



HAL
open science

Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers en forêt domaniale de Bezange-la-Grande (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 Bezange-la-Grande (Plaine lorraine). Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, Silva. 2024, pp.56. hal-04528790

HAL Id: hal-04528790

<https://hal.science/hal-04528790v1>

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 Bezange-la-Grande
(Plaine lorraine)

Lebourgeois François (Coordinateur)

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



© F. Lebourgeois – 2014 – Chat forestier en forêt domaniale de Bezange-la-Grande

Citation : Lebourgeois F. (Coord.) (2024) Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers en forêt domaniale de Bezange-la-Grande (Plaine lorraine). Rapport scientifique final, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, 56 pages.

Table des matières

1. Renseignements généraux	4
1.1. Désignation et situation de la forêt étudiée	4
2. Analyse du contexte écologique	5
2.1. Mésoclimat et changements déjà observés	5
2.2. Contexte géologique.....	8
3. Description des peuplements lors de l'aménagement 2007-2022	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	16
5.5. Flore rare et espèces protégées	17
5.6. Caractéristiques de la flore observée.....	18
a. Familles et types biologiques.....	18
b. Groupes écologiques	18
c. Flore des forêts anciennes.....	21
d. Comparaisons entre les trois inventaires 2014-2018-2023	24
5.7. Les stations forestières.....	28
5.8. Habitat forestier, valeur écologique et conservation.....	33
5.9. Typologie des peuplements forestiers.....	35
a. Surface terrière et typologie des peuplements	35
b. Surface terrière et composition spécifique.....	36
c. Surface terrière et catégorie des diamètres	37
d. Typologie des peuplements et composition spécifique	38
5.10. Bois mort et dendromicrohabitats (DMH)	39
5.11. Déterminisme écologique et sylvicole de la diversité floristique α	42
6. Synthèse	46
7. Références	47
8. Liste des Figures	48
9. Liste des Tableaux	50
10. Annexe : Liste des espèces (n=234)	51

INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats des analyses des relevés écologiques et dendrométriques effectués en 2014, 2018 et 2023 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), la forêt domaniale de Bezange-la-Grande a été inventoriée 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 un peu moins de 1000 ha de la forêt qui se trouve dans la région naturelle de la Plaine lorraine et localisée sur un plateau à faible relief, avec une altitude entre 200 et 310 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 et pour les modules 2014-2018-2023) : Célia Bresson, Philippe Durand, Bruno Ferry, Bernard Jabiol, François Lebourgeois, Sylvie Lehmann, Sophie Lorentz, Caroline Petitjean, Fabien Spicher, Erwin Thirion, Lucas Putigny

Étudiants (15 à 24 par projet)

2014 : ASSEMAT Amélie, BABIN Juliette, DEZEURE Jules, DUPRES Dimitri, DURANTE Samuel, EVIEUX Estelle, GARET Elie, GAUDARE Ulysse, HOUPERT Léa, LEONARDUZZI Anouk, MICHAULT Margot, ROSON Floriane, SCHMITT Anna, SURUN Clément, VUGIER Romain.

2018 : BERTRAND Elodie, BONNAURE Victoire, BURÉSI Simon, CAR Lilian, CARRIERE Gaëlle, COTTE Jacques-André, DOMALAIN Thomas, FOURNIER Alice, GILLET Lucien, HERVÉ Théo, JEANNOT Laura-li, JOUAN Romain, LALLEMAND Hugo, LHOPITAL Maël, LIEGE Lucie, LUCIDARME Amandine, MONOD-BROCA Benjamin, RATSIMBA Anne, RIETSCH Apolline, ROUVIER Sylvain, SWAENPOEL Émilie, VERMERSCH Léa

2023 : ALAUZE Émeline, BERTHOMIEU Sarah, BIELAKOFF Tom, BUCAILLE Marion, CHESNAIS Léa, DE CHÂTEAUBOURG Cédric, DECENCIERE Maïté, DESSART Timothée, DUBOIS Klara, FARAMUS François, GÉRARD Samuel, GOTTI Céleste, JACQUEMART Fabien, JULLIARD Solène, LAURENT Brieuc, LECOEUR Ewen, LÉPINGLE Léa, LOUIS Théo, LUNEAU Chloé, MONGIN Youri, PICHANCOURT Hélène, RIFFAUD Margot, SARTRE Alice, SCHMITT Léonard.

Ce projet s'est fait en partenariat avec l'Office national des forêts (UT Forêt de Haye-Grand couronné - Zone de loisir - Velaine en Haye - 54201 TOUL ; Responsable actuelle : Chantal Lemoine) 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 Bezange-la-Grande (Plaine lorraine). Rapport scientifique final, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, 56 pages.

1. Renseignements généraux

1.1. Désignation et situation de la forêt étudiée

La forêt domaniale de Bezange-la-Grande s'étend sur une superficie de 1392 ha et 19 a avec une Série 1 (production de bois et protection biologique) de 1322,86 ha (traitement en futaie régulière et futaie irrégulière) et une Série 2 d'intérêt écologique général de 69,33 ha correspondant à une réserve biologique intégrale (RBI du Capitaine Monté) créée en 2007. La forêt comprend en fait 4 massifs (Figure 2) : Forêt domaniale de Bezange-la-Grande (parcelles 1 à 56, le plus grand massif, le Bois de Sainte-Marie (parcelles 57 à 68 à l'ouest du village de Bezange-la-Grande), la forêt de Ranzey (parcelles 69 à 88 au sud du village de Bezange-la-Grande) et le Bois de Faulx (parcelles 89 à 98 au sud-est du Bois de Sainte-Marie).

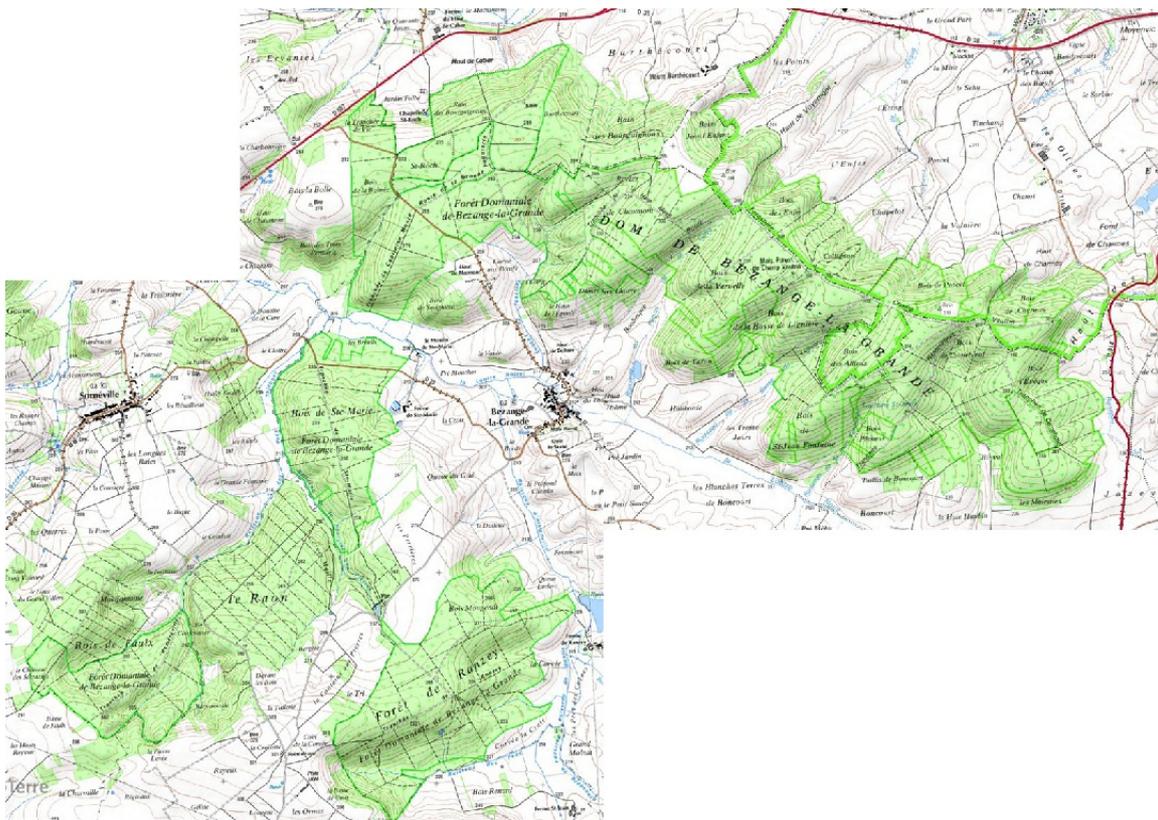


Figure 1 | Carte topographique IGN Scan 25 de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande avec les 4 grands massifs (Source <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>).

La forêt appartient à la région naturelle de la Plaine lorraine et est localisée sur un plateau avec une altitude entre 200 et 310 mètres. Le massif principal s'étend sur environ 7 km de long dans sa plus grande longueur et 2 km dans sa plus grande largeur. Le relief est parfois marqué avec des pentes assez fortes (de plus de 15 %) et des vallons humides (le plus souvent) plus ou moins étroits (Figure 2). Outre son intérêt écologique, la forêt présente un intérêt historique majeur en tant que limite entre la France et l'Allemagne pendant la Première Guerre Mondiale. Elle possède de très nombreux vestiges d'ouvrages militaires.

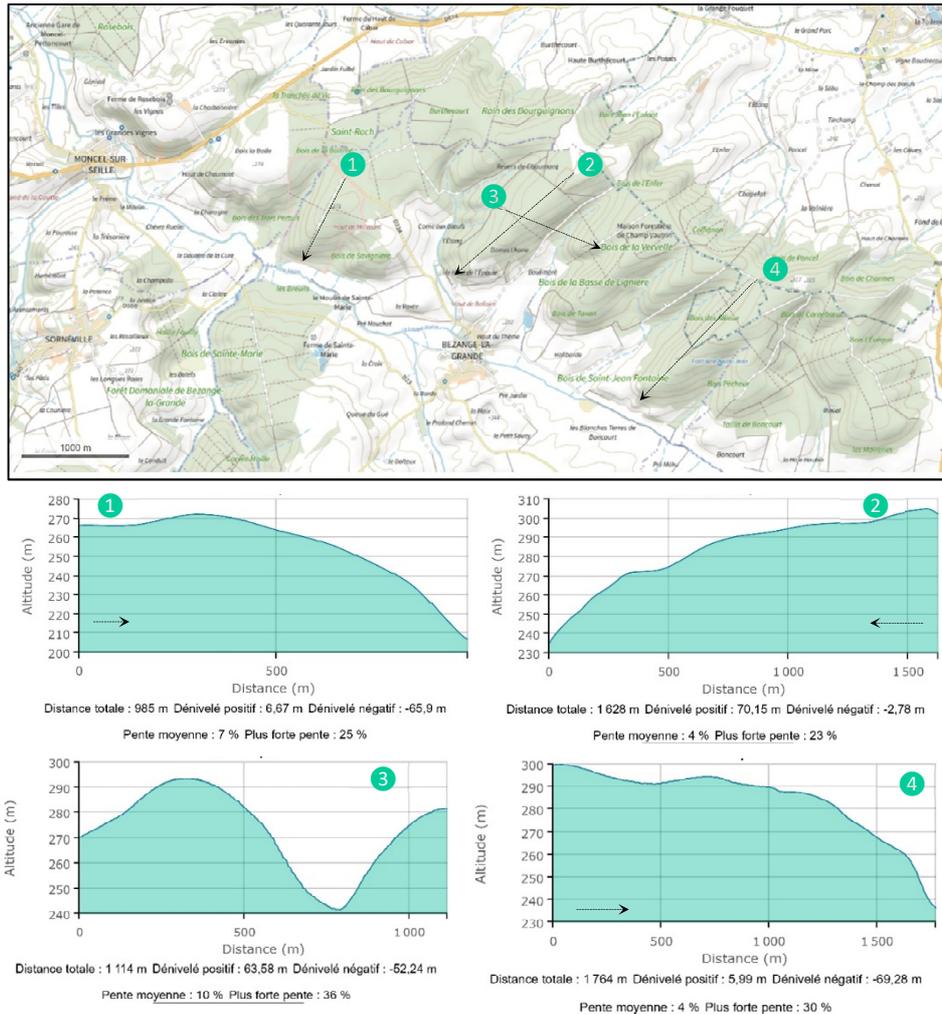


Figure 2 | Carte topographique IGN Scan 25 de la forêt domaniale de Beze-la-Grande (environ 1400 ha). Quelques profils altimétriques représentatifs du relief sont présentés (Source <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>).

2. Analyse du contexte écologique

2.1. Mésoclimat et changements déjà observés

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).

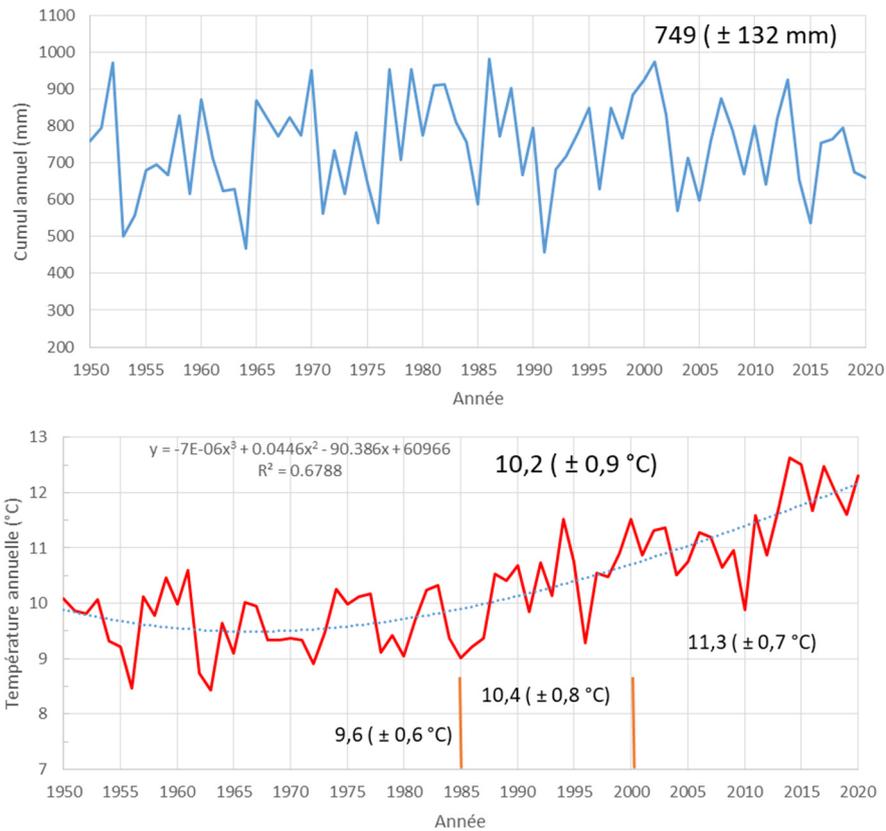


Figure 3 | Évolutions des précipitations et températures annuelles sur la période 1950-2020 pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à 25 km de la forêt).

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)

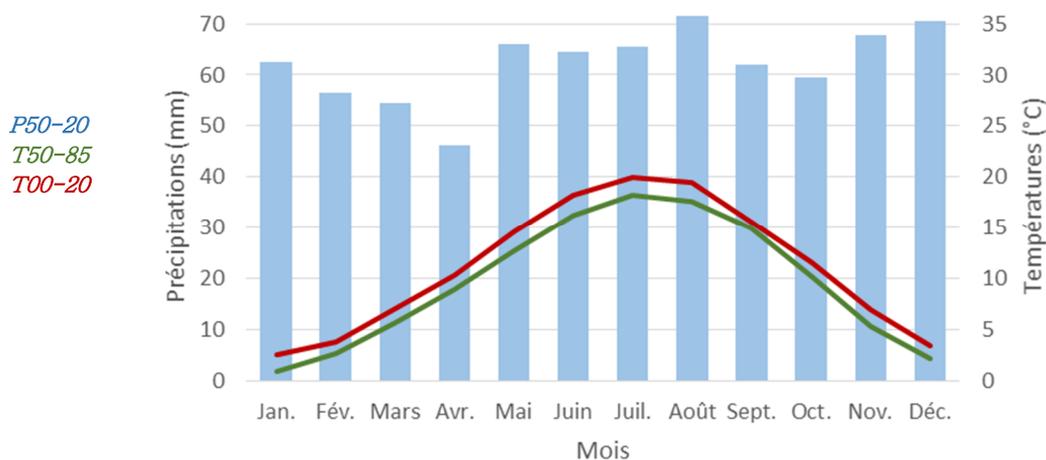


Figure 4 | Diagramme ombrothermique pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à 25 km de la forêt). Histogrammes, P50-20 = précipitations moyennes (en mm) sur la période 1950-2020 ; En vert, T50-85 et en rouge T00-20= températures moyennes (°C) sur la période 1950-1985 et 2000-2020.

Les calculs des bilans hydriques climatiques ($P-ETP_{Turc}$) (Lebourgeois et Piedallu, 2005) et édaphiques (Lebourgeois *et al.*, 2013 ; Thornthwaite et 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).

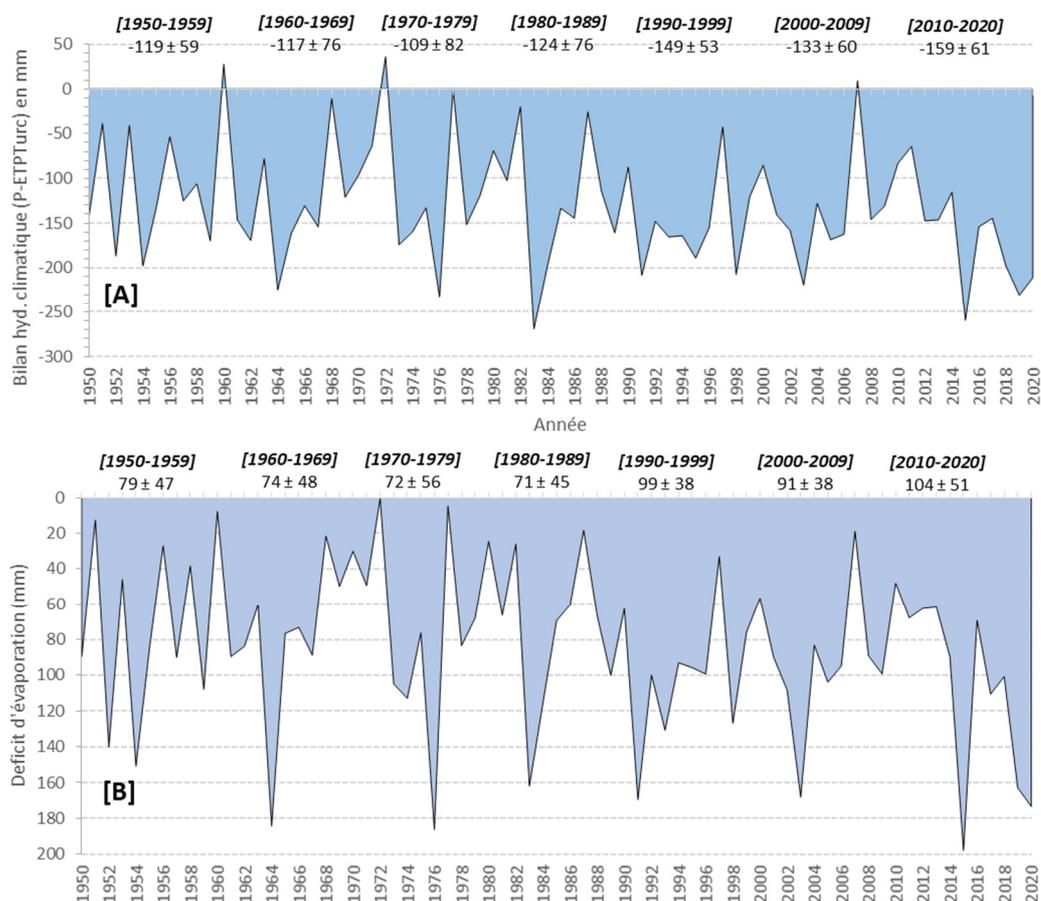


Figure 5 | Évolution du bilan hydrique climatique ($P-ETP_{Turc}$) [A] et du déficit d'évaporation (ETR-ETP) [B] sur la période 1950 à 2020. L'évapotranspiration potentielle a été calculée avec la formule de Turc. Le déficit d'évaporation a été calculé à partir du modèle de bilan hydrique de Thornthwaite 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, conjugués à des attaques répétées de chenilles défoliatrices (chenille processionnaire, géométride) et de parasites secondaires, peuvent occasionner des dégâts importants dans les peuplements voire se traduire par des mortalités fortes. Ces mortalités sont par ailleurs constatées chez le Hêtre depuis 2020 environ en plus des mortalités accrues du Frêne liées à la chalarose depuis une dizaine d'années. L'évolution incertaine de ces phénomènes de mortalité accrue constitue une contrainte lourde de gestion.

2.2. Contexte géologique

La forêt de Bezange-la-Grande est située dans la région naturelle de la Plaine lorraine (Madesclaire *et al.*, 2016). La géologie est variée (Figure 6) et explique en grande partie les reliefs de la forêt. En fait, plusieurs formations géologiques sont observables dans le massif.

- **Formations quaternaires superficielles**

Il s'agit des formations limono-argileuses d'épaisseurs variables qui recouvrent les autres formations. Il peut s'agir des limons d'origines éoliennes ou le résultat de l'évolution des marnes (limons résiduels d'altération et de lessivage). Ces limons sont assez fréquents sur les plateaux et recouvrent aussi plus ou moins les pentes.

- **Formations secondaires**

Les premières formations sont de l'époque géologique du Jurassique inférieur (Série du « Lias ») des étages « Hettangien » et « Sinémurien » (-200 à - 150 millions d'années). Ces formations sont regroupées sur le terme de « calcaires à gryphées » (Photo 1) comprenant aussi des marnes gris-bleu. Elles se rencontrent dans les points les plus élevées de la forêt (souvent recouvertes d'une épaisseur plus ou moins importante des limons des plateaux). Cette formation fait suite au Trias supérieur et plus précisément à l'étage terminal du Trias, à savoir le Rhétien, et précède le Jurassique moyen.



Photo 1 | Calcaire à gryphées
© F. Lebourgeois.

