l'effet du type de gestion, il a été montré statistiquement que les surfaces terrières de BMP ainsi que les volumes de BMS (gros et moyen) n'étaient pas significativement différents suivant le type de gestion. Or, ce résultat peut paraître surprenant. En effet, comme discuté dans l'état de l'art, il était attendu que ces quantités de bois morts soient significativement plus élevées en îlot de sénescence qu'en futaie irrégulière, ce que de nombreuses études ont déjà démontré en comparant des forêts exploitées et non exploitées (Pernot et al., 2013) (Hahn et Christensen, 2004) (Burrascano et al., 2013). De ce fait, cette différence de résultats pourrait s'expliquer pour deux raisons. Dans un premier temps, la sénescence étudiée est assez jeune (classée sénescence en 2015 avec des dates de dernière exploitation de maximum 21 ans). Une autre raison qui pourrait être avancée concernerait l'influence de la tempête Lothar de 1999. En effet, cette tempête a occasionné de nombreux dégâts au Bois de la Champelle. Afin d'évacuer ces produits accidentels, sur la période du 26 décembre 1999 à 2004, le volume de prélèvement moyen était de 8,5 m³/ha/an, contre 3,8 m³/ha/an en temps normal (Massote, 2014). Dès lors, il peut être supposé que, lors des exploitations de l'ONF sur cette période, du bois mort ait été évacué aussi en grandes quantités afin d'assurer le « nettoyage » et surtout la sécurisation des parcelles (notamment celles en bordures de chemins forestiers ou encore du parcours de course d'orientation). Ceci pourrait donc expliquer une uniformisation de la quantité de bois mort sur l'ensemble de la forêt.

Enfin, concernant la biodiversité floristique du Bois de la Champelle, l'étude a révélé que la richesse spécifique ainsi que les indices de biodiversité ne répondent ni au type de gestion ni à l'ancienneté de la dernière exploitation. De ce fait, la communauté végétale du Bois de la Champelle est assez homogène. Ce résultat concorde avec une précédente étude floristique de ce bois menée en 2017 (Vernier, 2017). En effet, il avait été conclu que la flore était uniforme, s'expliquant notamment par la présence de limons sur toute la surface de la forêt permettant une homogénéité des milieux (Vernier, 2017). Par ailleurs, une étude comparant des peuplements exploités et non exploités a conclu que la richesse floristique n'était pas significativement différente entre les deux conditions (Pernot, 2012). Néanmoins, il est intéressant de comprendre que ce n'est pas forcément l'exploitation des peuplements qui pourrait expliquer une potentielle différence de richesse floristique mais plutôt certaines caractéristiques des peuplements comme l'âge, le type de peuplement ou encore la surface terrière du peuplement (Wei et al., 2015). En effet, en prenant l'exemple de la surface terrière, une diminution de cette dernière, et donc de la densité du couvert forestier, permet d'augmenter la disponibilité en certaines ressources au niveau du sol (comme la lumière ou encore l'eau). De ce fait, le milieu peut être recolonisé par des espèces héliophiles ou encore tolérantes à la lumière. En conséquence, la richesse spécifique en flore vasculaire augmente. Cette diminution de surface terrière peut s'expliquer différemment dans un peuplement exploité (cas d'une éclaircie par exemple) mais aussi dans un îlot de sénescence (lors d'un chablis permettant d'ouvrir le couvert).

Des dernières années d'exploitation encore trop récentes :

Malgré les différentes variables réponses employées, il n'a pas été possible d'avoir de résultat significatif sur l'effet de la dernière année d'exploitation des parcelles. En effet, il est important de comprendre que cette variable explicative avait une échelle comprise entre 3 et 21 années sans exploitation (Annexe 1 : Tableau 6), ce qui est relativement court sur l'échelle des temps pour un peuplement forestier où un cycle sylvigénétique complet, sous un climat tempéré, a une durée théorique estimée entre 300 et 1000 ans (Saintonge et al., 2023). Par exemple, dans le cas du chêne rouvre, (*Quercus petraea*), son cycle biologique entier est d'environ 800 ans avec le début de la phase de sénescence à 400 ans et celui de mort à 600 ans (ONF, 2017), phases caractérisées par une accumulation de bois mort et bois sénescents notamment. Cependant, comme vu précédemment, l'âge des peuplements est estimé entre 100 et 200 ans (Massote, 2014). De ce fait, l'hypothèse concernant l'ancienneté de la dernière exploitation sur les indicateurs directs et indirects de biodiversité n'a pas pu être vérifiée faute d'un délai trop court de sénescence et soulève donc la pertinence de ce choix de variable explicative dans le cadre de cette étude.

III / Analyse réflexive sur le mode de gestion

Une complémentarité d'un traitement en futaie irrégulière et en îlot de sénescence pour préserver la biodiversité :

Il est important de comprendre que, peu importe le type de gestion des peuplements, aucun ne peut permettre une préservation de la biodiversité de manière complète. En effet, suivant le groupe taxonomique, le mode de gestion ne va pas forcément favoriser le même taxon (Paillet et al., 2009). Par exemple, une futaie irrégulière va favoriser davantage la biodiversité floristique qu'un îlot de sénescence (Paillet et al., 2009). Et pour cause, avec des perturbations plus fréquentes d'ouverture de la canopée et des perturbations des sols lors de l'exploitation, tout ceci permet à des espèces héliophiles, rudérales ou encore compétitives de pouvoir se développer et ainsi augmenter la richesse spécifique des peuplements exploités (Paillet et al., 2009). Un autre exemple concerne les groupes des insectes et champignons saproxyliques, des bryophytes ou encore des lichens. De manière générale, ces derniers présentent une richesse spécifique plus élevée dans des peuplements non exploités qu'exploités (Paillet et al., 2009). En effet, ces taxons sont dépendants de nombreux substrats qu'ils trouvent de manière plus abondante dans des peuplements non exploités : bois mort, gros arbres vivants, volis, la présence d'arbres à différents niveaux du cycle sylvigénétique (Paillet et al., 2009). Parallèlement, comme vu dans l'état de l'art, la présence de manière plus abondante de DMH au sein de ces peuplements sénescents permet de créer une continuité écologique favorable pour des espèces

possédant une capacité de dispersion assez limitée (certains lichens, bryophytes ou encore champignons) (Paillet et al., 2009). De manière générale, après l'arrêt de l'exploitation forestière, la dynamique naturelle de l'écosystème forestier (Saintonge et al., 2023) va permettre de restaurer au fur et à mesure des conditions favorables pour la recolonisation des espèces dépendantes à des substrats forestiers typiques d'une forêt naturelle (souches, bois mort, etc.) (Paillet et al., 2009).

