



HAL
open science

Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers en forêt domaniale de la Reine et forêts associées (Plaine lorraine)

François F. Lebourgeois

► **To cite this version:**

François F. Lebourgeois. Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers en forêt domaniale de la Reine et forêts associées (Plaine lorraine). Université de Lorraine, AgroParistech, INRAE, Silva. 2024, pp.51. hal-04528778

HAL Id: hal-04528778

<https://hal.science/hal-04528778>

Submitted on 2 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers en forêt domaniale de la Reine et forêts associées (Plaine lorraine)

Lebourgeois François (Coordinateur)

Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, Silva
francois.lebourgeois@agroparistech.fr



Étang au soleil couchant – FD Reine – © F. Lebourgeois – février 2024

Citation : Lebourgeois F. (Coord.) (2024) Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers en forêt domaniale de la Reine et forêts associées (Plaine lorraine). Rapport scientifique final, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, 51 pages.

Table des matières

1. Renseignements généraux	4
1.1. Désignation et situation de la forêt étudiée	4
2. Analyse du contexte écologique	6
2.1. Mésoclimat et changements déjà observés	6
2.2. Contexte géologique	9
3. Description des peuplements pour la forêt domaniale de la Reine lors de l'aménagement 2013–2032	11
4. Inventaires dendrométriques et floristiques	11
5. Résultats	14
5.1. Effectif des placettes	14
5.2. Diversité floristique globale	14
5.3. Diversité α	15
5.4. Diversité β	15
5.5. Flore rare et espèces protégées	16
5.6. Caractéristiques de la flore observée	16
a. Familles et types biologiques	16
b. Groupes écologiques	17
c. Flore des forêts anciennes	20
5.7. Les stations forestières	23
5.8. Habitats forestiers, valeur écologique et conservation	28
a. Hêtraies-chênaies à aspérule et mélisque des forêts collinéennes de l'Europe tempérée	28
b. Chênaies pédonculées calcicoles à acidiclives, subatlantiques à continentales	29
c. Contraintes de ces habitats et enjeux de conservation	30
5.9. Typologie des peuplements forestiers	31
a. Surface terrière et typologie des peuplements	31
b. Surface terrière et composition spécifique	33
c. Surface terrière et catégorie des diamètres	34
d. Typologie des peuplements et composition spécifique	35
5.10. Bois mort et dendromicrohabitats (DMH)	36
5.11. Déterminisme écologique et sylvicole de la diversité floristique α	38
6. Comparaison des relevés 1979 et 2022	41
7. Synthèse	43
8. Références	44
9. Liste des Figures	45
10. Liste des Tableaux	46
11. Liste des espèces (fréquence dans les 94 relevés – juin 2022)	48

INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats des analyses des relevés écologiques et dendrométriques effectués en 2022 dans le cadre du module intégratif de juin destiné aux étudiants de fin de première année des élèves ingénieurs d'AgroParisTech. Dans le cadre de ce projet de 3 semaines (dont une semaine de terrain), le massif de la Reine intégrant la forêt domaniale de la Reine et les forêts associées (forêt communale de Boucq, forêts domaniale et communale de Rangeval et forêt communale de Géville) a été inventorié pour analyser la biodiversité végétale et les peuplements et relier cette diversité au contexte stationnel, aux inventaires dendrométriques et aux structures forestières. Le projet s'est étendu sur environ 1724 ha essentiellement en forêt domaniale de la Reine qui se trouve dans la région naturelle de la Plaine lorraine. Cette forêt est localisée sur un plateau à faible relief, avec une altitude entre 229 et 253 mètres.

Les personnes listées ci-dessous ont participé à la réalisation du projet :

Responsable du projet : Lebourgeois François

Traitement des données pour ce rapport et rédaction : Lebourgeois François

Encadrement technique pour la préparation ou pendant la phase de terrain (par ordre alphabétique) : Célia Bresson, Philippe Durand, Bruno Ferry, Bernard Jabiol, François Lebourgeois, Sylvie Lehmann, Sophie Lorentz, Caroline Petitjean, Erwin Thirion, Lucas Putigny

Étudiants (24)

Alexandre Jeanne, Armengaud Justine, Baue Killian, Boursier-Mougenot Mila, Cesari Guillaume, Chauvin Enora, De Peretti Quentin, Desaint Adèle, Englaro Roxane, Hirlemann François, Jose Thomas, Kervinio Lou-Anne, Kohler Yann, Massart Aurélien, Michel Gaïa, Bodin Océane, Féret Pauline, Pearlstein Vincent, Péronnet Elda, Soubeyran Jeanne, Thierry Romain, van Rooij Fulbert, Vicente Amélie, Wiart Léa

Ce projet s'est fait en partenariat avec l'Office national des forêts (Frédéric Bedel, Fillion Jean-Marc, Le Cabonnet Jean-Louis, Richard Jean-Noël) qui nous a donné l'accès à la forêt et permis à la réalisation de ces projets avec les étudiants.

Comment citer ce document

Lebourgeois F. (Coord.) (2024) Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers en forêt domaniale de la Reine et forêts associées (Plaine lorraine). Rapport scientifique final, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, 51 pages.

1. Renseignements généraux

1.1. Désignation et situation de la forêt étudiée

Le projet a concerné le massif de la Reine (Figure 1 et Figure 2) incluant différentes forêts dont la forêt domaniale de la Reine (élément essentiel du massif) qui s'étend sur une superficie de 1305 ha et 35 a dont 1241 ha et 38 a de surface boisée (1230 ha et 8 a de surface en sylviculture) dans le département de Meurthe-et-Moselle, arrondissement de Toul. Elle fait partie de l'Unité territoriale du Toulais et du triage de Sanzey. La SER de référence est la C 30 c'est-à-dire les Plaines et dépressions argileuses du Nord-Est (Plaine de la Woëvre) (https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/C_30.pdf). L'origine du massif forestier n'est pas connue mais les plus anciennes mentions remontent au bas moyen âge (création du réseau de fossés de drainage (ONF, Révision d'aménagement de 2012). Jusqu'en 1862, la forêt est traitée et taillis-sous-futaie (TSF) (rotations de 30 ans). À partir de cette date, la conversion en futaie régulière est entamée mais, en raison de la difficulté de régénération naturelle dans ces contextes écologiques très difficiles, les forestiers reviennent vite au traitement en TSF (dès 1882) et ceci jusqu'au début des années 1960. Une nouvelle conversion est proposée mais la régénération naturelle étant toujours aussi difficile, la régénération artificielle est proposée dans l'aménagement de 1989.

La forêt de La Reine fait partie intégrante du Parc Naturel Régional de Lorraine. Cette forêt constitue une ZPS (directive oiseaux), une ZSC (directive habitat faune flore) (DOCUMENT d'Objectifs opérationnel depuis décembre 2012), contient des espaces naturels sensibles (ENS), des zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique de type 1 et 2 (ZNIEFF 1 et ZNIEFF 2) et est une zone importante pour la conservation des oiseaux (ZICO). Elle possède un réseau hydrographique très dense (cours d'eau, étangs, fossés, mares, etc.) procurant une biodiversité remarquable (oiseaux, insectes, présence du Castor européen...) (Figure 1).

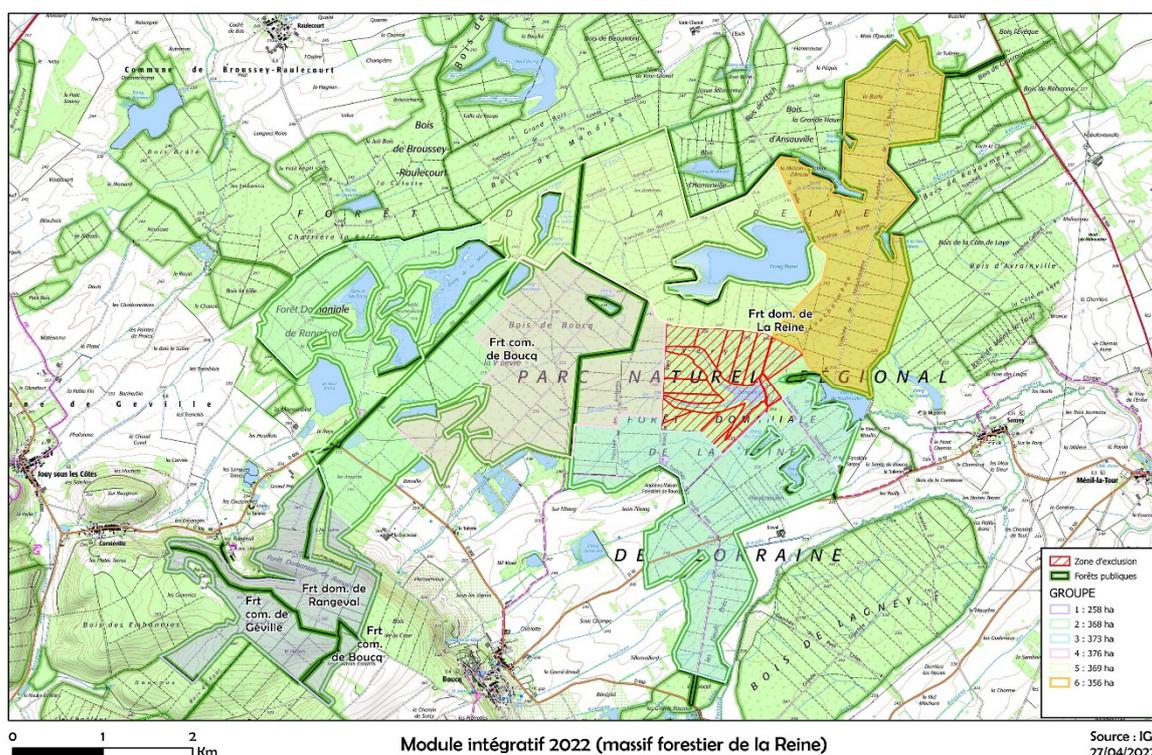


Figure 1 | Scan 25 du massif de la Reine et des quatre forêts associées. La couleur indique les six zones affectées aux six groupes d'étudiants (quatre étudiants par groupe et un encadrant) pour l'échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).

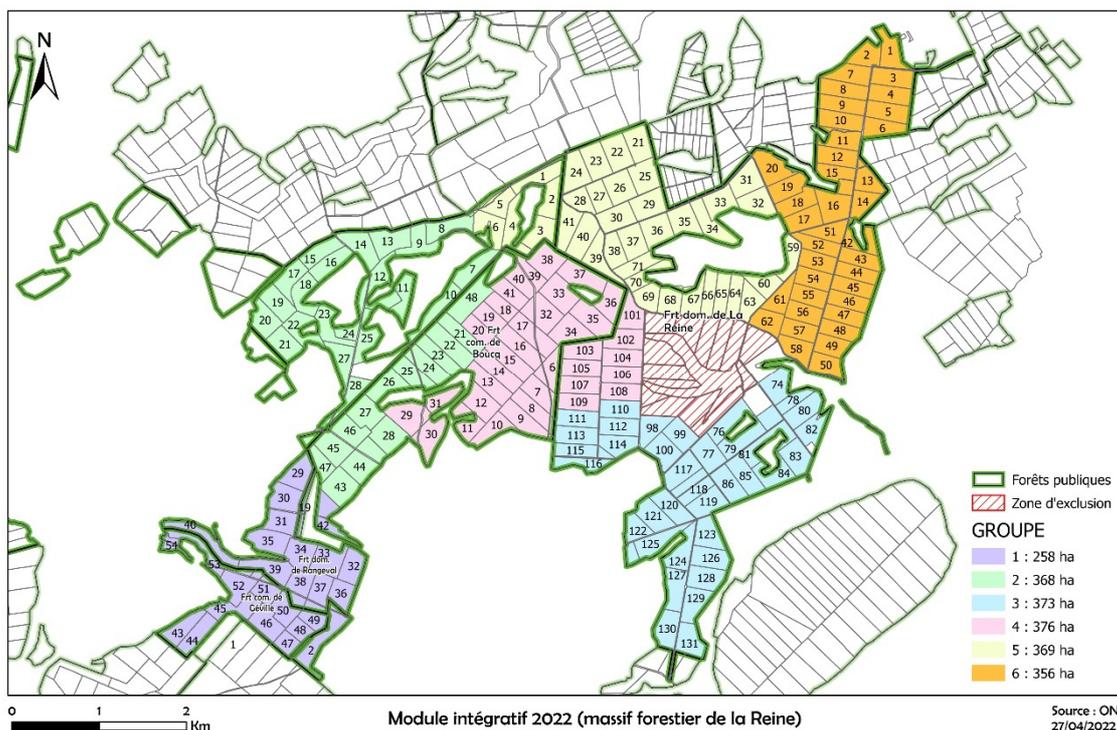


Figure 2 | Parcellaire du massif de la Reine et des quatre forêts associées. La couleur indique les six zones affectées aux six groupes d'étudiants (quatre étudiants par groupe et un encadrant) pour l'échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).

La forêt est une forêt de production ligneuse (objectif Chênes, pédonculé essentiellement) avec également des fonctions écologique et sociale majeures. Au niveau écologique, le massif est reconnu comme emblématique dans le PNR de Lorraine avec une biodiversité importante avec des espèces patrimoniales (oiseaux, mammifères, batraciens, etc.) (Girault, 1981). Au niveau social, le massif est très fréquenté par le public (promeneurs, naturalistes, etc.). Il est chassé (deux lots dans la FD de la Reine). Il y a de nombreux étangs privés et un étang dont l'état est propriétaire (étang de Véry) qui sont pêchés.



Chênaie pédonculée (aulnaie) de bord d'étang- FD Reine - © F. Lebourgeois – 2023

2. Analyse du contexte écologique

2.1. Mésoclimat et changements déjà observés

Les données utilisées sont celles de la station de référence de Météo-France de Nancy-Tomblaine située à environ 40 km du massif de la Reine. La station météo-France de Toul éclose est plus proche du massif (environ 10 km) mais ne dispose que de données de précipitation incomplètes et s'arrêtant en 2005. En se référant aux données de Nancy, le mésoclimat est un climat lorrain de type semi-continentale, sous influence océanique. Sur les 60 dernières années, les précipitations annuelles n'ont pas évolué (moyenne autour de 750 mm) mais les variations interannuelles peuvent être néanmoins très importantes (500 à 1000 mm) (Figure 3). Le rapport du total des pluies estivales sur le total des pluies annuelles n'a également pas varié avec une valeur moyenne de 27 ($\pm 8\%$) (environ 200 mm pour les mois de juin à août). En revanche, depuis 1950, la température moyenne annuelle a fortement augmenté. Elle est passée d'en moyenne 9,6 °C avant 1985 à 11,3 °C sur la période 2010-2020 soit une augmentation de 1,7 °C (Figure 3). La tendance est marquée pour tous les mois avec des hivers de moins en moins froids et des étés de plus en plus chauds (Tableau 1 et Figure 4).

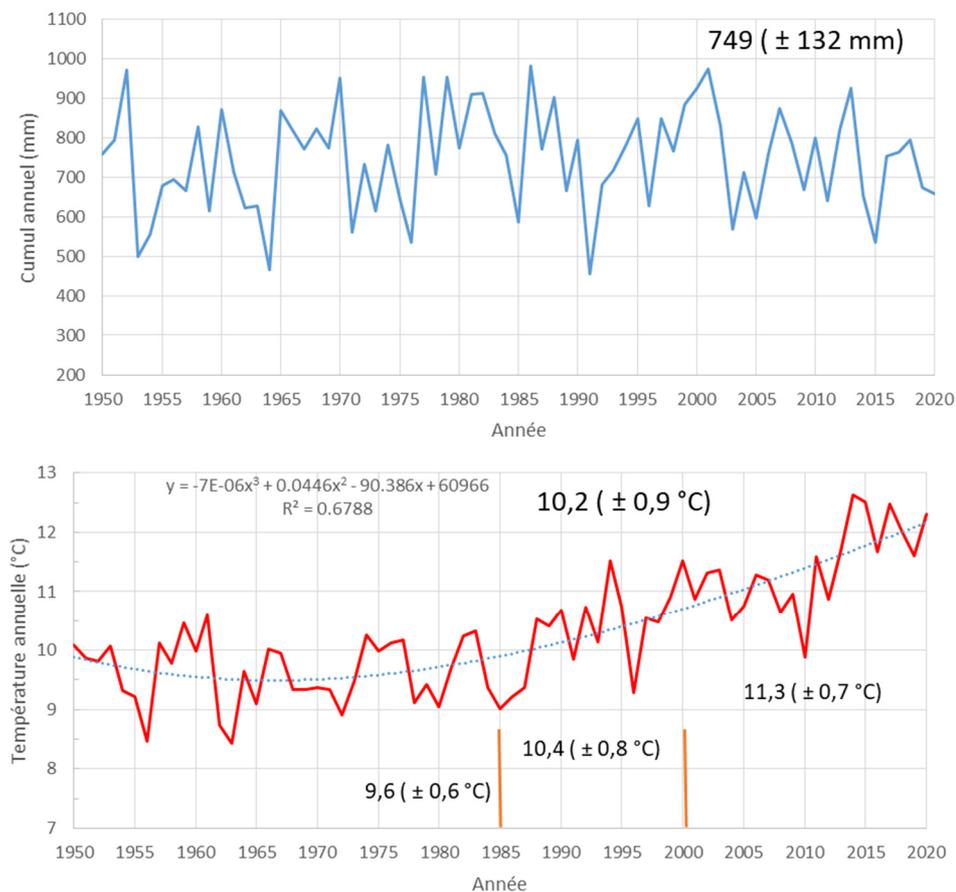


Figure 3 | Évolutions des précipitations et températures annuelles sur la période 1950-2020 pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à environ 40 km du massif de la Reine).

Tableau 1 | Températures moyennes (et écarts-types) mensuelles sur les périodes 1950-1985 (période de référence) et 2000-2020.

Pér.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1950-1985	0,9 (2,3)	2,6 (3)	5,7 (1,8)	8,9 (1,3)	12,7 (1,2)	16,2 (1,2)	18,2 (1,6)	17,6 (1,1)	15 (1,3)	10,2 (1,3)	5,3 (1,5)	2,2 (2,1)
2000-2020	2,5 (2)	3,8 (2,3)	7 (1,2)	10,3 (1,3)	14,5 (1,3)	18,2 (1,3)	19,9 (1,7)	19,5 (1,6)	15,6 (1,6)	11,6 (1,7)	6,9 (1,4)	3,4 (2,1)

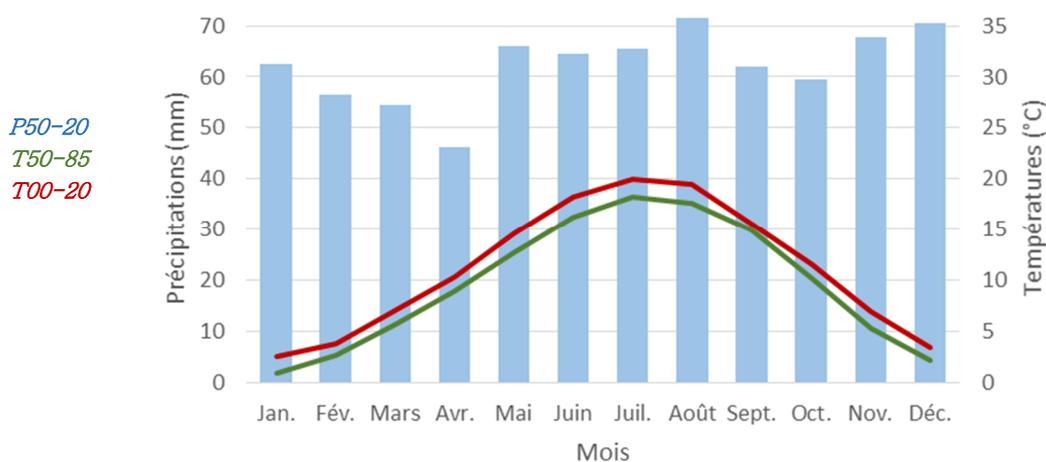


Figure 4 | Diagramme ombrothermique pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à environ 40 km du massif). Histogrammes, P50-20 = précipitations moyennes (en mm) sur la période 1950-2020 ; En vert, T50-85 et en rouge T00-20= températures moyennes (°C) sur la période 1950-1985 et 2000-2020.

Les calculs des bilans hydriques climatiques ($P-ETP_{Turc}$) (Lebourgeois & Piedallu, 2005) et édaphiques (Lebourgeois, Gomez, Pinto, & Mérian, 2013; Thornthwaite & Mather, 1955) confirment une augmentation des contraintes hydriques estivales pour les peuplements forestiers au cours du temps. Pour les deux indicateurs de sécheresse considérés, la sécheresse a commencé à augmenter au début des années 1990. **En considérant la période avant 1990 comme référence, on observe que la sécheresse estivale (juin à août) a augmenté d'environ 25 % depuis 30 ans** : -150 mm actuellement en moyenne contre -120 mm avant 1990 pour le bilan hydrique climatique ($P-ETP_{Turc}$) et un déficit d'évaporation (DE) de 100 mm en moyenne aujourd'hui contre 75 mm avant 1990 (Figure 5).



Zone humide forestière – FD Reine - © F. Lebourgeois – 2023

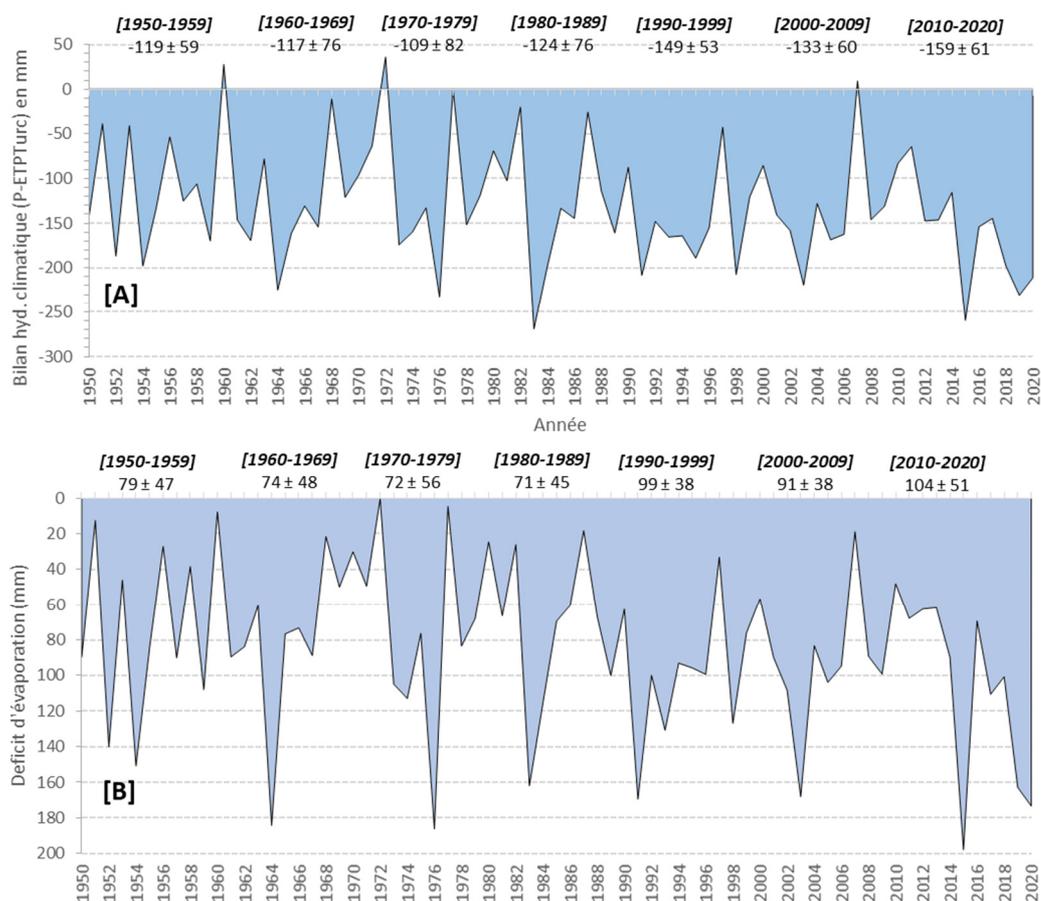


Figure 5 | Évolution du bilan hydrique climatique ($P-ETP_{Turc}$) [A] et du déficit d'évaporation ($ETR-ETP$) [B] sur la période 1950 à 2020. L'évapotranspiration potentielle a été calculée avec la formule de Turc. Le déficit d'évaporation a été calculé à partir du modèle de bilan hydrique de Thornthwaite et Mather (1955). Pour le calcul, une réserve utile du sol de 120 mm (sur 70-80 cm) a été considérée. Les données en gras correspondent aux moyennes et écarts-types pour chaque période de 10 ans.

