



HAL
open science

Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers dans les forêts de Brin et d'Amance (Plaine lorraine)

François F. Lebourgeois

► **To cite this version:**

François F. Lebourgeois. Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers dans les forêts de Brin et d'Amance (Plaine lorraine). Université de Lorraine; AgroParisTech; INRAE. 2021, pp.61. <hal-04525329>

HAL Id: hal-04525329

<https://hal.science/hal-04525329v1>

Submitted on 28 Mar 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.



HAL Authorization

Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers
dans les forêts de Brin et d'Amance
(Plaine lorraine)

Lebourgeois François (Coordinateur)

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



Hêtraie – Chênaie sessiliflore en Plaine lorraine © F. Lebourgeois 2021

Citation : Lebourgeois F. (Coord.) (2021) Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers dans les forêts de Brin et d'Amance (Plaine lorraine). Rapport scientifique final, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, 62 pages.

Table des matières

1. Renseignements généraux.....	4
1.1. Désignation et situation des forêts étudiées.....	4
2. Analyse du contexte écologique.....	6
2.1. Mésoclimat et changements déjà observés.....	6
2.2. Contexte géologique.....	9
3. Description des peuplements lors de l'aménagement 2008-2019.....	12
4. Inventaires dendrométriques et floristiques 2021.....	13
5. Résultats.....	15
5.1. Effectif des placettes.....	15
5.2. Diversité floristique globale.....	15
5.3. Diversité α	16
5.4. Diversité β	18
5.5. Caractéristiques de la flore observée.....	18
a. Familles et types biologiques.....	18
b. Groupes écologiques.....	19
c. Flore des forêts anciennes.....	22
5.6. Les stations forestières.....	25
5.7. Stations forestières et diversité floristique.....	29
5.8. Habitat forestier, valeur écologique et conservation.....	31
5.9. Typologie des peuplements forestiers.....	33
5.10. Bois mort et dendromicrohabitats.....	38
5.11. Déterminisme écologique et sylvicole de la diversité floristique α	41
5.12. Analyse de la flore des assecs de gestion de l'étang de Brin.....	45
a. Définition des assecs.....	45
b. Caractéristiques de l'étang de Brin.....	47
c. Diversité floristique de l'assec.....	49
d. Rattachement phytosociologique de la flore de l'assec.....	52
e. Les deux espèces remarquables de l'étang de Brin.....	53
6. Synthèse.....	55
7. Références.....	56
8. Liste des Figures.....	57
9. Liste des Tableaux.....	60

INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats des analyses des relevés écologiques et dendrométriques effectués en juin 2021 dans le cadre du module intégratif 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), les forêts de Brin et Amance ont été inventoriées 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 forêt de plaine se trouvant dans la région naturelle de la Plaine lorraine et localisée sur plateau à faible relief, avec une altitude entre 210 et 275 mètres.

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

Responsable du projet : Lebourgeois François

Traitement des données pour ce rapport et rédaction : Lebourgeois François

Encadrement technique pour la préparation ou pendant la phase de terrain (par ordre alphabétique) : Célia Bresson, Bernard Jabiol, François Lebourgeois, Sylvie Lehmann, Sophie Lorentz, Fabien Spicher (responsable également des relevés floristiques de l'assec)

Accompagnement partiel lors de la phase de terrain

Philippe Durand, Caroline Petitjean, Lucas Putigny, Pierre-André Wagner

Étudiants (22)

Barles Rita, Bonnet Baptiste, Brusa-Pasqué Cécile, Cabanne Faustine, Coorevits Charlotte, Corouge Eugénie, Couëttil Alice, De Bry D'Arcy-Briole Max, De Robien Paul, Denise Emma, Douesnard Marie-Caroline, Grolleau Maël, Guéville Roxane, Guy Rémi, Jeux Héloïse, Larché Gwenaël, Le Goanvic Anaïs, Levasseur Antoine, Neri Marie, Soler Alexia, Stanic Laura, Vidot Alexia.

Comment citer ce document

Lebourgeois F. (Coord.) (2021) Analyse de la diversité végétale et des peuplements forestiers dans les forêts de Brin et d'Amance (Plaine lorraine). Rapport scientifique final, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, 62 pages.