Dans le cas de l'étude réalisée, cette complémentarité a été illustrée par le type de DMH formé selon le mode de gestion. En effet, dans les peuplements exploités, les DMH de type blessure avec perte d'écorce ou encore de type cavités avec les dendrotelmes sont plus fréquemment rencontrés que dans les peuplements non exploités (Larrieu et al., 2011) (Courbaud et al., 2011). Or, consécutivement ces parties d'aubier apparentes sont donc colonisées par certains champignons et insectes et permettent l'évolution de ces DMH vers des cavités à terreau abritant des espèces spécifiques (Bütler et al., 2020). Par exemple, les dendrotelmes, bien qu'abritant un seul groupe taxonomique de quelques espèces (Larrieu et al., 2011), la moitié de ces espèces sont associées spécifiquement à ces dendrotelmes (Butler et al., 2020) ce qui indique l'importance de leur formation et de leur conservation.

En conclusion, allier des zones d'exploitation et de non-exploitation dans un même massif forestier permet d'assurer une complémentarité de fonctions et être bénéfique pour une préservation optimale de la biodiversité.

Une gestion durable des forêts pour la biodiversité en prenant en compte les DMH :

En discussion de nombreuses études sur les arbres habitats et les DMH, les auteurs de ces travaux se sont posés la question de comment intégrer la préservation de ces indicateurs de biodiversité potentielle dans une gestion durable des forêts (Paillet et al., 2019) (Courbaud et al., 2017) (Vuidot et al., 2011) (Larrieu et al., 2011).

Dès lors, les chercheurs s'accordent sur le fait de mettre en place, au sein d'une même forêt, une sylviculture à deux vitesses (Courbaud et al., 2017) (Vuidot et al., 2011) (Larrieu et al., 2011) :

- Des zones d'exploitation forestière avec un circuit économique court (de 80 à 150 ans) permettant de se baser sur la dynamique et le fonctionnement de l'écosystème pour être bénéfique sur la biodiversité associée. Parallèlement, il est envisagé un recrutement et la conservation d'arbres habitats de différentes essences, riches en DMH, pour avoir un effet positif sur la biodiversité.
- Des zones de libre évolution, donc de sénescence, pour permettre le respect d'un cycle sylvigénétique complet afin d'assurer une diversité et un volume significatif de bois mort pour la biodiversité.

L'utilisation des DMH pour la gestion durable des forêts doit être validée et nécessite encore des recherches afin de rendre ce futur indicateur de gestion le plus fiable et réalisable possible (Vuidot et al., 2011). En effet, des problèmes existent encore par rapport à l'effet observateur, ou encore le coût (monétaire, humain et matériel) pour effectuer des campagnes d'inventaire de DMH (Vuidot et al., 2011) (Paillet et al., 2015). De plus, les études n'ont pas encore établi clairement le lien entre tous les DMH et la biodiversité associée (Vuidot et al., 2011).

Cependant, une fois tous ces freins supprimés, cela permettrait la mise en place de documents cadres pour les aménageurs afin de connaître la densité appropriée de DMH selon le type et l'essence d'arbre à maintenir dans les peuplements pour assurer une préservation de la biodiversité (Vuidot et al., 2011). De ce fait, la reconnaissance de la valeur écologique potentielle des DMH pourrait faire l'objet de lignes directrices supplémentaires pour permettre l'obtention des certifications forestières de gestion durable des forêts (exemples : FSC, PEFC) (Vuidot et al., 2011).

Conclusion

Au fil du temps, la protection de la biodiversité forestière a pris une place de plus en plus conséquente et est devenue l'un des objectifs principaux dans le cadre de la gestion forestière. Par la mise en place de la trame de vieux bois, l'ONF a donné une aspiration à développer, chez les aménageurs forestiers, une réflexion de gestion non pas seulement de production mais aussi de préservation des écosystèmes forestiers par la conservation de bois mort, d'arbres habitats ou encore par la mise en place d'îlots de vieux bois (îlots de vieillissement et îlots de sénescence).

L'étude menée sur la forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy a permis de mettre en évidence, par la mesure d'indicateurs indirects et directs de biodiversité forestière, que ce bois présentait des vieux peuplements avec une flore vasculaire homogène. Parallèlement, en comparant les peuplements sous futaie irrégulière et ceux sous îlot de sénescence, il s'est avéré que les différences de ces nombreuses variables mesurées n'étaient globalement pas significatives en raison d'îlots de sénescence assez récents par rapport à l'échelle des temps forestière. De plus, certains résultats obtenus ont trouvé leur explication, non pas sur une différence de gestion, mais plutôt sur des directives et des constats présents dans le plan d'aménagement du bois. Néanmoins, la jeune sénescence du Bois de la Champelle présente des premiers résultats encourageants, notamment concernant sa densité d'arbres habitats ainsi que son capital sur pied d'arbres vivants, supérieurs aux peuplements sous futaie irrégulière.

Parallèlement, cette étude a permis aussi de mettre en évidence que chaque mode de gestion (futaie irrégulière et îlot de sénescence) pouvait favoriser la biodiversité de manière différente : soit concernant le type de DMH qui était formé initialement sur les arbres, soit sur un groupe taxonomique favorisé par rapport à un autre. Une gestion forestière avec des unités de gestion mixtes semblent être une mesure favorable pour la préservation de la biodiversité forestière. Par ailleurs, ce travail a permis de lancer une réflexion sur une gestion durable des forêts prenant en compte les DMH et la densité d'arbres habitats, des indicateurs de biodiversité potentielle très prometteurs mais encore peu étudiés. En effet, la création d'un document cadre concernant les DMH permettrait aux aménageurs forestiers de connaître et d'appliquer des directives afin d'avoir le nombre idéal d'arbres habitats et de DMH, suivant la nature des peuplements, pour garantir une conservation optimale de la biodiversité forestière.