Si on analyse la répartition des 10 années les plus sèches depuis 71 ans, (classées de 1 à 10 selon le niveau de déficit d'évaporation estival), on constate une augmentation de fréquence de ces années sur la période récente :

- [1950-1959] : 2 années : 1952 (rang 10) et 1954 (rang 9)
- [1960-1969] : 1 année : 1964 (rang 3)
- [1970-1979] : 1 année : 1976 (rang 2)
- [1980-1989] : 1 année : 1986 (rang 8)
- [1990-1999] : 1 année : 1991 (rang 5)
- [2000-2009] : 1 année : 2003 (rang 6)
- [2010-2020] : 3 années : 2015 (rang 1), 2019 (rang 7), 2020 (rang 4)

Ces dysfonctionnements liés au changement climatique se traduisent par des stress hydriques qui peuvent occasionner des dégâts importants dans les peuplements voire se traduire par des mortalités accrues (souvent en association avec des attaques de parasites). L'évolution incertaine de ces phénomènes de mortalité constitue une contrainte lourde de gestion des massifs forestiers dans la Plaine lorraine dans les années à venir.

2.2. Contexte géologique

Le massif de la Reine est en très grande majorité développé sur les Argiles de la Woèvre qui sont des formations secondaires de la période géologique du Jurassique essentiellement Supérieur des étages « *Callovien* » et « *Oxfordien* » inférieurs autour de – 150 millions d’années (Figure 6). Quelques zones sont recouvertes de Limons des plateaux. Les forêts domaniale de Rangeval et communale de Géville sont en revanche développées sur des calcaires à polypiers. Au vue des substrats géologiques, ce massif est donc essentiellement rattaché à la région naturelle de la Plaine lorraine (Madesclaire, Gaudin, Jabiol, & Lebourgeois, 2016)

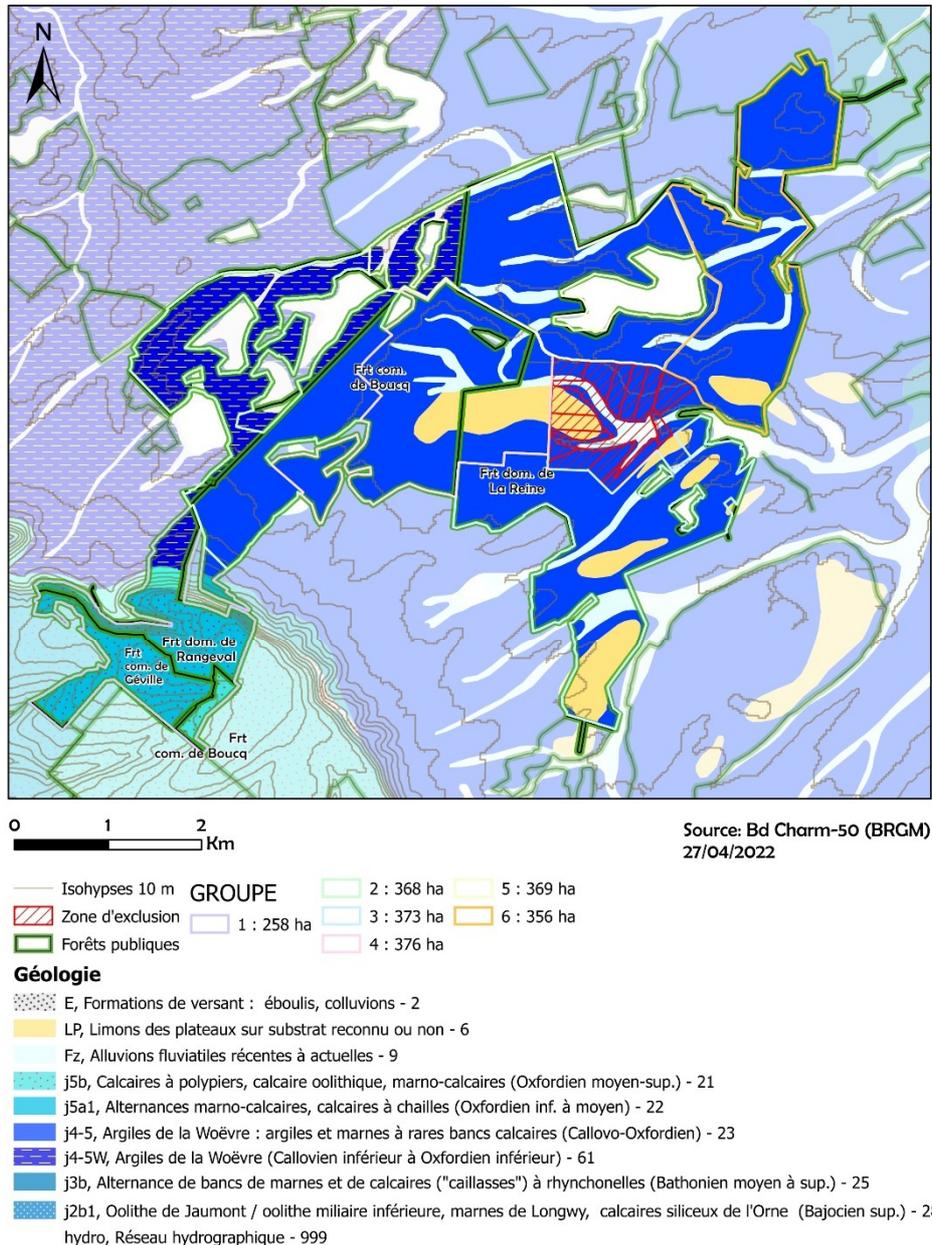


Figure 6 | Carte géologique du massif forestier de la Reine. Les zones entourées indiquent les six zones affectées aux six groupes d’étudiants (quatre étudiants par groupe) pour l’échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).

D'une façon générale, ces Argiles de la Woèvre forment le sous-sol de la Plaine de la Woèvre, entre Côte de Meuse à l'ouest et Côte de Moselle à l'est. L'altération est faible et le relief est très peu marqué se traduisant par des stagnations d'eau plus ou moins importantes et longues sur l'ensemble du massif (nombreux ruisseaux, étangs, etc.).

Ces différents matériaux parentaux et les sols développés sur ces derniers vont déterminer les différentes stations forestières associées au contexte de la Plaine lorraine (Madesclaire et al., 2016) (https://grandest.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/plainelorraine_1.pdf). Dans ce contexte géologique, les sols sont généralement riches (voire très riches) chimiquement avec des textures associant limons et argile. Le niveau de fertilité chimique n'est donc pas une contrainte majeure pour l'installation et la croissance des espèces forestières. Dans ces conditions, les contraintes stationnelles sont liées à la présence ou non d'un plancher argileux, aux variations de sa profondeur et de l'engorgement hivernal (intensité et durée) : sols à engorgement temporaire. Sur ces sols, les sécheresses estivales peuvent être importantes en raison de la difficulté, pour certaines espèces, d'installer un système racinaire profond permettant l'alimentation hydrique en été. Des problèmes de régénération des espèces forestières sont également souvent observés. Les stations forestières sont déterminées par rapport au catalogue de la Plaine lorraine (Madesclaire et al., 2016) selon différents critères : texture de surface, profondeur d'un plancher, profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (et intensité) (Figure 7). Pour les forêts de Rangeval et Géville, le contexte géologique est très différent avec des sols issus de roches carbonatés — sols carbonatés ou non avec une charge en éléments grossiers calcaires plus ou moins fortes. Dans ces contextes, le catalogue renvoie alors au catalogue des stations « Plateaux calcaires du nord-est » (SER C20) (https://grandest.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/calclim_1_1.pdf).

Station	V1	V2	V3	V4	AH	A	LH1	L1	LH2	Lh3	L3	S1	SH	S2	
Fréquence	Rare	Peu fréquent	Peu fréquent	Fréquent	Peu fréquent	Peu fréquent	Peu fréquent	Peu fréquent							
Fertilité	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Elevée	Elevée	Moyenne	Faible	Faible
Contrainte engorg.	Eng. perm.	Eng. perm.	Forte	Forte	Forte	Null	Forte	Null	Forte	Moyen	Faible	Null	Null	Forte	Null
Contrainte sécheresse	Null	Null	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte
Sensibilité tassement	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Faible	Forte	Faible	Moyenne	Forte	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne
Sensibilité aux CC	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Faible	Faible	Forte	Forte	Forte
Alisier torminal	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT
Auline glutineux	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL
Bouleau pubescent	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL
Charme	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA
Chêne pédonculé	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP
Chêne rouge	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR
Chêne sessile	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
Cormier	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR
Erable champêtre	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC
Erable plane	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP
Erable sycomore	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS
Frêne	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE
Hêtre	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET
Merisier	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER
Ormes	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM
Peupliers cul.	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP
Tilleul à petites feuilles	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF
Tremble	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE
Douglas	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU
Epicéa	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC
Mélèze	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL
Pin laricio de Calabre	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca
Pin laricio de Corse	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco
Pin sylvestre	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS

	Essence principale structurant le peuplement
	Essence secondaire ou d'accompagnement
	Essence possible (mais croissance non optimale)
	Essence non adaptée, déconseillée (habitat...)

Caractéristiques des stations de la Plaine lorraine et Choix des essences

Modifié d'après Madesclaire et al. 2016 Lebourgeois François, Mars 2021

Pour les stations présentant les engorgements les plus forts (LH1, LH2 et SH), la dynamique des essences va dépendre fortement des variations stationnelles à l'échelle locale. Un plancher plus profond, une pente plus forte... peuvent modifier les contraintes et se traduire par des dynamiques différentes (différences chênes pédonculé et sessile pour les phases d'installation, présence du frêne, du hêtre...). Pour ces stations en particulier, la compétition par la végétation herbacée peut être également un facteur très important (molinie, carex...). Pour les stations à dominante sableuse, l'augmentation de la proportion de limon ou d'argile peut également moduler la dynamique des arbres ainsi que les expositions "chaudes" ou "fraîches".

Figure 7 | Tableau de synthèse des stations forestières et de leurs caractéristiques avec synthèse du choix des essences (modifié d'après Madesclaire et al. 2016).

3. Description des peuplements pour la forêt domaniale de la Reine lors de l'aménagement 2013-2032

Selon les données de l'aménagement de 2013-2032 pour la forêt domaniale de la Reine (ONF, 2012), les peuplements se présentent sous quatre faciès principaux (données de 2012). Les jeunes peuplements issus de régénération naturelle de Chêne pédonculé complétée par des plantations de Chêne sessile représentent environ 23 % de la surface (environ 283 ha). Les jeunes futaies régulières (30 à 60 ans) de Chênes (essentiellement pédonculé) et autres feuillus sortant de la phase de qualification et en croissance active représentent environ 10 % (environ 124 ha). Les peuplements adultes en maturation ou mûrs issus des anciens TSF de Chêne pédonculé (semenciers souvent rares et affaiblis) et Charme (souvent vigoureux) en conversion représentent 65 % des peuplements (environ 820 ha). Dans ces peuplements, les bois moyens, gros bois et très gros bois de Chênes sont dominants avec un accompagnement de Charme (de petits bois à gros bois) pour des structures souvent irrégulières. Les autres peuplements sont des peuplements mélangés dans des parcelles pauvres qui ont été enrichies par plantation de différents résineux. Certaines parcelles de Chêne pédonculé sont classées matériel forestier de reproduction (classement « Graines de catégorie sélectionnée Plateaux du Nord-Est » étiquette verte « QRO 201 »).

4. Inventaires dendrométriques et floristiques

L'objectif du module intégratif destiné aux étudiants de fin de première année d'AgroParisTech est d'analyser la biodiversité végétale et les peuplements sur un massif forestier et de relier cette biodiversité aux structures forestières et aux différents facteurs écologiques caractérisant les milieux naturels rencontrés (type de stations forestières, dendromicrohabitats, etc.).

Lors de ce module, trois approches ont été utilisées pour analyser la biodiversité. L'approche phytoécologique consiste à caractériser le contexte topoclimatique (altitude, pente, exposition, etc.), à réaliser des inventaires botaniques complets (sur 400 m²), une description pédologique et à déterminer les stations forestières ; la station forestière étant une surface homogène dans ses conditions écologiques (climat, topographie, sol, végétation) sur laquelle on peut caractériser le comportement des essences forestières (régénération et croissance) et recommander des types de gestion. Les inventaires dendrométriques permettent de caractériser la composition en essences du peuplement, sa structure (répartition des catégories des diamètres) et son capital (la quantité de m² de bois sur un hectare). Enfin, des relevés de bois mort et de dendromicrohabitats sont également effectués pour compléter les indices de biodiversité floristique. Pour une explication détaillée du protocole, voir (Lebourgeois, 2021).

Sur chaque placette installée en contexte forestier (zones ouvertes exclues ainsi que les jeunes peuplements à faible recouvrement ou non précomptables) et caractérisée par ses conditions topographiques, un relevé floristique complet sur 400 m² est effectué (20 x 20 m). Chaque espèce est notée avec son coefficient d'abondance-dominance (+ à 5) ainsi que le recouvrement des différentes strates (arbre, arbuste, herbacée et mousse).



© Lebourgeois F. (2021)

L'analyse pédologique permet de caractériser le sol (humus, texture des horizons de surface, plancher argileux, taches d'hydromorphie...) et, avec l'analyse floristique, d'attribuer une station forestière selon le catalogue « Plaine lorraine » (Madesclaire et al., 2016) :

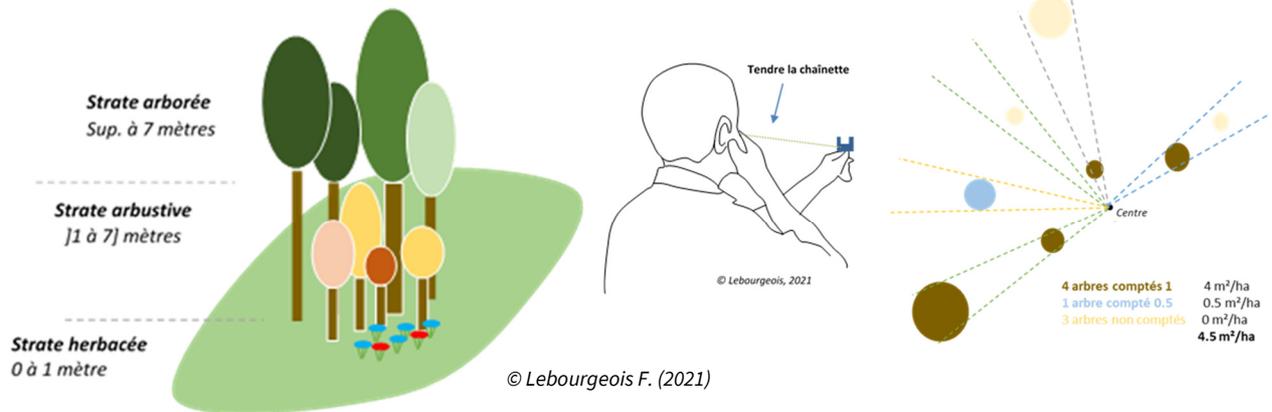


- A. 4 stations de vallons, (V1 à V4)
- B. 2 stations sur argile (AH et A)
- C. 6 stations sur limon (non hydromorphes – L1 et L3 ; faiblement hydromorphes, Lh2 et Lh3 – très hydromorphes, LH1 et LH2)
- D. 3 stations sur sable (non hydromorphes – S1 et S2 ; hydromorphe – SH)



© Lebourgeois F. (2021)

Un inventaire relascopique est également effectué (composition-structure-capital) et le type de peuplement est défini selon la typologie des peuplements « Plaine lorraine ».



Enfin, des inventaires des dendromicrohabitats (sur les 3 plus gros arbres de l'inventaire relascopique), du bois mort au sol (protocole standardisé de suivi des espaces naturels protégés, données exprimées en m³ par ha) et sur pied (nombre sur les 400 m² du relevé) sont réalisés. Pour les DMH, sont notés les cavités haute et basse, l'altération des écorces, la présence de gros lierre et la présence de champignons.



© Lebourgeois F. (2021)



Anémone des bois © F. Lebourgeois 2021

5. Résultats

5.1. Effectif des placettes

Lors de la phase de terrain (troisième semaine de juin 2022), 112 relevés ont été réalisés au cœur du massif de la Reine (FC de Boucq et FD de la Reine, 94 placettes) et dans la FD de Rangeval (18 placettes). **Dans ce rapport, seuls les 94 relevés correspondant à la Plaine lorraine seront analysés en détail** en raison du nombre trop faible de placettes échantillonnées en contexte calcaire. Pour ces 94 relevés, la surface totale prospectable représentant 1842 ha, le taux d'échantillonnage a donc été d'une placette pour 20 ha environ.

5.2. Diversité floristique globale

Au total, 169 espèces différentes ont été inventoriées sur les 94 placettes (surface unitaire de 400 m²). Sur ces 169 espèces, 21 espèces sont présentes dans au moins 50 % des relevés et 7 dans plus de 75 % (Figure 8). À l'opposé, 82 espèces sont présentes dans moins de 5 % des relevés.

Les espèces herbacées les plus fréquentes (présence dans plus de 50 % des relevés) sont des espèces très classiques de la Plaine lorraine avec le carex des bois, la canche cespiteuse, le millet diffus, le lierre, le fraisier sauvage, l'anémone des bois, le brachypode des bois, le bugle rampant (n=8 espèces) (Figure 8). Concernant les espèces arborées (considérées aussi bien au stade herbacé qu'arboré), le Charme apparaît dans tous les relevés suivis du Chêne pédonculé, du Frêne commun, de l'Érable champêtre, du Hêtre, du Noisetier et de l'Alisier torminal (n=7 espèces). Pour les espèces arbustives, la ronce est présente dans plus de 90 % des relevés. Le rosier des champs et les aubépines épineuse et monogyne sont les autres arbustes rencontrés les plus fréquemment (n=4 espèces) (Figure 8). La fougère mâle et l'hypne en courroie complètent la liste des espèces les plus fréquentes de la forêt.

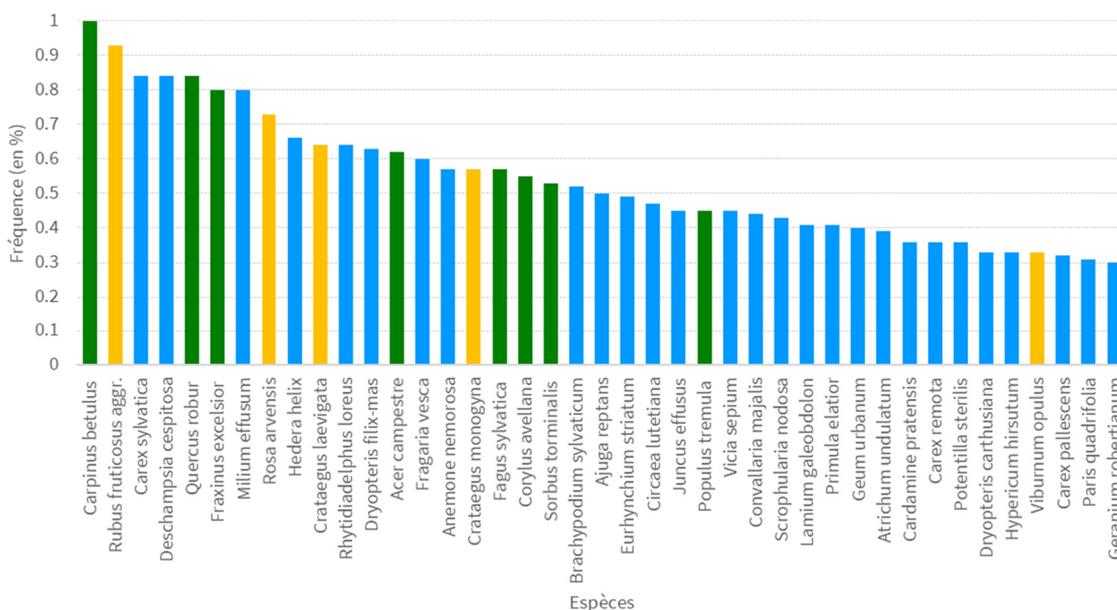


Figure 8 | Espèces végétales classées par ordre décroissant de leur fréquence dans les relevés floristiques (n=94 relevés de 400 m²). Seules les 41 espèces (parmi les 169 au total) présentes dans au moins 30 % des relevés sont présentées. Les espèces arborées sont signalées par un histogramme vert et arbustives par un histogramme jaune.

5.3. Diversité α

La diversité α correspond au nombre moyen d'espèces par relevé floristique. En moyenne, la diversité a été de $30,2 \pm 8,1$ espèces avec une amplitude de 12 à 53 espèces. 23 % des relevés contiennent moins de 25 espèces (moy. $19,4 \pm 3,2$ espèces) et 26 % plus de 35 (moy. $40 \pm 3,8$ espèces) (Figure 9). Les relevés « riches » avec au moins 40 espèces représentent 14 % des cas (moy. $42,4 \pm 3,6$ espèces).