1. Renseignements généraux

1.1. Désignation et situation des forêts étudiées

La forêt de Brin s'étend sur une superficie de 604,22 ha organisés en deux ensembles distincts : 594,98 ha sur les communes d'Amance, de Bey-sur-Seille, de Bouxières-aux-Chênes et de Brin-sur-Seille, partie sur laquelle a été réalisée le projet en juin 2021 (parcelles 1 à 46) et 9,24 ha plus au Sud sur les communes de Champenoux et de Velaine-sous-Amance (parcelle 47). Ces 604,22 ha comportent 23,64 ha d'espaces non forestiers. *In fine*, 571,34 ha sont destinés à la culture forestière. Pour Brin, les espaces non forestiers sont l'étang de Brin (17,63 ha), les routes forestières (5,33 ha) et l'administration (0,68 ha). Les enclaves subsistant dans la forêt de Brin sont au nombre de cinq réparties en deux groupes : trois parcelles dans le « Bois la Dame » : 25,3 ha et deux parcelles au « Bois des Maires » : 8,51 ha. La forêt de Brin appartient à AgroParisTech et a pour vocations la production (futaie régulière de hêtre et chênes), l'accueil du public et la pédagogie. Compte tenu des dommages occasionnés par la tempête de 1999, l'aménagement de la forêt de Brin a été révisé en 2006 (aménagement sur la période 2008-2019). Ajoutons que la forêt de Brin porte encore aujourd'hui des traces des combats qui y ont eu lieu lors des guerres de 1914-1918 et 1939-1945 (bunkers, tranchées, grenades dans l'assec...). La forêt domaniale d'Amance s'étend sur 409 ha, mais l'analyse de terrain n'a été effectuée que sur certaines parcelles de cette forêt (Figure 1).

Le projet a donc concerné un peu moins de 1000 ha de forêt de plaine se trouvant dans la région naturelle de la Plaine lorraine et localisée sur plateau à faible relief, avec une altitude entre 210 et 275 mètres.



Étang de Brin – © F. Lebourgeois - 2017



Figure 1 | Photo aérienne et carte topographique IGN Scan 25 des forêts étudiées (environ 1000 ha) (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-continental, 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 2). Le rapport du total des pluies estivales sur le total des pluies annuelles n'a également pas varié avec une valeur moyenne de 27 ($\pm 8\%$) (~ 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 2). 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 3).

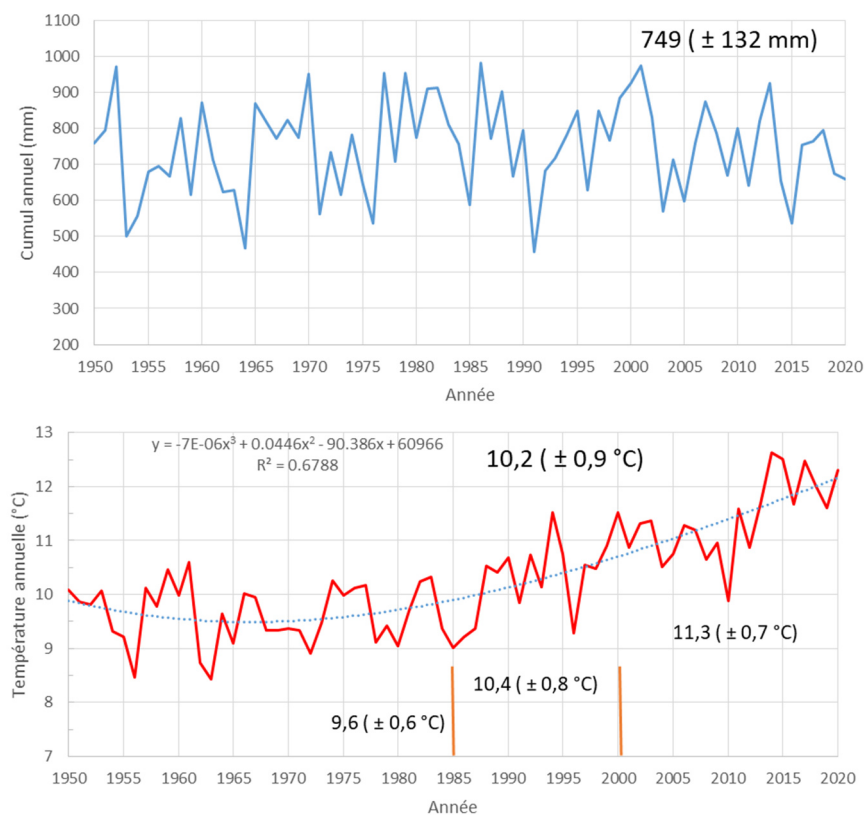


Figure 2 | Évolutions des précipitations et températures annuelles sur la période 1950-2020 pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à 15 km de la forêt).