Cependant, de nombreuses limites peuvent être soulevées sur le travail réalisé. Dans un premier temps, comme souligné en discussion, le protocole d'inventaire floristique aurait pu être davantage exhaustif en prenant en compte les chemins forestiers (en plus des peuplements) lors des relevés. Parallèlement, la sous-estimation du type et du nombre de DMH lors d'un recensement depuis le sol semble être non négligeable mais est, pour l'instant, l'une des seules méthodes économiquement et humainement rentable pour ce genre d'inventaire. Dans un second temps, une autre limite se situe au sein du site d'étude. En effet, les îlots de sénescence présents sont récents (classés en 2015) et comportent des années sans exploitation très courtes par rapport à l'échelle des temps d'un écosystème forestier. De ce fait, il a été compliqué d'observer des différences significatives de résultats entre les modes de gestion et la variable explicative de dernière exploitabilité, non pas car la sénescence ne fonctionne pas, mais potentiellement car elle est encore trop jeune.

Perspectives : Recommandations à la mairie de Vandœuvre-lès-Nancy

Au terme de ce travail, il est donc possible de proposer à la mairie de Vandœuvre-lès-Nancy de nombreuses pistes pour continuer et mettre en valeur son travail de préservation de la biodiversité dans sa forêt communale du Bois de la Champelle :

- **L'installation d'un nouvel îlot de sénescence** : cette première recommandation fait suite à l'une des volontés de la mairie de vouloir classer une nouvelle partie de son bois en zone de libre évolution. De ce fait, il est possible de proposer une nouvelle parcelle en sénescence sur la base des indicateurs indirects de biodiversité comme le bois mort, le bois vivant ainsi que les DMH. Dès lors, la parcelle n°2 semble la plus adaptée à être classée en îlot de sénescence. En effet, comme discuté précédemment dans l'état de l'art sur les critères de classement en îlot de sénescence (paragraphe I-3 de l'état de l'art), un volume de BMS conséquent ($21,1 \pm 8,6 \text{ m}^3/\text{ha}$) ainsi qu'une période sans exploitation élevée (21 années) (Annexe 3 : Tableau 9) représentent de très forts arguments pour le classement en sénescence de cette parcelle par rapport aux autres.
- **La mise en place d'un Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF)** : initialement créé pour être utilisé sur les réserves forestières, ce protocole est applicable aussi pour les îlots de sénescence à condition que la taille soit supérieure à 5 ha le tout présentant une continuité valide (Réserves Naturelles De France, 2012). Il pourra être proposé un regroupement des parcelles 3 – 4 – 5 et des parcelles 8 – 9 – 10 pour satisfaire cette condition. Ce protocole permet, dans un premier temps, d'évaluer l'état de conservation initial du site et, dans un second temps, d'effectuer un suivi dynamique des peuplements étudiés sur la base de nombreuses variables (bois mort, gros bois, capital sur pied, ...) (Réserves Naturelles De France, 2012). Ce dispositif permettrait d'avoir des données régulièrement sur le bois et de permettre d'adapter au mieux la gestion en fonction de l'évolution dans le temps des peuplements et des divers aléas auxquels le Bois de la Champelle pourrait être confronté. En effet, il faut bien prendre en compte que les décisions prises à un instant t doivent être sans cesse remises en réflexion suivant l'évolution de la forêt.
- **La réalisation de nouvelles études naturalistes** : des études entomologiques et mycologiques, notamment sur les populations saproxyliques, pourraient se révéler intéressantes. En effet, ces taxons sont sensibles aux mesures d'arrêt d'exploitation des peuplements forestiers (Pernot, 2012) et des résultats significatifs pourraient apparaître avec les décisions de gestion prises par la commune. De ce fait, ceci permettrait à la municipalité de Vandœuvre-lès-Nancy de renforcer, auprès de l'ONF, sa stratégie de mise en place d'îlots de sénescence pour la préservation de la biodiversité forestière.
- **La sensibilisation du public sur les actions de la municipalité menées sur le bois dans une dynamique de protection de la biodiversité** : cela pourrait passer par la mise en place de panneaux pédagogiques pour expliquer diverses notions (le cycle sylvigénétique, l'îlot de sénescence, les arbres habitats et les DMH) par une approche simplifiée. Il serait aussi utile de mettre en place, à chaque entrée du bois, des panneaux pour rappeler que les dépôts sauvages, les véhicules motorisés ainsi que les feux sont interdits, nombreuses problématiques dont sont confrontées davantage les forêts périurbaines.

En conclusion, l'ensemble de ces recommandations, bien que non exhaustif, permettrait à la commune de Vandœuvre-lès-Nancy d'avoir, pour ces prochaines années, une ligne directrice sur les études et projets à mener sur sa forêt communale : Le Bois de la Champelle.