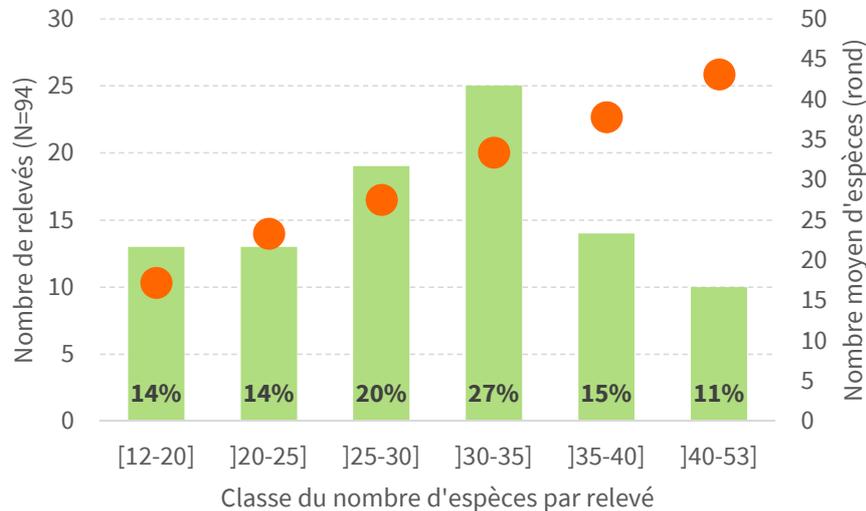


Figure 9 | Nombre de relevés par classe du nombre d'espèces par relevé (N=94 placettes au total et 169 espèces différentes). Le nombre moyen d'espèces par classe est également donné (ronds orange).

Par rapport aux 10 autres modules intégratifs menés entre 2011 et 2021 selon les mêmes protocoles et pendant les mêmes périodes (relevés toujours effectués à la mi-juin), la diversité α dans le massif de la Reine apparaît dans la moyenne des autres projets (environ 30 espèces par relevé) mais avec un nombre total d'espèces différentes plutôt faible (169 espèces) (Tableau 2). Les données du massif sont cependant cohérentes avec les autres projets menés dans le Grand Est également en Plaine lorraine (Romesberg, Bezange-la-Grande et Brin).

5.4. Diversité β

La diversité β correspond à la similitude entre les différents relevés c'est-à-dire la ressemblance de la composition floristique des relevés (Jaccard, 1901). Il prend en compte le nombre d'espèces communes par rapport au nombre d'espèces total observées. Plus la valeur est élevée (0 à 100 %) et plus les relevés sont homogènes. Pour le massif de la Reine, la similitude a été de 47 ± 5 % (30 à 56 %). Aucun relevé n'a présenté une similitude très faible de moins de 20 % traduisant une relative homogénéité de la forêt quant à sa composition floristique. Il est à noter que la similitude moyenne est comparable à celles observées pour les autres projets menés en Plaine lorraine (47 à 49 %) et supérieure aux observations faites dans des contextes calcaires (36 à 46 %) (Tableau 2).

Tableau 2 | Synthèse des diversités α et β observées lors de 10 projets précédents menés dans différentes régions françaises avec les mêmes protocoles de relevés et pendant la même période (phase de terrain à la mi-juin dans tous les cas). La diversité α est le nombre d'espèces par relevé et la diversité β représente la similitude de la composition floristique entre tous les relevés (valeurs comprises entre 0 - aucune similitude - et 1 - tous les relevés ont la même composition). NbR = Nombre total de placettes réalisées (une placette : 400 m² en contexte forestier fermé). NbE = Nombre total d'espèces végétales relevées.

Année	Projet	Contexte	Région	Matériau	NbR	NbE	Diversité alpha	Diversité beta
2011	Romesberg	Nord-Est	Plaine lorraine	Limon et Marnes	58	174	27 (9) (11 à 51)	0,48 (0,07) (0,13 à 0,56)
2012	Val Suzon	Nord-Est	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	82	252	33 (10) (7 à 52)	0,44 (0,08) (0,18 à 0,56)
2013	Val Suzon	Nord-Est	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	90	264	33 (11) (9 à 74)	0,41 (0,08) (0,07 à 0,55)
2014	Bezange-la-Grande	Nord-Est	Plaine lorraine	Limons, Argiles, Marne et Grès	87	178	32 (9) (9 à 61)	0,48 (0,06) (0,24 à 0,56)
2015	Chartreuse	Alpes	Alpes calcaires	Calcaires et argiles	74	262	35 (13) (6 à 62)	0,36 (0,051) (0,22 à 0,46)
2016	Auberive	Haute-Marne	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	109	230	31 (10) (11 à 57)	0,41 (0,06) (0,24 à 0,52)
2017	Auberive	Haute-Marne	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	107	208	31 (10) (11 à 60)	0,46 (0,06) (0,23 à 0,56)
2018	Bezange-la-Grande	Nord-Est	Plaine lorraine	Limons, Argiles, Marne et Grès	116	171	30 (8) (12 à 56)	0,49 (0,05) (0,31 à 0,58)
2019	Compiègne	Nord	Haut de France - Soissonnais	Sables, calcaires, argiles	118	259	27 (12) (9 à 70)	0,32 (0,06) (0,17 à 0,42)
2021	Brin	Nord-Est	Plaine Lorraine	Limon, Marnes, Calcaires	95	158	23 (8) (3-45)	0,47 (0,07) (0,08 à 0,57)

5.5. Flore rare et espèces protégées

La Lorraine compte 165 espèces protégées au niveau régional. Pour les 94 relevés effectués en contexte forestier à la mi-juin (hors zones ouvertes ou zones humides), aucune espèce protégée n'a été inventoriée.

5.6. Caractéristiques de la flore observée

a. Familles et types biologiques

54 familles différentes ont été observées dans les 94 relevés. Les familles les plus représentées en nombre d'espèces sont les Poacées (19), les Rosacées (17), les Cypéracées (8), les Juncacées (7), les Lamiacées (6) et les Liliacées (5). Ces 6 familles représentent 37 % des espèces. Si on considère les occurrences [une occurrence étant un coefficient d'abondance-dominance (de + à 5) mis pour chaque espèce (et strate pour les arbres et arbustes) présente dans chacun des 94 relevés (n= 2844 coefficients pour les 94 relevés)], les 8 familles présentant plus de 100 occurrences sont : les Rosacées (519 pour 17 espèces), les Poacées (295 - 19), les Cypéracées (165 - 8), les Bétulacées (155 - 3), les Fagacées (148 - 4), les Lamiacées (141 - 6), les Polypodiacées (106 - 4) et les Liliacées (101 - 5). À l'opposé, 10 familles ont présenté moins de 5 occurrences et 16 moins de 10.

Concernant les types biologiques, les hémicryptophytes (herbacées pérennes à bourgeons hivernaux à la surface du sol) représentent 53 % des espèces suivies par les phanérophytes (arbres, 15 %) et les chaméphytes (arbustes ou espèces herbacées à souche ligneuse, 12 %). Les herbacées pérennes à bulbe, rhizome ou tubercule (géophytes) représentent 8 % tandis que les mousses et les thérophytes (herbacées annuelles et lianes) représentent respectivement 7 % et 6 % (Figure 10).

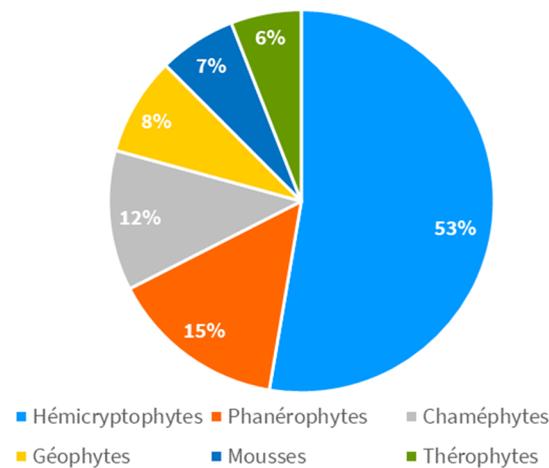


Figure 10 | Fréquences des différents types biologiques observés sur les 94 relevés (169 espèces différentes).

b. Groupes écologiques

Selon la nomenclature des groupes écologiques de la flore forestière française, les espèces des milieux riches et frais (espèces neutroclines et -philes hygroclicines) sont majoritaires et représentent 42 % des espèces inventoriées (Figure 11). Les espèces des milieux humides à très humides (mésohygrophiles et hygrophiles) représentent 17 % des espèces. On retrouve également des espèces acidoclines (environ 10 %), des espèces à large amplitude (environ 7 %) et des espèces des milieux riches en calcium ou en carbonates de calcium (environ 11 %). *In fine*, les espèces inventoriées reflètent bien les matériaux parentaux présents sur la forêt et témoignent de sols riches chimiquement bien alimentés en eau voire inondés ; contexte écologique (très) favorable à la croissance des espèces arborées (notamment du Chêne pédonculé) et à la production de bois. Les excès d'eau peuvent cependant limiter la croissance de certaines espèces et fortement freiner la régénération et la germination des semis.

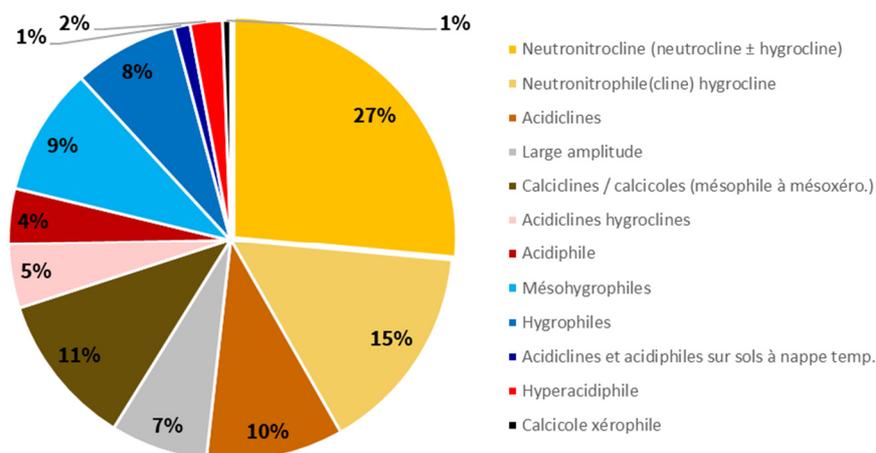


Figure 11 | Fréquences des différents groupes écologiques selon la nomenclature de la flore forestière française observés sur les 94 relevés (169 espèces différentes).

La prise en compte des valeurs indicatrices d'Ellenberg (Ellenberg, 1988; Ellenberg et al., 1992) modifiées par Julve 2015 apporte des informations supplémentaires sur la flore relevée (Figure 12). Les relevés ayant été effectués en contexte forestier sous un couvert généralement fermé de la strate arborée, il n'est pas surprenant d'avoir une majorité d'espèces végétales d'ombre ou de demi-ombre (environ 60 % des espèces). Concernant le mésoclimat, les espèces correspondent majoritairement à un contexte semi-continental à forte humidité atmosphérique. Les espèces relevées ne présentent pas de caractéristiques marquées vis-à-vis de l'étage de végétation car environ 80 % des espèces peuvent se trouver des étages collinéens à montagnards. On note toutefois des espèces de l'étage collinéen « chaud » (environ 15 %). Concernant les caractéristiques du sol, les indices d'Ellenberger confirment l'importance des espèces des sols riches chimiquement à très bonne disponibilité en azote et en eau. Les indices d'Ellenberg révèlent également un pool d'espèces des sols temporairement engorgés sur des durées plus ou moins longues (environ 18 %) et quelques espèces des engorgements permanents. Enfin, les espèces indiquent majoritairement des sols à textures limoneuse (48 % des cas) et argilo-limoneuse (29 %) (Figure 12).



Primevère élevée - © F. Lebourgeois - 2021

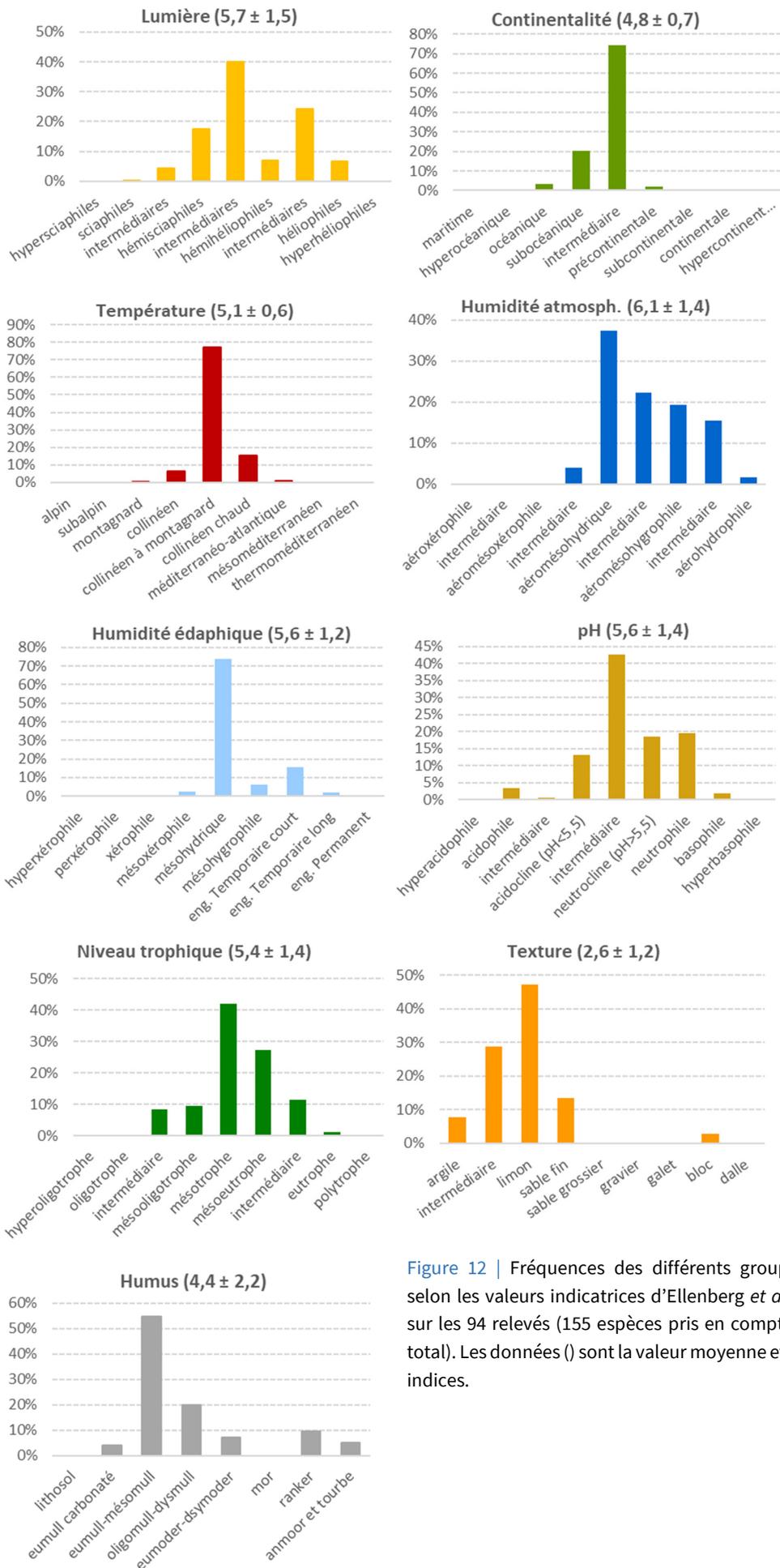


Figure 12 | Fréquences des différents groupes écologiques selon les valeurs indicatrices d'Ellenberg *et al.* 1992 observés sur les 94 relevés (155 espèces pris en compte sur les 169 au total). Les données () sont la valeur moyenne et l'écart-type des indices.

c. Flore des forêts anciennes

Dans les années 2000, un certain nombre de travaux a permis de caractériser la végétation des forêts anciennes (Dupouey, Sciama, Koerner, Dambrine, & Rameau, 2002; Hermy, Honnay, Firbank, Grashof-Bokdam, & Lawesson, 1999; Sciama, Augusto, Dupouey, Gonzalez, & Moares Domínguez, 2009). La définition actuelle dit que « une forêt ancienne est un ensemble boisé n'ayant pas subi de défrichement depuis le minimum forestier, c'est-à-dire dans la première moitié du XIX^e siècle. On considère qu'entre ces deux dates, 1850 et aujourd'hui, il a existé une continuité de l'état boisé, sans changement d'affectation du sol. Au contraire, une forêt récente est une forêt qui est établie sur un sol anciennement dévolu à un autre usage, le plus souvent agricole (culture, prairie...) et qui n'était pas boisé à la date de référence choisie, celle des levés de la carte de l'état-major (soit la moitié du XIX^e siècle) » (<https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique273>).

La Figure 13 ci-dessous montre la présence des forêts à la fois sur la carte de Cassini du XVIII^e siècle et sur la carte d'État-major du XIX^e siècle. Il s'agit donc bien d'une forêt ancienne avec la continuité de l'état boisé depuis au moins 200 ans.

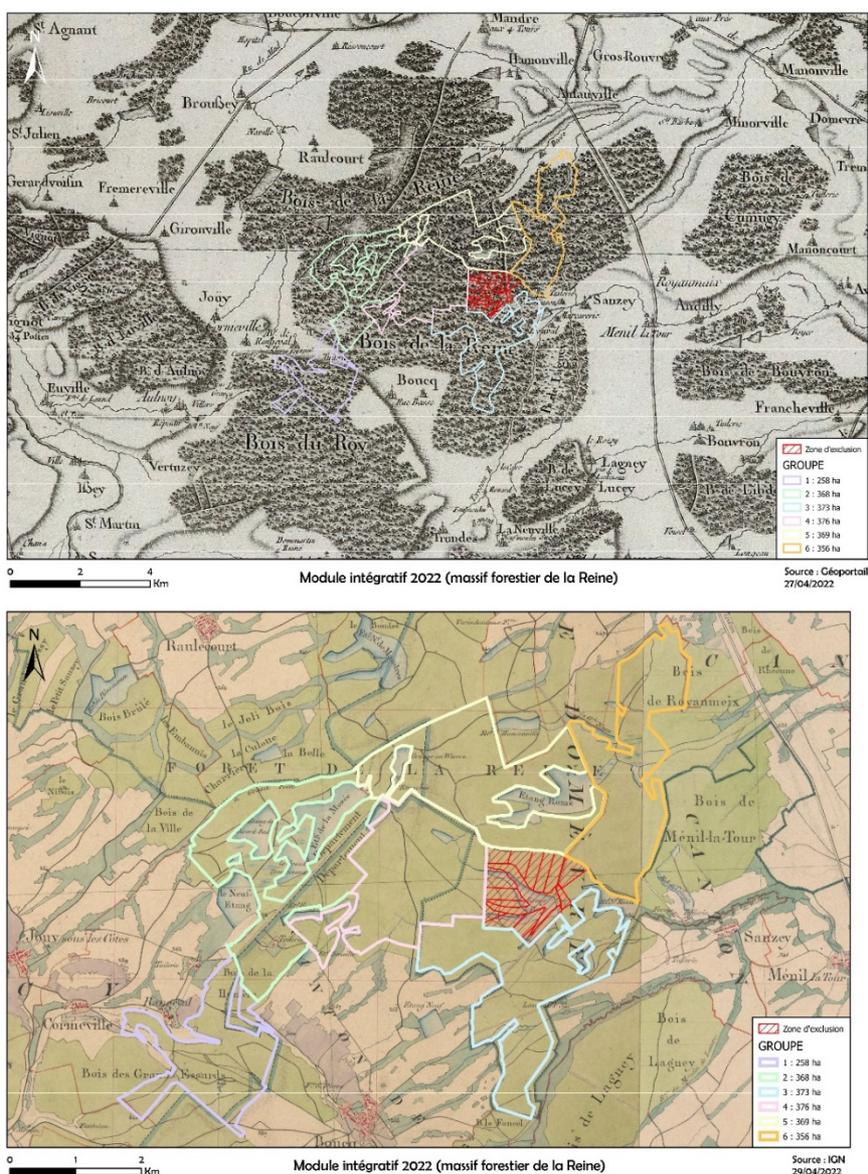


Figure 13 | Présence du massif forestier de la Reine sur la carte de Cassini (en haut) et sur la carte d'État-major (en bas) (Source GéoPortail – 2022 - <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>). Les zones entourées indiquent les six zones affectées aux six groupes d'étudiants (quatre étudiants par groupe) pour l'échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).

Selon la liste de Dupouey et al. (2002), le nombre d'espèces des forêts anciennes est de 49 sur les 169 espèces inventoriées soit 29 %. Par relevé, le % d'espèces des forêts anciennes a été en moyenne de $39 \pm 7 \%$ [17 % à 57 %] (2 à 23 espèces). La flore du massif de la Reine illustre bien l'ancienneté de l'état boisé avec une proportion importante d'espèces de forêts anciennes dans chacun des relevés.

Selon la liste de Dupouey et al. 2002, 10 espèces des forêts anciennes apparaissent dans au moins 50 % des relevés (Figure 14). Il est intéressant de noter que 2 espèces apparaissent dans plus de 80 % des relevés : le carex de bois et le milium diffus.

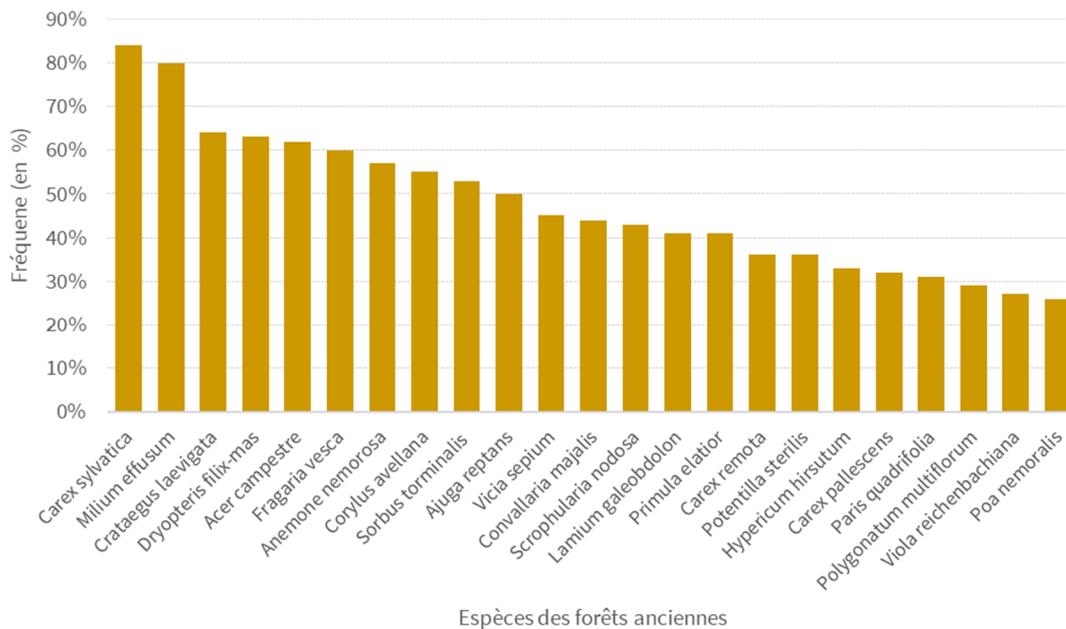


Figure 14 | Fréquences des 23 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=94) selon la liste de Dupouey et al. 2002. Seules les espèces présentes dans au moins 20 % des relevés sont présentées. Le nombre total d'espèces inventoriées est de 169.