- **Formations triasiques**

⇒ **SÉRIE DU RHÉTIEN**

Le Rhétien supérieur correspond aux « Argiles de Levallois ». Elles ont un faciès très caractéristique avec une couleur rouge lie-de-vin. Cette formation est souvent recouverte par les formations supérieures et est donc difficile à observer (Photo 2).



Photo 2 | Argiles de Levallois
© F. Lebourgeois.

Le Rhétien inférieur correspond aux « Grès infraliasique » de couleur gris-beige à stratifications obliques reposant sur un niveau argileux noir à débit en plaquettes. Le grès Rhétien est une roche très fiable donnant des sols à texture sableuse dominante et acides.

⇒ KEUPER

On trouve seulement le Keuper supérieur (Keuper : terme allemand désignant les marnes) correspondant aux marnes versicolores (une marne étant une argile carbonatée). On peut également observer un niveau dolomitique (calcaire magnésien) de couleur grise voire rougeâtre.

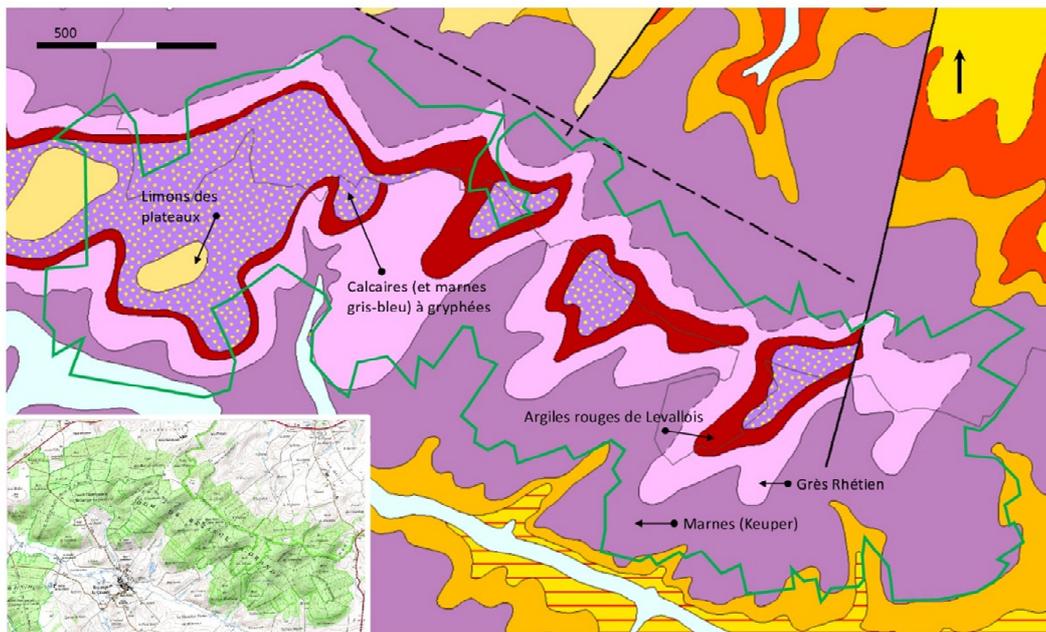


Figure 6 | Carte géologique simplifiée de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande (Modifiée d'après InfoTerre – BrGm 2023, <http://infoterre.brgm.fr/>). La ligne verte représente le périmètre simplifié de l'ensemble du massif de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande.

La succession de ces différentes formations explique le relief de la forêt et vont déterminer les différentes stations forestières. Les sols développés sur les limons, marnes et argiles sont généralement riches (voire très riches) chimiquement avec des textures associant limon 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 donc de l'engorgement hivernal (intensité et durée) : sols à engorgement temporaire. Dans ces contextes, les sécheresses estivales peuvent être également importantes en raison de la difficulté, pour certaines espèces, d'installer un système racinaire profond permettant l'alimentation hydrique en été. Sur grès Rhétien, les sols sont nettement plus sableux se traduisant par une moindre fertilité chimique et des sécheresses estivales plus intenses. Les stations forestières sont déterminées par rapport au catalogue de la Plaine lorraine (Madesclaire *et al.*, 2016) selon les principaux critères cités précédemment : texture de surface, profondeur d'un plancher, profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (et intensité) (Figure 7). Sur les calcaires à gryphées, on peut rencontrer des sols carbonatés avec une charge en éléments grossiers calcaires plus ou moins fortes. Le catalogue renvoie alors au catalogue des stations « Plateaux calcaires du nord-est ».

Station	V1	V2	V3	V4	AH	A	LH1	L1	LH2	LH3	L3	S1	SH	S2
Fréquence	Rare	Peu fréquent	Peu fréquent	Fréquent	Peu fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Peu fréquent	Peu fréquent	Peu fréquent
Fertilité	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Élevée	Élevée	Moyenne	Faible	Faible
Contrainte engorg.	Eng. perm.	Eng. perm.	Forte	Forte	Faible	Null	Forte	Null	Forte	Faible	Null	Null	Forte	Null
Contrainte sécheresse	Null	Null	Faible	Moyenne	Forte	Faible	Forte	Moyenne	Forte	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte
Sensibilité tassement	Forte	Forte	Forte	Forte	Faible	Faible	Forte	Moyenne	Forte	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne
Sensibilité aux CC	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Forte	Faible	Faible	Forte	Forte	Forte
Alisier terminal	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
Bouleau pubescent	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
Chêne pédonculé	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
Chêne sessile	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
Cornier	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
Erable plane	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
Frêne	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
Merisier	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
Peupliers cul.	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
Tremble	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
Epicéa	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
Pin laricio de Calabre	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
Pin sylvestre	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS

Caractéristiques des stations de la Plaine lorraine et Choix des essences

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

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 chènes 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 modifier 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 lors de l'aménagement 2007-2022

Selon les données de l'aménagement de 2007-2022, les futaies à base de Chênes (sessile et pédonculé) en mélange avec le Hêtre et le Charme dominant largement la forêt dans la Série 1 (1322,56 ha de production dont 1297,33 ha de surface boisée) : 79 % avec 56 % de couvert pour les Chênes, 12 % pour le Charme et 11 % pour le Hêtre. La conversion des taillis-sous-futaie (à révolution de 25 ou 30 ans) en futaie régulière (révolution de 150 à 170 ans avec des périodes de 25 à 40 ans) est entamée depuis 1860. Actuellement, pour la surface forestière, 824 ha sont traités en futaie régulière et 473 ha en futaie irrégulière. Dans la Série 2 correspondant à la RBI du Capitaine Monté (69,63 ha), les Chênes dominent encore (49 %) suivi du Tilleul (essentiellement cordé) à 23,5 % et du Charme à 12,6 %. Les Hêtres sont très peu présents et ne représentent que 3 %. Le peuplement est laissé en libre évolution.

La tempête de 1999 a détruit 53 ha et mité les peuplements sur 244 ha. Environ 1000 ha ont été peu ou pas touchés. Ainsi, environ 22 % de la forêt ont été touchés par la tempête de 1999 (4 % de peuplements totalement rasés). Le volume de chablis consécutifs à la tempête a été d'environ 29 000 m³, soit environ 22,3 m³/ha (équivalent à presque 4 années de prévision de récoltes). Depuis cette date, les parcelles ont été analysées et la dynamique forestière s'est installée. Des travaux ont eu lieu dans ces parcelles pour reconstituer un peuplement destiné à la production du bois de Chêne de qualité. Ces parcelles étant encore au stade régénération ou perchis/gaulis (23 % de la surface totale), elles n'ont jamais été retenues pour les modules intégratifs. Seules les parcelles peu ou pas touchées avec des arbres adultes et présentant une couverture forestière continue ont été analysées au cours des modules projets (2014, 2018 et 2023).

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 m³ 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) :

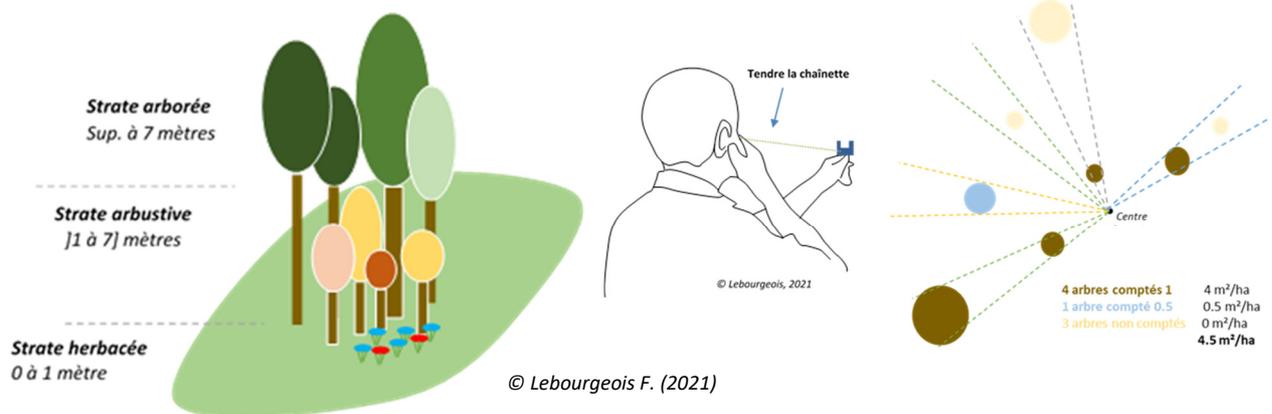


- A. 4 stations de vallons, (V1 à V4)
- B. 2 stations sur argile (AH et A)
- C. 6 stations sur limon (non hydromorphes – L1 et L3 ; faiblement hydromorphes, Lh2 et Lh3 – très hydromorphes, LH1 et LH2)
- D. 3 stations sur sable (non hydromorphes – S1 et S2 ; hydromorphe – SH)



© Lebourgeois F. (2021)

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



© Lebourgeois F. (2021)

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

Pour les trois projets, tous les relevés ont été effectués à la même période c'est-à-dire la troisième semaine de juin. Au total, 310 relevés ont été réalisés : 87 en 2014, 116 en 2018 et 107 en 2023. Pour chaque projet, les zones prospectées représentant environ 950 ha (4 à 6 zones de 130 à 200 ha pour installer les placettes), le taux d'échantillonnage a donc varié de 1 placette pour 8 à 11 ha (en moyenne, 1 placette pour 9 ha). La répartition des points montre un bon échantillonnage sur l'ensemble du massif (Figure 8).

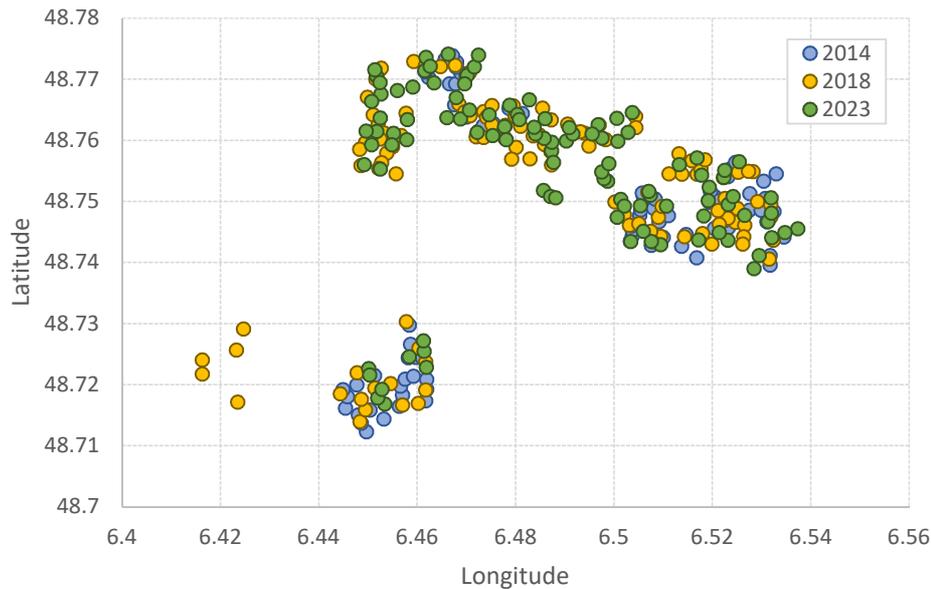


Figure 8 | Répartition spatiale des 310 placettes inventoriées. La couleur des points correspond aux placettes installées par année (87 en 2014, 116 en 2018 et 107 en 2023). Selon les années, 4 à 6 groupes de 4 étudiants avec un accompagnateur pour réaliser les inventaires floristiques, pédologiques et dendrométriques.

5.2. Diversité floristique globale

Au total, 234 espèces différentes ont été inventoriées sur les 310 placettes (surface unitaire de 400 m²). Sur ces 234 espèces, 21 espèces sont présentes dans au moins 50 % des relevés (en moyenne sur les trois inventaires) et 9 dans plus de 75 % (Figure 9). À l'opposé, 140 espèces sont présentes dans moins de 5 % des relevés (en moyenne sur les trois inventaires). Les espèces herbacées les plus fréquentes (présence dans plus de 50 % des relevés) sont des espèces très classiques de la Plaine lorraine avec le lierre, le carex des bois, l'anémone des bois, la benoîte commune, le lamier jaune, le brachypode des bois, la violette des bois, la canche cespiteuse, le millet diffus et la pulmonaire obscure (n=10 espèces) (Figure 9). Concernant les espèces arborées (considérées aussi bien au stade herbacé qu'arboré), le Frêne commun et le Charme apparaissent dans presque tous les relevés suivis par le Hêtre, le Noisetier, le Chêne sessile, le Tilleul cordé et l'Érable champêtre. Le Merisier et l'Érable sycomore complètent le panel des espèces arborées (n=9 espèces). Pour les espèces arbustives, le rosier des champs, la ronce, les aubépines épineuse et monogyne, le troène et la viorne à feuille d'obier sont rencontrés les plus fréquemment (n=6 espèces).

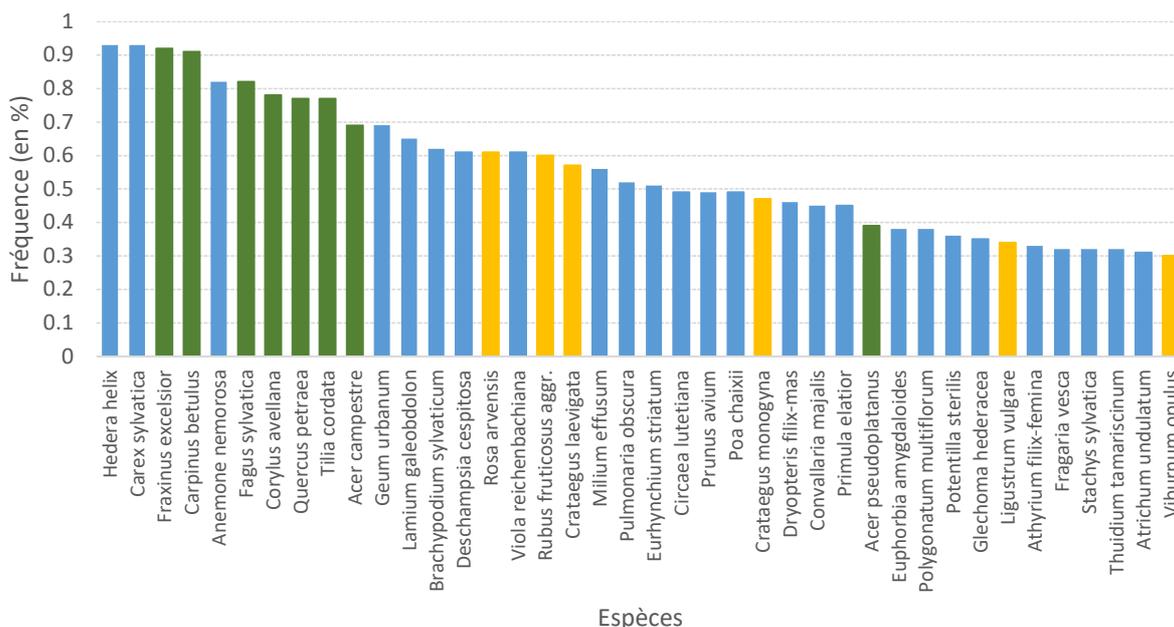


Figure 9 | Espèces végétales classées par ordre décroissant de leur fréquence dans les relevés floristiques (n=310 relevés de 400 m²). Seules les 40 espèces (parmi les 234 au total) présentes dans au moins 30 % des relevés (en moyenne sur les trois inventaires) sont présentées. Les espèces arborées sont 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 $31,4 \pm 8,4$ espèces avec une amplitude de 9 à 61 espèces. 21 % des relevés contiennent moins de 25 espèces (moy. 19,8 espèces) et 35 % plus de 35 (moy. 40,3 espèces) (Figure 10). Les relevés « riches » à plus de 45 espèces représentent seulement 6 % des cas (moy. 48,4 espèces).

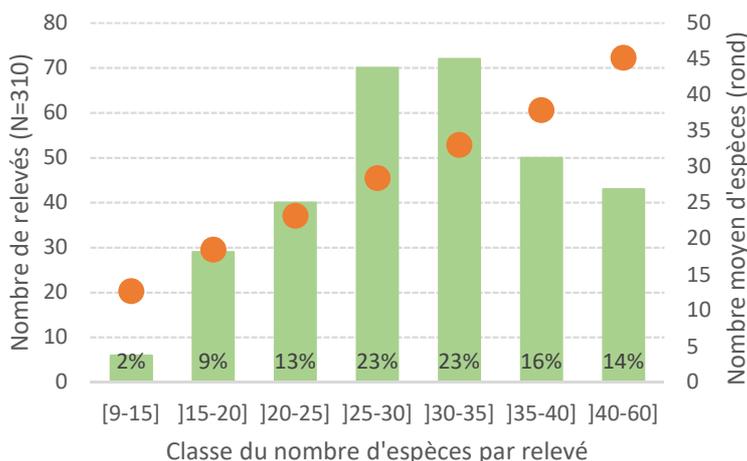


Figure 10 | Nombre de relevés par classe du nombre d'espèces par relevé (N=310 placettes au total et 234 espèces différentes). Le nombre moyen d'espèces par classe est également donné (ronds orange).

Par rapport aux 10 autres modules intégratifs menés entre 2011 et 2022 selon les mêmes protocoles et pendant les mêmes périodes (relevés toujours effectués à la mi-juin), la diversité en forêt de Bezange-la-Grande apparaît dans la moyenne aussi bien pour le nombre total d'espèces que la diversité par relevé (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)
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)
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)
2022	FD de la Reine	Nord-Est	Plaine Lorraine	Limon, Marnes	94	169	30 (8) (12-53)	0,47 (0,05) (0,30 à 0,56)
2022	FD Rangeval	Nord-Est	Plateau calcaire Lorraine	Limon, Calcaires	18	106	30 (8,8) (12-41)	0,46 (0,07) (0,28 à 0,55)

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 la forêt domaniale de Bezange-la-Grande, la similitude a été de $48 \pm 5,7\%$ (24 à 56 %) en 2014, de $49 \pm 4,9\%$ (31 à 58 %) en 2018 et de $50 \pm 4,9\%$ (36 à 60 %) en 2023. 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 48 %) et supérieure aux observations faites dans des contextes calcaires (0,36 à 0,46) ([Tableau 2](#)).

5.5. Flore rare et espèces protégées

La forêt domaniale est connue pour sa richesse floristique (Ottinger, 1997) et notamment par ses populations de Jonquille (*Narcissus pseudonarcissus*), par la présence d'Ornithogale des Pyrénées (*Ornithogalum pyrenaicum* ou *Loncomelos pyrenaicus*), de Scille à deux feuilles (*Scilla bifolia*), encore de Nivéole de printemps (*Leucojum vernum*). Ces espèces étant des espèces vernalles à floraison précoce, elles n'apparaissent pas (ou très peu et à l'état sec) dans les relevés réalisés en juin. Il est à noter que les jonquilles peuvent recouvrir de très grandes surfaces dans les stations chimiquement riches et fraîches et peuvent faire l'objet également (et malheureusement) de ramassage abusif. Disséminé dans la forêt, on trouve également régulièrement le Lys martagon (*Lilium martagon*). Les bords des chemins sont également très riches en espèces (inventaires exhaustifs non réalisés) et on trouve parfois certaines espèces allochtones parfois envahissantes comme la Balsamine de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera*), la Glycérie striée (*Glyceria striata*), la Vergerette annuelle (*Erigeron annuus*), etc. Au cours des trois inventaires, 234 espèces différentes ont été observées hors milieux ouverts ou zones de transition entre forêts et zones ouvertes. En raison de la difficulté de reconnaissance, l'inventaire des mousses s'est seulement focalisé sur les espèces « les plus faciles et courantes » en forêt. Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que la diversité floristique du massif est beaucoup plus élevée et sans doute plus proche des 300 (voire 350) espèces.

La Lorraine compte 165 espèces protégées au niveau régional. Parmi les espèces observées et bien présentes dans la forêt, on peut citer la Nivéole printanière (*Leucojum vernum*) et la Prêle d'hiver (*Equisetum hyemale*). Plusieurs stations sont présentes en constituant des habitats remarquables à protéger (photos ci-dessous).

*Nivéole de printemps, Scille à deux feuilles
Et Prêle d'hiver en forêt domaniale de Bezange
© F. Lebourgeois 2022.*



5.6. Caractéristiques de la flore observée

a. Familles et types biologiques

65 familles différentes ont été observées dans les 310 relevés. Les familles les plus représentées en nombre d'espèces sont les Poacées (23), les Rosacées (21), les Cypéracées (13), les Astéracées (11) et les Lamiacées (9). Ces 5 familles représentent 33 % des espèces. Si on considère les occurrences [une occurrence étant un coefficient d'abondance-dominance (de + à 5) mis pour chaque espèce présente dans chacun des 310 relevés (n= 9608 coefficients pour les 310 relevés)], les 10 familles présentant plus de 300 occurrences sont : les Rosacées (1436 pour 21 espèces), les Poacées (905 - 23), les Bétulacées (554 - 4), les Cypéracées (492 - 13), les Sapindacées (anciens Aracées - 3) (417), les Lamiacées (392 - 9), les Liliacées (392 - 8), les Oléacées (389 - 2) et les Polypodiacées (334 - 5). 10 familles ont présenté moins de 5 occurrences.

Concernant les types biologiques, les hémicryptophytes (herbacées pérennes à bourgeons hivernaux à la surface du sol) représentent 51 % des espèces suivies par les phanérophytes (arbres, 13 %) et les chaméphytes (arbustes ou espèces herbacées à souche ligneuse, 12 %). Les herbacées pérennes à bulbe, rhizome ou tubercule (géophytes) représentent 11 % tandis que les mousses et les thérophytes (herbacées annuelles et lianes) représentent respectivement 9 et 4 % (Figure 11).