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)

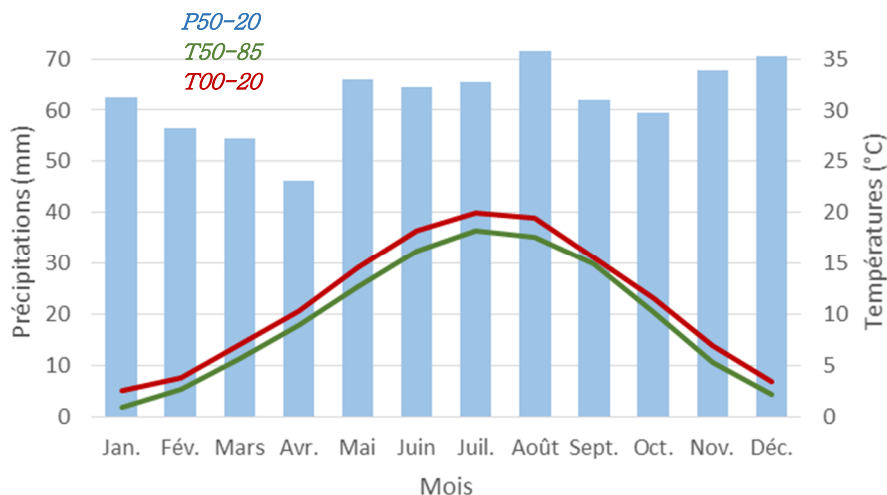


Figure 3 | Diagramme ombrothermique pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à 15 km de la forêt). Histogrammes, P50-20 = précipitations moyennes (en mm) sur la période 1950-2020 ; En vert, T50-85 et en rouge T00-20= températures moyennes (°C) sur la période 1950-1985 et 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) à augmenter 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 4).