Les espèces des forêts anciennes sont des espèces plus sciaphiles que les espèces des forêts récentes (Figure 15). On observe également une variabilité plus faible des groupes écologiques (GE) au sein des espèces des forêts anciennes avec une prépondérance des GE indiquant des bonnes conditions chimiques et hydriques. Ainsi 60 % des espèces de forêts anciennes sont des espèces neutroclines à neutroclines (ou philes) plus ou moins hydroclines. À l'inverse, les espèces des forêts récentes appartiennent à des GE plus variés sans forte dominance d'un GE par rapport à un autre (Figure 16).



Aulnaie marécageuse – FD Reine - © F. Lebourgeois – 2024

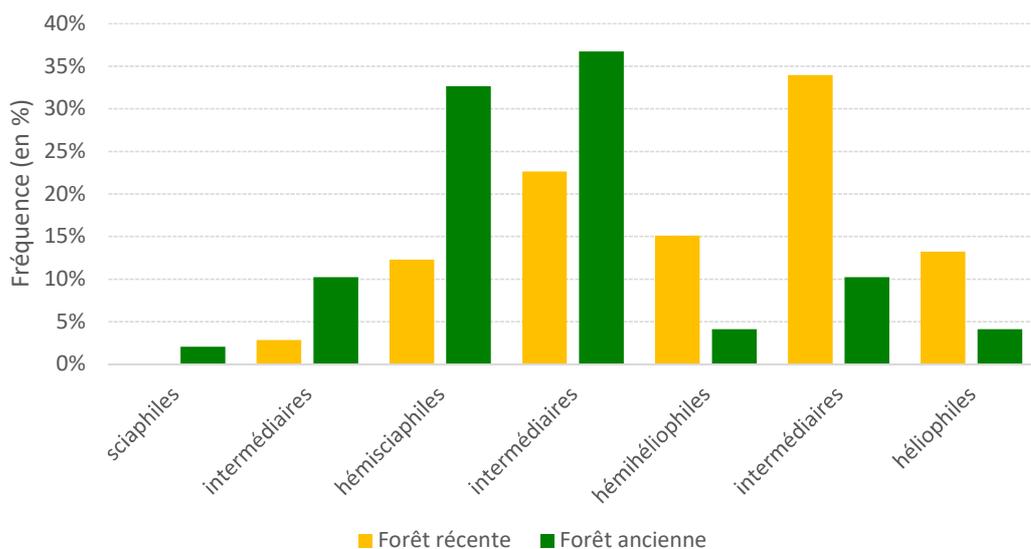


Figure 15 | Fréquences des espèces des forêts récentes (n=106) et anciennes (n=49) (selon la liste de Dupouey et al. 2002) selon leurs valeurs indicatrices « lumière » issues du coefficient d'Ellenberg. La figure illustre clairement le caractère plus sciaphile des espèces des forêts anciennes et plus héliophile pour les forêts récentes.

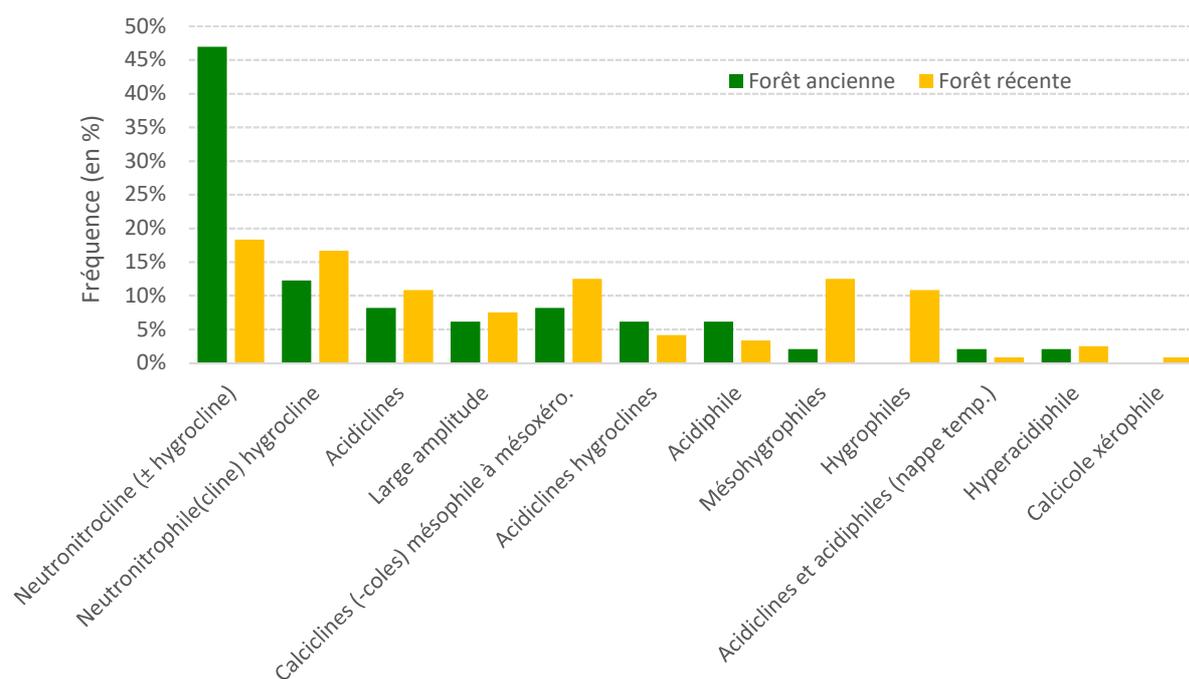


Figure 16 | Fréquences des espèces des forêts récentes (n=120) et anciennes (n=49) (selon la liste de Dupouey et al. 2002) selon leurs groupes écologiques issus de la flore forestière française.

5.7. Les stations forestières

Pour chacune des placettes inventoriées, la détermination des stations a été réalisée à partir du catalogue « les milieux forestiers de la Plaine lorraine » (<https://grandest.cnpf.fr/n/guides-pour-le-choix-des-essences-en-lorraine-alsace/n:2268>) (n=94 placettes) et les Plateaux calcaires du Nord-Est (<https://grandest.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/>) (n=18 placettes). Étant donné la faible fréquence des stations rattachées au catalogue des Plateaux calcaires, l'analyse détaillée s'est focalisée sur le contexte de la Plaine lorraine. Quelques informations seront néanmoins données pour la forêt de Rangeval notamment à travers les différentes cartes.

Pour les 94 relevés de la Plaine lorraine et parmi les 15 stations définies dans le catalogue, 7 ont été trouvées sur la zone étudiée : 5 stations à dominante limoneuse en surface et 2 stations à dominante argileuse. Pour la forêt de Rangeval, 7 stations différentes ont été identifiées pour seulement 18 relevés (Figure 18).

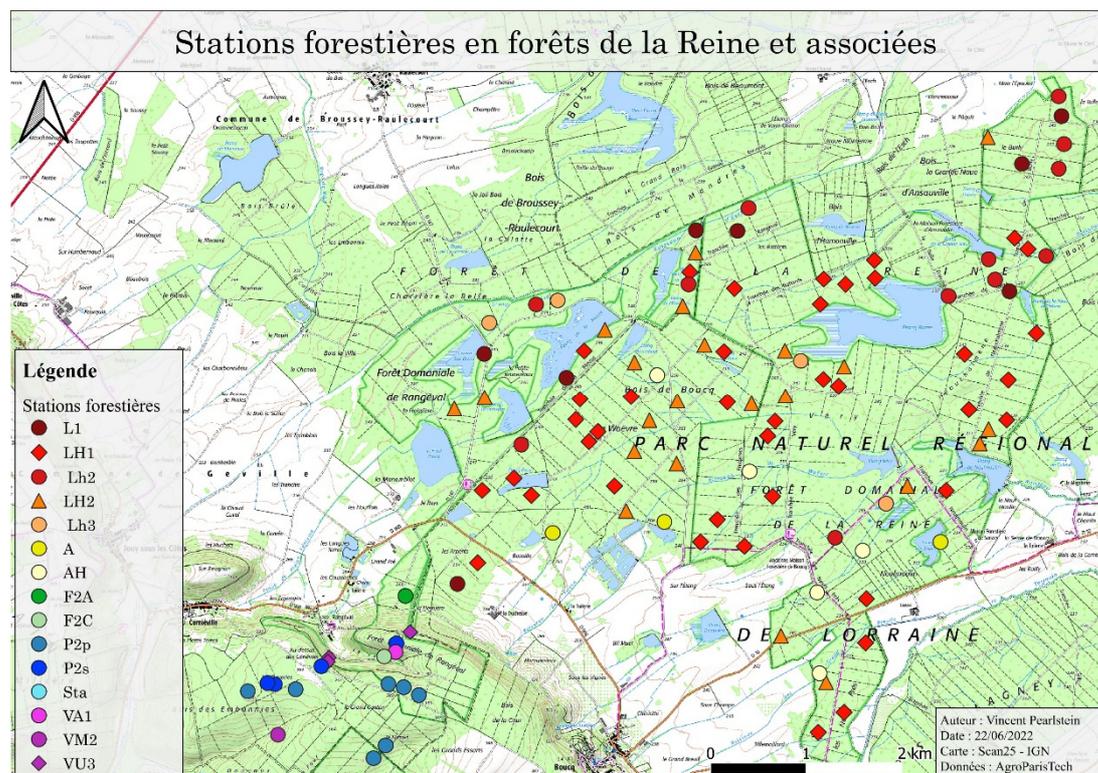


Figure 17 | Carte des stations forestières déterminées dans le massif forestier de la Reine d'après les catalogues Plaine lorraine (n=94 relevés) et les Plateaux calcaires du Nord-Est (n=18 relevés).

Pour la Plaine lorraine, les stations très majoritaires sont les stations LH1 (42 %) et LH2 (23 %) correspondant à des sols à texture dominante limoneuse de surface avec limons peu (LH1) ou moyennement épais (LH2) mais toujours très hydromorphes (Figure 18). Ce sont des stations très contraignantes avec un excès d'eau prolongé en période hivernale et des risques de sécheresse estivale prononcés pour les espèces incapables de s'enraciner profondément dans ces sols. Les stations moins contraignantes c'est-à-dire moins hydromorphes (L1, Lh2) sont moins fréquentes (21 % des cas) et les stations peu contraignantes très rares (Lh3, 4 %). Il est à noter que la station L3 correspondant à la « meilleure » station de zone plane sur plateau n'a pas été rencontrée. Les stations à dominante argileuse dès la surface ont été observées dans seulement 9 % des cas et, là encore, c'est la station AH très hydromorphe qui a été la plus fréquente des stations argileuses (Figure 18). Concernant la diversité floristique des relevés, elle varie assez peu entre les différentes stations. On peut toutefois observer une diversité qui tend à être plus grande sur la station AH et plus faible sur les stations limoneuses très hydromorphes LH1 et LH2 (Figure 18).

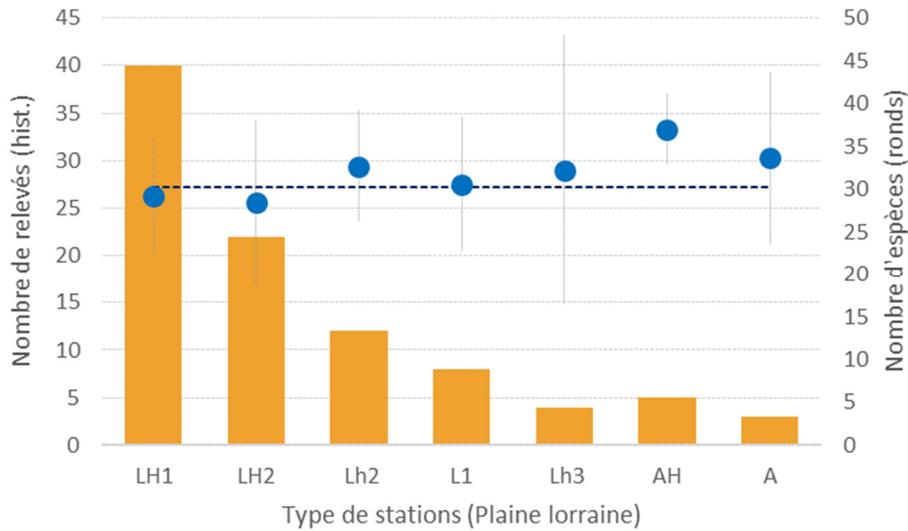


Figure 18 | Effectif des relevés par station et nombre moyen (\pm écart-type) d'espèces inventoriées par station (n=94 relevés). Les stations rattachées aux Plateaux calcaires ne sont pas présentées (n=18 relevés, voir Figure 17). La ligne en pointillé indique la diversité floristique moyenne par relevé (n=94 relevés).

Comme déjà précisé dans la Figure 11, les groupes écologiques (GE) les plus représentés sont les neutronitroclines et les neutronitrophiles mais la fréquence des GE varie légèrement au sein des stations (Figure 19). Pour les groupes précités, leur fréquence tend à augmenter quand l'engorgement est moins prononcé ou que les horizons de surface sont argileux. À l'opposé, les espèces hygrophile et mésohygrophile sont plus fréquentes sur les stations les plus hydromorphes. Pour les espèces acidiclinales, leurs fréquences sont plus élevées en contexte limoneux ce qui est cohérent avec une acidité plus forte des limons par rapport aux argiles (surtout pour les limons des plateaux).

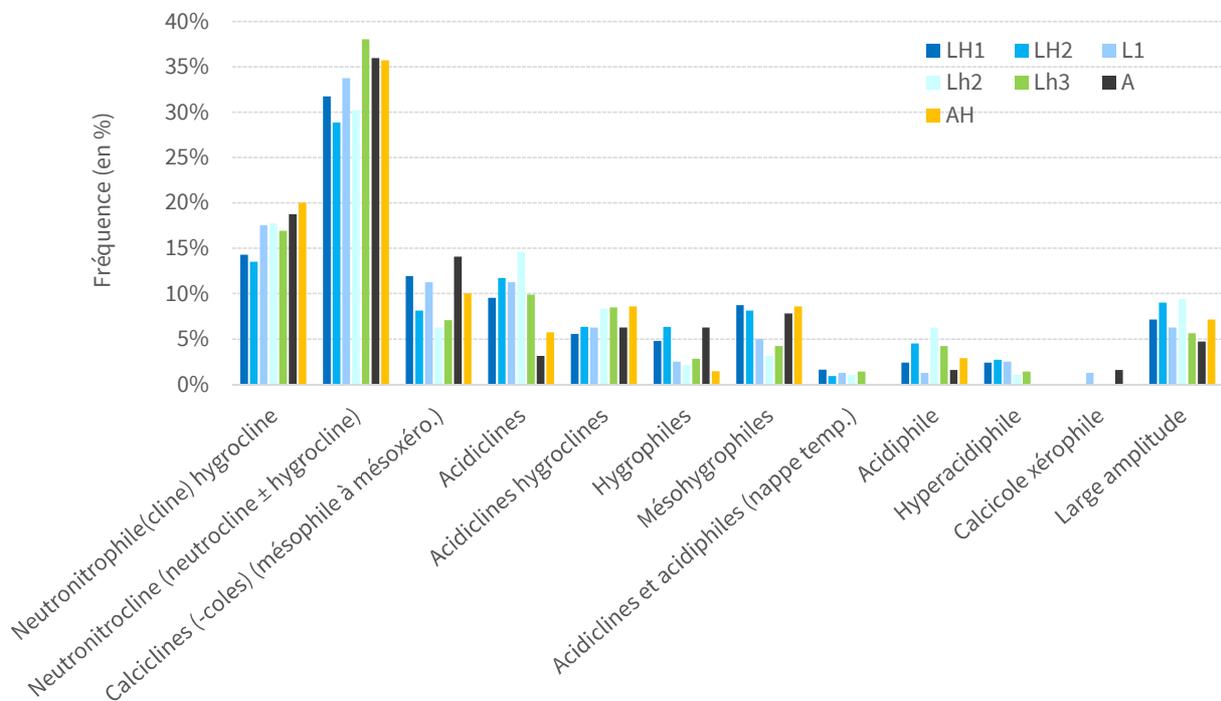


Figure 19 | Fréquences des groupes écologiques selon la flore forestière française par types de station pour la Plaine lorraine. Pour les stations limoneuses, le gradient de bleu à vert indique l'intensité de la contrainte engorgement (plus la couleur est foncée plus l'hydromorphie est importante).

Pour les 94 inventaires relatifs au catalogue Plaine lorraine, toutes les placettes sauf une (une station Lh3 sans tache) ont présenté des taches d'hydromorphie (Figure 21). Sur le massif, la profondeur moyenne d'apparition des taches a été de $15,3 \pm 12$ cm mais varie fortement selon les stations (Figure 21).

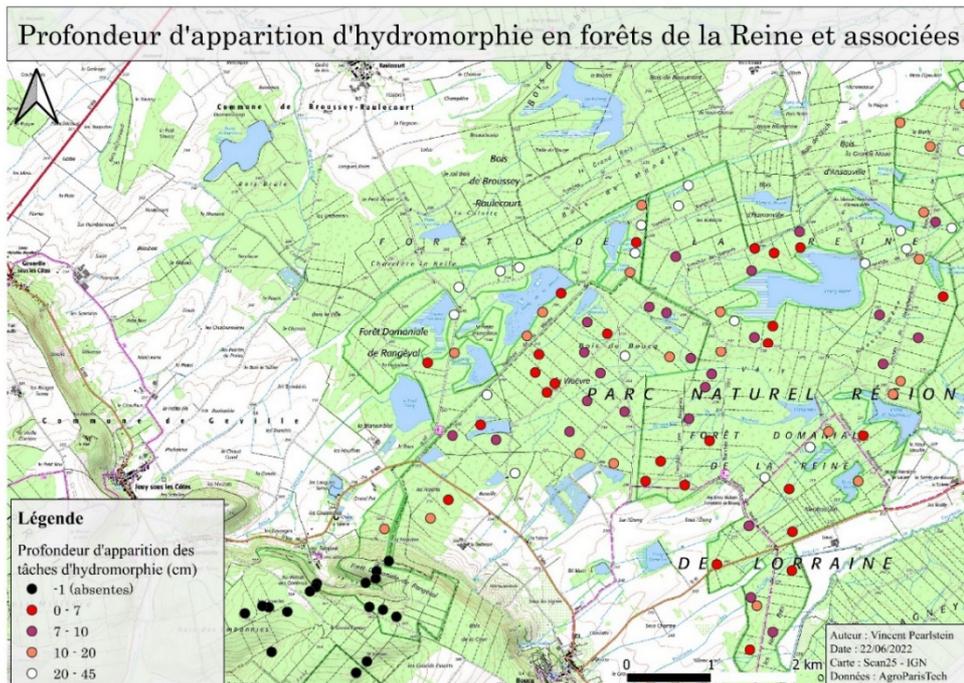


Figure 20 | Carte de la profondeur d'apparition (en cm) des taches d'hydromorphie sur le massif forestier de la Reine.

Pour les cinq stations à dominante limoneuse, le classement des stations est le suivant pour la profondeur d'apparition des taches : LH1 (6,4 cm), LH2 (13,7 cm), L1 (22,6 cm), Lh2 (33,9 cm), Lh3 (39,1 cm) (Figure 21). Pour les stations argileuses, les taches sont observables à en moyenne 7,1 cm pour AH et 21,2 cm pour A. Concernant le plancher argileux (Figure 21 et Figure 22), il a été observé pour 85 des 86 stations limoneuses. Il est apparu à en moyenne $30,1 \pm 10,6$ cm. Pour les 5 stations à dominante limoneuse, le classement des stations est le suivant : LH1 (22,2 cm), L1 (25 cm), LH2 (35,7 cm), Lh2 (39,9 cm) et Lh3 (55,6 cm).

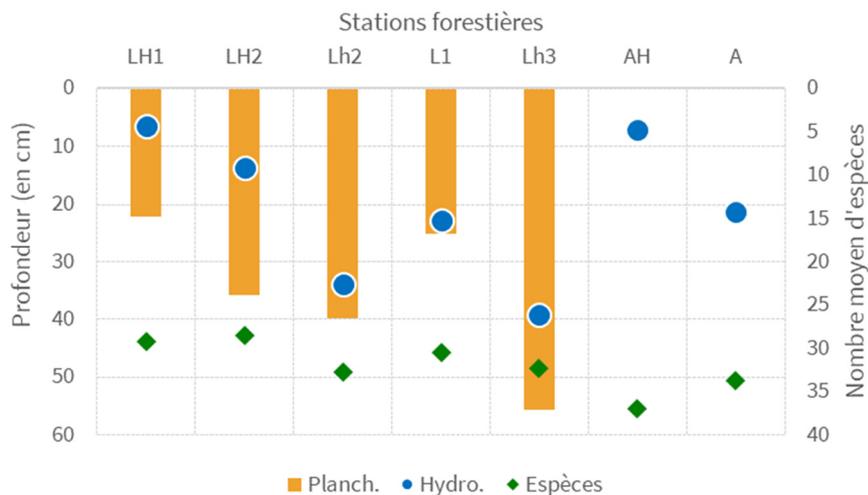


Figure 21 | Caractéristiques des stations relevées dans le massif de la Reine selon la profondeur d'apparition d'un plancher argileux (en cm) (histogrammes orange) et la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) (ronds bleus). Les losanges verts sont la moyenne de la diversité floristique observée par grand type stationnel.