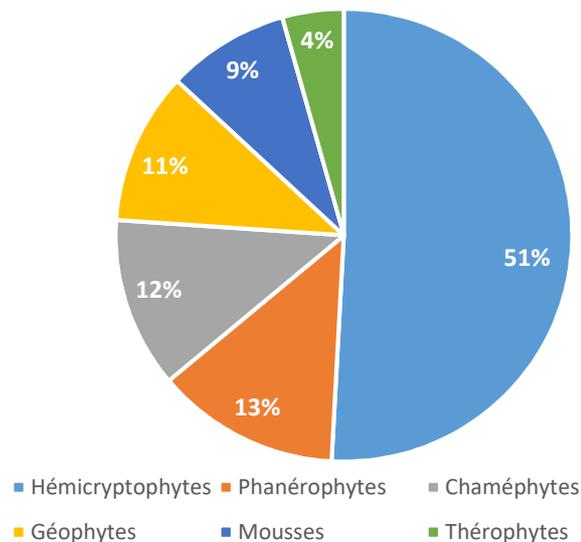


Figure 11 | Fréquences des différents types biologiques observés sur les 310 relevés (234 espèces différentes).

b. Groupes écologiques

Selon la nomenclature des groupes écologiques de la flore forestière française, les espèces des milieux riches et frais (espèces neutroclinales et -philes hygroclinales) sont majoritaires et représentent 57 % des espèces inventoriées (Figure 12). On retrouve également des espèces acidoclines (environ 11 %), des espèces à large amplitude (environ 10 %) et des espèces des milieux riches en calcium ou en carbonates de calcium (environ 10 %). *In fine*, les espèces inventoriées reflètent bien la variabilité des matériaux présents sur la forêt et témoignent de sols riches chimiquement et bien alimentés en eau ; contexte écologique très favorable à la croissance des espèces arborées et à la production de bois.

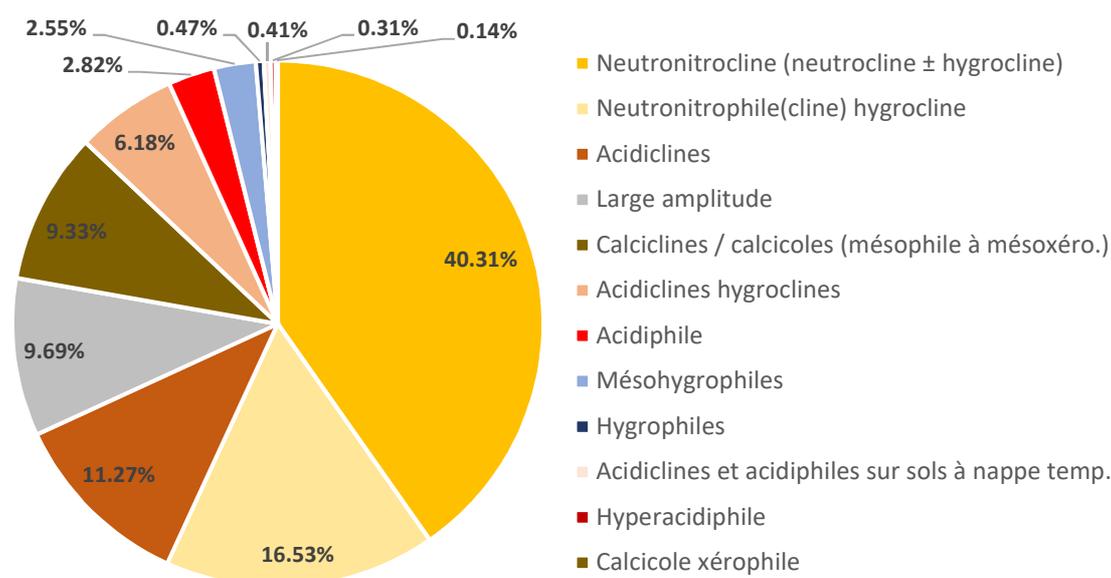


Figure 12 | Fréquences des différents groupes écologiques selon la nomenclature de la flore forestière française observés sur les 310 relevés (234 espèces différentes).

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 13). 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 70 % des espèces). Concernant le mésoclimat, les espèces correspondent majoritairement à un contexte semi-continentale à forte humidité atmosphérique. Les espèces relevées ne présentent pas de caractéristiques marquées vis-à-vis de l'étage de végétation car environ 70 % 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 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 21 %) et des espèces des engorgements permanents. Enfin, les espèces indiquent des sols avec des texture argileuses (environ 20 %), limoneuses et limono-argileuses (environ 65 %) et des sables (environ 15 %) reflétant bien la variabilité des matériaux observées (limons, marnes, calcaires et grès Rhétien).



Jonquille en forêt domaniale de Bezange-la-Grande
© F. Lebourgeois mars 2020

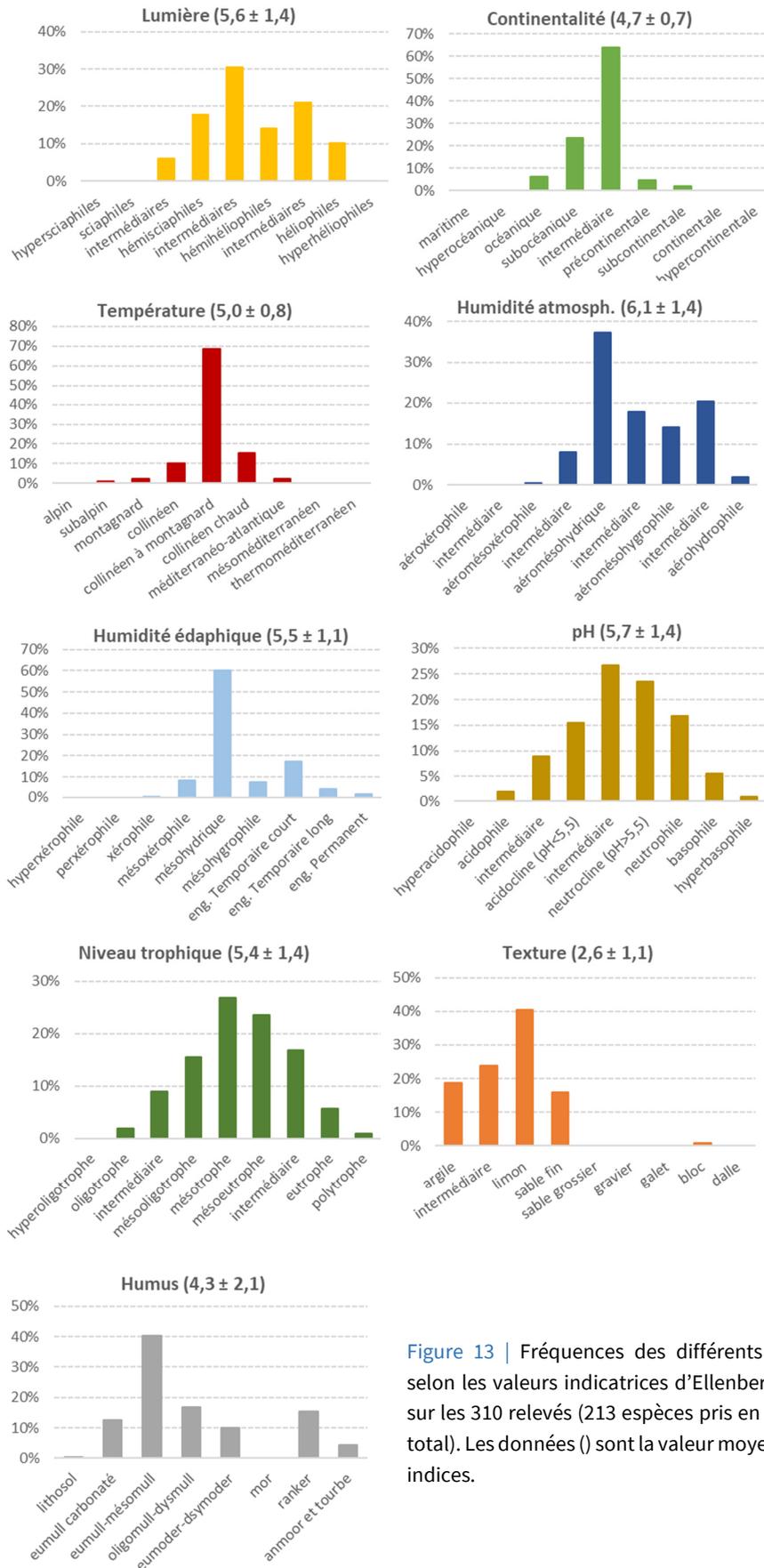


Figure 13 | Fréquences des différents groupes écologiques selon les valeurs indicatrices d'Ellenberg et al. 1992 observés sur les 310 relevés (213 espèces pris en compte sur les 234 au total). Les données () sont la valeur moyenne et l'écart-type des indices.

c. Flore des forêts anciennes

Dans les années 2000, un certain nombre de travaux a permis de caractériser la végétation des forêts anciennes (Dupouey et al., 2002 ; Hermy et al., 1999 ; Sciama et al., 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 XIXe 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 XIXe siècle) » (<https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique273>).

La Figure 14 ci-dessous montre la présence de la forêt à la fois sur la carte de Cassini du XVII^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.

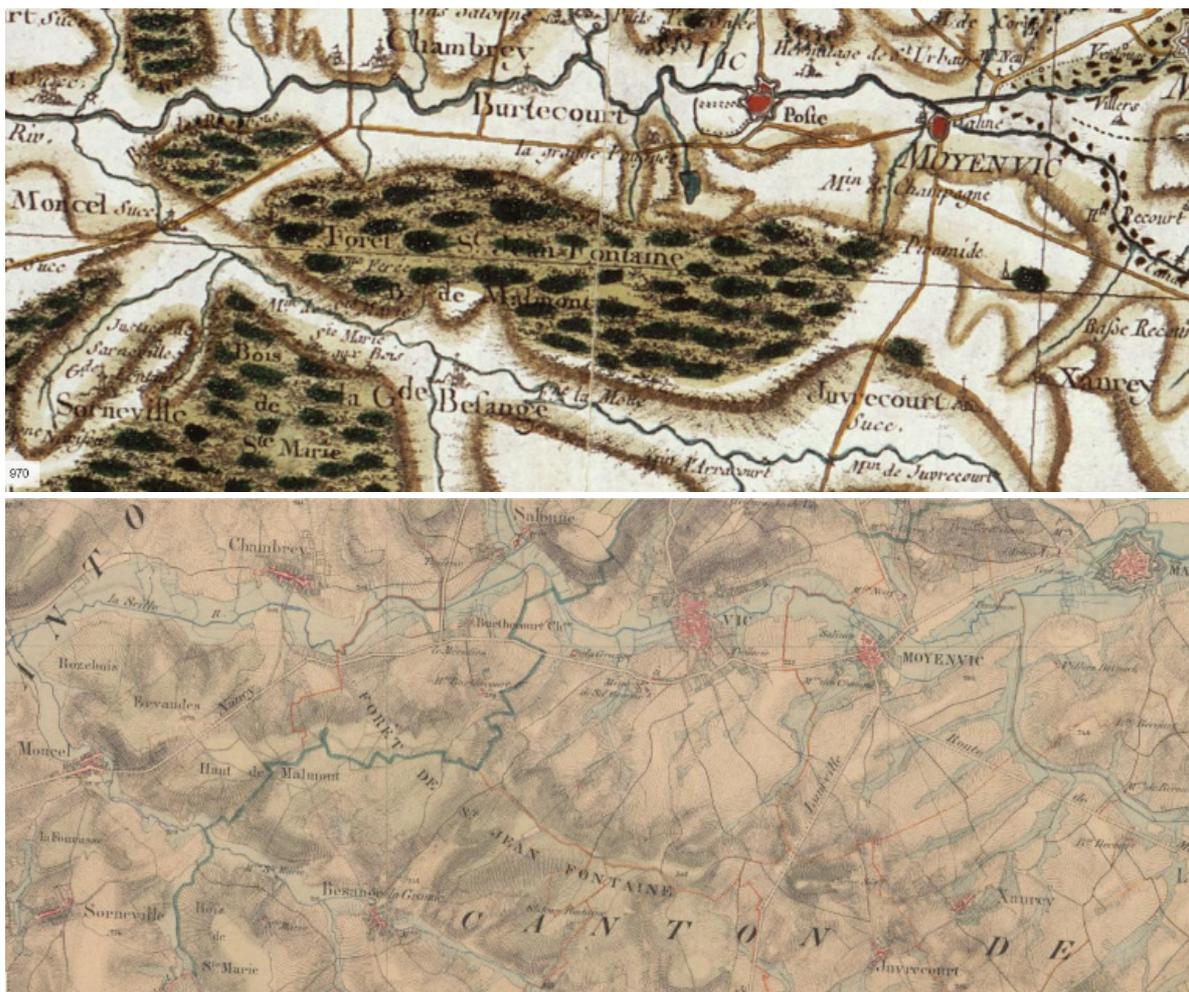


Figure 14 | Présence de la forêt de Bezange-la-Grande sur la carte de Cassini (en haut) et sur la carte d'État-major (en bas) (Source GéoPortail – 2023 - <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>).

Selon la liste de Dupouey *et al.* (2002), le nombre d'espèces des forêts anciennes est de 64 sur les 222 des 234 espèces présentes et pour lesquelles le statut d'espèces de forêts anciennes a été déterminé soit 29 %. Selon la liste de Gégout *et al.* (2014) (non publié), le nombre est de 83 soit 37 %. Par relevé, le % d'espèces des forêts anciennes a été en moyenne de $67 \pm 9\%$ [33 % à 94 %] selon la classification de Gégout *et al.* 2014 et de $46 \pm 8\%$ [20 % à 66 %] selon la classification de Dupouey *et al.* 2002. Un total de 62 espèces est commun aux deux listes. Ainsi, même si les chiffres varient entre les deux classifications, la flore de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande illustre très bien l'ancienneté de l'état boisé avec une forte proportion d'espèces de forêts anciennes dans chacun des relevés.

En considérant la liste plus restrictive de Dupouey *et al.* 2002, 11 espèces des forêts anciennes apparaissent dans au moins 50 % des relevés (Figure 15). Il est intéressant de noter que 5 espèces apparaissent dans plus de 75 % des relevés : le carex de bois, l'anémone des bois, le noisetier, le Chêne sessile, le Tilleul à petites feuilles.

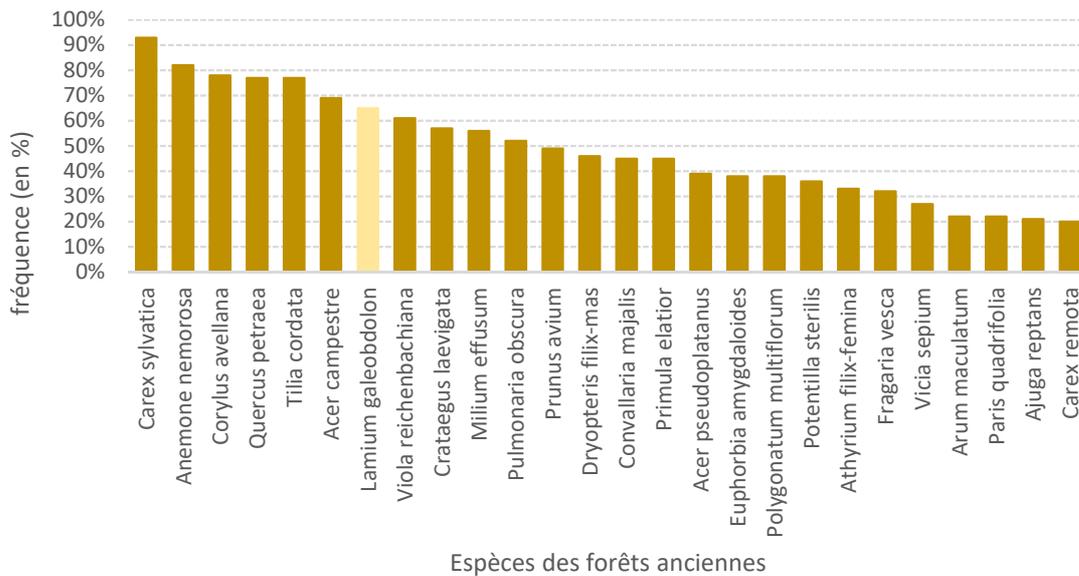


Figure 15 | Fréquences des 26 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=310) selon la liste de Dupouey *et al.* 2002. Seules les espèces présentes dans au moins 20 % des relevés sont présentées. Le nombre total d'espèces inventoriées est de 234. L'espèce avec un histogramme plus clair (le lamier jaune) n'apparaît pas dans la liste de Gégout *et al.* 2014.

Les espèces des forêts anciennes sont des espèces plus sciaphiles que les espèces des forêts récentes (Figure 16). 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 hygroclines. 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 17).

Violette des bois en forêt domaniale de Bezange-la-Grande
© F. Lebourgeois avril 2016



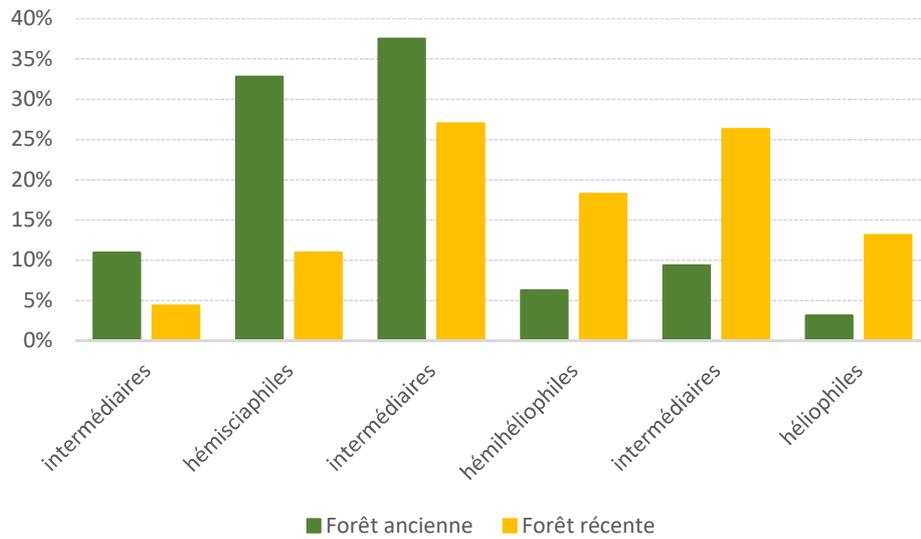


Figure 16 | Fréquences des espèces des forêts récentes (n=137) et anciennes (n=64) (selon la liste de Dupouey *et al.* 2002) selon leurs valeurs indicatrices « lumière » issues du coefficient d'Ellenberg. La figure illustre clairement le caractère plus sciaphile des espèces des forêts anciennes et plus héliophile des forêts récentes.

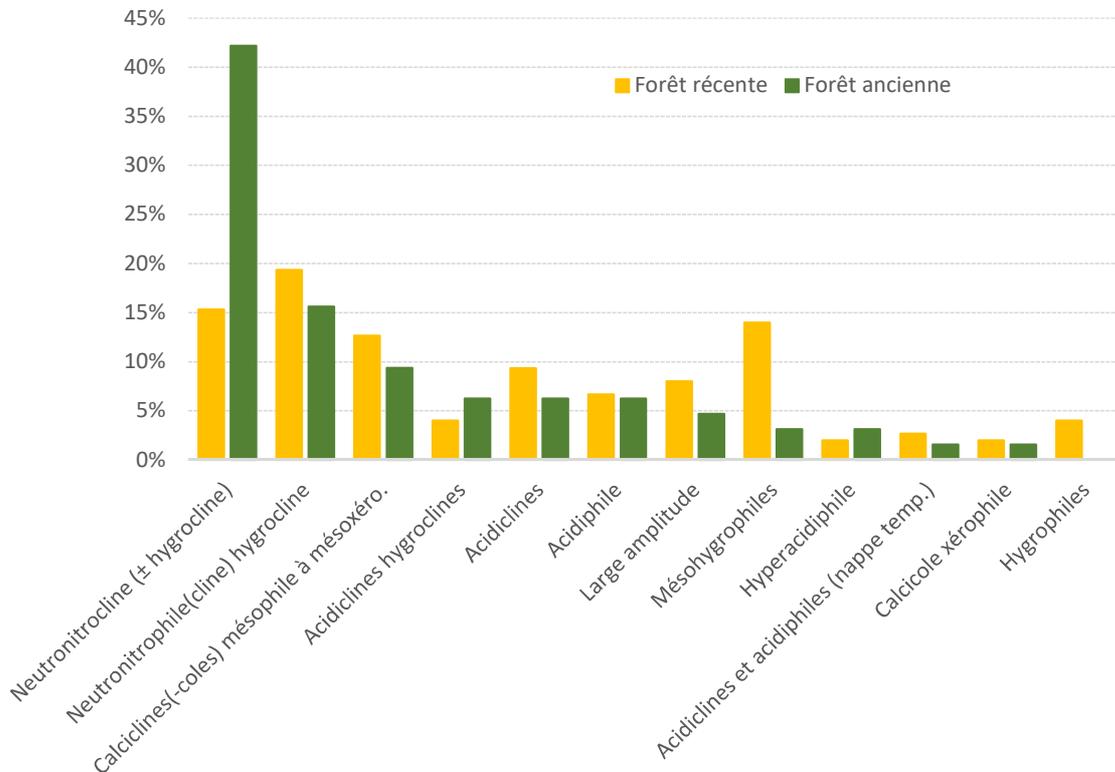


Figure 17 | Fréquences des espèces des forêts récentes (n=137) et anciennes (n=64) (selon la liste de Dupouey *et al.* 2002) selon leurs groupes écologiques issus de la flore forestière française.

d. Comparaisons entre les trois inventaires 2014-2018-2023

La même méthodologie ayant été appliquée lors des trois inventaires, il est possible de comparer les variations de la composition floristique sur les différentes périodes (Tableau 3). En moyenne, aucune différence significative n'apparaît entre les trois périodes quant à la diversité alpha moyenne de la communauté floristique.