Chênaie sessiliflore en Plaine lorraine © F. Lebourgeois - 2019

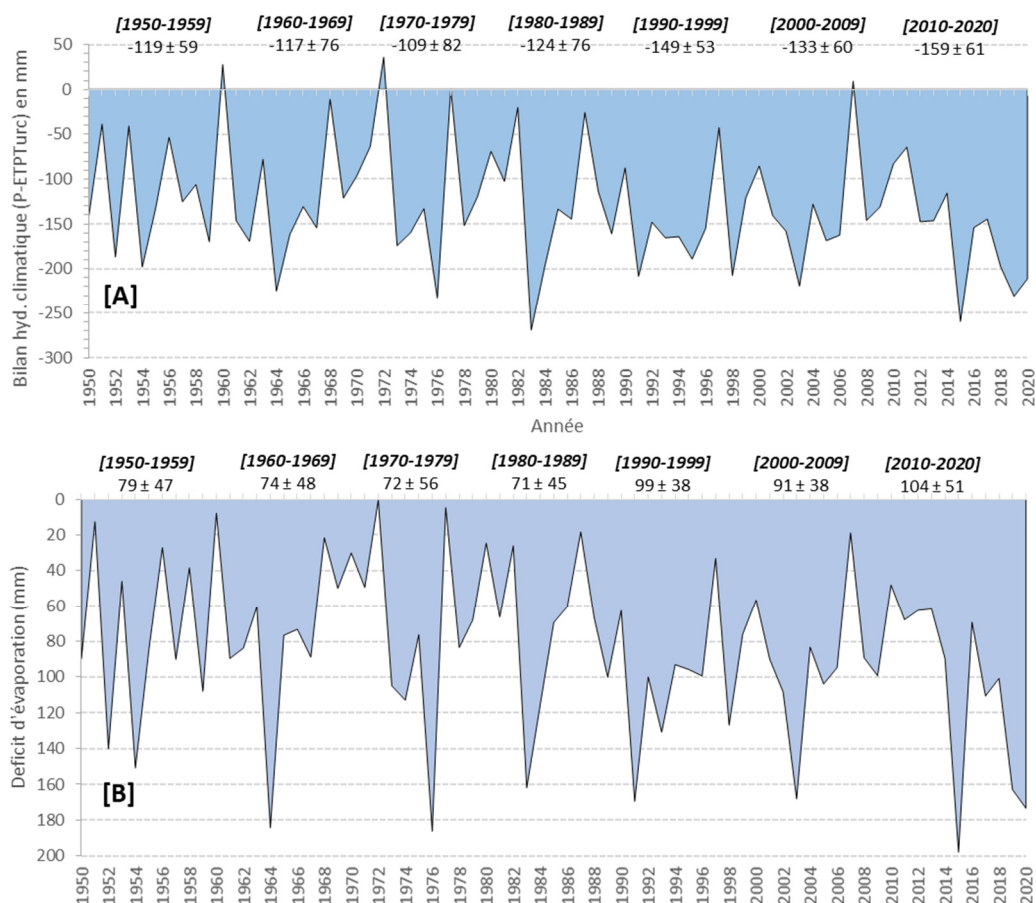


Figure 4 | Évolution du bilan hydrique climatique (P-ETP_{Turc}) [A] et du déficit d'évaporation (ETR-ETP) [B] sur la période 1950 à 2020. L'évapotranspiration potentielle a été calculée avec la formule de Turc. Le déficit d'évaporation a été calculé à partir du modèle de bilan hydrique de Thornthwaite et Mather (1955). Pour le calcul, une réserve utile du sol de 120 mm (sur 70-80 cm) a été considérée selon les résultats des descriptions pédologiques (voir partie résultats : texture LA sur Argile ; plancher à 40 cm ; traces d'hydromorphie à partir de 27 cm ; enracinement fort avant le plancher et moindre après). Cette RU est sans doute sous-évaluée pour les Chênes mais semble raisonnable pour les Hêtres beaucoup plus sensibles aux contraintes d'engorgement que les chênes (enracinement nettement moins profond dans ces contextes). Les données en gras correspondent aux moyennes et écarts-types pour chaque période de 10 ans.

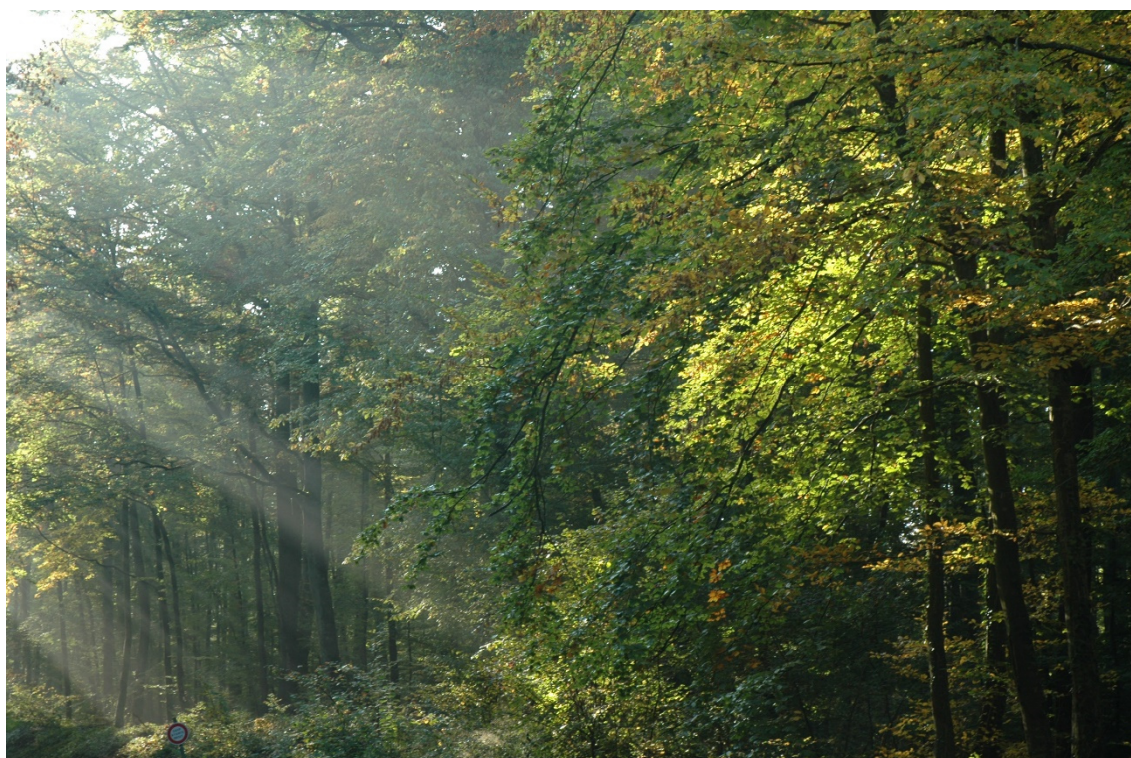
Si on analyse la répartition des 10 années les plus sèches depuis 71 ans, (classées de 1 à 10 selon le niveau de déficit d'évaporation estival), on constate une augmentation de fréquence de ces années sur la période récente :