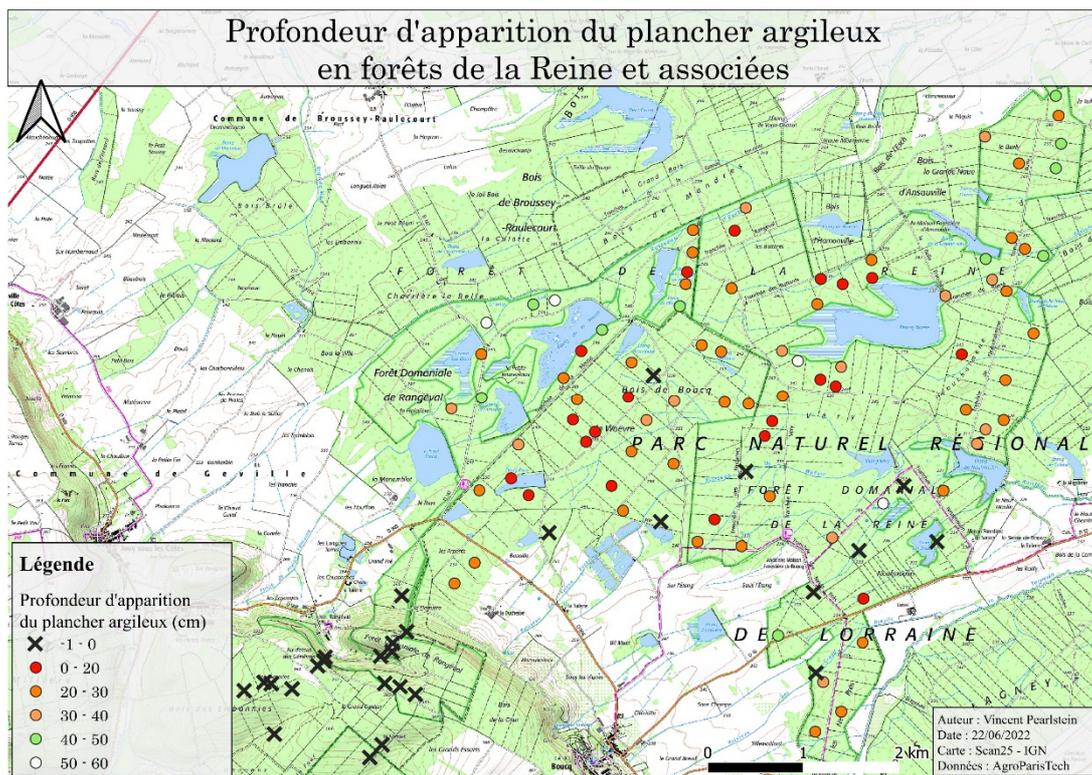
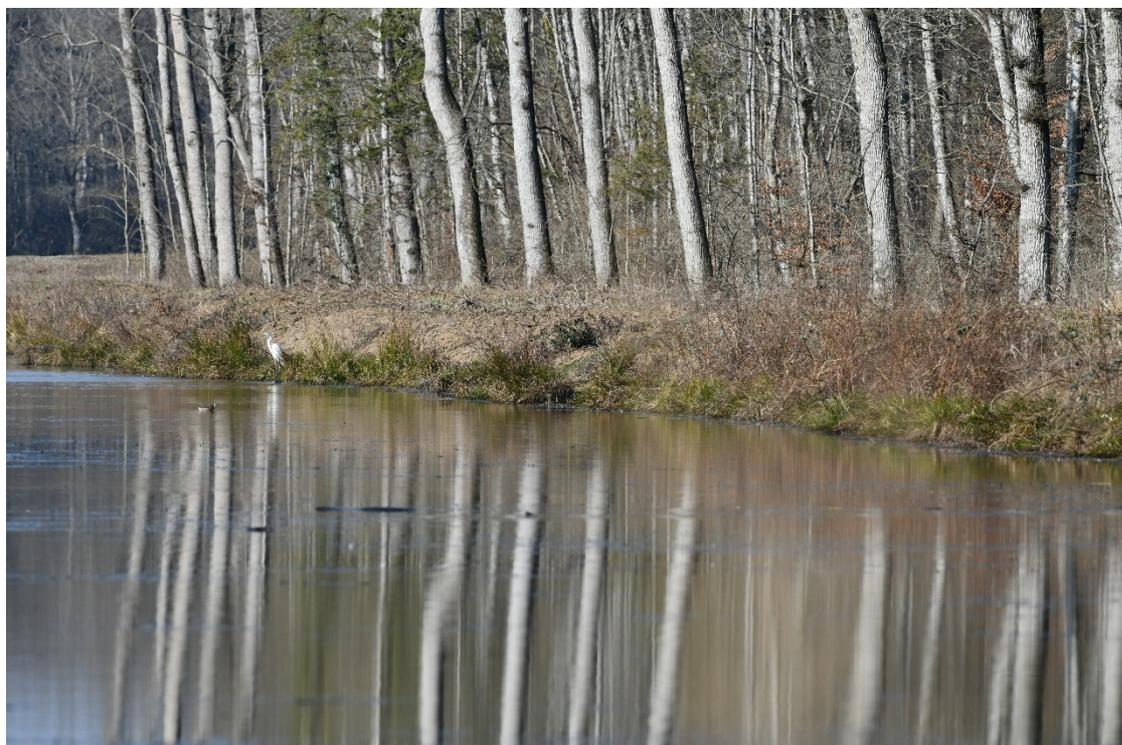


Figure 22 | Carte de la profondeur d'apparition (en cm) du plancher argileux sur le massif forestier de la Reine.



Reflets de Chênes – FD Reine - © F. Lebourgeois – 2023

La relation entre la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) et celle du plancher argileux (en cm) est donnée dans la Figure 23. La figure illustre bien les différences stationnelles mais également la variabilité au sein d'un même groupe. Elle reflète également bien le contexte très hydromorphe du massif de la Reine avec 68 % des placettes avec des traces entre 0 et 20 cm et 78 % entre 0 et 30 cm. Ainsi, même pour des planchers argileux assez profonds, les taches d'hydromorphie sont très souvent observées dans les horizons superficiels. Ce contexte rend très difficile la croissance des semis de beaucoup d'espèces forestières et, même pour les espèces les mieux adaptées (comme le Chêne pédonculé, le Peuplier tremble, etc.), ces contextes apparaissent très complexes à gérer d'un point de vue de la régénération des parcelles forestières.

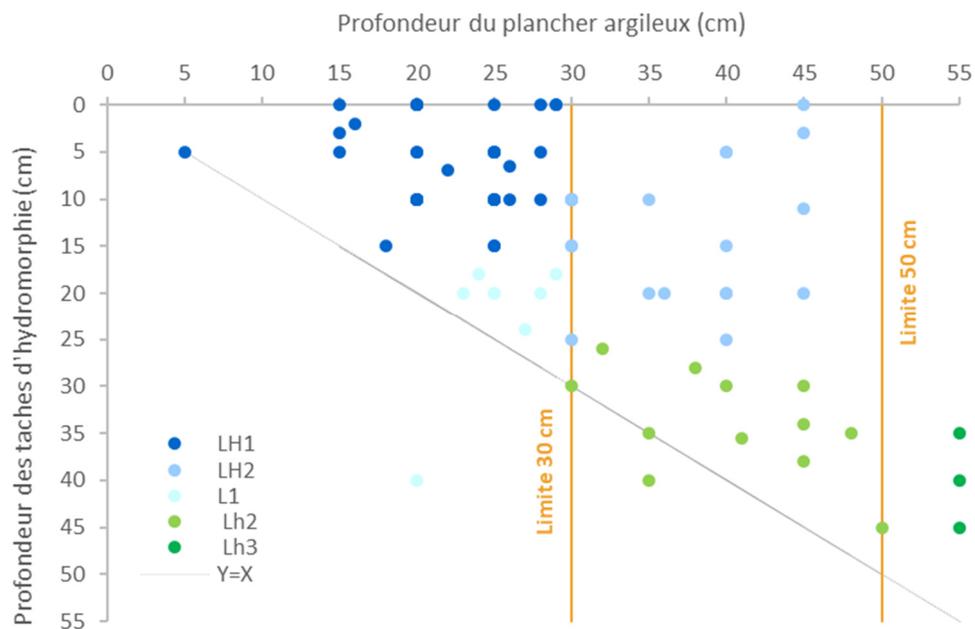
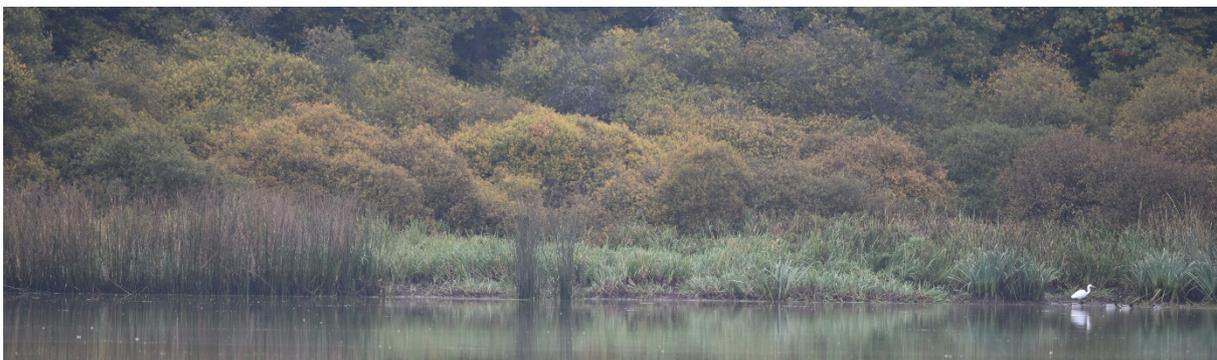


Figure 23 | Relation entre la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm) dans le massif forestier de la Reine (n=94 placettes). Les différentes stations sont représentées par des couleurs différentes. Les limites de 30 et 50 cm pour le plancher argileux correspondent aux limites définies dans le catalogue des stations de la Plaine lorraine.

Selon les recommandations du guide de la Plaine lorraine concernant la sensibilité des stations aux changements climatiques (modifications des régimes pluviométriques se traduisant par des contraintes plus fortes d'engorgement et/ou de sécheresses estivales), il apparaît que **le massif de la Reine est un contexte a priori très sensible aux changements climatiques** avec 75 % des stations jugées très sensibles (LH1, LH2, A et AH) et 21 % de sensibilité moyenne (Lh2 et L1).



© F. Lebourgeois octobre 2016

5.8. Habitats forestiers, valeur écologique et conservation

Le massif forestier de la Reine ou « forêt humide de la Reine » peut être rattaché à différents habitats forestiers. Seuls sont présentés les habitats forestiers dans lesquels des relevés ont été effectués. Ainsi, les habitats des forêts alluviales à Saules, Frêne et Aulne à carex ne sont pas mentionnés bien que présents sur le massif de la Reine dans les contextes les plus humides (bords des mares, étangs, etc.). Les habitats des milieux prairiaux des milieux ouverts ou encore des eaux stagnantes ne sont également pas mentionnés.

a. Hêtraies-chênaies à aspérule et mélisse des forêts collinéennes de l'Europe tempérée

Le massif forestier peut être tout d'abord rattachée aux hêtraies-chênaies à aspérule et mélisse des forêts collinéennes de l'Europe tempérée (91.30) correspondant au code Corine 41.13 (*Cahiers d'habitats, Natura 2000, Tome 1, Habitats forestiers, 761 pages*). Ces habitats correspondent aux hêtraies et hêtraies-chênaies installées sur des sols souvent riches chimiquement. Ils se rencontrent fréquemment dans la moitié Nord de la France (Nord - Pas-de-Calais, Normandie, Bretagne, Picardie, Île-de-France, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Bourgogne, Jura, Rhône-Alpes). Ils sont très représentatifs de ces régions et, au sein de la classification phytosociologique française actuelle, ces habitats peuvent être présentés comme suit :

Forêts caducifoliées européennes (avec Sapin possible) :

- Classe : *Quercus robur-Fagetum sylvaticae*
 - Ordre : *Fagetalia sylvaticae*
 - Forêts collinéennes
 - Sous-Ordre : *Carpinus betuli-Fagetalia sylvaticae*
 - ✓ Alliance : *Carpinion betuli-Fagion sylvaticae*

Dans cette alliance, correspondant à l'habitat des hêtraies-chênaies collinéennes calcicoles à mésoacidiphiles, on trouve différentes associations se distinguant par les conditions écologiques et les espèces diagnostiques. Parmi, les 20 espèces les plus fréquentes (et diagnostiques) de l'association du « *Poa chaixii-Fagetum sylvaticae* » c'est-à-dire des hêtraies-chênaies à Pâturin de Chaix (91.30 – 6), 12 sont présentes dans au moins 50 % des 94 relevés et 6 dans plus de 80 % des relevés (Tableau 3). Les espèces les moins présentes (voire absente pour l'oxalide) de l'habitat sont des espèces acidiphiles (luzules, chèvrefeuille des bois) et on retrouve, en revanche, une fréquence assez élevée d'espèces des milieux riches (comme l'Érable champêtre à 62 %) suggérant que le massif correspond davantage à la variante « riche » de l'habitat.

Tableau 3 | Espèces indicatrices majeures des « hêtraies-chênaies à Pâturin de chaix » (d'après les cahiers habitats, Natura 2000). Le nombre indique, pour chaque espèce, sa fréquence (en %) d'observation dans les relevés pour le massif de la Reine (n=94 relevés).

Espèce	Fréq.	Espèce	Fréq.
<i>Anemone nemorosa</i>	57	<i>Hedera helix</i>	66
<i>Athyrium filix-femina</i>	12	<i>Lonicera periclymenum</i>	16
<i>Atrichum undulatum</i>	39	<i>Luzula luzuloïdes</i>	3
<i>Carex sylvatica</i>	84	<i>Luzula pilosa</i>	15
<i>Carpinus betulus</i>	100	<i>Milium effusum</i>	80
<i>Convallaria majalis</i>	55	<i>Oxalis acetosella</i>	-
<i>Corylus avellana</i>	84	<i>Polytrichum formosum</i>	27
<i>Deschampsia cespitosa</i>	63	<i>Quercus petraea</i>	12
<i>Dryopteris filix-mas</i>	57	<i>Quercus robur</i>	84
<i>Fagus sylvatica</i>	57	<i>Rubus fruticosus aggr.</i>	93

b. *Chênaies pédonculées calcicoles à acidiclinales, subatlantiques à continentales*

Le massif forestier de la Reine est également à rattacher aux Chênaies pédonculées calcicoles à acidiclinales, subatlantiques à continentales (91.60) correspondant au code Corine 41.24 (*Cahiers d'habitats, Natura 2000, Tome 1, Habitats forestiers, 761 pages*).

Ces habitats correspondent aux chênaies pédonculées accompagnées de nombreuses autres espèces forestières (Érable sycomore, Frêne commun, Merisier, Aulne glutineux, etc.) avec un sous-bois constitué, entre autres, de Charme, de Noisetier. Ces chênaies sont souvent installées sur des terrasses alluviales, en contact plus ou moins importants avec les forêts ripicoles, ou dans des bas de versant, des fonds de vallon, des zones déprimées, des formations argileuses ou limono-argileuses engorgées. Les sols sont souvent riches chimiquement toujours bien alimentés en eau voire présentant des excès d'eau plus ou moins accentués. En fonction notamment du type de matériaux parentaux et de l'activité biologique des sols, les variantes selon plus ou moins riches et engorgés.

Ces habitats se rencontrent fréquemment dans la moitié Nord et l'Est de la France. Au sein de la classification phytosociologique française actuelle, ces habitats peuvent être présentés comme suit :

Forêts caducifoliées européennes :

► Classe : *Quercus robur-Fagetalia sylvaticae*

▪ Ordre : *Fagetalia sylvaticae*

Forêts collinéennes

☐ Sous-Ordre : *Carpino betuli-Fagenalia sylvaticae*

✓ Alliance : *Fraxino excelsioris-Quercion robur*

Dans cette alliance, correspondant à l'habitat des chênaies pédonculées édaphiques, on trouve différentes associations se distinguant par les conditions écologiques et les espèces diagnostiques.

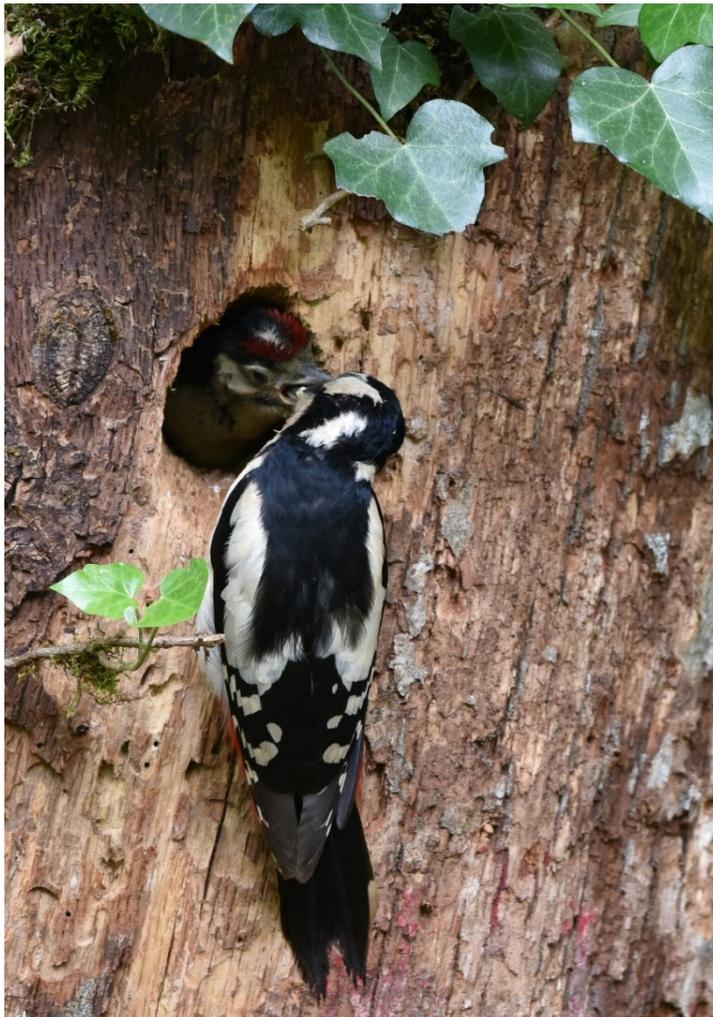
Parmi, les 13 espèces les plus fréquentes et diagnostiques de l'association du « *Primula elatiori-Quercetum robur* » c'est-à-dire des chênaies pédonculées subatlantiques, calcicoles à neutrophiles à Primevère élevée (91.30 – 2 ; CB 41-24 b), 5 sont présentes dans au moins 50 % des 94 relevés et 10 dans plus de 30 % des relevés (Tableau 5). Dans cet habitat, on retrouve également très fréquemment l'Érable champêtre (la fréquence pour les 94 relevés réalisés dans ce projet est de 62 %), le cornouiller sanguin (ici 16 %), le Charme (ici 100 %), le lierre (*Hedera helix*, ici 62 %), le rosier des champs (ici 73 %), le lamier jaune (ici 41 %), le Frêne commun (ici 80 %), la primevère élevée (ici 41 %), etc.

Tableau 4 | Espèces indicatrices majeures des « chênaies pédonculées subatlantiques, calcicoles à neutrophiles à Primevère élevée » (d'après les cahiers habitats, Natura 2000). Le nombre indique, pour chaque espèce, sa fréquence (en %) d'observation dans les relevés pour le massif de la Reine (n=94 relevés).

Espèce	Fréq.	Espèce	Fréq.
<i>Arum maculatum</i>	3	<i>Primula elatior</i>	41
<i>Carex sylvatica</i>	84	<i>Prunus spinosa</i>	24
<i>Circaea lutetiana</i>	47	<i>Quercus robur</i>	84
<i>Crataegus laevigata</i>	64	<i>Rosa arvensis</i>	73
<i>Deschampsia cespitosa</i>	84	<i>Thamnobryum alopecurum</i>	4
<i>Eurhynchium striatum</i>	49	<i>Viburnum opulus</i>	33
<i>Paris quadrifolia</i>	31		

Les deux habitats forestiers majeurs et d'intérêt communautaire identifiés dans le massif de la Reine (hors contexte calcaire) caractérisent des sols le plus souvent riches chimiquement à bonne activité biologique développés sur des limons et des argiles. Une désaturation plus ou moins marquée en surface est possible selon l'épaisseur des limons reposant sur le matériau parental (ici argile de la Woëvre). Concernant la valeur écologique et biologique, ce type d'habitat est assez répandu (dans le Nord et l'Est de la France) et possède une flore assez diversifiée mais assez « ordinaire » bien que des espèces plus rares peuvent être néanmoins observées.

Les contextes géologique et topographique se traduisent par des engorgements temporaires marqués des sols ce qui a des conséquences sur la gestion des peuplements. Les engorgements de surface (intenses et prolongés) sont une contrainte majeure pour l'installation des semis pour la majorité des essences forestières et notamment pour le Hêtre qui ne pourra pas se développer dans les contextes les plus engorgés. Parmi les essences majeures, le Chêne pédonculé aura une meilleure capacité à pousser dans ces contextes que le Chêne sessile surtout dans le jeune âge. Cependant, il peut souffrir, comme les autres espèces, de l'abrutissement par les ongulés sauvages, du manque de lumière sous couvert forestier (concurrence avec le Charme surtout) ou encore de la concurrence d'un tapis herbacé trop développé. En termes de gestion, une « mise à nu » des sols par éclaircies trop intenses doit être évitée absolument en raison des effets sur les remontées de la nappe ; nappe qui sera alors encore plus proche de la surface et limitera encore davantage l'installation des essences objectives (au risque également de voir « l'explosion » d'espèces plus tolérantes à ces conditions comme le Peuplier tremble ou les Bouleaux). Enfin ces sols sont parmi les plus sensibles au tassement par les engins forestiers et la mise en place de cloisonnements sylvicoles sur ces sols à structure fragile doivent être mis en place.



Pic épeiche © F. Lebourgeois mai 2020

5.9. Typologie des peuplements forestiers

a. Surface terrière et typologie des peuplements

Pour les 94 inventaires dendrométriques réalisés au cœur du massif (hors contexte Rangeval), la surface terrière totale (Gtot) moyenne a été de $23,3 \pm 7,4 \text{ m}^2/\text{ha}$ (2 à 51,5) avec environ 1/3 des inventaires entre 20 et 25 m^2/ha (Figure 25 et Figure 25). Les Chênes (pédonculé en très grande majorité) représentent 58 % de Gtot et le Charme 30 %. Les autres essences représentent de très faibles proportions. En moyenne, 3 % pour le Hêtre et 2 % chacun pour l'Érable champêtre et le Frêne. Les peuplements irréguliers (types 5X) et réguliers à gros bois dominants (types 3X) sont très majoritaires avec respectivement 55 % et 19 % des placettes. Les deux types 52 et 53 (irréguliers à bois moyen ou gros bois) représentent à eux deux 45 % des placettes (Figure 26 et Figure 27). Pour ces types, la surface terrière moyenne totale est de $25 \text{ m}^2/\text{ha}$.

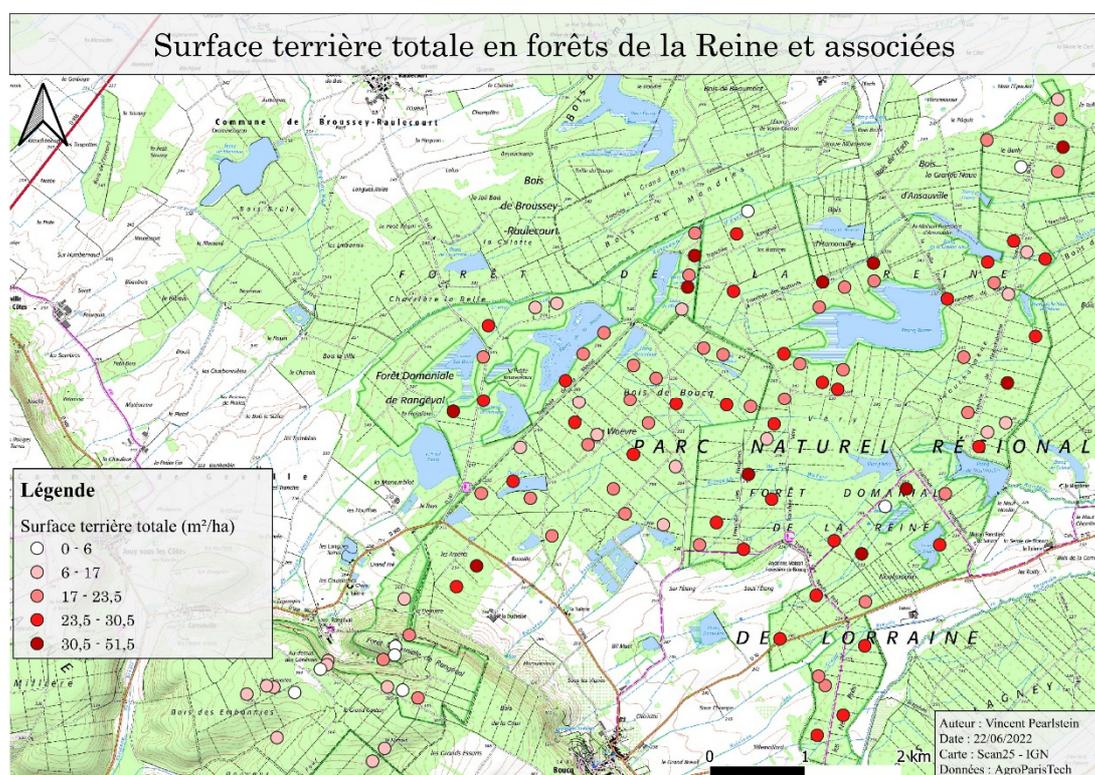


Figure 24 | Carte de la surface terrière totale (G en m^2/ha) sur le massif forestier de la Reine.