Cependant, pour mettre en évidence un éventuel changement de la composition floristique des communautés, les variations de la fréquence de chacune des espèces entre 2014 et 2023 ont été calculées. Ainsi, pour chaque espèce, la fréquence d'apparition a été calculée en 2014 sur la base de 87 relevés et en 2023 sur la base de 107 relevés. La différence de fréquence entre les deux années a été calculée. À partir de ce calcul, il est possible d'analyser les espèces stables, en augmentation ou en diminution. Pour simplifier la présentation, les différences ont été classifiées en intervalles de 5 %.

Dans un premier temps, seules les 59 espèces communes présentes dans au moins 10 relevés en 2014 (10/87) et en 2023 (10/107) ont été considérées. En 2014, ces 59 espèces ont été inventoriées dans en moyenne 38 relevés [12 à 81] et dans 46 [10 à 104] en 2023. Pour ces espèces, seuls les changements (augmentation ou diminution des fréquences) d'au moins 10 % ont été pris en compte (de 10 à plus de 25 % de changement). Par exemple, pour une espèce X présente dans 39 relevés sur 87 en 2014 (45 %) et dans 75 relevés sur 107 en 2023 (65 %), la différence d'occurrence est positive et de 20 %. *In fine*, il est possible de calculer le nombre d'espèces dont les fréquences ont diminué ou augmenté et d'analyser les caractéristiques écologiques vis-à-vis de l'optimum de pH, de température ou encore de bilan hydrique (selon les valeurs quantifiées indicatrices de Gégout *et al.* 2005, EcoPlant). Dans un second temps, toutes les espèces inventoriées (et caractérisées par des valeurs indicatrices, n=202 sur les 234 totales) ont été prises en compte. Pour cette analyse, on peut émettre l'hypothèse que, dans un mésoclimat de plus en plus chaud et sec, l'occurrence des espèces davantage thermophiles ou des milieux plus secs va augmenter et celle des espèces des conditions plus fraîches va diminuer.

Tableau 3| Comparaison des inventaires floristiques entre les trois années. Les données moyennes de pH, de température et de bilan hydrique climatique de juillet (différence entre les pluies et l'évapotranspiration potentielle) sont issues de Gégout *et al.* 2005 (Valeurs indicatrices d'EcoPlant).

Année	2014	2018	2023
Nombre de relevés	87	116	107
Nombre d'espèces par relevé (moy./std)	31,8 (± 8,8)	30,1 (± 8,4)	31,4 (± 7,8)
Min.	9	12	15
Max.	60	56	53
Nb espèces de FA (Gégout <i>et al.</i> 2014)	21,8 (± 4,8)	19,8 (± 4,8)	19,9 (± 4,5)
Min.	6	10	11
Max.	34	34	33
Nb espèces de FA (Dupouey <i>et al.</i> 2002)	14,9 (± 4,0)	14,0 (± 4,0)	13,7 (± 3,9)
Min.	4	7	4
Max.	26	24	24
pH (moy. de l'optimum)	6,1	6,3	6,3
Température (moy. de l'optimum en °C)	9,7	9,6	9,7
BHc de juillet (moy. de l'optimum en mm)	-41	-40	-41

Les résultats présentés dans le [Tableau 4](#) suggèrent une moindre occurrence des espèces indiquant des conditions fraîches et humides et une augmentation de la fréquence des espèces caractérisant des milieux plus chauds et secs. La même tendance est observée si on considère toutes les espèces indépendamment de leur fréquence d'apparition dans les relevés. Les espèces dont la fréquence a diminué ou augmenté sont présentées dans le [Tableau 5](#). Si on prend en compte les espèces relevées à la fois en 2014 et 2023 non plus dans au moins 10 inventaires mais au moins 5, deux espèces supplémentaires augmentent de plus de 10 % : le carex glauque (*Carex flacca*) (9 relevés en 2014 et 22 en 2023) et le Tilleul à grandes feuilles (*Tilia platyphyllos*) (5 relevés en 2014 et 19 relevés en 2023). Deux espèces supplémentaires diminuent : la cardamine des près (*Cardamine pratensis*) (18 relevés en 2014 et 8 en 2023) et le Chêne pédonculé (*Quercus robur*) (18 relevés en 2014 et 8 en 2023). Les variations de la fréquence du Tilleul à grandes feuilles et du Chêne pédonculé doivent être considérées avec précaution en raison des risques de confusion entre les deux espèces proches, le Tilleul à petites feuilles et le Chêne sessile (surtout au stade semis). En revanche, les confusions avec d'autres espèces pour le carex glauque et la cardamine des prés sont beaucoup plus faibles. Il est intéressant de noter que le carex glauque est une indicatrice des contextes riches présentant des contrastes hydriques forts entre les saisons. On le trouve souvent dans les stations sèches voire très sèches. La cardamine des prés est, en revanche, une espèce des milieux frais à humides et donc exigeante quant à l'alimentation hydrique du sol. Enfin, on peut également noter le comportement de deux autres espèces, quasiment absentes des relevés en 2014 et en augmentation constante depuis. Il s'agit de la ronce des bois (*Rubus fruticosus agr.*) dont la fréquence a augmenté de 2 % en 2014 à 76 % en 2018 et 89 % en 2023. La seconde espèce est l'Alisier torminal (*Sorbus torminalis*) avec une évolution de 2 % en 2014 à 16 % en 2018 et 22 % en 2023.

Tableau 4 | Variation de fréquences des espèces entre la campagne de relevés de 2014 (n=87) et la campagne 2023 (n=107) (voir texte pour le détail).

	59 espèces et changt. > 10 %			202 espèces et changt. > 10 %		
	Augmentation (n=8 espèces)	Diminution (n=14 espèces)	Dif.	Augmentation (n=12 espèces)	Diminution (n=20 espèces)	Dif.
pH	5,98	6,25	- 0,27	6,34	6,3	+ 0,04
Température moy.	10,4 °C	8,7 °C	+ 1,7 °C	9,5 °C	9,0 °C	+ 0,5 °C
Température max.	12 °C	11,1 °C	+ 0,8 °C	12,3 °C	11,7 °C	+ 0,6 °C
Bilan hydrique juillet	- 35,2 mm	-16,7 mm	- 18,5 mm	- 35,1 mm	-23,3 mm	- 12 mm

Tableau 5 | Espèces relevées à la fois en 2014 et 2023 dans au moins 10 inventaires et présentant une variation de fréquence entre 2014 et 2023 d'au moins 10 %.

Espèce	Diminution	Espèce	Augmentation
<i>Arum maculatum</i>	-11 %	<i>Atrichum undulatum</i>	22 %
<i>Athyrium filix-femina</i>	-36 %	<i>Crataegus laevigata</i>	16 %
<i>Carex remota</i>	-16 %	<i>Eurhynchium striatum</i>	38 %
<i>Circaea lutetiana</i>	-23 %	<i>Fragaria vesca</i>	16 %
<i>Deschampsia cespitosa</i>	-12 %	<i>Potentilla sterilis</i>	16 %
<i>Dryopteris carthusiana</i>	-12 %	<i>Prunus spinosa</i>	15 %
<i>Geranium robertianum</i>	-11 %	<i>Thuidium tamariscinum</i>	30 %
<i>Luzula pilosa</i>	-14 %		
<i>Milium effusum</i>	-16 %		
<i>Paris quadrifolia</i>	-19 %		
<i>Polygonatum multiflorum</i>	-13 %		
<i>Primula elatior</i>	-12 %		
<i>Pulmonaria obscura</i>	-11 %		
<i>Stachys sylvatica</i>	-34 %		
	-17 %		22 %

Concernant les conditions climatiques en 2014 et 2023 avant les relevés (qui peuvent moduler le développement des espèces de la communauté végétale), on observe un cumul des pluies de janvier à mai comparables entre les années (170 à 190 mm) mais avec une répartition différente (Figure 18). L'année 2014 a été davantage pluvieuse en début d'année que l'année 2023. Elle a été également davantage pluvieuse en mai et juin que l'année 2023 qui a été, quant à elle, très pluvieuse en mars. Concernant les températures, l'année 2014 a été plus chaude jusqu'au mois d'avril. Il est à noter que les deux années sont plus sèches que la moyenne 1991-2020 (cumul moyen de 286 mm) mais plus chaudes (température moyenne de 7,5 °C). Si on analyse les conditions climatiques depuis 1991 (Figure 19), on constate que toutes les années entre 2014 et 2023 ont été plus chaudes ou plus sèches que la moyenne. 7 années ont été plus sèches et 4 années (2014, 2017, 2022 et 2023) à la fois plus chaudes et plus sèches.

Ces résultats interrogent et doivent être considérés dans un contexte plus global ou de nombreux travaux menés en forêts tempérées européennes ont clairement montré une thermophilisation des habitats et de la flore. Cependant, dans cette étude, il est difficile de conclure sur une réelle évolution des communautés végétales car la période de comparaison est courte (10 ans), que les relevés n'ont pas été réalisés exactement au même endroit avec un nombre différent de relevés et que d'autres facteurs peuvent intervenir (évolution des peuplements forestiers, voir partie 5.8, page 34).

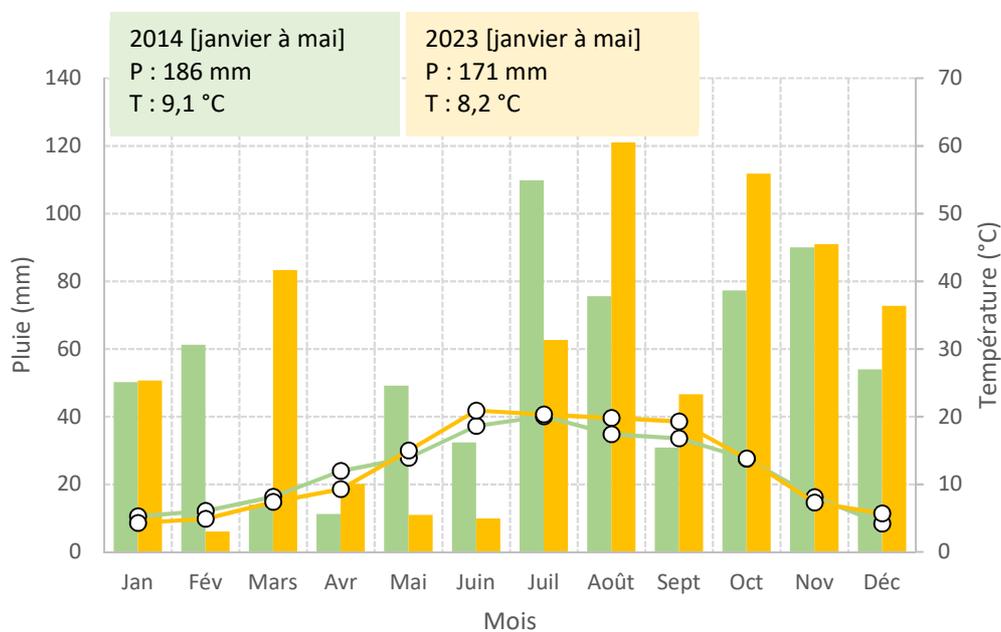


Figure 18 | Climatogramme des années 2014 et 2023 (données issues de la station météorologique de Nancy-Tomblaine située à environ 25 km de la forêt). Pluie (P en mm) : histogrammes. Température (T en °C) : lignes.

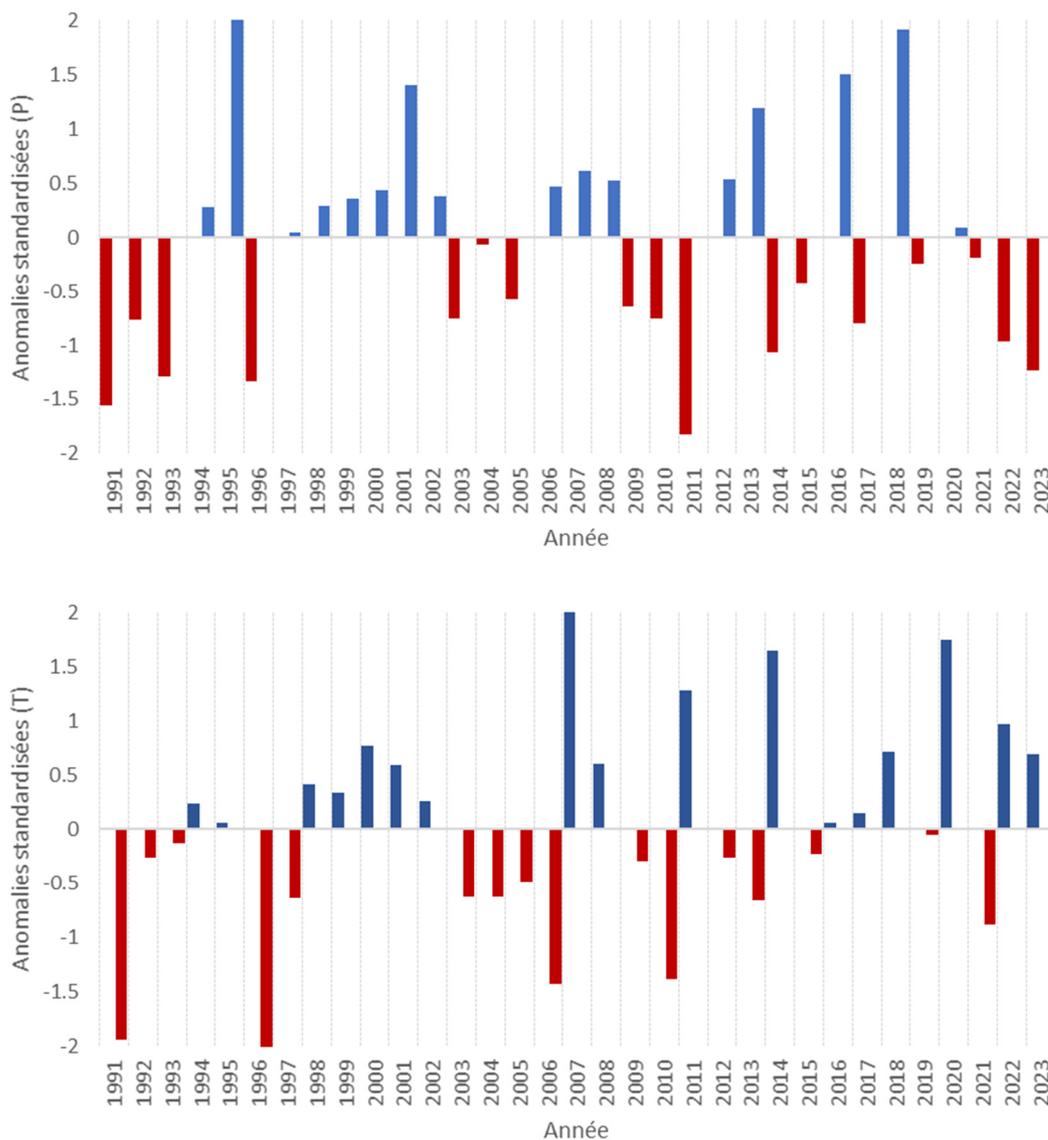


Figure 19 | Anomalies standardisées du cumul des précipitations et de la température moyenne de janvier à mai. La moyenne 1991-2020 des précipitations a été de 286 ± 94 mm et des températures de $7,54 \pm 0,92$ °C (données issues de la station météorologique de Nancy-Tomblaine située à environ 25 km de la forêt). Les valeurs positives indiquent des années plus chaudes ou plus sèches que la moyenne et des valeurs négatives des années plus humides ou plus froides.

5.7. Les stations forestières

Pour chacune des 310 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>) et les Plateaux calcaires du nord-est (<https://grandest.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/>). Étant donné la faible fréquence des stations rattachées au catalogue des Plateaux calcaires, l'analyse présentée dans ce rapport s'est focalisée sur le contexte de la Plaine lorraine.

Un total de 281 relevés a été rattaché aux stations de la Plaine lorraine. Parmi les 15 stations définies dans ce catalogue, 12 ont été trouvées sur la zone étudiée : 5 stations à dominante limoneuse en surface, 2 stations à dominante argileuse en surface, 2 stations à dominante sableuse en surface et 3 stations de vallon. Les 29 autres stations ont été rattachées aux stations des plateaux calcaires et 8 stations ont été observées : 4 stations de plateaux, 2 stations de fonds de vallon et 2 stations de pente. Ainsi, les 310 relevés ont été rattachés à 20 stations forestières différentes (Figure 20).

Les stations présentant la plus grande diversité des communautés végétales sont généralement les stations rattachées au catalogue des Plateaux calcaires (Figure 21). Pour les stations de la Plaine lorraine, la plus forte diversité correspond aux stations de vallons (V2 à V4) et la plus faible aux stations sur sable (S1 et S2) et avec des limons épais non ou peu hydromorphes (L3). Comme montré dans la Figure 12, les GE les plus représentés sont les neutronitroclines et les neutronitrophiles mais la fréquence de chaque groupe varie au sein des stations (Figure 22).

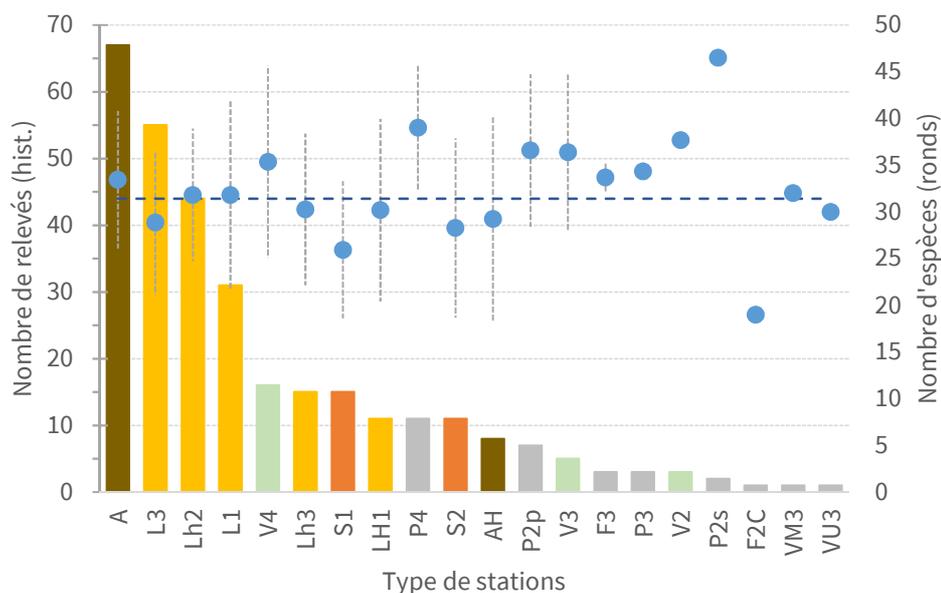


Figure 20 | Effectif des relevés par station et nombre moyen (\pm écart-type) d'espèces inventoriées par station. Les stations rattachées aux Plateaux calcaires sont figurées en gris. La ligne en pointillé indique la diversité alpha moyenne.

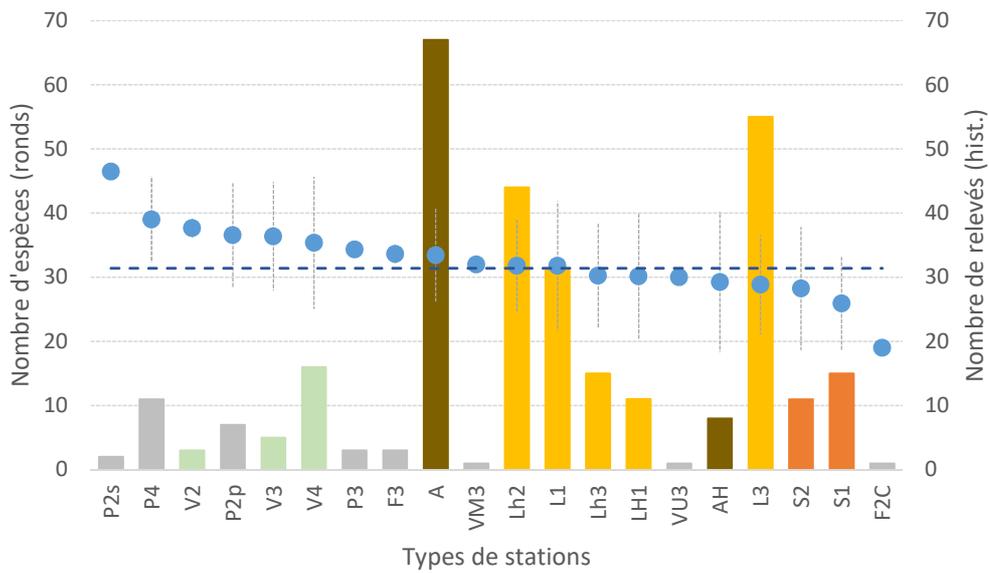


Figure 21 | Effectif des relevés par station et nombre moyen (\pm écart-type) d'espèces inventoriées par station trié par ordre décroissant de la diversité alpha moyenne. Les stations rattachées aux Plateaux calcaires sont figurées en gris. La ligne en pointillé indique la diversité alpha moyenne.

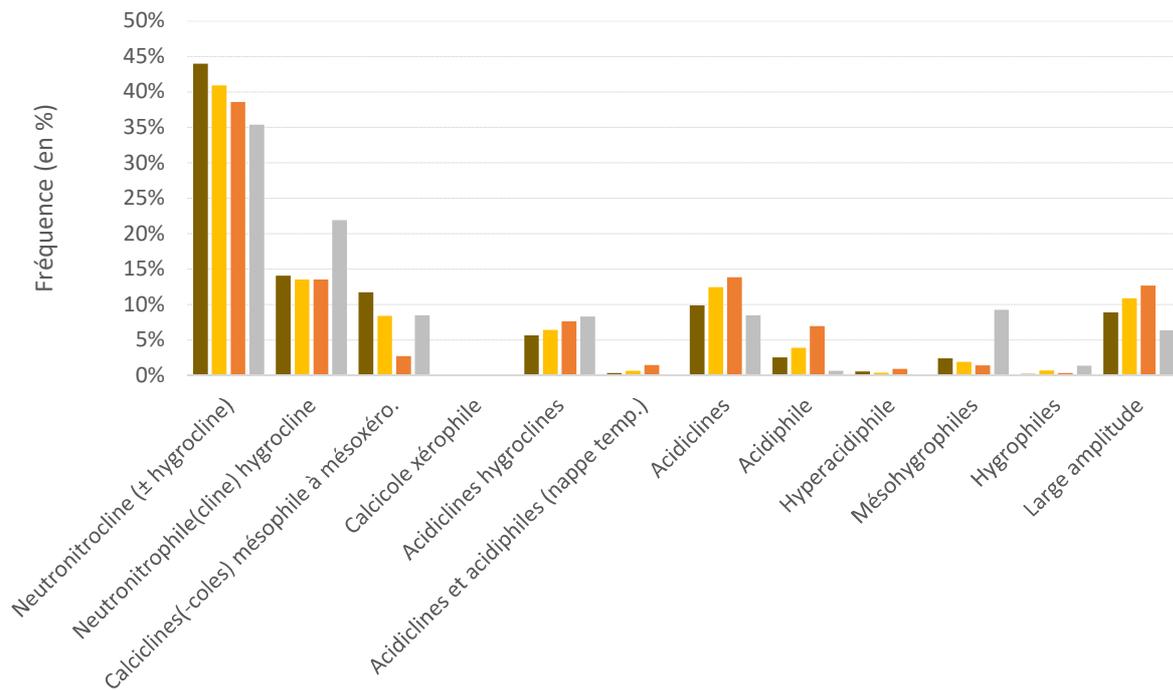


Figure 22 | Fréquences des groupes écologiques par grand type de station. Les stations de la Plaine lorraine à dominante argileuse, limoneuse et sableuse sont respectivement en marron, jaune et orange. Les stations des Plateaux calcaires sont figurées en gris.