Bibliographie

- Arnaudet, L. et Bastianelli, C.. 2013. *Fonctionnement, application et avancée des mesures de conservation du bois mort en Suisse : Etude de la mise en place des îlots de sénescence* [en ligne]. Rapport d'enquête de politique forestière. AgroParisTech. Soutenu en décembre 2013. 50 pages.
- Bergès, L., Avon, C., Chevalier, R. et Dumas, Y.. 2012. Impact des routes forestières sur la biodiversité floristique : synthèse de trois études menées en forêt de plaine. *Revue forestière française*. 2012. Volume 4, n° 64 : 447-466. HAL : hal-00856929.
- BRGM. 1978. *Carte géologique de la France à 1 / 50 000 de Nancy (2ème édition)*. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). Carte consultée le 13/02/2023 à la bibliothèque universitaire Ingénieurs Brabois Nancy.
- Burrascano, S., Keeton, W.S., Sabatini, F.M. et Blasi, C.. 2013. Commonality and variability in the structural attributes of moist temperate old-growth forests : A global review. *Forest Ecology and Management*. 2013. N° 291 : 458-479. DOI : 10.1016/j.foreco.2012.11.020.
- Bütler, R., Lachat, T., Krumm, F., Kraus, D. et Larrieu, L.. 2020. *Guide de poche des dendromicrohabitats. Description et seuils de grandeur pour leur inventaire*. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL. 59 pages.
- Bütler, R., Lachat, T., Krumm, F., Kraus, D. et Larrieu, L.. 2020. Connaître, conserver et promouvoir les arbres habitats. *Notice pour le praticien*. 2020. N° 64, 12 pages.
- Cateau, E., Parrot, M., Reyna, K., Roux, A., Rossi, M., Bruciamacchie, M. et Vallauri, D.. 2013. *Réseau d'îlots de vieux bois. Eléments de méthode et test dans les forêts publiques du Mont-Ventoux* [en ligne]. Rapport. 66 pages.
- Chevalier, R., Archaux, F. et Gautier, G.. 2010. Relevés floristiques pour le suivi de la biodiversité végétale des écosystèmes forestiers : éléments de réflexion pour faire les bons choix. *Revue forestière française*. 2010. Volume 2, n° 62 : 141-154. DOI : 10.4267/2042/34651.
- Courbaud, B., Pupin, C., Letort, A., Cabanettes, A. et Larrieu, L.. 2017. Modelling the probability of microhabitat formation on trees using cross-sectional data. *Methods in Ecology and Evolution*. 2017. N° 8 : 1347-1359. DOI : 10.1111/2041-210X.12773.
- Delassus, L.. 2015. *Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques*. Document technique. Brest : Conservatoire botanique national de Brest. 25 pages.
- Gargominy, O., Terceirie, S., Régnier, C., Ramage, T., Dupont, P., Daszkiewicz, P. et Poncet, L.. 2022. *TAXREF, référentiel taxonomique pour la France : méthodologie, mise en œuvre et diffusion*. Rapport PatriNat (OFB-CNRS-MNHN). Paris : Muséum national d'Histoire naturelle. 47 pages.
- Hahn, K. et Christensen, M.. 2004. Dead Wood in European Forest Reserves – A Reference for Forest Management. Royal Veterinary and Agricultural University Denmark.
- IGN. 2022. Méthodologie : Pour bien comprendre les résultats publiés : 2017 – 2021. *Document technique*. Institut National De L'Information Géographique Et Forestière (IGN).
- IGN. 2023. *Indicateurs de gestion durable des forêts Françaises* [en ligne]. Disponible sur : <https://foret.ign.fr/IGD/fr/indicateurs/1.2.3> [consulté le 28 juillet 2023].
- Jacque, M.. 2023. *Comment le gouvernement entend s'attaquer à l'effondrement de la biodiversité ?* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.lesechos.fr/politique-societe/societe/comment-le-gouvernement-entend-sattaquer-a-leffondrement-de-la-biodiversite-1963971> [consulté le 2 août 2023].
- Lachat, T. et Bütler, R.. 2007. Gestion des vieux arbres et du bois mort : îlots de sénescence, arbres-habitats et métapopulations saproxyliques. Laboratoire des systèmes écologiques – Ecole polytechnique fédérale Lausanne (EPFL) – Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage – WSL, site de Lausanne. Mandat de l'Office fédéral de l'Environnement (OFEV).
- Larrieu, L., Cabanettes, A. et Delarue, A.. 2011. Impact of sylviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in montane beech-fir forests of the Pyrenees. *European Journal of Forest Research*. 2011. N° 131 : 773-786. DOI : 10.1007/s10342-011-0551-z.
- Larrieu, L., Paillet, Y., Winter, S., Bütler, R., Kraus, D., Krumm, F., Lachat, T., Michel, A.K., Regnery, B. et Vanderkerkhove, K.. 2018. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators*. 2018. N° 84 : 194-207. DOI : 10.1016/j.ecolind.2017.08.051.
- Libre Forêt. 2023. *Notre projet* [en ligne]. Disponible sur : https://libreforet.fr/?page_id=24 [consulté le 16 août 2023].
- Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy. 2015. *Procès-verbal des délibérations du conseil municipal de Vandœuvre-lès-Nancy : Gestion sylvicole de la forêt communale de Vandoeuvre*. Procès-verbal du 19 janvier 2015.
- Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy. 2023. Communication interne.
- Massotte, J.. 2014. Révision d'aménagement forestier 2015 – 2034. Forêt communale de Vandoeuvre. Office national des forêts (ONF). Identifiant National : A023785U.
- Meddour, R. 2011. *La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tüxenienne* [Cours]. Tizi Ouzou (Algérie) : Université Mouloud Mammeri.

Montpied, P. 2020. *Diagnostic stationnel et de biodiversité potentielle - Forêt Communale de Vandœuvre : Protocole d'inventaire : 12-16 octobre 2020. Protocole UE 7.13 Master AETPF*. Nancy : Université de Lorraine.

Montpied, P. 2022. *Recensement des dendromicrohabitats-Forêt - Communale de Vandœuvre : Protocole d'inventaire : 17-21 octobre 2022. Protocole UE 7.13 Master AETPF*. Nancy : Université de Lorraine.

Mosnier, M. 2023. *Etude de stage : Forêt Irrégulière Ecole. Caractérisation verticale des dendro-microhabitats et comparaison d'inventaires effectués depuis le sol et par grimpe d'arbre*. Mémoire. Master 1 AETPF. Université de Lorraine. Soutenu en juin 2023.

Nogués, X., Garenne, A., Bouteiller, X. et Fiévet, V. 2022. *Tout en fiches : Le cours de biostatistique (2^{ème} édition)*. Dunod. ISBN : 978-2-10-084286-5.

OFB, Office Français de la Biodiversité. 2023. *La biodiversité en danger*. [en ligne]. Disponible sur <https://www.ofb.gouv.fr/pourquoi-parler-de-biodiversite/la-biodiversite-en-danger> [consulté le 14 août 2023].

ONF. nd. *Le réseau FRENE de Forêts Rhônalpines en Evolution Naturelle*. Office national des forêts : Document technique. 6 pages.

ONF (C. Biache et al.). 2017. *Vieux bois et bois morts Guide technique*. Office national des forêts (ONF), Direction forêts et risques naturels (DFRN). 102 pages.

ONF, Office national des forêts. 2023. *Quelles différences entre futaie régulière et futaie irrégulière ?* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.onf.fr/onf/+1167:la-futaie-reguliere-et-irreguliere.html> [consulté le 20 août 2023].

Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Odor, P.; Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastia, M., Schmidt, W., Standovar, T., Tothmérész, B., Uotila, A., Valladares, F., Vellak, K. et Virtanen, R.. 2009. Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests : Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology*. 2009. Volume 1, N° 24 : 101-112. DOI : 10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x.

Paillet, Y., Coutadeur, P., Vuidot, A., Archaux, F. et Gosselin, F. 2015. Strong observer effect on tree microhabitats inventories : A case study in a French lowland forest. *Ecological indicators*. 2015. N° 49 : 14-23. DOI : 10.1016/j.ecolind.2014.08.023.