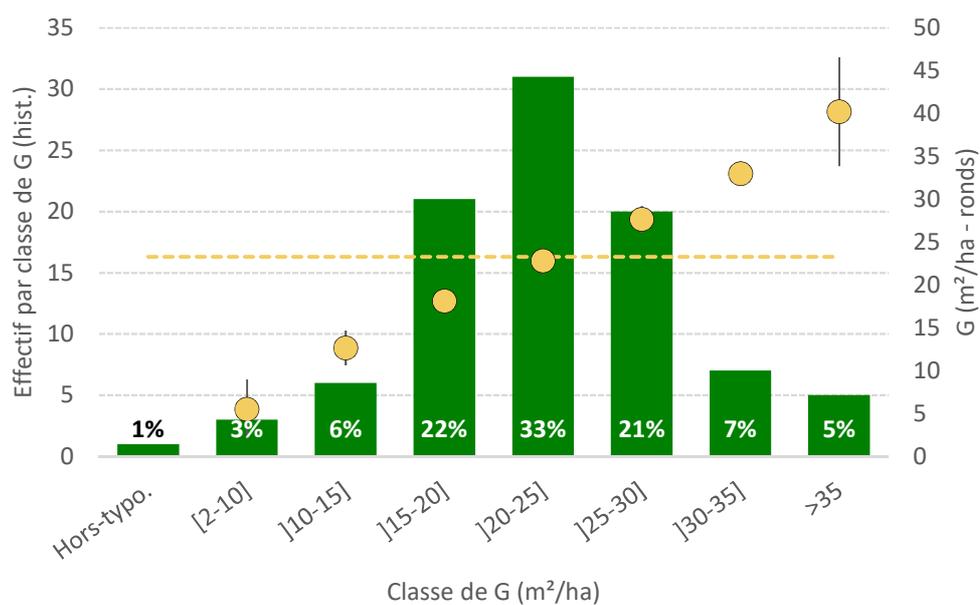


Figure 25 | Effectif des relevés (n=94) par classes de surface terrière (G en m²/ha) et surface terrière moyenne par classe pour le massif forestier de la Reine (hors Rangeval).

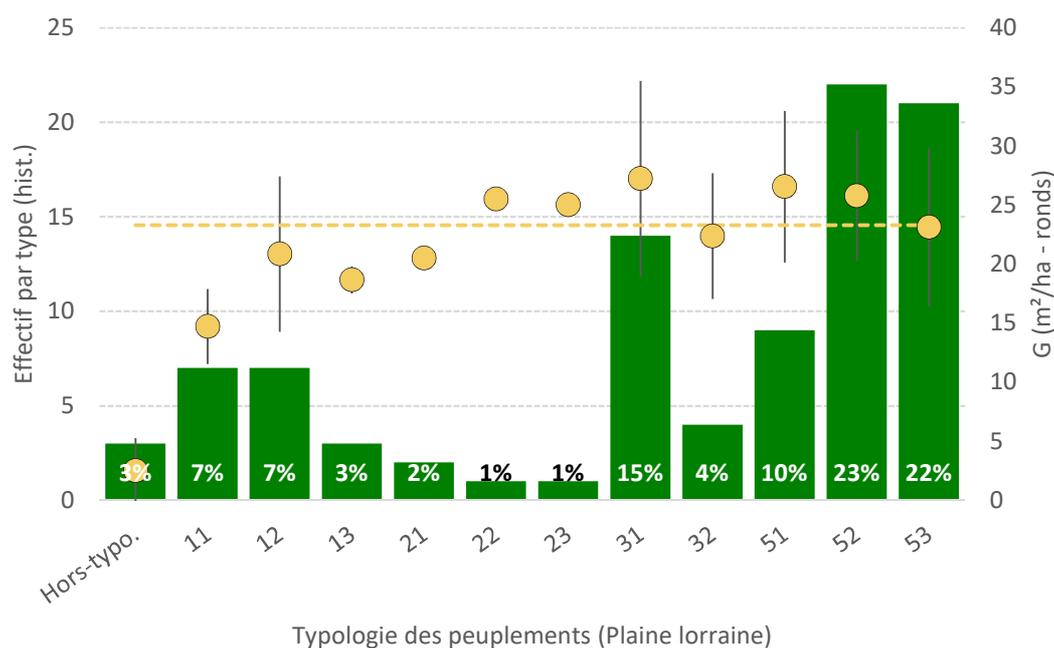


Figure 26 | Effectif des types de peuplement selon la typologie de la Plaine lorraine et surface terrière moyenne (ronds). 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier. Données pour les 94 placettes réalisées dans le massif de la Reine (hors Rangeval).

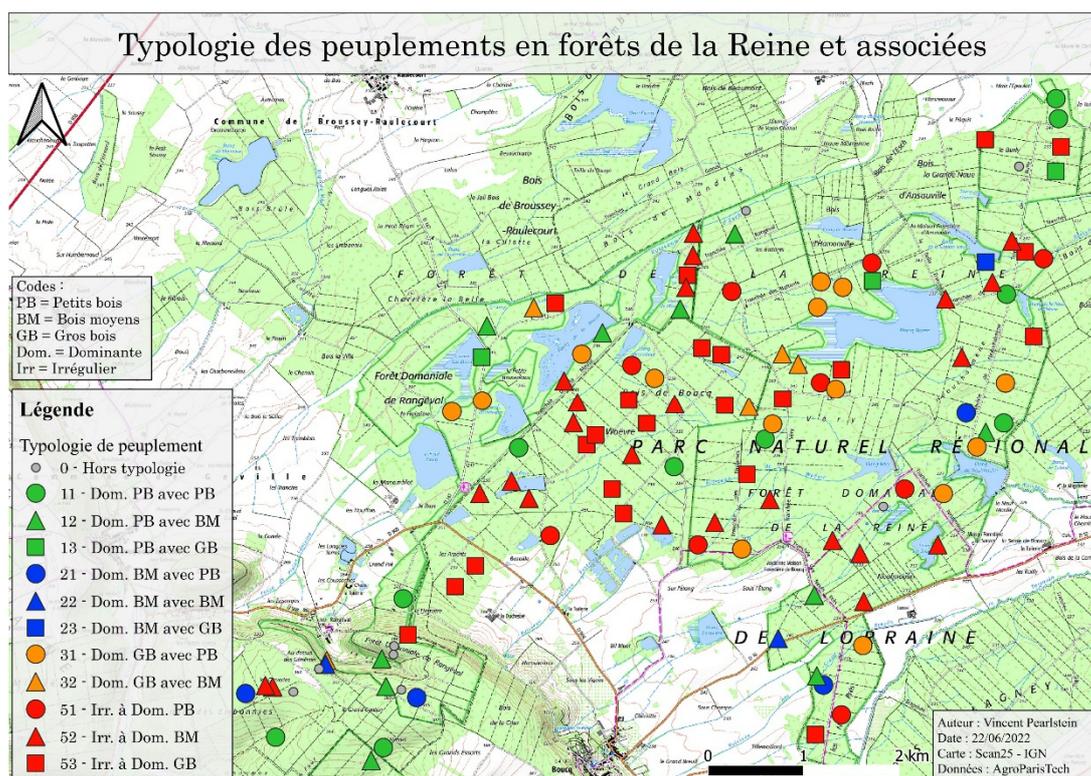


Figure 27 | Carte des types de peuplement selon la typologie Plaine lorraine sur le massif forestier de la Reine.

b. Surface terrière et composition spécifique

La composition spécifique peut varier assez fortement selon la surface terrière totale du peuplement (Figure 28). Dans les peuplements à faible capital (< 10 m²/ha), Charme, Frêne et Hêtre occupent une place importante avec le Chêne peu représenté. Pour la classe [10-15], c'est le Chêne qui constitue l'essentiel du peuplement. Pour les autres cas et jusqu'à des capitaux inférieurs à 35 m²/ha, Chêne et Charme sont les espèces majoritaires représentant à elles seules 90 % de la surface terrière totale (respectivement 60 et 30 %). Enfin, pour les capitaux les plus élevés, on observe une part plus importante du Charme (autour de 45 %).



Chênaie pédonculée à primevère élevée - © F. Lebourgeois - 2015

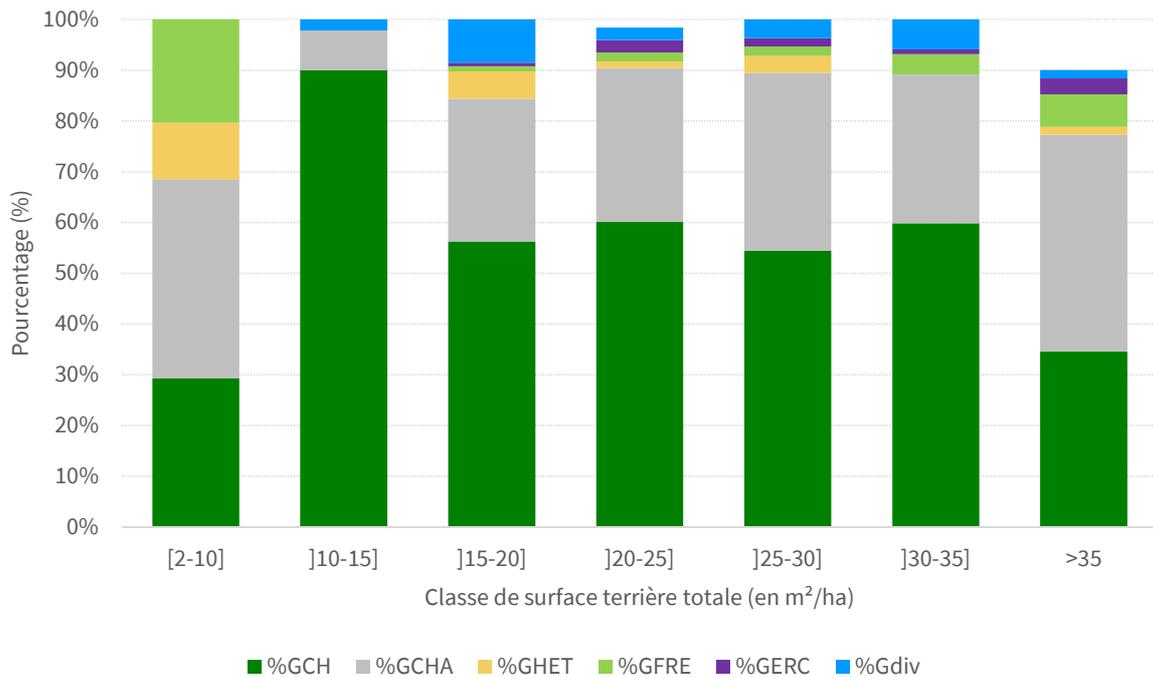


Figure 28 | Pourcentages des essences dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m²/ha). Le nombre de placettes par classe est respectivement de 3 [2-10], 6, 21, 31, 20, 7 et 5 (> 35). Pour les Chênes (CH), il s'agit essentiellement de Chêne pédonculé. CHA : Charme ; HET = Hêtre ; FRE = Frêne ; ERC = Érable champêtre ; Div = divers (feuillus).

c. Surface terrière et catégorie des diamètres

Concernant la structure, les petits bois représentent en moyenne 39 % de la surface terrière totale, les bois moyens 29 % et les gros bois 32 % (Figure 29 et Figure 30). La part des petits bois est plus importante pour les placettes à faible capital et celle des gros bois plus importante quand le capital augmente (Figure 29).

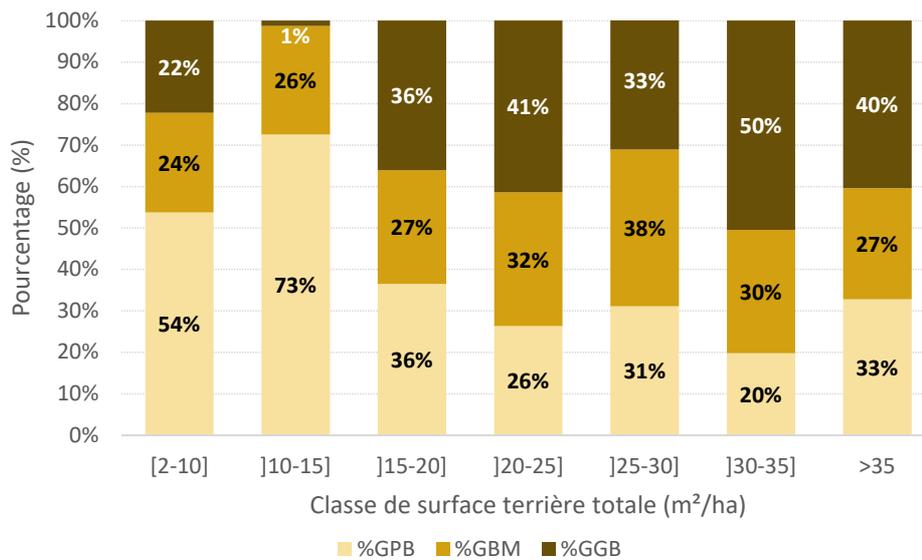


Figure 29 | Pourcentages des trois catégories de diamètres dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m²/ha). PB = petits bois ; diamètres entre]17,5 à 27,5 cm] ; BM = bois moyens]27,5 à 47,5 cm] et gros bois (> 47,5 cm) (n=94 inventaires).

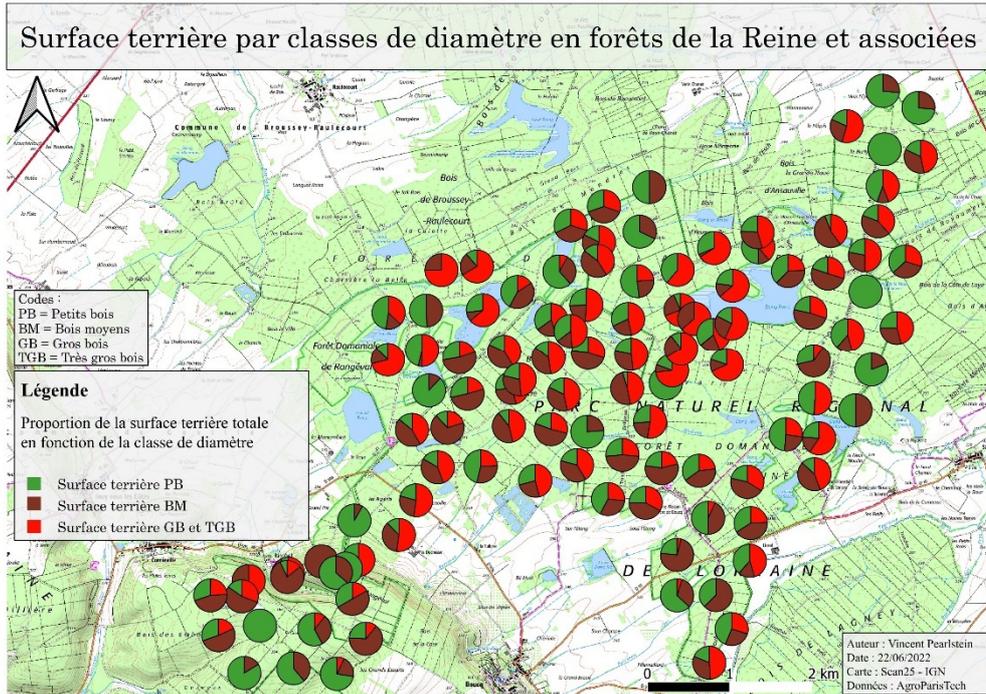


Figure 30 | Carte des structures des peuplements sur le massif forestier de la Reine.

d. Typologie des peuplements et composition spécifique

La prépondérance des différentes espèces varie dans les différents types de peuplement (Figure 31). Si le Chêne reste l'espèce majoritaire dans la majorité des cas, on observe une part plus importante du Hêtre dans les peuplements réguliers à bois moyen (2X) (attention néanmoins au faible effectif de placettes réalisées dans ces structures). Pour les peuplements irréguliers (5X), la proportion de Chêne augmente des types 51 à 53 avec dans tous les cas une majorité de gros bois de Chêne. L'irrégularité dans ces structures est l'expression essentiellement des différentes proportions de petit bois et de bois moyen de Charme ; les petits bois de Chêne étant quasiment absents dans ces structures. Sur l'ensemble des inventaires réalisés, 80 % des placettes n'avaient aucun petit bois de Chêne.

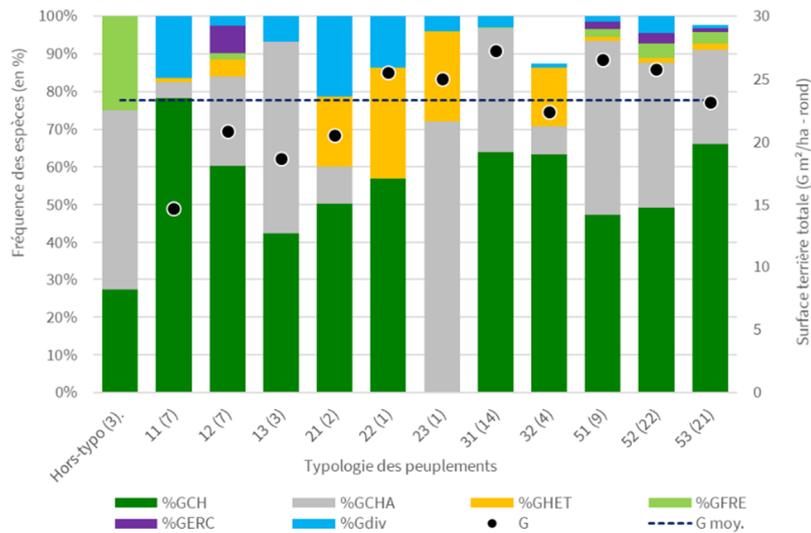


Figure 31 | Fréquences des espèces (calculées en fonction de leur importance dans la surface terrière totale) selon la typologie des peuplements. 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier. Le chiffre () correspond à l'effectif des placettes par type (n=94 au total).

5.10. Bois mort et dendromicrohabitats (DMH)

Sur les 94 placettes échantillonnées, le volume de bois mort au sol a été en moyenne de $17,1 \pm 15,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ (0 à 93) mais avec des variations importantes entre les placettes. Ainsi, 43 % des placettes ont des volumes inférieurs à $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ et 16 % des volumes supérieurs à $30 \text{ m}^3/\text{ha}$. Des volumes supérieurs à $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ ont été observés dans seulement 10 % des cas (Figure 32). Le volume de bois mort apparaît du même ordre de grandeur que celui observé lors des précédents projets réalisés avec le même protocole dans les mêmes périodes (relevés toujours effectués la deuxième semaine de juin) avec un volume moyen de $15,9 \pm 22,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ (701 placettes). Ce volume est inférieur aux données moyennes des placettes du réseau futaie irrégulière (environ $23 \text{ m}^3/\text{ha}$, 5726 placettes et 61 forêts, Brucciamachie, comm. Pers) mais correspond à la moyenne nationale issue des données de l'IGN ($17 \text{ m}^3/\text{ha}$; données 2022).

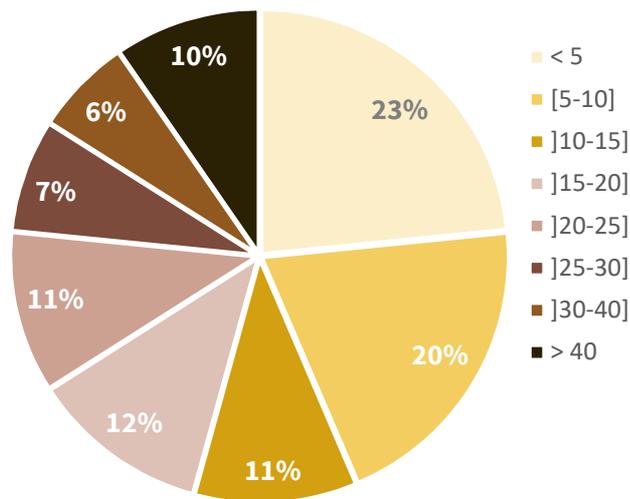


Figure 32 | Fréquences des placettes selon les volumes de bois mort au sol selon 8 classes (en m^3/ha) (N=94 placettes).

Pour les 722 bois morts recensés, le diamètre moyen a été de $9 \pm 3,2 \text{ cm}$ (5 à 25 cm) avec une note de stade moyen de décomposition du bois de $1,9 \pm 0,6$ (pourriture < à $\frac{1}{4}$ — la lame du couteau s'enfonce difficilement) et de présence d'écorce de $3,2 \pm 0,8$ (présence sur au moins 50 % de la surface).



© F. Lebourgeois - 2015

Les dendromicrohabitats (observés sur les trois plus gros arbres de l'inventaire dendrométrique, généralement des Chênes pédonculés) sont plutôt rares. Le lierre est présent sur environ 16 % des arbres observés. Les cavités basses sont plus fréquentes que les cavités hautes. Les champignons et les altérations des écorces sont rares (Tableau 5).

Tableau 5 | Nombre total [et fréquences en %] d'arbres présentant des dendromicrohabitats : cavités hautes, basses, altération des écorces, champignons ou des lianes (gros lierre). Les observations sont faites pour chaque placette sur les trois plus gros arbres de l'inventaire relascopique (Chênes pédonculés dans la majorité des cas).

N=94 placettes	
282 arbres analysés	
Trous et cavités (haut)	17 [6 %]
Trous et cavités (bas)	90 [32 %]
Altération écorce	22 [8 %]
Champignons	7 [2 %]
Lierre (> 2 cm dia.) ou gui	44 [16 %]



©Lebourgeois 2021

Si on analyse au niveau des placettes, seulement environ 15 % des placettes ont présenté au moins 1 arbre avec une cavité haute. La fréquence est beaucoup plus faible si on considère au moins 2 arbres. La présence de champignon (polypore, amadouvier...) est aussi très faible (7 %). Les gros lierres sont davantage présents (environ 35 % des placettes ont au moins 1 arbre avec du lierre) ainsi que les cavités basses (contreforts des grosses racines de Chênes (Tableau 6).