Pour les 281 inventaires relatifs au catalogue Plaine lorraine, 196 placettes ont présenté des taches d'hydromorphie (soit 70 %) (Figure 23). Pour ces placettes, la profondeur moyenne d'apparition des taches a été de 33,4 cm mais varie fortement selon les stations. Pour les 5 stations à dominante limoneuse, le classement des stations est le suivant : LH1 (7 cm), L1 (26,6 cm), Lh3 (32,6 cm), Lh2 (34,4 cm) et L3 (56,5 cm). Pour les stations argileuses, les taches sont observables à en moyenne 15,6 cm pour AH et 33 cm pour A. Pour les stations sur sable, quand l'hydromorphie est observée, les taches sont beaucoup plus profondes vers 45 cm en moyenne (Figure 23). Concernant le plancher argileux, il a été observé dans 61 % des cas (171 sur 281). Quand il est présent, il est apparu à en moyenne 36,5 cm. Pour les 5 stations à dominante limoneuse, le classement des stations est le suivant : LH1 (18,2 cm), L1 (23,3 cm), Lh2 (38,4 cm), L3 (52,1 cm) et Lh3 (56,1 cm). Concernant la station L3 (qui correspond à la meilleure station sur limon de la Plaine lorraine), on observe une variation intra-stationnelle notable avec des stations faiblement hydromorphes avec ou sans plancher (en l'absence de plancher c'est la compacité des limons qui limite le drainage) et des stations non hydromorphes avec ou sans plancher (Figure 23). Concernant les stations sableuses, le plancher est toujours profond avec une hydromorphie qui ne représente pas une contrainte importante. Dans ces contextes, c'est la pauvreté chimique et la sécheresse estivale qui sont les contraintes majeures.

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 24. Pour 29 % des placettes, les taches d'hydromorphie ont été observées au niveau du plancher (41 sur 141 placettes) (Figure 25). Pour 45 % des placettes (64 sur 141), les taches apparaissent au-dessus de plancher. Dans ce cas, les taches sont dans 50 % des cas entre 5 et 10 cm au-dessus du plancher. Enfin, dans 26 % des cas, les taches sont seulement observées au-dessous du plancher. Dans 80 % des cas, elles apparaissent directement sous celui-ci c'est-à-dire entre 5 et 10 cm.

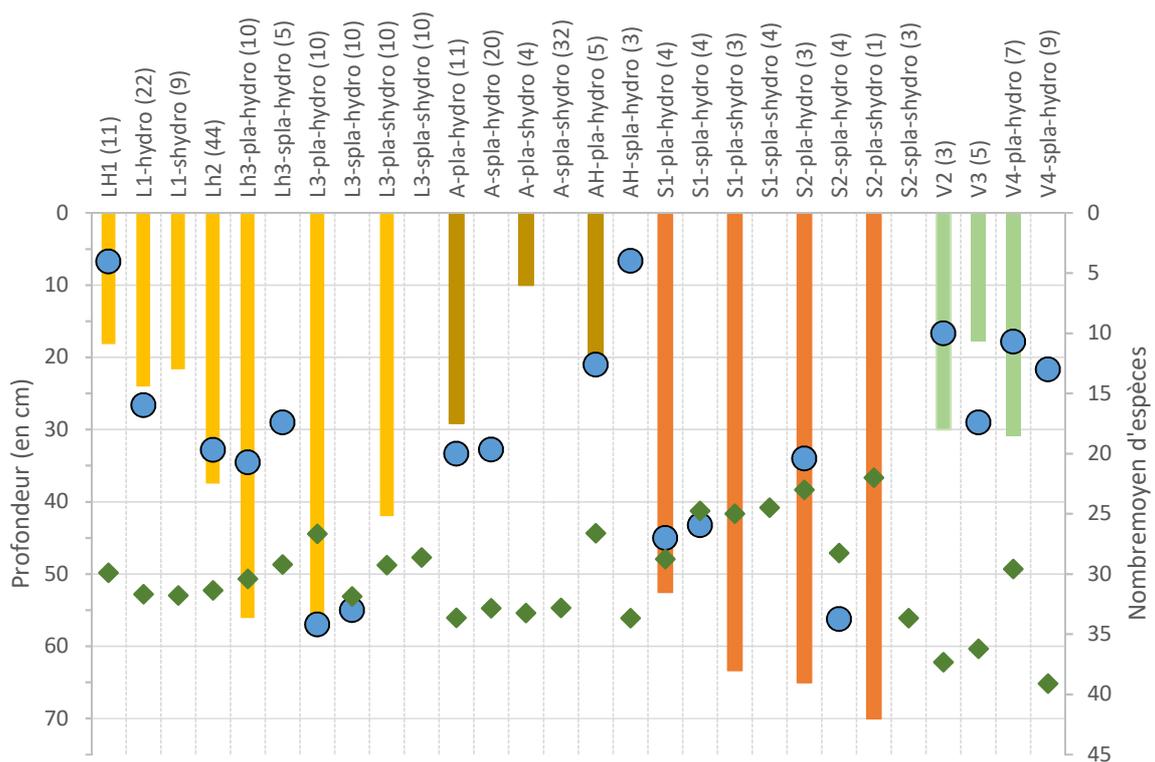


Figure 23 | Caractéristiques des stations relevées en forêt domaniale de Bezange-la-Grande selon la profondeur d'apparition d'un plancher argileux (en cm) (histogrammes) et la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) (ronds). Les losanges verts sont la moyenne de la diversité floristique observée par grand type stationnel. Par rapport au catalogue de référence de la Plaine lorraine, certaines stations ont été « découpées » en séparant sur le critère observation ou non d'un plancher (« pla » et « spla ») et de taches d'hydromorphie (« hydro » et « shydro »). Les chiffres () sont les effectifs. Les grands types stationnels (Limon, Argile, Sable et Vallons) sont figurés par des couleurs différentes.

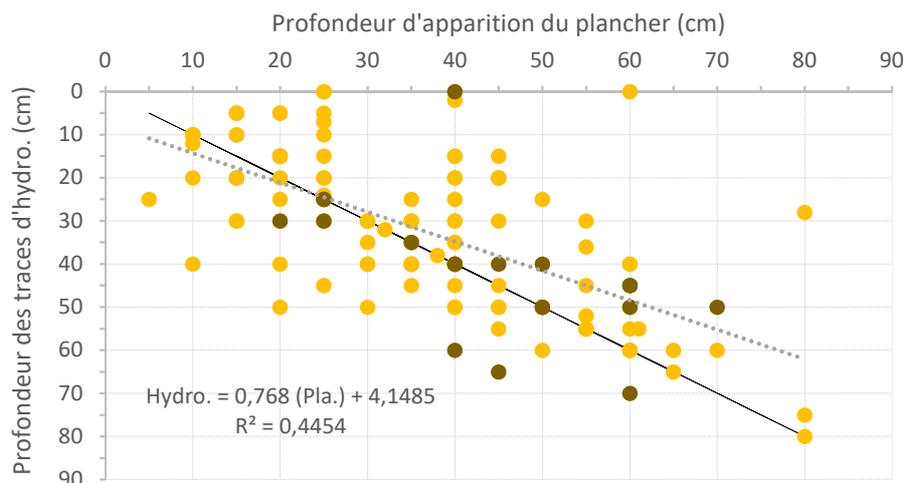


Figure 24 | Relation entre la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm) (n=141 placettes sur 281 avec à la fois un plancher et des taches d'hydromorphie). La figure donne la relation établie sur les 115 placettes à texture limoneuse dominante en surface. Jaune : stations « limoneuses » (115) ; Marron : stations « argileuses » (19) ; Rouge : stations « sableuses » (7). La ligne noire donne la relation $Y=X$.

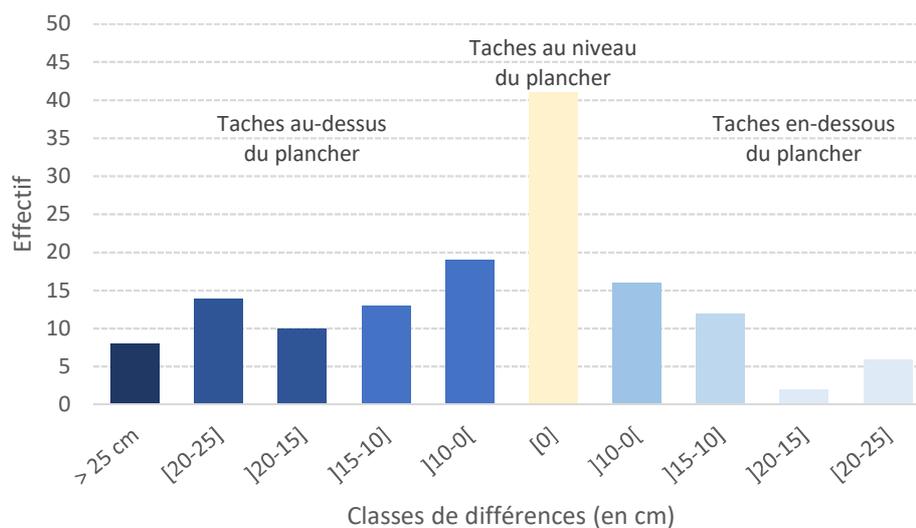


Figure 25 | Relation entre la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm) (n=141 placettes sur 281 avec à la fois un plancher et des taches d'hydromorphie). La figure représente les différences de profondeur en cm entre le plancher et les taches par classes de différences (en cm). Par exemple, la classe [0] signifie que les taches apparaissent dans le plancher (cas de 41 placettes sur 141). Les histogrammes bleu foncé indiquent des taches au-dessus du plancher et les histogrammes bleu clair des taches sous le plancher.

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 la forêt domaniale de Bezange-la-Grande est un contexte globalement moyennement sensible aux changements climatiques (Figure 26). En effet, 40 % des placettes correspondent à des stations fortement sensibles et 60 % à des stations moyennement (27 %) ou peu sensibles (33 %). Les stations sensibles sont localisées essentiellement à l'est du massif

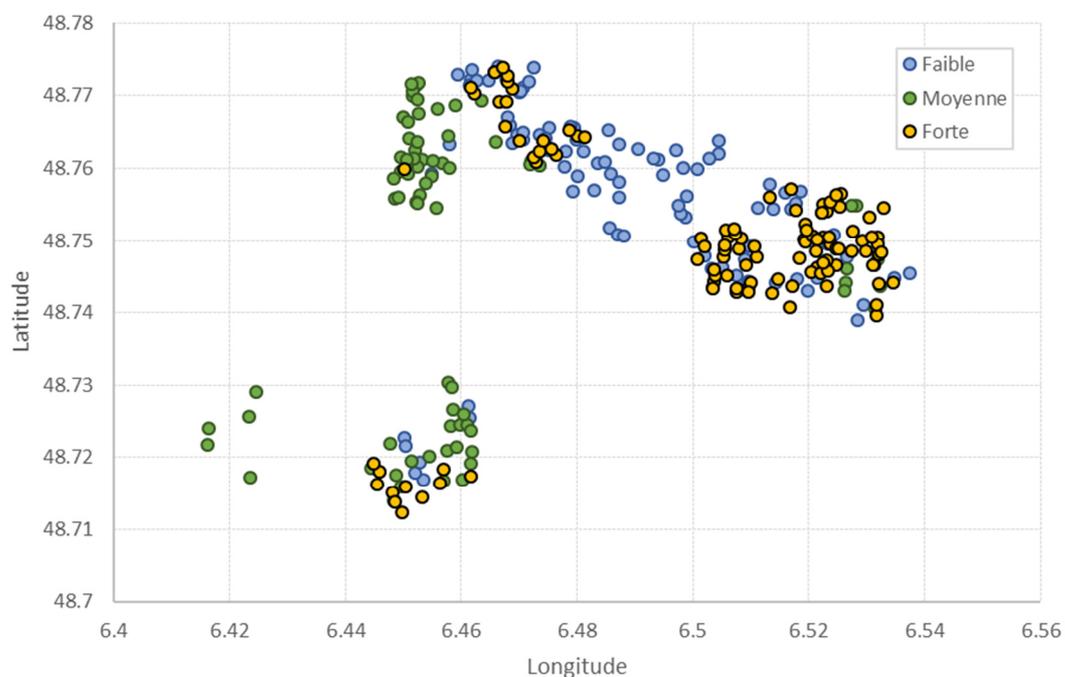


Figure 26 | Cartographie de la sensibilité des stations aux changements climatiques selon les recommandations du guide Plaine lorraine pour la forêt domaniale de Bezange-la-Grande (n=281 placettes sur les 310 rattachées au catalogue). La sensibilité a été estimée à dire d'expert selon les conséquences possibles des modifications des régimes pluviométriques sur les contraintes d'engorgement hivernal et de sécheresse estivale (voir catalogue Plaine lorraine).



Primevère élevée en forêt domaniale de Bezange-la-Grande
© F. Lebourgeois mars 2017

5.8. Habitat forestier, valeur écologique et conservation

La forêt de Bezange-la-Grande peut être rattachée aux hêtraies-chênaies à Aspérule et Mélisque 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 : *Fagalia sylvaticae*

Forêts collinéennes

□ Sous-Ordre : *Carpino betuli-Fagenalia 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 de l'association du « *Poo chaixii-Fagetum sylvaticae* » c'est-à-dire des hêtraies-chênaies à Pâturin de Chaix (91.30 – 6), 10 sont présentes dans au moins 50 % des 310 relevés et 14 dans au moins 30 % des relevés (Tableau 6). Les espèces les moins présentes de l'habitat sont les espèces acidiphiles (polytrich élégant, les luzules, le chèvrefeuille des bois). On retrouve en revanche une fréquence assez élevée de quelques espèces d'arbres et d'arbustes « calcicoles » comme l'Érable champêtre (69 %), le Troène (34 %), la Viorne lantane (22 %) suggérant que la forêt domaniale de Bezange-la-Grande correspond davantage à la variante « riche » de l'habitat.

Selon les cahiers habitats « ce type d'habitat est propre aux placages de limons sur les plateaux calcaires ou les marnes et argiles du nord-est de la France. Les sols sont riches chimiquement mais peuvent être désaturés en surface selon l'épaisseur des limons reposant sur le matériau parental. Des engorgements temporaires sont souvent observés ». Ces descriptions stationnelles correspondent parfaitement aux relevés pédologiques effectués. Il est à noter que le faciès dégradé de cet habitat correspond à la présence du *Carex brizoides* (le crin végétal) souvent en tapis dense sur les sols plus hydromorphes et acides (faciès non observé dans les forêts étudiées).

Concernant la valeur écologique et biologique, ce type d'habitat est assez répandu et possède une flore assez ordinaire. Sauf plantations non raisonnées, le mode de gestion ne va pas influencer fortement la valeur de l'habitat. Les essences « objectifs » restent les Chênes sessile et pédonculé et le Hêtre en mélange avec les autres espèces feuillues (Érables, Tilleuls...). Cependant, dans ce contexte et dans les situations non ou faiblement engorgées, le Hêtre aura tendance à supplanter les autres essences voire à les éliminer complètement. Pour maintenir la diversité, il faudra fortement « surveiller » et « contrôler » le développement du Hêtre.

Dans le cadre de la gestion, les plus grandes précautions concernent la fragilité des sols car le placage de limon et l'engorgement rendent ces sols particulièrement sensibles au tassement.

Tableau 6 | 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 la forêt domaniale de Bezange-la-Grande (n=310 relevés).

Espèce	Fréq.	Espèce	Fréq.
<i>Anemone nemorosa</i>	82	<i>Hedera helix</i>	93
<i>Athyrium filix-femina</i>	33	<i>Lonicera periclymenum</i>	23
<i>Atrichum undulatum</i>	31	<i>Luzula luzuloïdes</i>	9
<i>Carex sylvatica</i>	93	<i>Luzula pilosa</i>	14
<i>Carpinus betulus</i>	91	<i>Milium effusum</i>	56
<i>Convallaria majalis</i>	45	<i>Oxalis acetosella</i>	10
<i>Corylus avellana</i>	78	<i>Polytrichum formosum</i>	23
<i>Deschampsia cespitosa</i>	61	<i>Quercus petraea</i>	77
<i>Dryopteris filix-mas</i>	46	<i>Quercus robur</i>	18
<i>Fagus sylvatica</i>	82	<i>Rubus fruticosus aggr.</i>	60



« Hêtraie-chênaie à pâturin des bois »
© F. Lebourgeois 2021

5.9. Typologie des peuplements forestiers

a. Surface terrière et typologie des peuplements

Pour les 310 inventaires dendrométriques réalisés (hors surface en régénération ou détruites par la tempête de 1999), la surface terrière (Gtot) moyenne est de $27,8 \pm 8,5$ m²/ha (8 à 61,5) avec une majorité des inventaires entre 20 et 30 m²/ha (Figure 27). En moyenne sur les trois inventaires (2014, 2018, 2023), les Chênes (sessile en majorité) représentent 53 % de Gtot, le Charme 16 %, le Tilleul (essentiellement cordé) 11 %, le Frêne et le Hêtre 5 % chacun, l'Érable sycomore 2 % et le Merisier 1 %. Le reste étant du « divers » (Érable champêtre, Alisier torminal, résineux, etc.). Les peuplements réguliers à gros bois dominants (types 3X) et irréguliers (types 5X) sont majoritaires avec respectivement 41 % et 35 % des placettes. Le type 32 (gros bois à bois moyen) et les types 52 et 53 (irrégulier à bois moyen ou gros bois) représentent à eux deux 49 % des placettes (Figure 28).

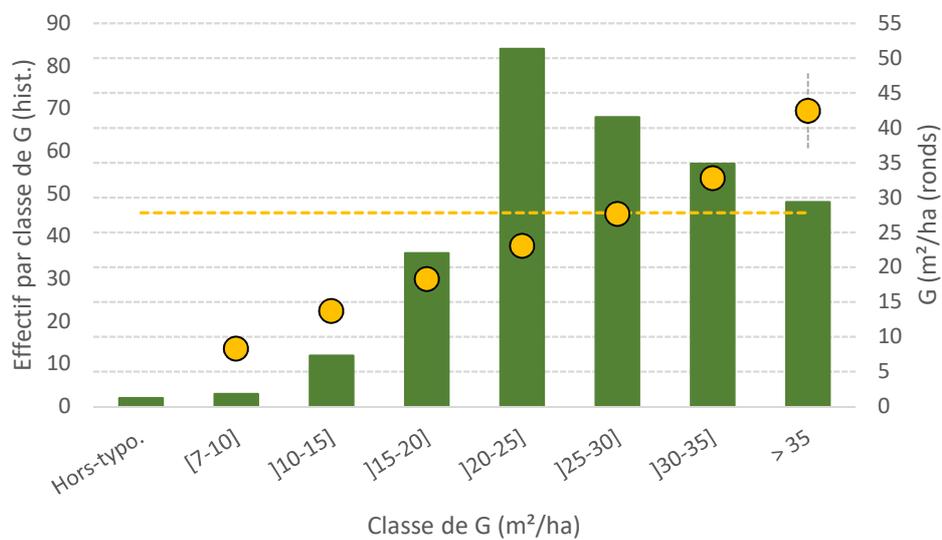


Figure 27 | Effectif des relevés (n=310) par classes de surface terrière (G en m²/ha) et surface terrière moyenne par classe (données moyennes sur les trois inventaires, 2014, 2018 et 2023).

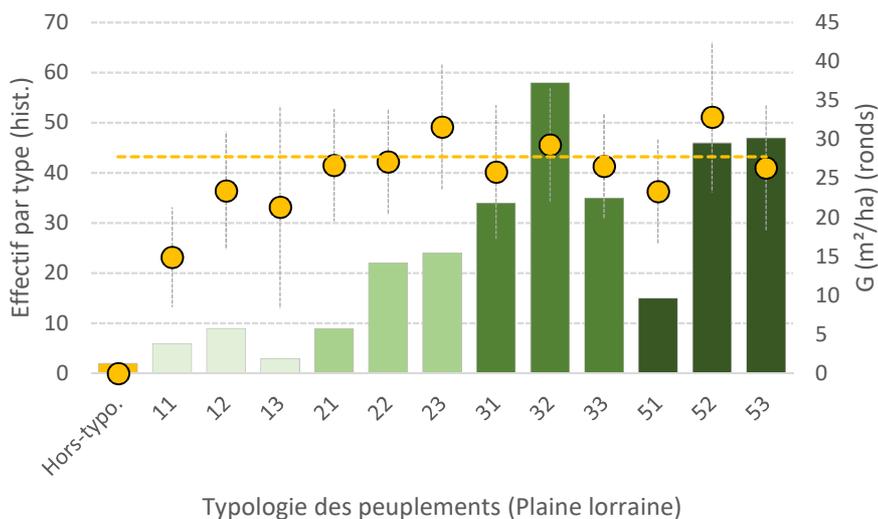


Figure 28 | Effectif des types de peuplement selon la typologie de la Plaine lorraine et surface terrière moyenne (ronds). 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier. Données pour les trois inventaires 2014, 2018 et 2023 (n=310).

Entre 2014 et 2023, la structure des peuplements a fortement évolué vers l'irrégularisation (Figure 29). En 2014, les peuplements 32 et 33 représentaient 39 % des relevés et les peuplements irréguliers (5x) 23 %. En 2023, les pourcentages ont évolué avec une diminution des types 32-33 (24 %) et une augmentation des peuplements irréguliers (5x, 40 %). Les types à dominante petit bois (1x) sont passés de 8 % en 2014 à 4 % en 2023. Il faut rappeler que l'échantillonnage ne comprend pas les surfaces en régénération ou encore fortement impactées par la tempête de 1999 (pas de précomptables, $G < 7 \text{ m}^2$ ou peuplements très ouverts).