Paillet, Y., Debaive, N., Archaux, F., Cateau, E., Gilg, O. et Guilbert, E.. 2019. Nothing else matters? Tree diameter and living status have more effects than biogeoclimatic context on microhabitat number and occurrence: An analysis in French forest reserves. *PLoS ONE*. 2019. Volume 5, n° 14 : e0216500. DOI : 10.1371/journal.pone.0216500.

Pernot, C.. 2012. *Comparaison de structure et de*

biodiversité entre des forêts exploitées et non exploitées en France : bilan des données acquises et premières perspectives. Mémoire Master 2 BEE. Université de Lorraine. Soutenu le 17 septembre 2012.

Pernot, C., Paillet, Y., Boulanger, V., Debaive, N., Fuhr, M., Gilg, O. et Gosselin, F. 2013. Impact de l'arrêt d'exploitation forestière sur la structure dendrométrique des hêtraies mélangées en France. *Revue forestière française*. 2013. Volume 5, n° 65 : 445-461. DOI : 10.4267/2042/53707.

Réserves Naturelles De France. 2012. Notice d'utilisation du protocole de suivi des espaces forestiers. Réserves Naturelles De France – AgroParisTech – Office national des forêts – Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA). Plaquette.

Rouveyrol, P. 2009. *Caractérisation d'un îlot idéal de vieux arbres en forêt de montagne : Etat des connaissances et synthèse pour la réalisation d'un guide de gestion* [en ligne]. Mémoire. Formation des ingénieurs forestiers (FIF). AgroParisTech. Soutenu en juillet 2009.

Saintonge, F., Nageleisen, L., Boutte, B., Goudet, M., Husson, C., Piou, D. et Riou-Nivert, P. 2023. *La santé des forêts : Diagnostic, Prévention et Gestion (2^{ème} édition)*. Centre National de la Propriété Forestière (CNPFF). ISBN : 2916525874.

Vernier, F. 2017. *Etude floristique et phytosociologique du Bois de la Champelle Vandœuvre-lès-Nancy (54). Floraine*.

Vuidot, A., Paillet, Y., Archaux, F. et Gosselin, F. 2010. Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats. *Biological Conservation*. 2011. N° 144 : 441-450. DOI : 10.1016/j.biocon.2010.09.030.

Vuillaume, M. 2023. *Historique des coupes de la forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy : le Bois de la Champelle*. Office national des forêts (ONF). Tableur Excel.

Wei, L., Chevalier, R., Archaux, F. et Gosselin, F. 2015. Influence of stand attributes and skid trail area on stand-sacle ground flora diversity. *NRC Research Press*. 2015. N° 45 : 1816-1826. DOI : 10.1139/cjfr-2015-0189.

Références associées à la cartographie du mémoire :

DataGrandEst. 2021. *PHOTOS – Orthophoto – 2021 (5 cm) – Métropole du Grand Nancy*. Disponible sur : https://www.datagrandest.fr/geonetwork/home/fre/catalog.s_earch#/metadata/ORTHO_2021_ECW [consulté le 09 août 2023].

ONF. 2023. *Données publiques de l'ONF. CARMEN. Parcelles forestières*. Disponible sur : https://carmen.carmencarto.fr/105/ONF_Forets.map [consulté le 20 février 2023].

OpenStreetMap France. 2023. *Données parcellaire communale*. Disponible sur : <https://www.openstreetmap.fr/donnees/> [consulté le 20 février 2023]

Annexes

Annexe 1 : Informations complémentaires à la partie « Matériel & Méthode » du mémoire.

Tableau 5 : Correspondance entre les descriptions des communautés végétales, la valeur du coefficient d'abondance – dominance de Braun-Blanquet associé (valeur semi-quantitative) et le recouvrement moyen de Dufrière associé (valeur quantitative).

Densité des individus	Recouvrement R (%) de Braun – Blanquet 1964	Coefficient d'abondance – dominance de Braun – Blanquet 1964	Recouvrement moyen (%) de Dufrière 1998
Non ligneux : 1 à 5 individus Ligneux : 1 à 3 individus	$R < 1$	r	0,1
Non ligneux : 6 à 10 individus Ligneux : 4 à 10 individus	$5 > R \geq 1$	+	0,2
Individus > 10	$5 > R \geq 1$	1	2,5
Individus > 10	$25 > R \geq 5$	2	15
Individus abondants ou très abondants	$50 > R \geq 25$	3	37,5
Individus abondants ou très abondants	$75 > R \geq 50$	4	62,5
Individus abondants ou très abondants	$R \geq 75$	5	87,5

Sources : (Meddour, 2011) ; (Delassus, 2015)

Tableau 6 : Historique de la dernière exploitation forestière des peuplements suivant la parcelle du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Parcelle	Type de gestion	Dernière date d'exploitation	Années sans exploitation
1	Irrégulier	2018	5
2	Irrégulier	2002	21
3	Sénescence	2002	21
4	Sénescence	2004	19
5	Sénescence	2004	19
6	Irrégulier	2018	5
7	Irrégulier	2017	6
8	Sénescence	2002	21
9	Sénescence	2008	15
10	Sénescence	2008	15
11	Irrégulier	2008	15
12	Irrégulier	2008	15
13	Irrégulier	2019	4
14	Irrégulier	2019	4
15	Irrégulier	2020	3
16	Irrégulier	2020	3

Sources : (Massotte, 2014) ; (Vuillaume, 2023)

Annexe 1 (suite) : Informations complémentaires à la partie « Matériel & Méthode » du mémoire.

Tableau 7 : Signification des codes *E* (état de l'écorce), *P* (degré de pourriture du bois) et *C* (état de la couronne), utilisés pour décrire l'état du bois mort.

Paramètre	Méthode évaluation	Code	Numéro	Description
Etat de l'écorce	Zone de prise de mesure de la circonférence	E	1	Présente sur toute la circonférence
			2	Présente sur plus de 50 % de la circonférence
			3	Présente sur moins de 50 % de la circonférence
			4	Absente de la circonférence
Degré de pourriture du bois	Zone de prise de mesure de la circonférence	P	1	Dur ou non altéré
			2	Pourriture partielle
			3	Pourriture avancée (supérieure à $\frac{3}{4}$ du diamètre)
Etat de la couronne	Appréciation visuelle	C	1	Branches ultimes présentes
			2	Branches ultimes absentes
			3	Charpentières seules
			4	Couronne absente

Sources : (Montpied, 2020)

Annexe 2 : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023, avec leur présence suivant la gestion et leur présence totale, le tout suivant la parcelle.