Tableau 6 | Fréquences des dendromicrohabitats exprimées en nombre des placettes (n=94) présentant des cavités hautes, basses, une altération des écorces, des champignons ou des lianes (gros lierre) sur 0, 1, 2 ou 3 arbres.

(n=94 placettes)				
	Aucun arbre	1 arbre	2 arbres	3 arbres
Trous et cavités (haut)	80	11	3	0
Trous et cavités (bas)	0	24	36	30
Altération écorce	75	16	3	0
Champignons	87	7	0	0
Lierre (> 2 cm dia.) ou gui	61	23	9	1

5.11. Déterminisme écologique et sylvicole de la diversité floristique α

De façon à mieux comprendre le déterminisme écologique et sylvicole de la diversité floristique (nombre d'espèces par relevé (Esp) et nombre d'espèces des forêts anciennes (EspFA), 94 relevés), des analyses en composantes principales ont été réalisées (FactoMineR et hclust R version 3.4.4). Les 8 variables écologiques prises en compte sont (6 variables continues et 2 variable en classe) : la pente (**Pent**, en grades), l'exposition (**Expo**, en grades), le confinement (**Conf**, en grades), le type d'humus (**Hum**, eumull, mésomull, oligomull/dysmull et moder, codés de 1 à 4), la profondeur du plancher argileux (**Plan**, en cm), la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (**Hydro**, en cm), le type de station (**Stat**, 7 classes) et la texture des horizons de surface (**Text**, dominante limoneuse ou argileuse, 2 classes). Les variables liées au peuplement sont au nombre de 17 : la surface terrière totale (**GTot**, en m²/ha), la surface terrière des petits bois, bois moyen et gros bois (**GPB**, **GBM**, **GGB**), le pourcentage de petit bois, bois moyen et gros bois dans la surface terrière (**%GPB**, **%GBM**, **%GGB**), la classe de GTot (**ClasGTot**, en 6 classes), le type de peuplement selon la typologie de la Plaine lorraine (**TypoL**, type codé de 11 à 53, 12 codes), le pourcentage des différentes espèces dans la surface terrière (Chênes, Hêtre, Charme, Frêne et Érable champêtre, **%GCH**, **%GHET**, **%GCHA**, **%GFRE**, **%GERC**), le recouvrement (en %) de la strate arborée, arbustive et le total des deux (**RecA**, **Recab**, **RecTot**).

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 32,9 % de la variance (Figure 33). L'axe 1 (17,2 %) est expliqué essentiellement par des variables dendrométriques et notamment celles liées aux gros bois (Figure 33 et Tableau 7). Les coordonnées négatives le long de l'axe 1 correspondent aux relevés riches en gros bois (GB) (moyenne de 11,7 ± 4,6 m²/ha [2 à 23,5]) représentant en moyenne de 50 % de la surface terrière totale (48 ± 13 % [10 à 75 %]) (Figure 34). Pour ces relevés, c'est le Chêne (pédonculé) qui représente l'essence dominante dans la surface terrière (63 ± 20 %). Ils correspondent en majorité aux types forestiers 31 et 53 de la plaine lorraine. À l'opposé, les valeurs positives caractérisent les relevés pauvres en gros bois (GB) (moyenne de 4,4 ± 4,5 m²/ha [0 à 17]) représentant moins de 20 % de la surface terrière totale (16,5 ± 15 % [0 à 45 %]) et riches en petit bois (en moyenne 47 % de la surface terrière avec une valeur moyenne pour les petits bois de 9,2 ± 4,6 m²/ha). Ce sont les peuplements de types 1X de la typologie plaine lorraine (Figure 34). Concernant la richesse spécifique globale, elle augmente quand la proportion de gros bois diminue (Figure 34). Les peuplements les plus riches en gros bois (57 % en moyenne) et pauvres en petit bois (21 % en moyenne) correspondant aux coordonnées les plus négatives le long de l'axe 1 (valeurs < 1,5) sont également les plus pauvres en espèces herbacées. Pour ces placettes (n=22 relevés), la richesse floristique moyenne est de 23 ± 7 espèces soit environ 25 % de moins que dans les autres conditions.

Pour l'axe 2 (15,7 % de la variance), la proportion de bois moyen, la surface terrière totale et la typologie des peuplements expliquent la répartition des relevés (Figure 33). Les valeurs négatives correspondent aux peuplements à plus faible surface terrière (20 ± 6 m²/ha en moyenne) avec peu de bois moyen (5 m²/ha en moyenne pour une proportion de 23 % dans Gtot) et correspondent en majorité à des types de peuplements 1X et 31. À l'opposé, les valeurs positives sont caractérisées par des relevés avec des surfaces terrières plus élevées (26 ± 7 m²/ha) et riches en bois moyen (9 m²/ha en moyenne pour une proportion de 37 % dans Gtot). Ces relevés correspondent majoritairement aux types 5X. L'axe 2 exprime également en partie des différences quant à la physionomie du tapis herbacé. Le long de l'axe 2 se répartissent les relevés à faible recouvrement et « pauvres » en espèces (29 ± 25 % de recouvrement en moyenne pour 26 ± 7 espèces) pour le côté négatif et plus riches à recouvrement plus important pour le côté positif (70 ± 22 % de recouvrement en moyenne pour 33 ± 7 espèces).

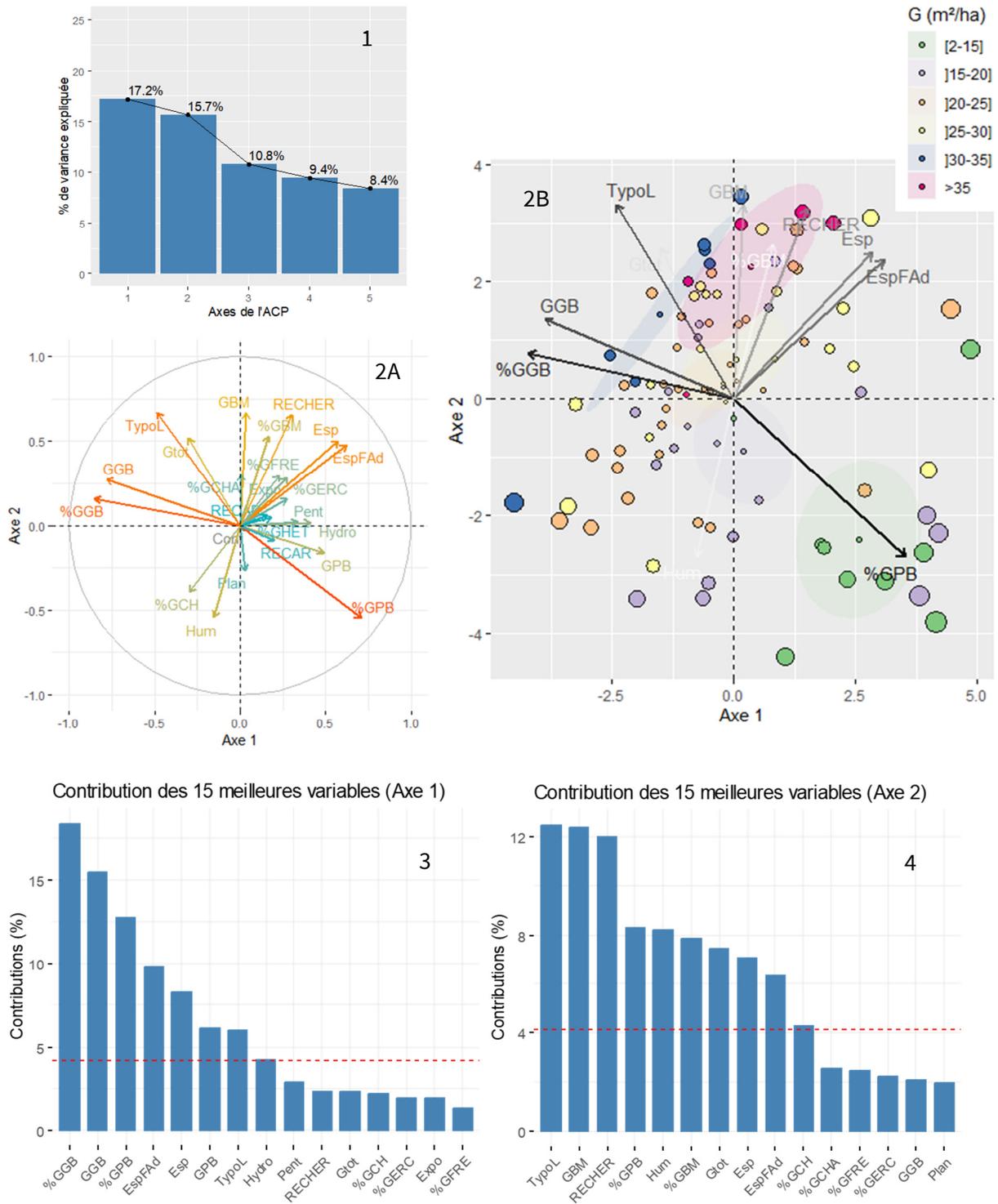


Figure 33 | Résultat de l'analyse en composantes principales effectuée sur les 94 relevés. [1] : % de variance expliquée par les différents axes. [2A] : répartition des variables écologiques (8) et sylvicoles (17) sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique l'importance de la variable pour l'explication des axes (\cos^2). Plus la couleur est foncée et plus la variable a de poids. [2B] : répartition des 94 relevés sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique la surface terrière totale (m^2/ha en classes). La taille des ronds indique la contribution relative du relevé à la définition des axes. Plus le rond est grand et plus le relevé a du poids. Dans le graphique, seules les variables dont la contribution (en %) est significative c'est-à-dire supérieure à 4 %) ont été représentées. [3] : Contributions des 15 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 1 (17,2 % de variance expliquée). [4] : Contributions des 15 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 2 (15,7 % de variance expliquée). Pour [3] et [4], la ligne rouge en pointillé indique le seuil significatif de la contribution des variables (ici $1/25 * 100 = 4$ %). Voir texte pour l'explication des codes des variables.

Tableau 7 | Statistiques des liens entre les différentes variables (continues ou en classes) et la répartition des 94 relevés le long de l'axe 1 qui explique 17,2 % de la variance (voir texte pour la signification des codes).

Variables continues			Variables en classes			Catégories des variables en classes		
Code	Cor.	p.value	Code	R ²	p.value	Catégorie	Estimate	p.value
%GPB	0,71	1,61E-15	STAT	0,279	6,77E-05	ClasGTot=[2-15]	2,3924	0,000
EspFAd	0,63	2,54E-11	ClasGTot	0,239	2,03E-04	Lh2	1,1026	1,69E-03
Esp	0,57	2,03E-09				L1	1,4379	2,69E-03
GPB	0,49	6,17E-07				ClasGTot]=[20-25]	-0,7701	3,85E-02
Hydro	0,41	4,46E-05				ClasGTot]=[30-35]	-1,6857	3,56E-02
Pent	0,34	8,91E-04				LH1	-1.3655	5.00E-04
RECHER	0,31	2,87E-03						
%GERC	0,28	7,10E-03						
Expo	0,28	7,41E-03						
%GFRE	0,23	2,60E-02						
%GCH	-0,30	3,82E-03						
Gtot	-0,30	3,20E-03						
TypoL	-0,48	7,90E-07						
GGB	-0,78	2,22E-20						
%GGB	-0,85	2,48E-27						

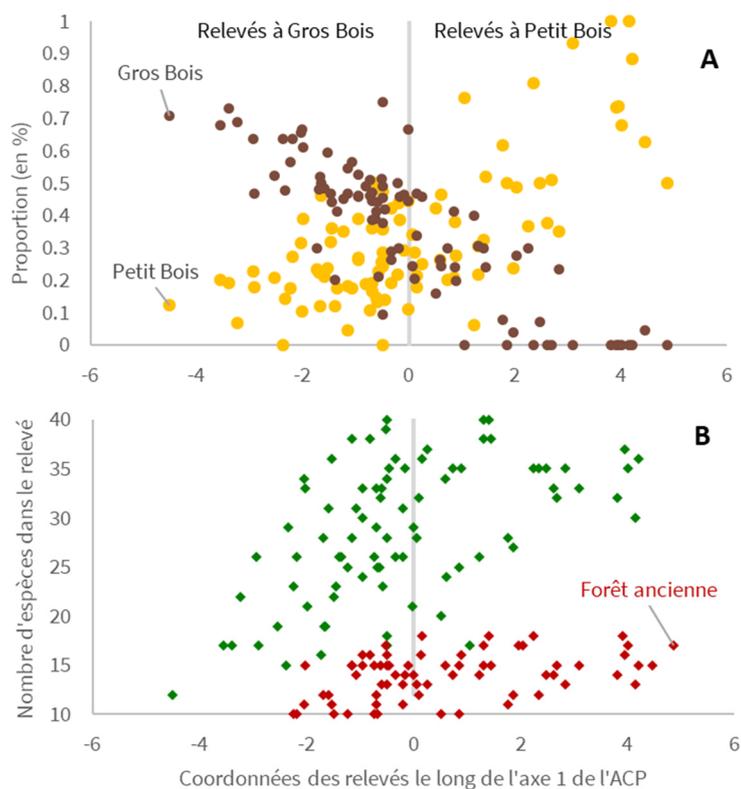


Figure 34 | Répartition des 94 relevés le long de l'axe 1 de l'ACP (17,2 % de la variance) selon la proportion de Gros Bois (GB) et de Petit Bois (PB) dans la surface terrière totale [A] et du nombre total d'espèces végétales dans le relevé [B]. En vert toutes les espèces et en rouge les espèces des forêts anciennes (selon Dupouey et al. 2002).

6. Comparaison des relevés 1979 et 2022

À la fin des données 1970, une étude phytoécologique a été menée dans le massif de la Reine afin d'établir une carte des stations forestières (Girault, 1981). Un total de 300 relevés a été effectué dans le massif selon un maillage systématique à densité variable et déterminé sur carte topographique. Pour la forêt domaniale de la Reine, le maillage a consisté à un quadrillage de 250 x 250 m et donc à un inventaire tous les 250 m. Les relevés ont été réalisés entre juillet et août 1979 à raison de 10 placettes par jour. La carte topographique de 1979 a été utilisée pour placer les relevés de 2022 le plus proche possible des zones échantillonnées en 1979. *In fine*, 35 relevés en 2022 ont pu être effectués « proches » (moins de 50 m ou entre 50 et 100 m) de la position estimée des relevés en 1979. Ce positionnement a été complexe car fondé sur des pointages sur une ancienne carte et pas sur la base de coordonnées GPS précises. La comparaison 1979 et 2022 portera donc sur seulement 35 relevés. L'étude de Girault (1981) repose sur les mêmes approches que celles mises en place ici : relevé floristique, analyse des humus, du sol et des peuplements.

En 1979, le nombre total d'espèces végétales recensées a été de 94 avec en moyenne 20 espèces par relevés (Tableau 8). Concernant les sols (texture très largement à dominante limoneuse en surface), le plancher argileux a été observé dans 75 % des cas (26 sur 35 relevés) pour une profondeur d'apparition de $32,1 \pm 11,4$ cm (15-70 cm). Des taches d'hydromorphie ont été observées dans tous les cas pour une profondeur moyenne d'observation de $18,9 \pm 11,2$ cm (5-45 cm). Les recouvrements des strates arborée, arbustive et herbacée ont été en moyenne respectivement de 33 ± 10 %, 15 ± 10 %, 28 ± 24 %.

En 2022, sur les 35 relevés « proches » des anciens, le nombre total d'espèces végétales recensées a été de 129 avec en moyenne 30 espèces par relevés (Tableau 8). Concernant les sols (texture également très largement à dominante limoneuse en surface), le plancher argileux a été observé dans 88 % des cas (31 sur 35 relevés) pour une profondeur d'apparition de $26,1 \pm 11,4$ cm (5-50 cm). Des taches d'hydromorphie ont été observés dans tous les cas pour une profondeur moyenne d'observation de $12,1 \pm 10,2$ cm (0-45 cm). Les recouvrements des strates arborée, arbustive et herbacée ont été en moyenne respectivement de 78 ± 13 %, 18 ± 23 %, 57 ± 31 %.

Variables	1979	2022
Nombre total d'espèces	94	129
Nb. d'espèces par relevé	$20 \pm 5,8$ (8-35)	$30 \pm 6,9$ (17-40)
Opt. Température	$9,67 \pm 1,59$	$9,60 \pm 0,65$
Opt. pH	$6,24 \pm 0,77$	$6,28 \pm 0,65$
Opt. BH estival	$-41,6 \pm 37,5$	$-40,4 \pm 39,9$

Tableau 8 | Comparaison des caractéristiques des 35 relevés entre 1979 et 2022.

Même si le nombre d'espèces recensées par relevé apparaît nettement plus important en 2022 (10 espèces en moyenne c'est-à-dire + 60 %), 71 espèces ont été observées à la fois en 1979 et 2022.

Parmi les 23 espèces de 1979 non observées en 2022, 20 ont été observées très rarement c'est-à-dire dans seulement 1 ou 2 relevés. Pour les autres espèces, il s'agit d'une orchidée *Epipactis viridiflora* (purpurata actuellement) avec une fréquence de 31 % en 1979. Les deux autres sont des mousses. La première est *Fissidens taxifolius* (fréquence de 60 %) qui est une très petite mousse plutôt présente dans les zones dénudées. Dans ce cas, le doublement du couvert herbacé observé entre 1979 et 2022 pourrait être une explication à sa « disparition » en 2022. L'autre mousse est *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hypne triquètre) qui était présente dans 80 % des relevés en 1979. Cette mousse est très proche d'une autre mousse *Rhytidiadelphus loreus* (Hypne courroie) qui a été notée dans 69 % des relevés en 2022. Ces deux mousses sont des espèces à très large amplitude qui peuvent être confondues. La confusion est donc une hypothèse possible. Cependant, étant donné le caractère plus sciophile de l'hypne courroie, on peut également

penser qu'elle a été favorisée par la fermeture du couvert arborée entre 1979 et 2022 (passage de 33 % de couvert arborée en moyenne en 1979 à près de 80 % en 2022).

Pour les 48 espèces seulement observées en 2022, 45 sont des espèces à très faibles fréquences c'est-à-dire seulement observées dans 1 à 4 relevés (31 espèces dans seulement 1 relevé). Parmi les espèces très fréquentes en 2022 et non observées en 1979, on peut noter la ronce présente dans tous les relevés, le rosier des champs (*Rosa arvensis*) présent dans 69 % et le Noisetier dans 49 %.

Même si la communauté végétale apparaît différente (diversité), la bioindication (Gégout, Coudun, Bailly, & Jabiol, 2005) des conditions stationnelles fournies par les plantes est identique (Tableau 9).

Finalement, cette analyse succincte suggère une stabilité des espèces et des communautés entre les deux périodes avec un fond d'espèces commun important entre les deux inventaires bien que la richesse spécifique au sein d'un relevé diffère fortement. Les différences de localisation des relevés, de périodes des analyses, de surface du relevé peuvent expliquer en grande partie ces différences. Les espèces seulement observées en 1979 ou 2022 sont des espèces à très faibles fréquences c'est-à-dire observées pour les deux dates dans seulement 1 ou 2 des 35 relevés (et avec des coefficients d'abondance -dominance toujours faibles de + à 1).

De nombreux travaux ont déjà clairement mis en évidence une thermophilisation des communautés végétales et des habitats. Ces travaux ont été menés sur des milliers de relevés et il est certain que l'étude succincte présentée ici est largement insuffisante pour statuer sur les évolutions possibles au sein du massif forestier de la Reine.



Chat forestier curieux © F. Lebourgeois avril 2023

7. Synthèse

Le massif forestier de la Reine est une « forêt ancienne » caractéristique dans sa structure et sa composition forestières et sa biodiversité végétale des forêts feuillues de plaine de la Plaine lorraine (pour le cœur du massif en excluant les forêts associées développées sur matériaux parentaux calcaires). Le massif est soumis à un mésoclimat semi-continentale moyennement arrosé. Ce mésoclimat devient de plus en plus chaud et sec depuis 30 ans : réchauffement hivernal et augmentation d'environ 25 % de la sécheresse estivale depuis 30 ans.

Le contexte géologique est très homogène avec une dominance des argiles de la Woëvre plus ou moins recouvertes de limons des plateaux. Sur la forêt, tous les relevés (sauf 1) relatifs au catalogue Plaine lorraine ont présenté des taches d'hydromorphie pour une profondeur moyenne d'apparition de 15,3 cm (mais variation selon les 5 stations observées pour les 94 relevés effectués). Concernant le plancher argileux, il a été observé là encore dans presque tous les cas (sauf 1 relevé) pour une profondeur moyenne 30,1 cm. La contrainte (pour la croissance et la régénération des peuplements) liée à un engorgement hivernal durable et intense est donc majeure dans le massif de la Reine.

Concernant les peuplements forestiers, les essences très largement dominantes sont le Chêne pédonculé et le Charme. La surface terrière moyenne totale (Gtot) est de $23,3 \pm 7,4 \text{ m}^2/\text{ha}$ avec un relatif équilibre entre les gros bois (32 %), les bois moyens (29 %) et les petits bois (39 %). Les Chênes (pédonculé en très grande majorité) représentent 58 % de Gtot et le Charme 30 %. Les peuplements réguliers à gros bois dominants (types 3X) et irréguliers (types 5X) sont majoritaires avec respectivement 19 % et 55 % des placettes. Les deux types 52 et 53 (irréguliers à bois moyen ou gros bois) représentent à eux deux 45 % des placettes.

Concernant la biodiversité végétale, 169 espèces ont été inventoriées (94 relevés sous couvert forestier continu de 400 m²). 21 espèces sont présentes dans au moins 50 % des relevés et 7 dans plus de 75 %. À l'opposé, 82 espèces sont présentes dans moins de 5 % des relevés. Les espèces herbacées les plus fréquentes (présence dans plus de 50 % des relevés) sont des espèces très classiques de la Plaine lorraine avec le carex des bois, la canche cespiteuse, le millet diffus, le lierre, le fraisier sauvage, l'anémone des bois, le brachypode des bois, le bugle rampant (n=8 espèces).

La diversité moyenne par relevé floristique (= diversité α) est de $30,2 \pm 8,1$ espèces avec une amplitude de 12 à 53 espèces. 23 % des relevés contiennent moins de 25 espèces (moy. 19,4 espèces) et 26 % plus de 35 (moy. 40 espèces). Les relevés « riches » avec au moins 40 espèces représentent 14 % des cas (moy. 42,4 espèces). Par rapport aux projets réalisés précédemment avec les mêmes protocoles et pendant les mêmes périodes (juin) dans le Grand Est en Plaine lorraine ou sur les Plateaux calcaires, la diversité α apparaît comparable. Enfin, La forêt peut être rattachée aux hêtraies de l'*Asperulo-Fagetum* des forêts collinéennes de l'Europe tempérée (91.30) correspondant au code Corine 41.13. La composition spécifique permet de rattacher la forêt à l'association du « *Poo chaixii-Fagetum sylvaticae* » c'est-à-dire aux « Hêtraies-chênaies à Pâturin de Chaix » (91.30 – 6). Elle peut être également rattachée aux Chênaies pédonculées calcicoles à acidiclinales, subatlantiques à continentales (91.60) correspondant au code Corine 41.24. La composition spécifique permet de rattacher la forêt à l'association du « *Primulo elatiori-Quercetum roboris* » c'est-à-dire des chênaies pédonculées subatlantiques, calcicoles à neutrophiles à Primevère élevée (91.30 – 2 ; CB 41-24 b)

Le volume de bois mort au sol est en moyenne de $17,1 \pm 15,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ (0 à 93) mais avec des fortes variations entre placettes. Ainsi, 43 % des placettes ont des volumes inférieurs à $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ et 16 % des volumes supérieurs à $30 \text{ m}^3/\text{ha}$. Des volumes supérieurs à $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ ont été observés dans seulement 10 % des cas. Ce volume de bois mort est comparable à celui observé lors des précédents projets et à la moyenne nationale issue des données de l'IGN (17 m³/ha, données 2022).