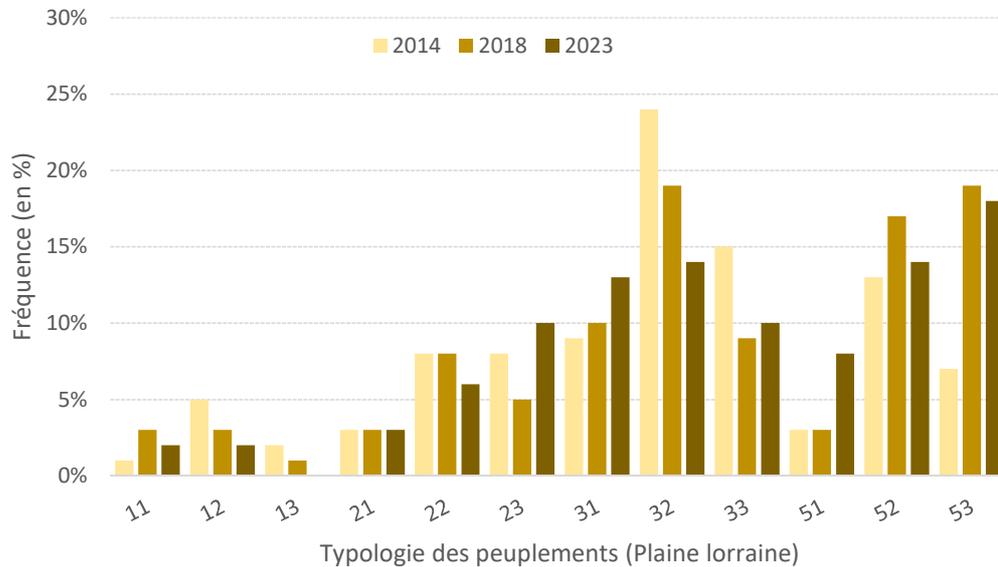


Figure 29 | Évolution des fréquences des types de peuplement entre 2014 et 2023. 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier.

b. Surface terrière et composition spécifique

La composition spécifique peut varier assez fortement selon la surface terrière totale du peuplement (Figure 30). Dans les peuplements à faible capital dominant les essences plus ou moins héliophiles et pionnières à croissance initiale rapide comme l'Érable sycomore et le Merisier. On y trouve également une très forte proportion de Tilleul. Dans les autres cas, le Charme représente autour de 16 % du capital et la proportion de Chênes augmente quand le capital augmente (de 45 % à près de 60 %) reflétant bien les objectifs sylvicoles de la forêt avec la production de Chênes. Le Hêtre représente en moyenne 8 % du capital avec une part plus importante dans les placettes à capital plutôt faible [15-20 m^2/ha].

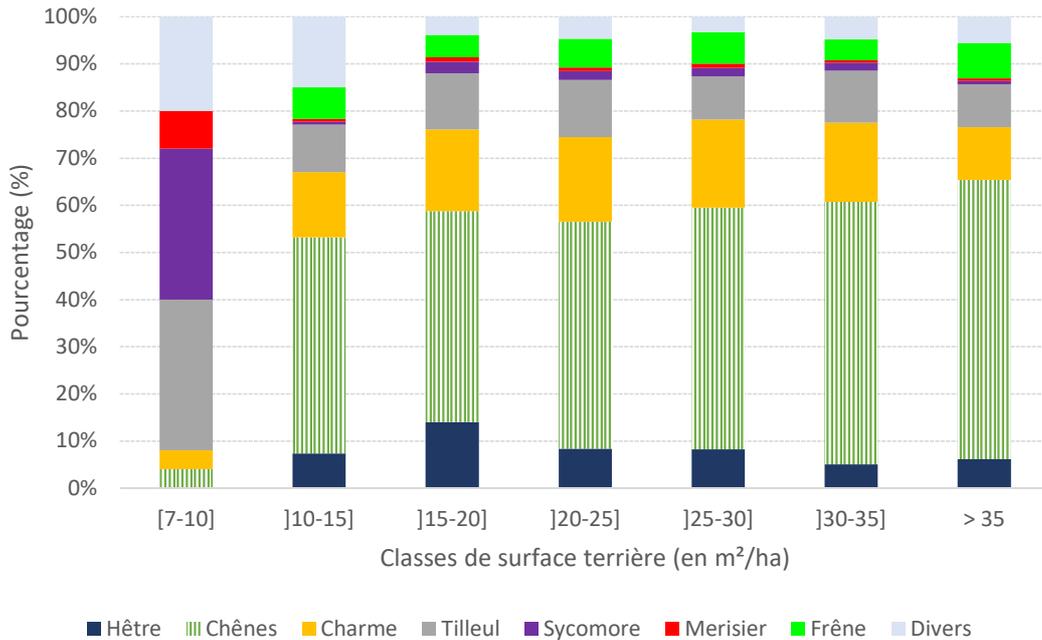


Figure 30 | Pourcentages des essences dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m²/ha). Le nombre de placettes par classe est respectivement de 3 [7-10], 12, 36, 84, 68, 57 et 48 (> 35). Pour les Chênes, il s'agit essentiellement de Chêne sessile et du Tilleul cordé pour le Tilleul. Dans les divers sont comptabilisés l'Érable champêtre, l'Alisier torminal, les Bouleaux, les Résineux, etc.

c. Surface terrière et catégorie des diamètres

Concernant la structure, les petits bois représentent en moyenne 26 % de la surface terrière totale, les bois moyens 32 % et les gros bois 42 % (Figure 31). 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 31).

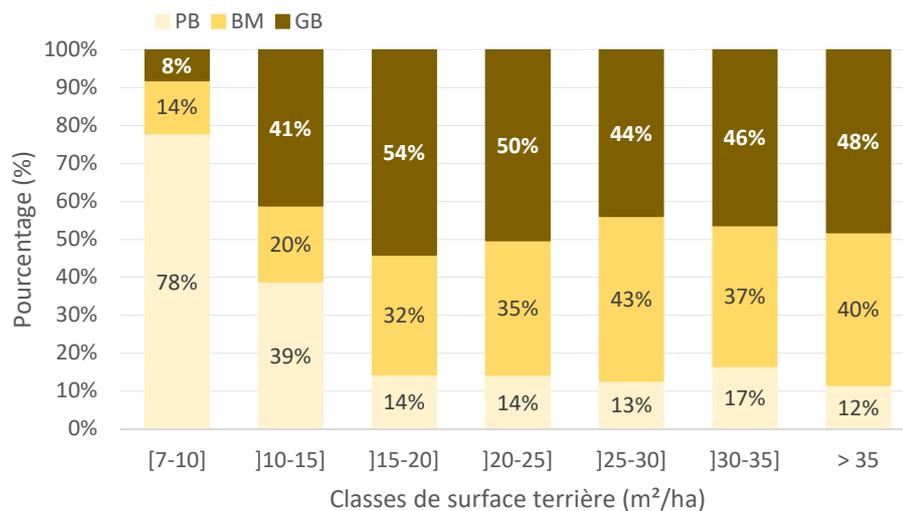


Figure 31 | Pourcentages des trois catégories de diamètres dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m²/ha). PB = petits bois ; diamètres entre]17,5 à 27,5 cm] ; BM = bois moyens]27,5 à 47,5 cm] et gros bois (> 47,5 cm) (n=310 inventaires).

d. Typologie des peuplements et composition spécifique

La prépondérance des différentes espèces dans les différents types de peuplement a varié au cours du temps (Figure 32). Si le Chêne reste l'espèce majoritaire, on observe une diminution importante de la part du Hêtre au cours du temps pour tous les types de peuplement. Par exemple, on est passé de 18 % de Hêtre en 2014 pour les types 32 et 33 à 7 % en 2023. On observe également une moindre fréquence de l'Érable sycomore ou encore du Frêne mais une part plus importante du Tilleul (essentiellement cordé ici). Ainsi, les types à dominante gros bois (3x) étaient plus diversifiés en 2014 et en 2023, Chêne, Charme et Tilleul sont les espèces les plus représentées. Cette variation pourrait s'expliquer par les consignes de gestion en faveur de l'essence objectif. Cependant, depuis les dernières années, la forêt a subi plusieurs dommages liés à la charlarose (arrivée en France entre 2008 et 2010) qui a touché fortement le Frêne et, plus récemment, une succession de sécheresses automnale, printanière et estivale qui a entraîné des mortalités de Hêtre et d'Érable sycomore.

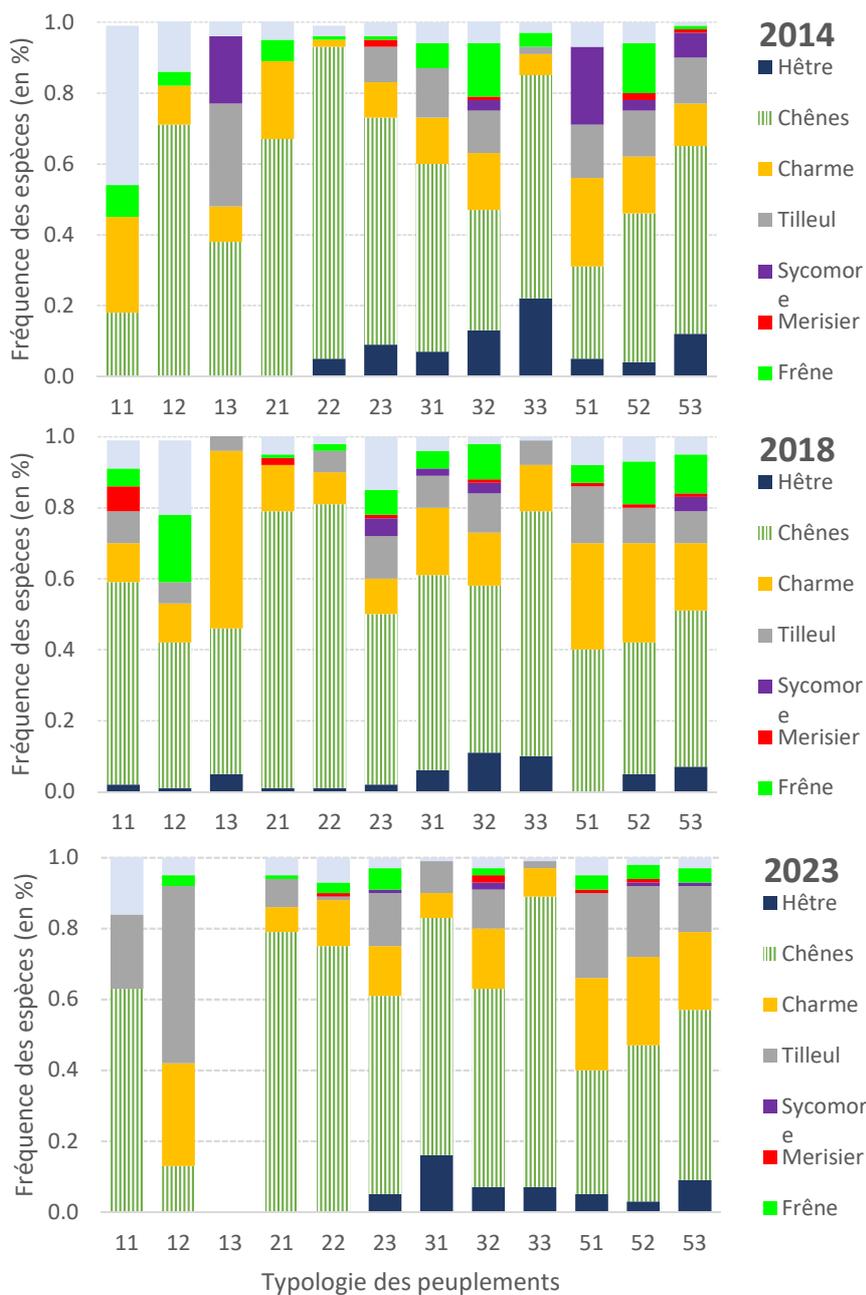


Figure 32 | Fréquences des espèces (calculées en fonction de leur importance dans la surface terrière totale) selon la typologie des peuplements et les trois inventaires. 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier.

5.10. Bois mort et dendromicrohabitats (DMH)

Sur les 310 placettes échantillonnées, le volume de bois mort au sol a été en moyenne de $29 \pm 34,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ (0 à 244) mais avec des variations importantes entre les placettes. Ainsi, 28 % des placettes ont des volumes inférieurs à $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ et 23 % des volumes entre 30 et $80 \text{ m}^3/\text{ha}$. Des volumes supérieurs à $80 \text{ m}^3/\text{ha}$ ont été observés dans seulement 6 % des cas (Figure 33). Ce volume a également varié entre les années avec $21,1 \pm 26,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 2014 contre $34,2 \pm 40,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 2018 et $29,8 \pm 32,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 2023. À partir de 2018, le volume moyen a donc augmenté mais également la proportion des relevés avec des volumes de bois mort au sol supérieurs à $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Figure 34). Ainsi, 5 % des relevés avaient un volume compris entre 50 et $80 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 2014. Le pourcentage était de 9 % en 2018 et de 14 % en 2023 ; le volume étant comparable entre les années et autour de $64 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Le volume de bois mort apparaît supérieur à 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 également supérieur aux données moyennes des placettes du réseau futaie irrégulière (environ $23 \text{ m}^3/\text{ha}$, 5726 placettes et 61 forêts, Brucciamachie, comm. Pers) et à la moyenne nationale issue des données de l'IGN ($17 \text{ m}^3/\text{ha}$; données 2022). Comme dit précédemment, ce chiffre élevé peut s'expliquer par les dépérissements et les mortalités observés suite à l'arrivée de la chalarose et de la succession de sécheresses ayant particulièrement affectées le Hêtre ou encore l'Érable sycomore.

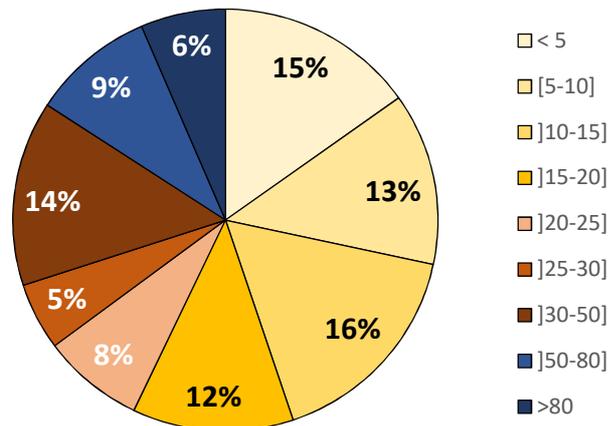


Figure 33 | Fréquences des placettes selon les volumes de bois mort au sol selon 9 classes (en m^3/ha) (N=310 placettes).



© F. Lebourgeois septembre 2017

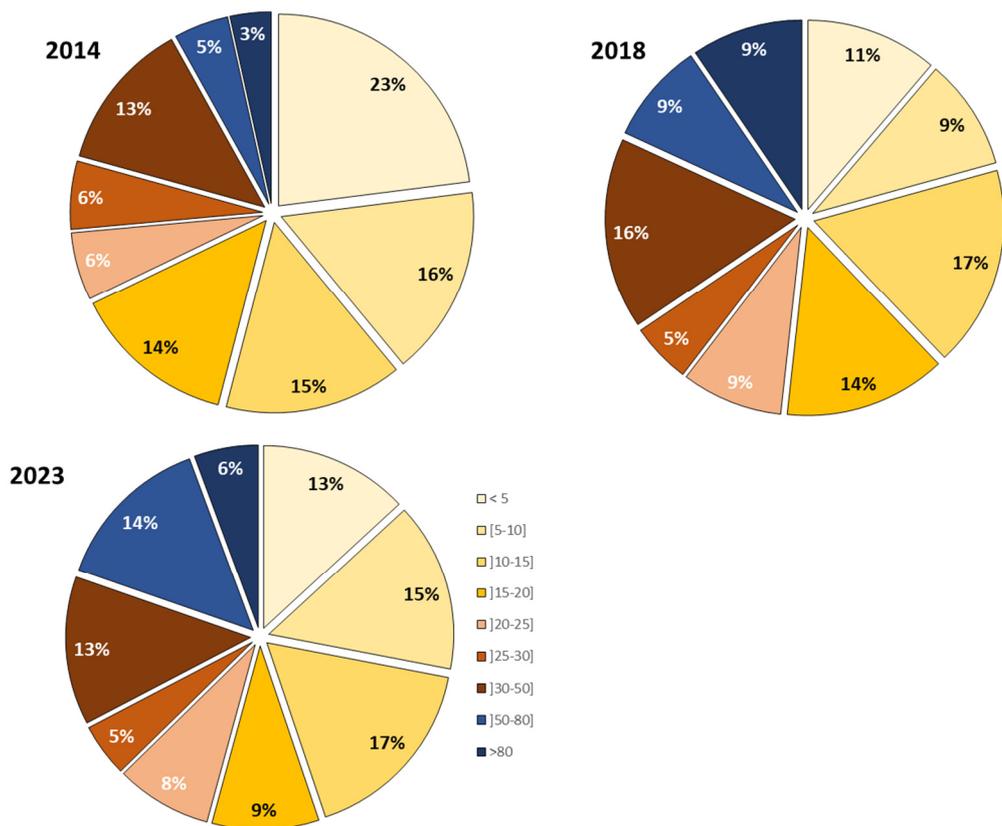


Figure 34 | Fréquences des placettes selon les volumes de bois mort au sol selon 9 classes (en m³/ha) pour les 3 années (N=87 en 2014, 116 en 2018 et 107 en 2023).

Les dendromicrohabitats (observés sur les trois plus gros arbres de l’inventaire dendrométrique, généralement des Chênes et plus rarement du Hêtre) sont plutôt rares. Le DMH le plus fréquent est le lierre présent sur environ 40 % des arbres observés. Les cavités basses sont plus fréquentes que les cavités hautes. Les champignons sont parfois observés mais les altérations des écorces sont rares (Tableau 7).

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 (5 %). Les gros lierres sont davantage présents (environ 30 % des placettes ont au moins 1 arbre avec du lierre) ainsi que les cavités basses (contreforts des grosses racines de Chênes et de Hêtre) et les altérations des écorces (Tableau 8).

Tableau 7 | 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 (le plus souvent sur des Chênes). Seules les données de 2018 et 2023 sont présentées en raison d'un protocole différent sur les notations en 2014.

	2018 (n=116 placettes)	2023 (n=107 placettes)
	348 arbres analysés	321 arbres analysés
Trous et cavités (haut)	23 [7 %]	31 [10 %]
Trous et cavités (bas)	107 [31 %]	54 [17 %]
Altération écorce	70 [20 %]	38 [12 %]
Champignons	8 [2 %]	5 [2 %]
Lierre (> 2 cm dia.) ou gui	128 [37 %]	125 [39 %]

Tableau 8 | Fréquences des dendromicrohabitats exprimées en nombre des placettes (n=116 en 2018 et n=107 en 2023) présentant des cavités hautes, basses, une altération des écorces, des champignons ou des lianes (gros lierre) sur 0, 1, 2 ou 3 arbres.

2018 (n=116 placettes)				
	Aucun arbre	1 arbre	2 arbres	3 arbres
Trous et cavités (haut)	96	18	1	1
Trous et cavités (bas)	46	40	23	7
Altération écorce	59	41	13	3
Champignons	108	8	0	0
Lierre (> 2 cm dia.) ou gui	42	36	22	16

2023 (n=107 placettes)				
	Aucun arbre	1 arbre	2 arbres	3 arbres
Trous et cavités (haut)	84	15	8	0
Trous et cavités (bas)	69	25	10	3
Altération écorce	77	23	6	1
Champignons	103	3	1	0
Lierre (> 2 cm dia.) ou gui	38	31	20	18



©Lebourgeois 2021

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), 310 relevés), des analyses en composantes principales ont été réalisées (FactoMineR et hclust R version 3.4.4). Les 9 variables écologiques prises en compte sont (8 variables continues et 1 variable en classe) : la pente (**Pent**, en grades), l'exposition (**Expo**, en grades), le confinement (**Conf**, en grades), la topographie (**Topo**, plat, rebord de plateau, versant, fond de vallon/bas de pente, fond de vallon étroit, fond de vallon humide, codée de 1 à 6), le type d'humus (**Hum**, eumull, mésomull, oligomull/dysmull et moder, codés de 1 à 4), la texture des horizons de surface (**Text**, dominante limoneuse, argileuse et sableuse, codées de 1 à 3), la profondeur du plancher argileux (**Plan**, en cm), la profondeur d'apparition des tâches d'hydromorphie (**Hydro**, en cm) et le type de station (**Stat**, 20 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 du pourcentage en gros bois dans la surface terrière (**ClasGGB**, en 6 classes), le type de peuplement selon la typologie de la Plaine lorraine (**TypoL**, type codé de 10 (hors typologie) à 53, 13 codes), le pourcentage des différentes espèces dans la surface terrière (Chênes, Hêtre, Charme, Tilleul et divers, **%GHET**, **%GCH**, **%GCHA**, **%GTIL**, **%GDIV**), le recouvrement (en %) de la strate arborée, arbustive et le total des deux (**RecA**, **Recab**, **RecTot**).