Tableau 8 : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023 du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Code	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Présence Sénescence	Présence Irrégulier	Présence totale
ABAL	<i>Abies alba</i>	Sapin pectiné	3 / 16	5 / 19	8 / 35
ACCA	<i>Acer campestre</i>	Erable champêtre	16 / 16	18 / 19	34 / 35
ACPL	<i>Acer platanoides</i>	Erable plane	6 / 16	3 / 19	9 / 35
ACPS	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Erable sycomore	8 / 16	11 / 19	19 / 35
ADMO	<i>Adoxa moschatellina</i>	Adoxe musquée	8 / 16	12 / 19	20 / 35
AEPO	<i>Aegopodium podagraria</i>	Egopode podagraire		1 / 19	1 / 35
AJRE	<i>Ajuga reptans</i>	Bugle rampante	7 / 16	12 / 19	19 / 35
ALPE	<i>Alliaria petiolata</i>	Alliaire officinale	3 / 16	10 / 19	13 / 35
ANNE	<i>Anemone nemorosa</i>	Anémone sylvie	16 / 16	19 / 19	35 / 35
ARLA	<i>Arctium lappa</i>	Grande Bardane	1 / 16	3 / 19	4 / 35
ARED	<i>Aria edulis</i>	Alisier blanc	1 / 16		1 / 35
ARMA	<i>Arum maculatum</i>	Arum tacheté	15 / 16	17 / 19	32 / 35
ATFI	<i>Athyrium filix-femina</i>	Fougère femelle	3 / 16	1 / 19	4 / 35
BEPE	<i>Betula pendula</i>	Bouleau verruqueux	5 / 16	3 / 19	8 / 35
BRSY	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Brachypode des bois	11 / 16	11 / 19	22 / 35
CATR	<i>Campanula trachelium</i>	Campanule gantelée	2 / 16	1 / 19	3 / 35
CAPR	<i>Cardamine pratensis</i>	Cardamine des prés		4 / 19	4 / 35
CASY	<i>Carex sylvatica</i>	Laîche des bois	16 / 16	18 / 19	34 / 35
CABE	<i>Carpinus betulus</i>	Charme commun	16 / 16	19 / 19	35 / 35
CILU	<i>Circaea lutetiana</i>	Circée de Paris	13 / 16	18 / 19	31 / 35
COMA	<i>Convallaria majalis</i>	Muguet de mai	8 / 16	7 / 19	15 / 35
COSA	<i>Cornus sanguinea</i>	Cornouiller sanguin	1 / 16	2 / 19	3 / 35
COCA	<i>Corydalis cava</i>	Corydale creuse		1 / 19	1 / 35
COAV	<i>Corylus avellana</i>	Noisetier commun	16 / 16	18 / 19	34 / 35
CRLA	<i>Crataegus laevigata</i>	Aubépine à deux styles	16 / 16	19 / 19	35 / 35
CYSC	<i>Cytisus scoparius</i>	Genêt à balais	1 / 16		1 / 35
DAGL	<i>Dactylis glomerata</i>	Dactyle aggloméré	1 / 16	4 / 19	5 / 35
DECE	<i>Deschampsia cespitosa</i>	Canche cespiteuse	16 / 16	18 / 19	34 / 35
DRCA	<i>Dryopteris carthusiana</i>	Dryoptéris des Chartreux	6 / 16	6 / 19	12 / 35
DRFI	<i>Dryopteris filix-mas</i>	Fougère mâle	8 / 16	9 / 19	17 / 35
EPMO	<i>Epilobium montanum</i>	Epilobe des montagnes		1 / 19	1 / 35
EPHE	<i>Epipactis helleborine</i>	Epipactis à larges feuilles	3 / 16		3 / 35
EUEU	<i>Euonymus europaeus</i>	Fusain d'Europe	11 / 16	8 / 19	19 / 35
EUAM	<i>Euphorbia amygdaloides</i>	Euphorbe des bois	3 / 16	6 / 19	9 / 35
EUDU	<i>Euphorbia dulcis</i>	Euphorbe douce	4 / 16	8 / 19	12 / 35
EUST	<i>Euphorbia stricta</i>	Euphorbe raide	1 / 16	1 / 19	2 / 35
FASY	<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre commun	16 / 16	19 / 19	35 / 35

Annexe 2 (suite) : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023, avec leur présence suivant la gestion et leur présence totale, le tout suivant la parcelle.