- [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 comme l'agrile, sont à l'origine d'un dépérissement important des chênes, et tout particulièrement du Chêne pédonculé, constaté depuis plusieurs années dans la forêt de Brin. Les gros bois sont plus particulièrement touchés mais le dépérissement se constate localement dans tous les peuplements de Chêne, y compris ceux de jeune futaie. En 2007, environ 700 m³ de Chêne, sec pour l'essentiel, ont été commercialisés. Depuis 2-3 ans, le Hêtre apparaît également touché par ces contraintes plus fortes avec des mortalités importantes encore jamais observées. L'évolution incertaine de ce phénomène constitue une contrainte lourde de gestion.

2.2. Contexte géologique

Les forêts de Brin et Amance sont situées dans la région naturelle de la Plaine lorraine (Madesclaire *et al.*, 2016). Les limons des plateaux constituent le matériau géologique le plus fréquent sur toute la forêt de Brin ; les marnes et les calcaires marneux sont localisés essentiellement dans la zone de la forêt domaniale d'Amance (Figure 5). Les sols développés dans ces matériaux 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 ce contexte, 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. Les stations forestières seront 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 tâches d'hydromorphie (et intensité) (Figure 6).



Raie de soleil en forêt de Brin © F. Lebourgeois - 2007

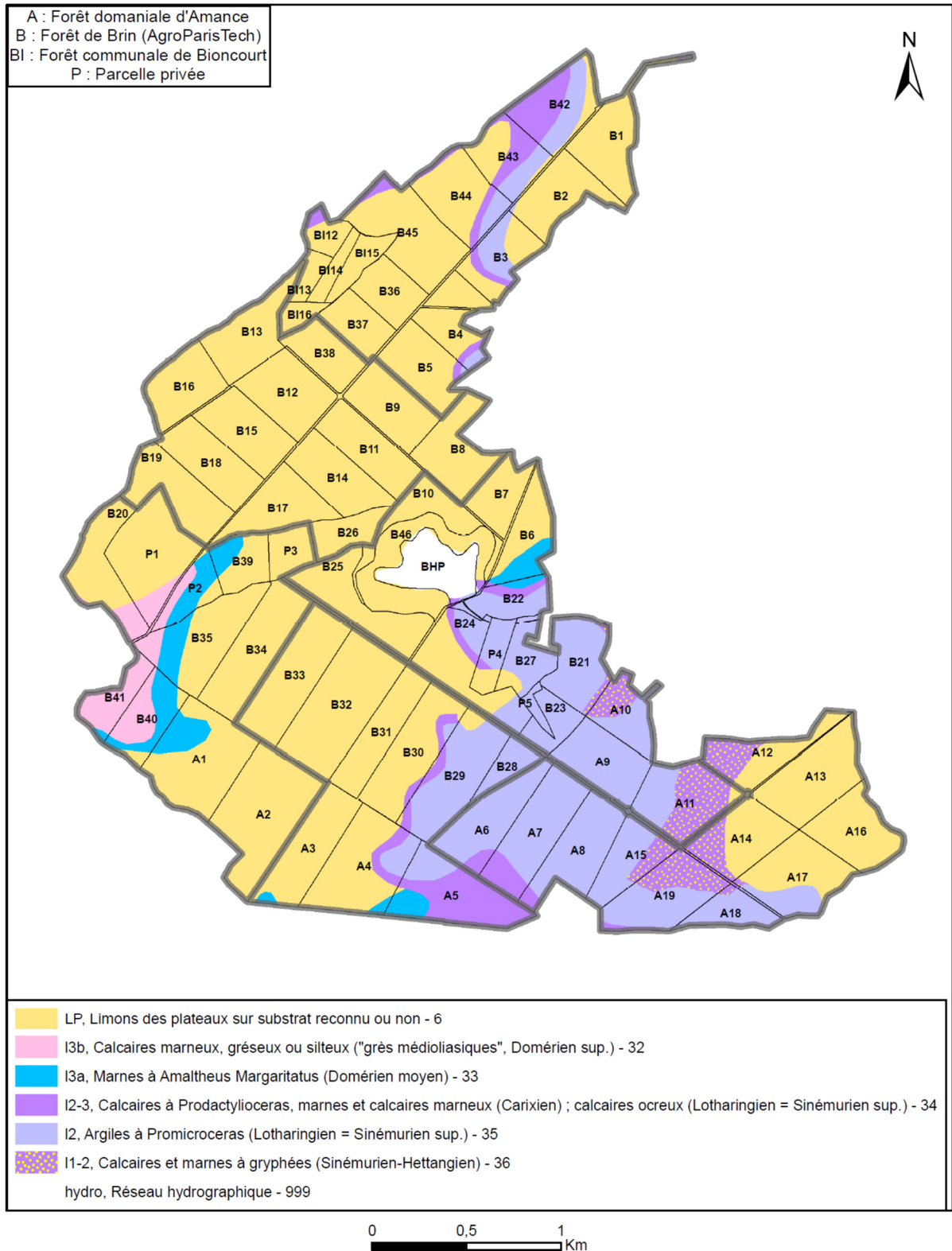


Figure 5 | Carte géologique simplifiée des forêts étudiées (Source AgroParisTech-2021 – C. Bresson). B = Brin ; A = Amance ; P = Privée ; numéro des parcelles.

Station	V1	V2	V3	V4	AH	A	LH1	L1	LH2	Lh2	Lh3	L3	S1	SH	S2
<i>Fréquence</i>	Rare	Peu fréquent	Peu fréquent	Fréquent	Peu fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Fréquent	Peu fréquent	Peu fréquent	Peu fréquent
<i>Fertilité</i>	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Élevée	Élevée	Moyenne	Faible	Faible
<i>Contrainte engorg.</i>	Eng. perm.	Eng. perm.	Forte	Forte	Forte	Null	Forte	Null	Forte	Moyen	Faible	Null	Null	Forte	Null
<i>Contrainte sécheresse</i>	Null	Null	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte
<i>Sensibilité tassement</i>	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Faible	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Forte	Forte	Faible	Moyenne	Moyenne
<i>Sensibilité aux CC</i>	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Faible	Faible	Faible	Forte	Forte
Alisier torminal	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT
Aulne glutineux	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL	AUL
Bouleau pubescent	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL	BOUL
Charme	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA
Chêne pédonculé	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP	CHP
Chêne rouge	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR	CHR