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 27,5 % de la variance (Figure 35). L'axe 1 (15,8 %) est expliqué essentiellement par des variables dendrométriques et notamment celles liées aux gros bois (Figure 35 et Tableau 9). Les coordonnées négatives le long de l'axe 1 correspondent aux relevés riches en gros bois (GB) (moyenne de 18,3 m²/ha [7 à 34]) représentant plus de 50 % de la surface terrière totale (67 % [51 à 100 %]) avec également une proportion importante de Hêtre dans la surface terrière totale (12,1 % [0 à 100 %]). À l'opposé, les valeurs positives caractérisent les relevés pauvres en gros bois (GB) (moyenne de 3,2 m²/ha [0 à 13,5]) représentant seulement environ 10 % de la surface terrière totale (10,6 % [0 à 25 %]) avec une proportion très faible de Hêtre (2 % [0 à 24 %]). Le type d'humus (Hum.) et la diversité floristique dans les relevés (nombre d'espèces, Esp.) sont également liés à l'axe 1 (Figure 35 et Tableau 9). Ainsi, plus de 80 % des relevés pauvres en gros bois (≤ 25 %) sont caractérisés par des formes d'humus à turn-over élevé (eumull et mésomull) (Figure 36). La fréquence de ces formes d'humus diminue quand la richesse en gros bois augmente alors que celle des formes à turn-over lent (moder) augmente. Concernant la diversité floristique, elle a tendance à être moins élevée dans les relevés à forte proportion de gros bois (Figure 37). Pour les relevés ayant au moins 40 % de gros bois dans la surface terrière totale, le nombre moyen d'espèces par relevé tend à diminuer quand la proportion augmente et ceci pour toutes les formes d'humus (Figure 37). La variation de la forme d'humus selon la richesse en gros bois ne semble pas liée à la géologie et à la texture dominante des horizons de surface. En effet, même si la fréquence des stations « sableuses » (donc acides pouvant se traduire par des humus à turn-over lent) est plus importante dans les relevés à gros bois et celle des stations « limoneuses » plus faible, les stations « sableuses » sont présentes dans toutes les structures forestières (Figure 38). En conclusion, les peuplements riches en gros bois et à proportion élevée de Hêtre se caractérisent par une moindre minéralisation de la matière organique et une richesse spécifique plus faible (effet lumière et litière faiblement dégradable du Hêtre).

Pour l'axe 2 (11,7 % de la variance), c'est la proportion de bois moyen qui explique la répartition des relevés. Les valeurs négatives correspondent aux peuplements riches en bois moyen (50 % et plus) avec une surface terrière moyenne de 13 à 20 m²/ha. Les valeurs positives sont caractérisées par des relevés assez pauvres en bois moyen (de 20 % à 40 %) et des faibles surfaces terrières (souvent entre 5 à 10 m²/ha).

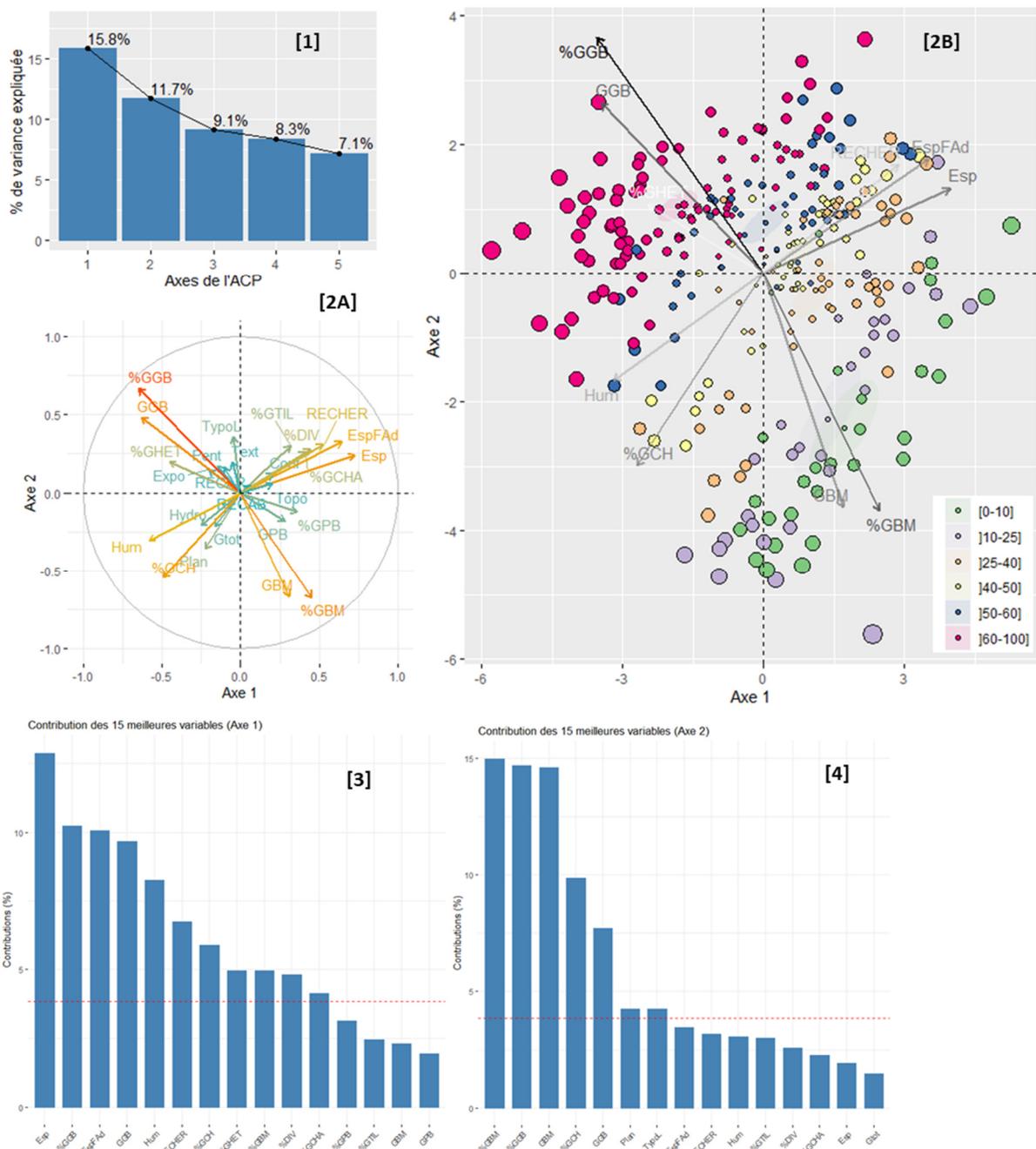
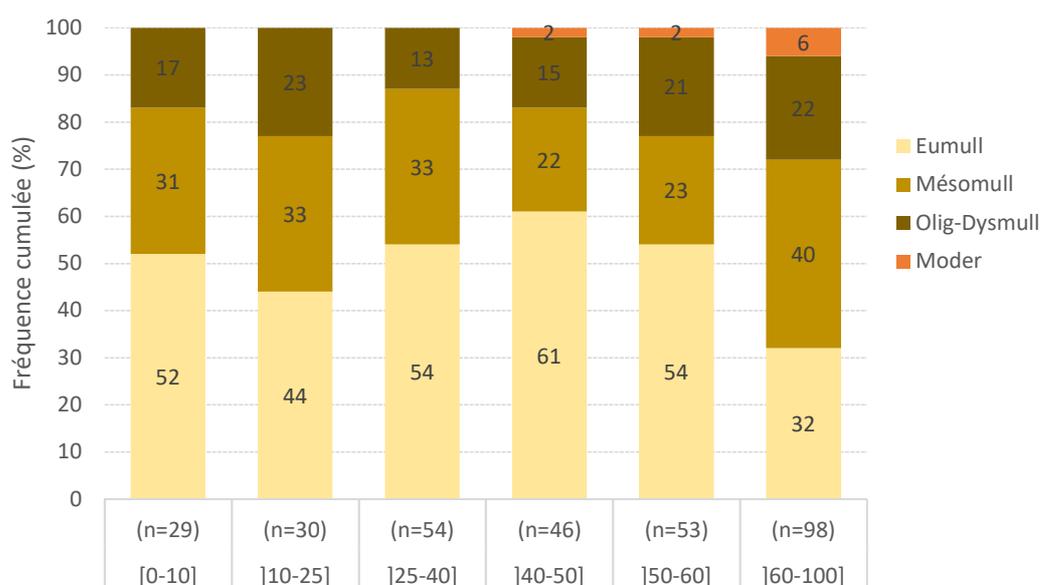


Figure 35 | Résultat de l'analyse en composantes principales effectuée sur les 310 relevés. [1] : % de variance expliquée par les différents axes. [2A] : répartition des variables écologiques (9) et sylvicoles (17) sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique l'importance de la variable pour l'explication des axes (\cos^2). Plus la couleur est foncée et plus la variable a de poids. [2B] : répartition des 310 relevés sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique le % de gros bois dans la surface terrière totale (% GGB 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 3,8 % ont été représentées. [3] : Contributions des 15 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 1 (15,8 % de variance expliquée). [4] : Contributions des 15 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 2 (11,7 % de variance expliquée). Pour [3] et [4], la ligne rouge en pointillé indique le seuil significatif de la contribution des variables (ici $1/27 * 100 = 3,8$ %). Voir texte pour l'explication des codes des variables.

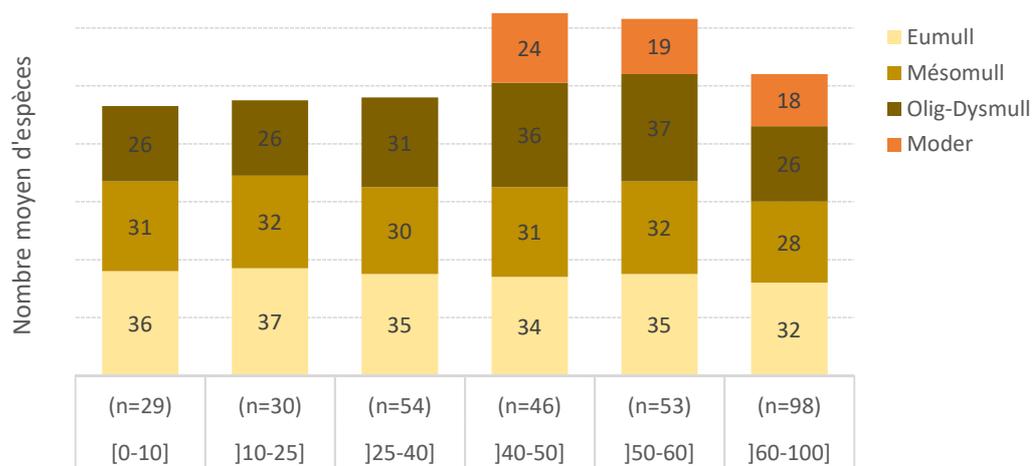
Tableau 9 | Statistiques des liens entre les différentes variables (continues ou en classes) et la répartition des 310 relevés le long de l'axe 1 qui explique 15,8 % de la variance (voir texte pour la signification des codes).

Variables continues			Variables en classes			Catégories des variables en classes		
Code	R ²	p.value	Code	R ²	p.value	Catégorie	Estimate	p.value
Esp	0,728	1,657E-52	ClasGGB	0,430	3,081E-35	ClasGGB]=[0-10]	1,216	1,281E-6
EspFAd	0,644	9,695E-38	STAT	0,223	5,202E-15	ClasGGB]=[10-25]	0,866	9,643E-5
RECHER	0,527	1,611E-23				ClasGGB]=[25-40]	0,598	1,037E-5
%GBM	0,452	5,103E-17				STAT=S2	-2,937	4,654E-5
%GDIV	0,446	1,517E-16				ClasGGB]=[60-100]	-2,324	2,600E-33
%GCHA	0,413	3,245E-14						
%GHET	-0,452	4,71E-17						
%GCH	-0,492	2,429E-20						
Hum	-0,583	1,268E-29						
GGB	-0,631	7,528E-36						
%GGB	-0,649	1,707E-38						



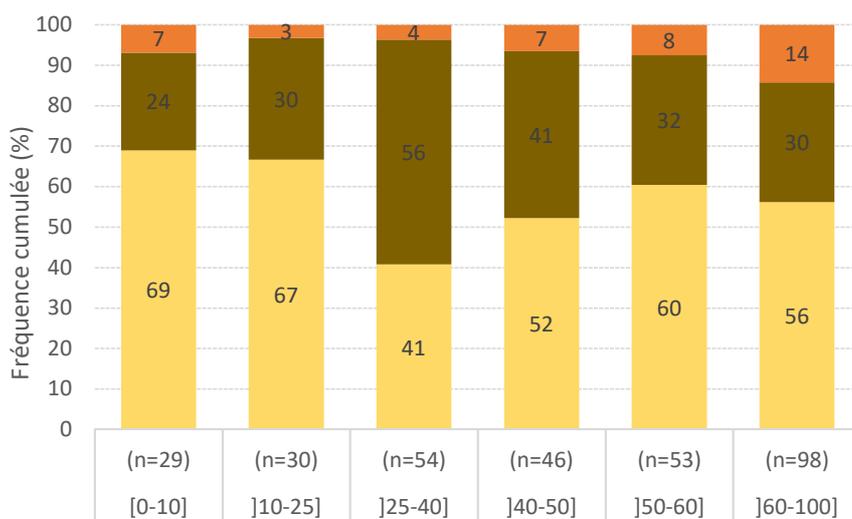
Classes de % de gros bois dans la surface terrière totale (et effectif par classe)

Figure 36 | Fréquence cumulée (en %) des différentes formes d'humus par classes de % de gros bois dans la surface terrière totale. Les formes Oligomull et Dysmull (Olig-Dysmull) ont été regroupées.



Classes de % de gros bois dans la surface terrière totale (et effectif par classe)

Figure 37 | Nombre moyen d'espèces par relevé selon les formes d'humus par classes de % de gros bois dans la surface terrière totale. Les formes Oligomull et Dysmull (Olig-Dysmull) ont été regroupées.



Classes de % de gros bois dans la surface terrière totale (et effectif par classe)

Figure 38 | Fréquence cumulée (en %) des différentes textures des horizons de surface (Limon, Argile et Sable) par classes de % de gros bois dans la surface terrière totale.

6. Synthèse

La forêt domaniale de Bezange-la-Grande 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. 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. Ceci se traduit déjà par des dépérissements et des mortalités plus ou moins diffuses qui augmentent depuis les dernières années (Frêne et plus récemment Hêtre) mais également par une tendance à l'augmentation de la fréquence des espèces herbacées des contextes chauds et secs. Le contexte géologique est varié avec des limons des plateaux, des argiles de Levallois ou des marnes du Keuper se traduisant par des sols à engorgement temporaire sur une grande partie de la forêt. Le grès Rhétien est également présent dans la forêt se traduisant par des sols à texture sableuse, drainants, acides et assez pauvres chimiquement. Enfin, on peut observer également des calcaires à gryphées donnant des sols souvent carbonatés. Sur la forêt, 70 % des relevés relatifs au catalogue Plaine lorraine ont présenté des taches d'hydromorphie pour une profondeur moyenne d'apparition de 33,4 cm (mais forte variation selon les stations). Concernant le plancher argileux, il a été observé dans 61 % des cas pour une profondeur moyenne 36,5 cm.

Concernant les peuplements forestiers, les essences dominantes sont les Chênes (sessile majoritairement), le Charme et le Tilleul. Le Frêne et le Hêtre sont devenus moins fréquents entre 2014 et 2023 en raison de la chalarose et des sécheresses récentes qui ont entraîné des mortalités accrues de ces espèces. La surface terrière moyenne est de $27,8 \pm 8,5$ m²/ha avec une prépondérance de gros bois (42 %) et de bois moyens (32 %) ; les petits bois représentant une plus faible proportion de la surface terrière totale (26 %). Les peuplements réguliers à gros bois dominants (types 3X) et irréguliers (types 5X) sont majoritaires avec respectivement 41 % et 35 % des placettes. Le type 32 (gros bois à bois moyen) et les types 52 et 53 (irréguliers à bois moyen ou gros bois) représentent à eux deux 49 % des placettes.

Concernant la biodiversité végétale, 234 espèces ont été inventoriées (310 relevés sous couvert forestier continu de 400 m²). 21 espèces sont présentes dans au moins 50 % des relevés (en moyenne sur les trois inventaires) et 9 dans plus de 75 %. À l'opposé, 140 espèces sont présentes dans moins de 5 % des relevés (en moyenne sur les trois inventaires). Les espèces herbacées les plus fréquentes (présence dans plus de 50 % des relevés) sont des espèces très classiques de la Plaine lorraine et témoignent globalement de sols riches chimiquement et bien alimentés en eau. La comparaison des inventaires entre 2014 et 2023 suggère une « thermophilisation » de la flore avec une variation de fréquences de certaines espèces indiquant des conditions plus chaudes et plus sèches en parallèle de la moindre fréquence de certaines espèces des milieux frais.

La diversité moyenne par relevé floristique (= diversité α) est de $31,4 \pm 8,4$ espèces avec une amplitude de 9 à 61 espèces. 21 % des relevés contiennent moins de 25 espèces (moy. 19,8 espèces) et 35 % plus de 35 (moy. 40,3 espèces). Les relevés « riches » à plus de 45 espèces représentent seulement 6 % des cas (moy. 48,4 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'*Aspérulo-Fagetum* 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). 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).

Le volume de bois mort au sol est en moyenne de $29 \pm 34,7$ m³/ha (0 à 244) mais avec des fortes variations entre placettes. Ainsi, 28 % des placettes ont des volumes inférieurs à 10 m³/ha et 23 % des volumes entre 30 et 80 m³/ha. Des volumes supérieurs à 80 m³/ha ont été observés dans seulement 6 % des cas. Entre 2014 et 2023, le volume moyen de bois mort a augmenté ainsi que la proportion des relevés avec des volumes de bois mort au sol supérieurs à 50 m³/ha (5 % en 2014 ; 9 % en 2018 et 14 % en 2023 ; volume comparable entre les années et autour de 64 m³/ha). Ce volume de bois mort est supérieur à celui observé lors des précédents projets et à la moyenne nationale issue des données de l'IGN (17 m³/ha ; données 2022). Ce chiffre élevé s'explique par les dépérissements et les mortalités observés suite à l'arrivée de la chalarose qui a touché le Frêne et par la succession de sécheresses ayant particulièrement affectées le Hêtre ou encore l'Érable sycomore.

7. Références

- DUPOUEY J.L., SCIAMA D., KOERNER W., DAMBRINE E., RAMEAU J.C., 2002. La végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française*, 54 (6), pp. 521-532.
- ELLENBERG H., 1988. Vegetation ecology of Central Europe. *fourth ed. Cambridge University Press, Cambridge*, pp.
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DULL R., WIRTH V., WERNER W., PAULISSEN D., 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobot.*, 18 (1-248), pp.
- HERMY 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 pp. 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), pp. 241-272.
- LEBOURGEOIS F., 2021. Protocole de relevés dans le contexte écologique de la Plaine lorraine. *Rapport Technique, AgroParisTech-Centre de Nancy*, pp. 46 pages.
- 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), pp. 331-356.
- 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), pp. 61-71.
- 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*, pp. 1-132.
- MULLER S., 2006. Les plantes protégées de Lorraine. Distribution, écologie, conservation. *Biotope*, Mèze ((Collection Parthénope)), pp. 1-376.
- OTTINGER L., 1997. Étude écologique de la forêt domaniale de Bezange. Rapport Scientifique, Office national des forêts, Direction régionale de Lorraine, Service départemental de Meurthe-et-Moselle, Division de Lunéville-Bayon, 79 pages + annexes
- 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), pp. 600-608.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1955. The water balance. *Drexel Institute of Climatology Laboratory, Climatology publication*, 8 pp. 1-104.
- VERNIER F.C., 2013. Atlas de la flore Lorraine. *Editions Vent d'Est*, pp. 1241 pages.

8. Liste des Figures

Figure 1 Carte topographique IGN Scan 25 de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande avec les 4 grands massifs (Source https://www.geoportail.gouv.fr/carte).	4
Figure 2 Carte topographique IGN Scan 25 de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande (environ 1400 ha). Quelques profils altimétriques représentatifs du relief sont présentés (Source https://www.geoportail.gouv.fr/carte).....	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 25 km de la forêt).	6
Figure 4 Diagramme ombrothermique pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à 25 km de la forêt). 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.....	6
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.	7
Figure 6 Carte géologique simplifiée de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande (Modifiée d'après InfoTerre – BrGm 2023, http://infoterre.brgm.fr/). La ligne verte représente le périmètre simplifié de l'ensemble du massif de la forêt domaniale de Bezange-la-Grande.	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 Répartition spatiale des 310 placettes inventoriées. La couleur des points correspond aux placettes installées par année (87 en 2014, 116 en 2018 et 107 en 2023). Selon les années, 4 à 6 groupes de 4 étudiants avec un accompagnateur pour réaliser les inventaires floristiques, pédologiques et dendrométriques.	14
Figure 9 Espèces végétales classées par ordre décroissant de leur fréquence dans les relevés floristiques (n=310 relevés de 400 m ²). Seules les 40 espèces (parmi les 234 au total) présentes dans au moins 30 % des relevés (en moyenne sur les trois inventaires) sont présentées. Les espèces arborées sont signalées par un histogramme vert et arbustives par un histogramme jaune.....	15
Figure 10 Nombre de relevés par classe du nombre d'espèces par relevé (N=310 placettes au total et 234 espèces différentes). Le nombre moyen d'espèces par classe est également donné (ronds orange).	15
Figure 11 Fréquences des différents types biologiques observés sur les 310 relevés (234 espèces différentes).....	18
Figure 12 Fréquences des différents groupes écologiques selon la nomenclature de la flore forestière française observés sur les 310 relevés (234 espèces différentes).....	19
Figure 13 Fréquences des différents groupes écologiques selon les valeurs indicatrices d'Ellenberg et al. 1992 observés sur les 310 relevés (213 espèces pris en compte sur les 234 au total).	20
Figure 14 Présence de la forêt de Bezange-la-Grande sur la carte de Cassini (en haut) et sur la carte d'État-major (en bas) (Source GéoPortail – 2023 - https://www.geoportail.gouv.fr/carte)	21
Figure 15 Fréquences des 26 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=310) 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 234. L'espèce avec un histogramme plus clair (le lamier jaune) n'apparaît pas dans la liste de Gégout et al. 2014.	22
Figure 16 Fréquences des espèces des forêts récentes (n=137) et anciennes (n=64) (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 des forêts récentes.	23
Figure 17 Fréquences des espèces des forêts récentes (n=137) et anciennes (n=64) (selon la liste de Dupouey et al. 2002) selon leurs groupes écologiques issus de la flore forestière française.....	23
Figure 18 Climatogramme des années 2014 et 2023 (données issues de la station météorologique de Nancy-Tomblaine située à environ 25 km de la forêt). Pluie (P en mm) : histogrammes. Température (T en °C) : lignes.	26
Figure 19 Anomalies standardisées du cumul des précipitations et de la température moyenne de janvier à mai. La moyenne 1991-2020 des précipitations a été de 286 ± 94 mm et des températures de 7,54 ± 0,92 °C (données issues de la station météorologique de Nancy-Tomblaine située à environ 25 km de la forêt). Les valeurs positives indiquent des années plus chaudes ou plus sèches que la moyenne et des valeurs négatives des années plus humides ou plus froides.....	27
Figure 20 Effectif des relevés par station et nombre moyen (± écart-type) d'espèces inventoriées par station. Les stations rattachées aux plateaux calcaires sont figurées en gris. La ligne en pointillé indique la diversité alpha moyenne.	28