Tableau 8 : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023 du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Code	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Présence Sénescence	Présence Irrégulier	Présence totale
FIVE	<i>Ficaria verna</i>	Ficaire fausse renoncule	16 / 16	19 / 19	35 / 35
FIUL	<i>Filipendula ulmaria</i>	Reine-des-près	1 / 16	1 / 19	2 / 35
FRVE	<i>Fragaria vesca</i>	Fraisier des bois	1 / 16	4 / 19	5 / 35
FRFX	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne élevé	16 / 16	19 / 19	35 / 35
GATE	<i>Galeopsis tetrahit</i>	Galéopsis tétrahit	9 / 16	13 / 19	22 / 35
GAAP	<i>Galium aparine</i>	Gaillet gratteron	3 / 16	10 / 19	13 / 35
GAOD	<i>Galium odoratum</i>	Aspérule odorante	10 / 16	15 / 19	25 / 35
GERO	<i>Geranium robertianum</i>	Géranium herbe-à-Robert	1 / 16	3 / 19	4 / 35
GEUR	<i>Geum urbanum</i>	Benoîte des villes	13 / 16	15 / 19	28 / 35
HEHE	<i>Hedera helix</i>	Lierre grim pant	16 / 16	19 / 19	35 / 35
HESP	<i>Heracleum sphondylium</i>	Berce commune	9 / 16	6 / 19	15 / 35
HOEU	<i>Hordeylmus europaeus</i>	Orge des bois	8 / 16	11 / 19	19 / 35
HYHI	<i>Hypericum hirsutum</i>	Millepertuis hérissé		3 / 19	3 / 35
ILAQ	<i>Ilex aquifolium</i>	Houx	2 / 16		2 / 35
LAGA	<i>Lamium galeobdolon</i>	Lamier jaune	16 / 16	19 / 19	35 / 35
LACO	<i>Lapsana communis</i>	Lammpane commune		1 / 19	1 / 35
LIVU	<i>Ligustrum vulgare</i>	Troène commun	2 / 16	4 / 19	6 / 35
LOPE	<i>Lonicera periclymenum</i>	Chèvrefeuille des bois	1 / 16	5 / 19	6 / 35
LOPY	<i>Loncomelos pyrenaicus</i>	Ornithogale des Pyrénées		3 / 19	3 / 35
LOXY	<i>Lonicera xylosteum</i>	Chèvrefeuille à balais	8 / 16	7 / 19	15 / 35
LULU	<i>Luzula luzuloides</i>	Luzule blanchâtre		1 / 19	1 / 35
LUPI	<i>Luzula pilosa</i>	Luzule poilue	1 / 16	1 / 19	2 / 35
MEUN	<i>Melica uniflora</i>	Mélique à une fleur	13 / 16	16 / 19	29 / 35
MIEF	<i>Milium effusum</i>	Millet diffus	15 / 16	19 / 19	34 / 35
OXAC	<i>Oxalis acetosella</i>	Oseille des bois	3 / 16	4 / 19	7 / 35
PAQU	<i>Paris quadrifolia</i>	Parisette à quatre feuilles	11 / 16	12 / 19	23 / 35
PHSP	<i>Phyteuma spicatum</i>	Raiponce en épi	13 / 16	15 / 19	28 / 35
POCH	<i>Poa chaixii</i>	Pâturin de Chaix	14 / 16	18 / 19	32 / 35
PONE	<i>Poa nemoralis</i>	Pâturin des bois	2 / 16	1 / 19	3 / 35
POTRI	<i>Poa trivialis</i>	Pâturin commun	3 / 16		3 / 35
POMU	<i>Polygonatum multiflorum</i>	Sceau de Salomon	10 / 16	6 / 19	16 / 35
POTR	<i>Populus tremula</i>	Peuplier tremble	2 / 16	8 / 19	10 / 35
POST	<i>Potentilla sterilis</i>	Potentille faux fraisier	9 / 16	16 / 19	25 / 35
PREL	<i>Primula elatior</i>	Primevère élevée	4 / 16	6 / 19	10 / 35
PRVU	<i>Prunella vulgaris</i>	Brunelle commune	2 / 16	1 / 19	3 / 35
PRAV	<i>Prunus avium</i>	Merisier	16 / 16	14 / 19	30 / 35
PRSP	<i>Prunus spinosa</i>	Prunelier		1 / 19	1 / 35

Annexe 2 (suite) : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023, avec leur présence suivant la gestion et leur présence totale, le tout suivant la parcelle.

Tableau 8 : Liste complète des espèces végétales vasculaires recensées au cours de l'inventaire floristique de 2023 du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Code	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Présence Sénescence	Présence Irrégulier	Présence totale
PUOB	<i>Pulmonaria obscura</i>	Pulmonaire sombre	16 / 16	17 / 19	33 / 35
QUPE	<i>Quercus petraea</i>	Chêne sessile	9 / 16	14 / 19	23 / 35
QURO	<i>Quercus robur</i>	Chêne pédonculé	6 / 16	13 / 19	19 / 35
RAHO	<i>Rabelera holostea</i>	Stellaire holostée	12 / 16	16 / 19	28 / 35
RAAU	<i>Ranunculus auricomus</i>	Renoncule à tête d'or	7 / 16	8 / 19	15 / 35
RIAL	<i>Ribes alpinum</i>	Groseiller des Alpes	16 / 16	16 / 19	32 / 35
ROAR	<i>Rosa arvensis</i>	Rosier des champs	12 / 16	16 / 19	28 / 35
RUSP	<i>Rubus sp</i>	Ronce sp	16 / 16	19 / 19	35 / 35
RUOB	<i>Rumex obtusifolius</i>	Patience à feuilles obtuses	4 / 16	8 / 19	12 / 35
SACA	<i>Salix caprea</i>	Saule marsault	1 / 16		1 / 35
SANI	<i>Sambucus nigra</i>	Sureau noir	1 / 16	1 / 19	2 / 35
SCNO	<i>Scrophularia nodosa</i>	Scrofulaire noueuse	1 / 16	3 / 19	4 / 35
SEOV	<i>Senecio ovatus</i>	Séneçon de Fuchs	1 / 16	1 / 19	2 / 35
STAL	<i>Stachys alpina</i>	Epiaire des Alpes		1 / 19	1 / 35
STSY	<i>Stachys sylvatica</i>	Epiaire des bois	6 / 16	7 / 19	13 / 35
TASP	<i>Taraxacum sp</i>	Pissenlit sp	1 / 16		1 / 35
TICO	<i>Tilia cordata</i>	Tilleul à petites feuilles		2 / 19	2 / 35
TIPL	<i>Tilia platyphyllos</i>	Tilleul à grandes feuilles	3 / 16	1 / 19	4 / 35
TOGL	<i>Torminalis glaberrima</i>	Sorbier alisier	3 / 16	9 / 19	12 / 35
ULGL	<i>Ulmus glabra</i>	Orme des montagnes	2 / 16	1 / 19	3 / 35
URDI	<i>Urtica dioica</i>	Ortie dioïque	2 / 16	3 / 19	5 / 35
VAOF	<i>Valeriana officinalis repens</i>	Valériane officinale		2 / 19	2 / 35
VECH	<i>Veronica chamaedrys</i>	Véronique petit-chêne	1 / 16		1 / 35
VEMO	<i>Veronica montana</i>	Véronique des montagnes	1 / 16	3 / 19	4 / 35
VEOF	<i>Veronica officinalis</i>	Véronique officinale		3 / 19	3 / 35
VESU	<i>Veronica sublobata</i>	Véronique des bois	1 / 16		1 / 35
VILA	<i>Viburnum lantana</i>	Viorne lantane	2 / 16	1 / 19	3 / 35
VIOP	<i>Viburnum opulus</i>	Viorne obier	9 / 16	9 / 19	18 / 35
WISE	<i>Vicia sepium</i>	Vesce des haies	12 / 16	11 / 19	23 / 35
VIMI	<i>Vinca minor</i>	Petite pervenche		1 / 19	1 / 35
VIRE	<i>Viola reichenbachiana</i>	Violette des bois	11 / 16	13 / 19	24 / 35
VIRI	<i>Viola riviniana</i>	Violette de Rivinus	5 / 16	6 / 19	11 / 35

Lecture du tableau : Exemple avec la pulmonaire sombre (*Pulmonaria obscura*) :

→ Durant l'inventaire floristique de 2023, au moins un individu de *Pulmonaria obscura* a été retrouvé dans 16 placettes de sénescence sur les 16 visitées ainsi que dans 17 placettes de futaie irrégulière sur les 19 visitées. Au total, au moins un individu de *Pulmonaria obscura* a été retrouvé dans 33 placettes sur les 35 placettes inventoriées.