8. Références

- Dupouey, J. L., Sciama, D., Koerner, W., Dambrine, E., & Rameau, J. C. (2002). La végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française*, 54(6), 521-532.
- Ellenberg, H. (1988). *Vegetation ecology of Central Europe*. fourth ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ellenberg, H., Weber, H. E., Dull, R., Wirth, V., Werner, W., & Paulissen, D. (1992). Zeigerwerte von Pflanzen in Mittel-europa. *Scripta Geobot.*, 18(1-248).
- Gégout, J. C., Coudun, C., Bailly, G., & Jabiol, B. (2005). EcoPlant: A forest site database linking floristic data with soil and climate variables. *Journal of Vegetation Science*, 16(2), 257-260.
- Girault, D. (1981). Une application des méthodes de définition des stations Forestières. Le massif de la Reine (Woëvre, Lorraine). *Revue Forestière Française*, 33(5), 355-372.
- Hermey, M., Honnay, O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., & Lawesson, J. E. (1999). An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*, 91, 9-22.
- Jaccard, P. (1901). Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, 37(140), 241-272.
- Lebourgeois, F. (2021). Protocole de relevés dans le contexte écologique de la Plaine Lorraine. *Rapport Technique, AgroParisTech-Centre de Nancy*, 46 pages.
- Lebourgeois, F., Gomez, N., Pinto, P., & Mérian, P. (2013). Mixed stands reduce *Abies alba* tree-ring sensitivity to summer drought in the Vosges mountains, western Europe. *Forest Ecology and Management*, 303(9), 61-71.
- Lebourgeois, F., & Piedallu, C. (2005). Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. *Revue Forestière Française*, 57(3), 331-356.
- Madesclaire, A., Gaudin, S., Jabiol, B., & Lebourgeois, F. (2016). Les milieux forestiers de la Plaine lorraine. Guide pour l'identification des stations et du choix des essences *Edition CNPF*, 1-132.
- Sciama, D., Augusto, L., Dupouey, J. L., Gonzalez, M., & Moares Domínguez, C. (2009). Floristic and ecological differences between recent and ancient forests growing on non-acidic soils. *Forest Ecology and Management*, 258(5), 600-608.
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). The water balance. *Drexel Institute of Climatology Laboratory, Climatology publication*, 8, 1-104.

9. Liste des Figures

Figure 1 Scan 25 du massif de la Reine et des quatre forêts associées. La couleur indique les six zones affectées aux six groupes d'étudiants (quatre étudiants par groupe et un encadrant) pour l'échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).....	4
Figure 2 Parcellaire du massif de la Reine et des quatre forêts associées. La couleur indique les six zones affectées aux six groupes d'étudiants (quatre étudiants par groupe et un encadrant) pour l'échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).....	5
Figure 3 Évolutions des précipitations et températures annuelles sur la période 1950-2020 pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à environ 40 km du massif de la Reine).	6
Figure 4 Diagramme ombrothermique pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à environ 40 km du massif). Histogrammes, P50-20 = précipitations moyennes (en mm) sur la période 1950-2020 ; En vert, T50-85 et en rouge T00-20= températures moyennes (°C) sur la période 1950-1985 et 2000-2020.	7
Figure 5 Évolution du bilan hydrique climatique ($P-ETP_{Turc}$) [A] et du déficit d'évaporation ($ETR-ETP$) [B] sur la période 1950 à 2020. L'évapotranspiration potentielle a été calculée avec la formule de Turc. Le déficit d'évaporation a été calculé à partir du modèle de bilan hydrique de Thornthwaite et Mather (1955). Pour le calcul, une réserve utile du sol de 120 mm (sur 70-80 cm) a été considérée. Les données en gras correspondent aux moyennes et écarts-types pour chaque période de 10 ans.	8
Figure 6 Carte géologique du massif forestier de la Reine. Les zones entourées indiquent les six zones affectées aux six groupes d'étudiants (quatre étudiants par groupe) pour l'échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).	9
Figure 7 Tableau de synthèse des stations forestières et de leurs caractéristiques avec synthèse du choix des essences (modifié d'après Madesclaire et al. 2016).	10
Figure 8 Espèces végétales classées par ordre décroissant de leur fréquence dans les relevés floristiques (n=94 relevés de 400 m ²). Seules les 41 espèces (parmi les 169 au total) présentes dans au moins 30 % des relevés sont présentées. Les espèces arborées sont signalées par un histogramme vert et arbustives par un histogramme jaune.	14
Figure 9 Nombre de relevés par classe du nombre d'espèces par relevé (N=94 placettes au total et 169 espèces différentes). Le nombre moyen d'espèces par classe est également donné (ronds orange).	15
Figure 10 Fréquences des différents types biologiques observés sur les 94 relevés (169 espèces différentes).	17
Figure 11 Fréquences des différents groupes écologiques selon la nomenclature de la flore forestière française observés sur les 94 relevés (169 espèces différentes).	17
Figure 12 Fréquences des différents groupes écologiques selon les valeurs indicatrices d'Ellenberg et al. 1992 observés sur les 94 relevés (155 espèces pris en compte sur les 169 au total). Les données () sont la valeur moyenne et l'écart-type des indices.	19
Figure 13 Présence du massif forestier de la Reine sur la carte de Cassini (en haut) et sur la carte d'État-major (en bas) (Source GéoPortail – 2022 - https://www.geoportail.gouv.fr/carte). Les zones entourées indiquent les six zones affectées aux six groupes d'étudiants (quatre étudiants par groupe) pour l'échantillonnage (réalisation de la carte Célia Besson – AgroParisTech – 2022).	20
Figure 14 Fréquences des 23 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=94) selon la liste de Dupouey et al. 2002. Seules les espèces présentes dans au moins 20 % des relevés sont présentées. Le nombre total d'espèces inventoriées est de 169.	21
Figure 15 Fréquences des espèces des forêts récentes (n=106) et anciennes (n=49) (selon la liste de Dupouey et al. 2002) selon leurs valeurs indicatrices « lumière » issues du coefficient d'Ellenberg. La figure illustre clairement le caractère plus sciaphile des espèces des forêts anciennes et plus héliophile pour les forêts récentes.	22
Figure 16 Fréquences des espèces des forêts récentes (n=120) et anciennes (n=49) (selon la liste de Dupouey et al. 2002) selon leurs groupes écologiques issus de la flore forestière française.	22
Figure 17 Carte des stations forestières déterminées dans le massif forestier de la Reine d'après les catalogues Plaine lorraine (n=94 relevés) et les Plateaux calcaires du Nord-Est (n=18 relevés).	23
Figure 18 Effectif des relevés par station et nombre moyen (\pm écart-type) d'espèces inventoriées par station (n=94 relevés). Les stations rattachées aux Plateaux calcaires ne sont pas présentées (n=18 relevés, voir Figure 17). La ligne en pointillé indique la diversité floristique moyenne par relevé (n=94 relevés).	24

Figure 19 Fréquences des groupes écologiques selon la flore forestière française par types de station pour la Plaine lorraine. Pour les stations limoneuses, le gradient de bleu à vert indique l'intensité de la contrainte engorgement (plus la couleur est foncée plus l'hydromorphie est importante).	24
Figure 20 Carte de la profondeur d'apparition (en cm) des taches d'hydromorphie sur le massif forestier de la Reine....	25
Figure 21 Caractéristiques des stations relevées dans le massif de la Reine selon la profondeur d'apparition d'un plancher argileux (en cm) (histogrammes orange) et la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) (ronds bleus). Les losanges verts sont la moyenne de la diversité floristique observée par grand type stationnel.....	25
Figure 22 Carte de la profondeur d'apparition (en cm) du plancher argileux sur le massif forestier de la Reine.	26
Figure 23 Relation entre la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm) dans le massif forestier de la Reine (n=94 placettes). Les différentes stations sont représentées par des couleurs différentes. Les limites de 30 et 50 cm pour le plancher argileux correspondent aux limites définies dans le catalogue des stations de la Plaine lorraine.	27
Figure 24 Carte de la surface terrière totale (G en m ² /ha) sur le massif forestier de la Reine.	31
Figure 25 Effectif des relevés (n=94) par classes de surface terrière (G en m ² /ha) et surface terrière moyenne par classe pour le massif forestier de la Reine (hors Rangeval).	32
Figure 26 Effectif des types de peuplement selon la typologie de la Plaine lorraine et surface terrière moyenne (ronds). 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier. Données pour les 94 placettes réalisées dans le massif de la Reine (hors Rangeval).....	32
Figure 27 Carte des types de peuplement selon la typologie Plaine lorraine sur le massif forestier de la Reine.	33
Figure 28 Pourcentages des essences dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m ² /ha). Le nombre de placettes par classe est respectivement de 3 [2-10], 6, 21, 31, 20, 7 et 5 (> 35). Pour les Chênes (CH), il s'agit essentiellement de Chêne pédonculé. CHA : Charme ; HET = Hêtre ; FRE = Frêne ; ERC = Érable champêtre ; Div = divers (feuillus).	34
Figure 29 Pourcentages des trois catégories de diamètres dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m ² /ha). PB = petits bois ; diamètres entre]17,5 à 27,5 cm] ; BM = bois moyens]27,5 à 47,5 cm] et gros bois (> 47,5 cm) (n=94 inventaires).	34
Figure 30 Carte des structures des peuplements sur le massif forestier de la Reine.	35
Figure 31 Fréquences des espèces (calculées en fonction de leur importance dans la surface terrière totale) selon la typologie des peuplements. 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier. Le chiffre () correspond à l'effectif des placettes par type (n=94 au total).	35
Figure 32 Fréquences des placettes selon les volumes de bois mort au sol selon 8 classes (en m ³ /ha) (N=94 placettes).	36
Figure 33 Résultat de l'analyse en composantes principales effectuée sur les 94 relevés. [1] : % de variance expliquée par les différents axes. [2A] : répartition des variables écologiques (8) et sylvicoles (17) sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique l'importance de la variable pour l'explication des axes (cos ²). Plus la couleur est foncée et plus la variable a de poids. [2B] : répartition des 94 relevés sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique la surface terrière totale (m ² /ha en classes). La taille des ronds indique la contribution relative du relevé à la définition des axes. Plus le rond est grand et plus le relevé a du poids. Dans le graphique, seules les variables dont la contribution (en %) est significative c'est-à-dire supérieure à 4 %) ont été représentées. [3] : Contributions des 15 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 1 (17,2 % de variance expliquée). [4] : Contributions des 15 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 2 (15,7 % de variance expliquée). Pour [3] et [4], la ligne rouge en pointillé indique le seuil significatif de la contribution des variables (ici 1/25 * 100 = 4 %). Voir texte pour l'explication des codes des variables.	39
Figure 34 Répartition des 94 relevés le long de l'axe 1 de l'ACP (17,2 % de la variance) selon la proportion de Gros Bois (GB) et de Petit Bois (PB) dans la surface terrière totale [A] et du nombre total d'espèces végétales dans le relevé [B]. En vert toutes les espèces et en rouge les espèces des forêts anciennes (selon Dupouey et al. 2002).	40

10. Liste des Tableaux

Tableau 1 Températures moyennes (et écarts-types) mensuelles sur les périodes 1950-1985 (période de référence) et 2000-2020.....	7
Tableau 2 Synthèse des diversités α et β observées lors de 10 projets précédents menés dans différentes régions françaises avec les mêmes protocoles de relevés et pendant la même période (phase de terrain à la mi-juin dans tous les cas). La diversité α est le nombre d'espèces par relevé et la diversité β représente la similitude de la composition floristique	

entre tous les relevés (valeurs comprises entre 0 - aucune similitude - et 1 - tous les relevés ont la même composition).
NbR = Nombre total de placettes réalisées (une placette : 400 m² en contexte forestier fermé). NbE = Nombre total d'espèces végétales relevées. 16

Tableau 3 | Espèces indicatrices majeures des « hêtraies-chênaies à Pâturin de chaix » (d'après les cahiers habitats, Natura 2000). Le nombre indique, pour chaque espèce, sa fréquence (en %) d'observation dans les relevés pour le massif de la Reine (n=94 relevés). 28

Tableau 4 | Espèces indicatrices majeures des « chênaies pédonculées subatlantiques, calcicoles à neutrophiles à Primevère élevée » (d'après les cahiers habitats, Natura 2000). Le nombre indique, pour chaque espèce, sa fréquence (en %) d'observation dans les relevés pour le massif de la Reine (n=94 relevés). 29

Tableau 5 | Nombre total [et fréquences en %] d'arbres présentant des dendromicrohabitats : cavités hautes, basses, altération des écorces, champignons ou des lianes (gros lierre). Les observations sont faites pour chaque placette sur les trois plus gros arbres de l'inventaire relascopique (Chênes pédonculés dans la majorité des cas). 37

Tableau 6 | Fréquences des dendromicrohabitats exprimées en nombre des placettes (n=94) présentant des cavités hautes, basses, une altération des écorces, des champignons ou des lianes (gros lierre) sur 0, 1, 2 ou 3 arbres. 37

Tableau 7 | Statistiques des liens entre les différentes variables (continues ou en classes) et la répartition des 94 relevés le long de l'axe 1 qui explique 17,2 % de la variance (voir texte pour la signification des codes). 40

Tableau 8 | Comparaison des caractéristiques des 35 relevés entre 1979 et 2022. 41

Même si la communauté végétale apparaît différente (diversité), la bioindication (Gégout, Coudun, Bailly, & Jabiol, 2005) des conditions stationnelles fournies par les plantes est identique (Tableau 8). 42

11. Liste des espèces (fréquence dans les 94 relevés – juin 2022)

Espèce	Nb rel. (n=94)	Fréq.
<i>Abies grandis</i>	1	0.01
<i>Acer campestre</i>	58	0.62
<i>Acer platanoides</i>	1	0.01
<i>Acer pseudoplatanus</i>	4	0.04
<i>Agrostis canina</i>	2	0.02
<i>Agrostis capillaris</i>	2	0.02
<i>Agrostis stolonifera</i>	4	0.04
<i>Ajuga reptans</i>	47	0.5
<i>Alliaria petiolata</i>	2	0.02
<i>Anemone nemorosa</i>	54	0.57
<i>Angelica sylvestris</i>	1	0.01
<i>Arrhenatherum elatius</i>	1	0.01
<i>Arum maculatum</i>	3	0.03
<i>Athyrium filix-femina</i>	11	0.12
<i>Atrichum undulatum</i>	37	0.39
<i>Betula pendula</i>	9	0.1
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	49	0.52
<i>Bromopsis ramosus</i>	1	0.01
<i>Campanula trachelium</i>	1	0.01
<i>Cardamine pratensis</i>	34	0.36
<i>Carex brizoides</i>	1	0.01
<i>Carex echinata</i>	1	0.01
<i>Carex elongata</i>	2	0.02
<i>Carex flacca</i>	17	0.18
<i>Carex pallescens</i>	30	0.32
<i>Carex pilulifera</i>	1	0.01
<i>Carex remota</i>	34	0.36
<i>Carex sylvatica</i>	79	0.84
<i>Carpinus betulus</i>	94	1
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	1	0.01
<i>Circaea lutetiana</i>	44	0.47
<i>Cirsium arvense</i>	2	0.02
<i>Clematis vitalba</i>	1	0.01
<i>Convallaria majalis</i>	41	0.44
<i>Cornus mas</i>	3	0.03
<i>Cornus sanguinea</i>	15	0.16
<i>Corydalis solida</i>	1	0.01
<i>Corylus avellana</i>	52	0.55
<i>Crataegus laevigata</i>	60	0.64
<i>Crataegus monogyna</i>	54	0.57

<i>Dactylis glomerata</i>	19	0.2
<i>Deschampsia cespitosa</i>	79	0.84
<i>Deschampsia flexuosa (Avenella)</i>	3	0.03
<i>Dicranum scoparium</i>	5	0.05
<i>Dryopteris carthusiana</i>	31	0.33
<i>Dryopteris dilatata</i>	5	0.05
<i>Dryopteris filix-mas</i>	59	0.63
<i>Epilobium angustifolium</i>	1	0.01
<i>Epilobium hirsutum</i>	1	0.01
<i>Epilobium montanum</i>	4	0.04
<i>Epipactis helleborine</i>	2	0.02
<i>Euonymus europaeus</i>	6	0.06
<i>Eupatorium cannabinum</i>	2	0.02
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	7	0.07
<i>Eurhynchium stockesii (Kindbergia praelonga)</i>	18	0.19
<i>Eurhynchium striatum</i>	46	0.49
<i>Fagus sylvatica</i>	54	0.57
<i>Festuca gigantea (Schedonorus giganteus)</i>	4	0.04
<i>Festuca heterophylla</i>	1	0.01
<i>Filipendula ulmaria</i>	2	0.02
<i>Fragaria vesca</i>	56	0.6
<i>Fraxinus excelsior</i>	75	0.8
<i>Galeopsis tetrahit</i>	18	0.19
<i>Galium aparine</i>	4	0.04
<i>Galium odoratum</i>	1	0.01
<i>Galium palustre</i>	9	0.1
<i>Geranium robertianum</i>	28	0.3
<i>Geranium sylvaticum</i>	1	0.01
<i>Geum urbanum</i>	38	0.4
<i>Glechoma hederacea</i>	15	0.16
<i>Hedera helix</i>	62	0.66
<i>Heracleum sphondylium</i>	10	0.11
<i>Holcus lanatus</i>	3	0.03
<i>Hordelymus europaeus</i>	1	0.01
<i>Hypericum hirsutum</i>	31	0.33
<i>Hypericum perforatum</i>	2	0.02
<i>Hypericum pulchrum</i>	1	0.01
<i>Iris pseudacorus</i>	1	0.01
<i>Juncus conglomeratus</i>	17	0.18
<i>Juncus effusus</i>	42	0.45
<i>Lamium galeobdolon</i>	39	0.41
<i>Lapsana communis</i>	23	0.24
<i>Lathyrus pratensis</i>	1	0.01
<i>Ligustrum vulgare</i>	9	0.1

<i>Lonicera periclymenum</i>	15	0.16
<i>Lonicera xylosteum</i>	3	0.03
<i>Lotus pedunculatus</i>	3	0.03
<i>Luzula forsteri</i>	1	0.01
<i>Luzula luzuloides</i>	3	0.03
<i>Luzula multiflora</i>	1	0.01
<i>Luzula pilosa</i>	14	0.15
<i>Luzula sylvatica</i>	1	0.01
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	0.01
<i>Malus sylvestris</i>	5	0.05
<i>Melica uniflora</i>	1	0.01
<i>Milium effusum</i>	75	0.8
<i>Moehringia trinervia</i>	18	0.19
<i>Myosotis arvensis</i>	7	0.07
<i>Myosotis scorpioides</i>	1	0.01
<i>Neottia nidus-avis</i>	8	0.09
<i>Ornithogalum pyrenaicum (Loncomelos pyrenaicus)</i>	1	0.01
<i>Paris quadrifolia</i>	29	0.31
<i>Phyteuma spicatum</i>	1	0.01
<i>Picea abies</i>	6	0.06
<i>Plagiomnium affine</i>	3	0.03
<i>Plagiomnium undulatum</i>	2	0.02
<i>Poa chaixii</i>	2	0.02
<i>Poa nemoralis</i>	24	0.26
<i>Poa palustris</i>	2	0.02
<i>Poa trivialis</i>	22	0.23
<i>Polygonatum multiflorum</i>	27	0.29
<i>Polygonatum odoratum</i>	3	0.03
<i>Polytrichum formosum</i>	25	0.27
<i>Populus tremula</i>	42	0.45
<i>Potentilla sterilis</i>	34	0.36
<i>Primula elatior</i>	39	0.41
<i>Primula veris</i>	2	0.02
<i>Prunella vulgaris</i>	1	0.01
<i>Prunus avium</i>	13	0.14
<i>Prunus spinosa</i>	23	0.24
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	2	0.02
<i>Pulmonaria montana</i>	2	0.02
<i>Pulmonaria obscura</i>	1	0.01
<i>Pyrus pyraster</i>	4	0.04
<i>Quercus petraea</i>	11	0.12
<i>Quercus robur</i>	79	0.84
<i>Quercus rubra</i>	4	0.04
<i>Ranunculus auricomus</i>	2	0.02

<i>Ranunculus repens</i>	5	0.05
<i>Rhytidadelphus loreus</i>	60	0.64
<i>Ribes alpinum</i>	1	0.01
<i>Rosa arvensis</i>	69	0.73
<i>Rosa canina</i>	10	0.11
<i>Rubus caesius</i>	6	0.06
<i>Rubus fruticosus aggr.</i>	87	0.93
<i>Rubus idaeus</i>	7	0.07
<i>Rumex acetosa</i>	2	0.02
<i>Rumex obtusifolius</i>	10	0.11
<i>Rumex sanguineus</i>	15	0.16
<i>Salix caprea</i>	1	0.01
<i>Scrophularia nodosa</i>	40	0.43
<i>Solanum dulcamara</i>	1	0.01
<i>Sorbus domestica</i>	1	0.01
<i>Sorbus torminalis</i>	50	0.53
<i>Stachys sylvatica</i>	21	0.22
<i>Stellaria holostea</i>	9	0.1
<i>Stellaria nemorum</i>	2	0.02
<i>Thamnobryum alopecurum</i>	4	0.04
<i>Thuidium tamariscinum</i>	24	0.26
<i>Tilia cordata</i>	1	0.01
<i>Tilia platyphyllos</i>	2	0.02
<i>Torilis arvensis</i>	1	0.01
<i>Ulmus glabra</i>	1	0.01
<i>Ulmus laevis</i>	3	0.03
<i>Ulmus minor</i>	6	0.06
<i>Urtica dioica</i>	1	0.01
<i>Valeriana dioica</i>	1	0.01
<i>Valeriana officinalis</i>	6	0.06
<i>Veronica chamaedrys</i>	19	0.2
<i>Veronica montana</i>	9	0.1
<i>Veronica officinalis</i>	9	0.1
<i>Viburnum lantana</i>	1	0.01
<i>Viburnum opulus</i>	31	0.33
<i>Vicia cracca</i>	3	0.03
<i>Vicia sepium</i>	42	0.45
<i>Vinca minor</i>	1	0.01
<i>Viola mirabilis</i>	1	0.01
<i>Viola reichenbachiana</i>	25	0.27
<i>Viola riviniana</i>	2	0.02