Figure 21 Effectif des relevés par station et nombre moyen (\pm écart-type) d'espèces inventoriées par station trié par ordre décroissant de la diversité alpha moyenne. Les stations rattachées aux plateaux calcaires sont figurées en gris. La ligne en pointillé indique la diversité alpha moyenne.....	29
Figure 22 Fréquences des groupes écologiques par grand type de station. Les stations de la Plaine lorraine à dominante argileuse, limoneuse et sableuse sont respectivement en marron, jaune et orange. Les stations des Plateaux calcaires sont figurées en gris.....	29
Figure 23 Caractéristiques des stations relevées en forêt domaniale de Bezange-la-Grande selon la profondeur d'apparition d'un plancher argileux (en cm) (histogrammes) et la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) (ronds). Les losanges verts sont la moyenne de la diversité floristique observée par grand type stationnel. Par rapport au catalogue de référence de la Plaine lorraine, certaines stations ont été « découpées » en séparant sur le critère observation ou non d'un plancher (« pla » et « spla ») et de taches d'hydromorphie (« hydro » et « shydro »). Les chiffres () sont les effectifs. Les grands types stationnels (Limon, Argile, Sable et Vallons) sont figurés par des couleurs différentes.....	30
Figure 24 Relation entre la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm) (n=141 placettes sur 281 avec à la fois un plancher et des taches d'hydromorphie). La figure donne la relation établie sur les 115 placettes à texture limoneuse dominante en surface. Jaune : stations « limoneuses » (115) ; Marron : stations « argileuses » (19) ; Rouge : stations « sableuses » (7). La ligne noire donne la relation Y=X.....	31
Figure 25 Relation entre la profondeur d'apparition des taches d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm) (n=141 placettes sur 281 avec à la fois un plancher et des taches d'hydromorphie). La figure représente les différences de profondeur en cm entre le plancher et les taches par classes de différences (en cm). Par exemple, la classe [0] signifie que les taches apparaissent dans le plancher (cas de 41 placettes sur 141). Les histogrammes bleu foncé indiquent des taches au-dessus du plancher et les histogrammes bleu clair des taches sous le plancher.....	31
Figure 26 Cartographie de la sensibilité des stations aux changements climatiques selon les recommandations du guide Plaine lorraine pour la forêt domaniale de Bezange-la-Grande (n=281 placettes sur les 310 rattachées au catalogue). La sensibilité a été estimée à dire d'expert selon les conséquences possibles des modifications des régimes pluviométriques sur les contraintes d'engorgement hivernal et de sécheresse estivale (voir catalogue Plaine lorraine).....	32
Figure 27 Effectif des relevés (n=310) par classes de surface terrière (G en m ² /ha) et surface terrière moyenne par classe (données moyennes sur les trois inventaires, 2014, 2018 et 2023).....	35
Figure 28 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 trois inventaires 2014, 2018 et 2023 (n=310).....	35
Figure 29 Évolution des fréquences des types de peuplement entre 2014 et 2023. 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier.....	36
Figure 30 Pourcentage 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 [7-10], 12, 36, 84, 68, 57 et 48 (> 35). Pour les Chênes, il s'agit essentiellement de Chêne sessile et du Tilleul cordé pour le Tilleul. Dans les divers sont comptabilisés les Érables champêtre, l'Alisier torminal, les Bouleaux, les Résineux, etc.....	37
Figure 31 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=310 inventaires).....	37
Figure 32 Fréquences des espèces (calculées en fonction de leur importance dans la surface terrière totale) selon la typologie des peuplements et les trois inventaires. 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier.	38
Figure 33 Fréquences des placettes selon les volumes de bois mort au sol selon 9 classes (en m ³ /ha) (N=310 placettes).....	39
Figure 34 Fréquences des placettes selon les volumes de bois mort au sol selon 9 classes (en m ³ /ha) pour les 3 années (N=87 en 2014, 116 en 2018 et 107 en 2023).....	40
Figure 35 Résultat de l'analyse en composantes principales effectuée sur les 310 relevés. [1] : % de variance expliquée par les différents axes. [2A] : répartition des variables écologiques (9) 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 310 relevés sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique le % de Gros bois dans la surface terrière totale (% GGB 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 3,7 %) ont été représentées. [3] : Contributions des 15 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 1 (15,8 % de variance expliquée). [4] : Contributions des 15	

meilleures variables à l'interprétation de l'axe 2 (11,7 % de variance expliquée). Pour [3] et [4], la ligne rouge en pointillé indique le seuil significatif de la contribution des variables (ici $1/27 * 100 = 3,8 \%$). Voir texte pour l'explication des codes des variables.	43
Figure 36 Fréquence cumulée (en %) des différentes formes d'humus par classe de % de gros bois dans la surface terrière totale. Les formes Oligomull et Dymull (Olig-Dymull) ont été regroupées.	44
Figure 37 Nombre moyen d'espèces par relevé selon les formes d'humus par classe de % de gros bois dans la surface terrière totale. Les formes Oligomull et Dymull (Olig-Dymull) ont été regroupées.	45
Figure 38 Fréquence cumulée (en %) des différentes textures des horizons de surface (Limon, Argile et Sable) par classe de % de gros bois dans la surface terrière totale.	45

9. Liste des Tableaux

Tableau 1 Températures moyennes (et écarts-types) mensuelles sur les périodes 1950-1985 (période de référence) et 2000-2020.	6
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 m ² en contexte forestier fermé). NbE = Nombre total d'espèces végétales relevées.	16
Tableau 3 Comparaison des inventaires floristiques entre les trois années. Les données moyennes de pH, de température et de bilan hydrique climatique de juillet (différence entre les pluies et l'évapotranspiration potentielle) sont issues de Gégout <i>et al.</i> 2005 (Valeurs indicatrices d'EcoPlant).	24
Tableau 4 Variation de fréquences des espèces entre la campagne de relevés de 2014 (n=87) et la campagne 2023 (n=107) (voir texte pour le détail).	25
Tableau 5 Espèces relevées à la fois en 2014 et 2023 dans au moins 10 inventaires et présentant une variation de fréquence entre 2014 et 2023 d'au moins 10 %.	25
Tableau 6 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 la forêt domaniale de Bezange-la-Grande (n=310 relevés).	34
Tableau 7 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 (le plus souvent sur des Chênes). Seules les données de 2018 et 2023 sont présentées en raison d'un protocole différent sur les notations en 2014.	41
Tableau 8 Fréquences des dendromicrohabitats exprimées en nombre des placettes (n=116 en 2018 et n=107 en 2023) présentant des cavités hautes, basses, une altération des écorces, des champignons ou des lianes (gros lierre) sur 0, 1, 2 ou 3 arbres.	41
Tableau 9 Statistiques des liens entre les différentes variables (continues ou en classes) et la répartition des 310 relevés le long de l'axe 1 qui explique 15,8 % de la variance (voir texte pour la signification des codes).	44

10. Annexe : Liste des espèces (n=234)

Espèces	Famille	Fréq. (n=310 relevés)
<i>Abies alba</i>	Pinaceae	1.6%
<i>Acer campestre</i>	Sapindacea	69.4%
<i>Acer platanoides</i>	Sapindacea	26.1%
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Sapindacea	39.0%
<i>Adoxa moschatellina</i>	Adoxaceae	2.6%
<i>Aegopodium podagraria</i>	Adoxaceae	0.3%
<i>Agrimonia eupatoria</i>	Rosaceae	0.3%
<i>Agrostis capillaris</i>	Poaceae	1.9%
<i>Agrostis stolonifera</i>	Poaceae	0.3%
<i>Ajuga reptans</i>	Lamiaceae	21.3%
<i>Alliaria petiolata</i>	Brassicaceae	14.8%
<i>Allium ursinum</i>	Liliaceae	0.3%
<i>Alnus glutinosa</i>	Betulaceae	6.1%
<i>Anemone nemorosa</i>	Ranunculaceae	82.3%
<i>Angelica sylvestris</i>	Apiaceae	1.0%
<i>Anthriscus sylvestris</i>	Apiaceae	1.6%
<i>Arctium lappa</i>	Asteraceae	2.6%
<i>Arctium nemorosum</i>	Asteraceae	0.3%
<i>Arctium tomentosum</i>	Asteraceae	0.3%
<i>Arum maculatum</i>	Araceae	22.3%
<i>Athyrium filix-femina</i>	Polypodiaceae	32.6%
<i>Atrichum undulatum</i>	Polytrichaceae	30.6%
<i>Betula pendula</i>	Betulaceae	3.5%
<i>Blechnum spicant</i>	Blechnaceae	0.3%
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Poaceae	62.3%
<i>Bromopsis benekenii</i>	Poaceae	1.0%
<i>Bromopsis erectus</i>	Poaceae	0.6%
<i>Bromopsis ramosus</i>	Poaceae	5.8%
<i>Campanula trachelium</i>	Campanulaceae	3.9%
<i>Cardamine pratensis</i>	Brassicaceae	11.6%
<i>Carex acutiformis</i>	Cyperaceae	0.3%
<i>Carex brizoides</i>	Cyperaceae	2.9%
<i>Carex digitata</i>	Cyperaceae	1.9%
<i>Carex flacca</i>	Cyperaceae	14.5%
<i>Carex hirta</i>	Cyperaceae	0.3%
<i>Carex montana</i>	Cyperaceae	2.6%
<i>Carex pallescens</i>	Cyperaceae	0.6%
<i>Carex pendula</i>	Cyperaceae	1.3%
<i>Carex pilulifera</i>	Cyperaceae	7.7%
<i>Carex remota</i>	Cyperaceae	20.3%

<i>Carex sylvatica</i>	Cyperaceae	92.9%
<i>Carex umbrosa</i>	Cyperaceae	12.9%
<i>Carpinus betulus</i>	Betulaceae	91.0%
<i>Circaea lutetiana</i>	Onagraceae	49.4%
<i>Cirsium arvense</i>	Asteraceae	0.6%
<i>Cirsium oleraceum</i>	Asteraceae	0.3%
<i>Clematis vitalba</i>	Ranunculaceae	1.9%
<i>Convallaria majalis</i>	Liliaceae	45.2%
<i>Cornus mas</i>	Cornaceae	4.8%
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornaceae	11.9%
<i>Corydalis cava</i>	Fumariaceae	0.3%
<i>Corylus avellana</i>	Betulaceae	78.1%
<i>Crataegus laevigata</i>	Rosaceae	57.1%
<i>Crataegus monogyna</i>	Rosaceae	47.4%
<i>Cytisus scoparius</i>	Fabaceae	2.6%
<i>Dactylis glomerata</i>	Poaceae	8.1%
<i>Daphne laureola</i>	Thymelaeaceae	0.3%
<i>Daphne mezereum</i>	Thymelaeaceae	1.0%
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Poaceae	61.3%
<i>Deschampsia flexuosa (Avenella)</i>	Poaceae	1.0%
<i>Dicranella heteromalla</i>	Dicranaceae	0.3%
<i>Dicranodontium denudatum</i>	Dicranaceae	0.3%
<i>Dicranum scoparium</i>	Dicranaceae	1.9%
<i>Dryopteris affinis</i>	Polypodiaceae	0.3%
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Polypodiaceae	17.4%
<i>Dryopteris dilatata</i>	Polypodiaceae	11.3%
<i>Dryopteris filix-mas</i>	Polypodiaceae	46.1%
<i>Elymus caninus</i>	Poaceae	1.3%
<i>Epilobium hirsutum</i>	Onagraceae	0.6%
<i>Epilobium montanum</i>	Onagraceae	1.6%
<i>Epipactis helleborine</i>	Orchidaceae	0.6%
<i>Epipactis purpurata</i>	Orchidaceae	0.3%
<i>Equisetum arvense</i>	Equisetaceae	0.6%
<i>Equisetum Hyemale</i>	Equisetaceae	2.9%
<i>Equisetum palustre</i>	Equisetaceae	0.3%
<i>Equisetum telmateia</i>	Equisetaceae	0.6%
<i>Euonymus europaeus</i>	Celastaceae	15.8%
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Asteraceae	2.3%
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	Euphorbiaceae	38.1%
<i>Euphorbia dulcis</i>	Euphorbiaceae	1.0%
<i>Eurhynchium stockesii (Kindbergia praelonga)</i>	Brachytheciaceae	9.4%
<i>Eurhynchium striatum</i>	Brachytheciaceae	50.6%
<i>Fagus sylvatica</i>	Fagaceae	81.9%
<i>Festuca gigantea (Schedonorus giganteus)</i>	Poaceae	7.7%
<i>Festuca heterophylla</i>	Poaceae	4.2%
<i>Filipendula ulmaria</i>	Rosaceae	2.6%

<i>Fissidens taxifolius</i>	Fissidentaceae	16.8%
<i>Fragaria vesca</i>	Rosaceae	31.6%
<i>Frangula alnus</i>	Rhamnaceae	2.9%
<i>Fraxinus excelsior</i>	Oleaceae	91.9%
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Lamiaceae	11.6%
<i>Galium aparine</i>	Rubiaceae	18.1%
<i>Galium odoratum</i>	Rubiaceae	1.0%
<i>Galium palustre</i>	Rubiaceae	0.3%
<i>Galium sylvaticum</i>	Rubiaceae	2.9%
<i>Geranium robertianum</i>	Geraniaceae	22.9%
<i>Geranium sylvaticum</i>	Geraniaceae	0.3%
<i>Geum urbanum</i>	Rosaceae	68.7%
<i>Glechoma hederacea</i>	Lamiaceae	34.5%
<i>Glyceria striata</i>	Poaceae	0.6%
<i>Hedera helix</i>	Araliaceae	93.2%
<i>Heracleum sphondylium</i>	Apiaceae	3.9%
<i>Hieracium murorum</i>	Asteraceae	0.3%
<i>Holcus lanatus</i>	Poaceae	1.0%
<i>Holcus mollis</i>	Poaceae	0.3%
<i>Hordelymus europaeus</i>	Poaceae	1.6%
<i>Hylocomium splendens</i>	Hylocomiaceae	1.0%
<i>Hypericum hirsutum</i>	Hypericaceae	9.7%
<i>Hypericum montanum</i>	Hypericaceae	0.3%
<i>Hypericum perforatum</i>	Hypericaceae	1.0%
<i>Hypericum pulchrum</i>	Hypericaceae	3.2%
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Hypnaceae	1.9%
<i>Impatiens glandulifera</i>	Balsaminaceae	0.3%
<i>Impatiens parviflora</i>	Balsaminaceae	1.0%
<i>Jacobaea vulgaris</i>	Asteraceae	0.3%
<i>Juncus conglomeratus</i>	Juncaceae	2.6%
<i>Juncus effusus</i>	Juncaceae	8.4%
<i>Lamium galeobdolon</i>	Lamiaceae	64.5%
<i>Lapsana communis</i>	Asteraceae	5.8%
<i>Larix decidua</i>	Pinaceae	0.3%
<i>Lathyrus pratensis</i>	Fabaceae	1.0%
<i>Lathyrus vernus</i>	Fabaceae	0.3%
<i>Ligustrum vulgare</i>	Oleaceae	33.5%
<i>Lilium martagon</i>	Liliaceae	9.7%
<i>Lonicera periclymenum</i>	Caprifoliaceae	22.6%
<i>Lonicera xylosteum</i>	Caprifoliaceae	9.0%
<i>Lotus pedunculatus</i>	Fabaceae	0.3%
<i>Luzula luzuloides</i>	Juncaceae	8.7%
<i>Luzula multiflora</i>	Juncaceae	0.6%
<i>Luzula pilosa</i>	Juncaceae	13.9%
<i>Luzula sylvatica</i>	Juncaceae	2.9%
<i>Lysimachia nummularia</i>	Primulaceae	1.6%

<i>Maianthemum bifolium</i>	Liliaceae	1.9%
<i>Melica uniflora</i>	Poaceae	10.3%
<i>Melittis melissophyllum</i>	Lamiaceae	0.3%
<i>Mentha arvensis</i>	Lamiaceae	0.3%
<i>Mercurialis perennis</i>	Euphorbiaceae	4.5%
<i>Milium effusum</i>	Poaceae	56.5%
<i>Mnium hornum</i>	Mniaceae	0.3%
<i>Moehringia trinervia</i>	Caryophyllaceae	2.6%
<i>Molinia caerulea</i>	Poaceae	5.8%
<i>Mycelis muralis</i> (<i>Lactuca muralis</i>)	Asteraceae	1.0%
<i>Myosotis arvensis</i>	Boraginaceae	0.3%
<i>Myosoton aquaticum</i>	Caryophyllaceae	0.3%
<i>Narcissus pseudonarcissus</i>	Amaranthaceae	0.6%
<i>Ornithogalum pyrenaicum</i> (<i>Loncomelos pyrenaicus</i>)	Liliaceae	8.4%
<i>Oxalis acetosella</i>	Oxalidaceae	9.7%
<i>Paris quadrifolia</i>	Liliaceae	22.3%
<i>Perisicaria hydropiper</i>	Polygonaceae	0.3%
<i>Phyteuma nigrum</i>	Campanulaceae	1.9%
<i>Phyteuma spicatum</i>	Campanulaceae	8.4%
<i>Picea abies</i>	Pinaceae	2.6%
<i>Plagiochila asplenioides</i>	Plagiochilaceae	0.3%
<i>Plagiomnium undulatum</i>	Mniaceae	13.5%
<i>Plagiothecium undulatum</i>	Mniaceae	0.3%
<i>Pleurozium schreberi</i>	Hylocomiaceae	1.0%
<i>Poa chaixii</i>	Poaceae	48.7%
<i>Poa nemoralis</i>	Poaceae	6.8%
<i>Poa pratensis</i>	Poaceae	0.3%
<i>Poa trivialis</i>	Poaceae	4.5%
<i>Polygonatum multiflorum</i>	Liliaceae	37.7%
<i>Polygonatum odoratum</i>	Liliaceae	1.0%
<i>Polytrichum formosum</i>	Polytrichaceae	22.9%
<i>Populus tremula</i>	Salicaceae	4.8%
<i>Potentilla sterilis</i>	Rosaceae	35.8%
<i>Primula elatior</i>	Primulaceae	45.2%
<i>Primula veris</i>	Primulaceae	1.9%
<i>Prunella vulgaris</i>	Lamiaceae	1.0%
<i>Prunus avium</i>	Rosaceae	49.0%
<i>Prunus padus</i>	Rosaceae	0.3%
<i>Prunus serotina</i>	Rosaceae	0.3%
<i>Prunus spinosa</i>	Rosaceae	19.7%
<i>Pteridium aquilinum</i>	Pteridiaceae	8.1%
<i>Pulmonaria montana</i>	Boraginaceae	1.0%
<i>Pulmonaria obscura</i>	Boraginaceae	52.3%
<i>Pyrus pyraster</i>	Rosaceae	2.3%
<i>Quercus petraea</i>	Fagaceae	77.1%

<i>Quercus robur</i>	Fagaceae	18.1%
<i>Quercus rubra</i>	Fagaceae	0.3%
<i>Ranunculus auricomus</i>	Ranunculaceae	8.1%
<i>Ranunculus repens</i>	Ranunculaceae	1.0%
<i>Rhytidiadelphus loreus</i>	Hylocomiaceae	3.9%
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Hylocomiaceae	2.3%
<i>Ribes alpinum</i>	Grossulariaceae	0.6%
<i>Ribes rubrum</i>	Grossulariaceae	3.9%
<i>Ribes uva-crispa</i>	Grossulariaceae	4.5%
<i>Robinia pseudacacia</i>	Fabaceae	0.6%
<i>Rosa arvensis</i>	Rosaceae	61.3%
<i>Rosa canina</i>	Rosaceae	4.5%
<i>Rubus caesius</i>	Rosaceae	1.6%
<i>Rubus fruticosus</i> aggr.	Rosaceae	59.7%
<i>Rubus idaeus</i>	Rosaceae	3.2%
<i>Rumex acetosa</i>	Polygonaceae	1.0%
<i>Rumex obtusifolius</i>	Polygonaceae	2.6%
<i>Rumex sanguineus</i>	Polygonaceae	16.8%
<i>Salix caprea</i>	Salicaceae	1.3%
<i>Sambucus nigra</i>	Adoxaceae	2.9%
<i>Sanicula europaea</i>	Apiaceae	3.2%
<i>Scapania nemorea</i>	Hepaticae	0.3%
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Cyperaceae	0.3%
<i>Scrophularia nodosa</i>	Scrophulariaceae	5.5%
<i>Silene dioica</i>	Caryophyllaceae	0.3%
<i>Solanum dulcamara</i>	Solanaceae	0.3%
<i>Sonchus arvensis</i>	Asteraceae	0.3%
<i>Sorbus aria</i>	Rosaceae	0.6%
<i>Sorbus aucuparia</i>	Rosaceae	2.6%
<i>Sorbus domestica</i>	Rosaceae	0.3%
<i>Sorbus torminalis</i>	Rosaceae	14.2%
<i>Stachys sylvatica</i>	Lamiaceae	31.6%
<i>Stellaria holostea</i>	Caryophyllaceae	21.0%
<i>Symphytum officinale</i>	Boraginaceae	0.6%
<i>Teucrium scorodonia</i>	Lamiaceae	2.3%
<i>Thamnobryum alopecurum</i>	Neckeraceae	8.1%
<i>Thuidium tamariscinum</i>	Thuidiaceae	31.6%
<i>Tilia cordata</i>	Malvaceae	76.8%
<i>Tilia platyphyllos</i>	Malvaceae	11.9%
<i>Torilis arvensis</i>	Apiaceae	0.6%
<i>Ulmus glabra</i>	Ulmaceae	6.5%
<i>Ulmus laevis</i>	Ulmaceae	1.6%
<i>Ulmus minor</i>	Ulmaceae	4.5%
<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae	8.4%
<i>Valeriana officinalis</i>	Caprifoliaceae	0.6%
<i>Veronica beccabunga</i>	Plantaginaceae	0.3%

Veronica chamaedrys	Plantaginaceae	0.3%
Veronica montana	Plantaginaceae	3.2%
Veronica officinalis	Plantaginaceae	1.0%
Viburnum lantana	Adoxaceae	21.9%
Viburnum opulus	Adoxaceae	30.0%
Vicia cracca	Fabaceae	0.3%
Vicia sepium	Fabaceae	26.8%
Vinca minor	Apocynaceae	8.1%
Vincetoxicum hirundinaria	Asclepiadaceae	1.0%
Viola reichenbachiana	Violaceae	61.3%
Viola riviniana	Violaceae	2.9%