Annexe 3 : Synthèse des moyennes des variables réponses indicatrices indirectes de la biodiversité, par parcelle, de la forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy : Le Bois de la Champelle.

Tableau 9 : Synthèse des moyennes des variables réponses indicatrices indirectes de la biodiversité, par parcelle, du Bois de la Champelle, forêt communale de Vandœuvre-lès-Nancy.

Parcelle	Années sans exploitation	G BMP (m ² /ha)	V BMS (m ³ /ha)	V PBMS (m ³ /ha)	G BVP (m ² /ha)	Arbres habitats à l'hectare	DMH à l'hectare
FUTAIE IRREGULIERE							
2	21	0,888 ± 0,362	21,1 ± 8,6	17,7 ± 7,2	22,8 ± 9,3	95 ± 39	191 ± 78
6	5	0,434 ± 0,217	11,0 ± 5,5	43,3 ± 21,6	17,9 ± 8,9	60 ± 30	108 ± 54
7	6	0,673 ± 0,301	4,66 ± 2,09	12,9 ± 5,8	25,4 ± 11,4	94 ± 42	157 ± 70
11	15	0,114 ± 0,051	3,66 ± 1,64	16,2 ± 7,3	18,4 ± 8,2	60 ± 27	103 ± 46
12	15	0,431 ± 0,176	2,92 ± 1,20	17,6 ± 7,2	23,5 ± 9,6	62 ± 25	123 ± 50
14	4	0,483	0	0	27,2	120	145
15	3	0,662 ± 0,191	2,10 ± 0,61	17,4 ± 5,0	23,0 ± 6,7	107 ± 31	244 ± 70
16	3	0,817 ± 0,289	4,53 ± 1,60	22,2 ± 7,9	27,0 ± 9,5	124 ± 44	264 ± 93
ILOT DE SENESCENCE							
3	21	0,500 ± 0,204	1,78 ± 0,73	7,52 ± 3,07	24,1 ± 9,9	72 ± 29	170 ± 69
4	19	0,850 ± 0,321	3,92 ± 1,48	8,32 ± 3,14	27,6 ± 10,4	126 ± 48	271 ± 102
5	19	1,32 ± 0,59	2,80 ± 1,24	17,9 ± 8,0	25,9 ± 11,6	106 ± 47	196 ± 88
8	21	1,65 ± 1,17	4,29 ± 3,03	5,46 ± 3,86	27,2 ± 19,2	130 ± 92	285 ± 202
9	15	0,463 ± 0,146	7,07 ± 2,24	4,69 ± 1,48	30,7 ± 9,7	117 ± 37	221 ± 70
10	15	0,742 ± 0,332	6,80 ± 3,04	30,4 ± 13,6	30,0 ± 13,4	96 ± 43	160 ± 72

Légende : G : Surface terrière ; V : Volume ; BMP : Bois Mort sur Pied ; BMS : Bois Mort au Sol ; PBMS : Petit Bois Mort au Sol ; BVP : Bois Vivant sur Pied ; ± : Erreur standard.

RESUME

Les forêts sont soumises à de nombreuses perturbations, d'origine anthropique (par l'exploitation forestière) ou non (incendie, épidémie, ...). Tout ceci résulte en une menace sur la biodiversité forestière. Soucieux de ce problème, l'ONF a mis en place la trame de vieux bois pour permettre la sauvegarde de tous les stades du cycle sylvigénétique et garantir des milieux propices aux espèces forestières. De ce fait, l'implantation d'îlots de sénescence est la stratégie dont a eu recours la mairie de Vandœuvre-lès-Nancy pour assurer une gestion écologique de sa forêt communale. Désirant effectuer une révision du plan d'aménagement, la municipalité souhaite un état des lieux initial de différentes données sur son bois pour savoir si la sénescence appliquée présente des signes encourageant afin de classer une nouvelle partie de la forêt en îlot de sénescence.

Les résultats ont mis en évidence une forêt de vieux peuplements avec une flore vasculaire homogène présentant des îlots de sénescence riches en capital d'arbres vivants sur pied ainsi qu'en densité d'arbres habitats à l'hectare. L'étude a permis de proposer le classement d'une nouvelle parcelle en îlot de sénescence et a lancé une réflexion sur la prise en compte des dendromicrohabitats pour la gestion durable des forêts.

Mots-clés : Ilot de sénescence ; Futaie irrégulière ; Biodiversité ; Dendromicrohabitats ; Gestion

ABSTRACT

Forests are subject to numerous disturbances, both anthropogenic (logging) and non-anthropogenic (fire, epidemics, ect.). The result is a threat to forest biodiversity. Concerned about this problem, ONF has set up the old-growth forest network to safeguard all stages of the sylvigenetic cycle and guarantee environments that are suitable for forest species. For this reason, Vandœuvre-lès-Nancy has adopted the strategy of establishing ageing islands to ensure the ecological management of its communal forest. With a view to revising its management plan, the municipality wanted to carry out an initial assessment of various data on its woodland to determine whether the senescence applied was showing encouraging signs, with a view to classifying a new part of the forest as an ageing island.

The results revealed a forest of old growth stands with a homogeneous vascular flora, and ageing islands rich in capital of standing living trees, as well as in the density of habitat trees per hectare. The study led to a proposal to classify a new plot as an ageing island and launched a debate on how to take tree-related microhabitats into account in sustainable forest management.

Keywords : Ageing island ; Irregular forest ; Biodiversity ; Tree-related microhabitats ; Management