Chêne sessile	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
Cormier	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR	COR
Erable champêtre	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC	ERC
Erable plane	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP	ERP
Erable sycomore	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS	ERS
Frêne	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE	FRE
Hêtre	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET	HET
Merisier	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER	MER
Ormes	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM	ORM
Peupliers cul.	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP	PEUP
Tilleul à petites feuilles	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF	TPF
Tremble	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE	TRE
Douglas	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU	DOU
Epicéa	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC	EPC
Mélèze	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL	MEL
Pin laricio de Calabre	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca	Pca
Pin lario de Corse	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco	Pco
Pin sylvestre	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS

Caractéristiques des stations de la Plaine lorraine et Choix des essences

Modifié d'après Madec Claire et al. 2016

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

Lebourgeois François, Mars 2021

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

Figure 6 | Tableau de synthèse des stations forestières et de leurs caractéristiques avec synthèse du choix des essences.

3. Description des peuplements lors de l'aménagement 2008-2019

La tempête du 26 décembre 1999 a impacté la forêt de Brin (Tableau 2). Après la tempête, le Hêtre est apparu envahissant dans de nombreuses trouées avec le Charme. Dans l'aménagement de 2008, il est noté que « la quasi-absence de régénération naturelle du Chêne et le coût de sa plantation dans un recrû d'espèces pionnières très concurrentielles nécessiteront de trouver des compromis entre le maintien provisoire du Hêtre, voire du Charme, faute de mieux, et la plantation d'enrichissement en Chêne sessile ou à défaut de feuillus précieux. D'une manière générale et afin de limiter les coûts de reconstitution artificielle il conviendra de suivre de près l'évolution dynamique des diverses essences en favorisant les essences adaptées aux stations et en privilégiant au maximum le Chêne sessile. La mise en place de cloisonnements sylvicoles dans les trouées devrait faciliter ces opérations ».

Tableau 2 | Répartition des dégâts suite à la tempête de décembre 2003 en forêt de Brin.

Peuplements	Taux de dégâts (en surface)	Surface	%
peu ou pas touchés	< 10 %	381,53	66 %
mitage diffus	< 30 %	161,7	28 %
mitage par trouées	30-90 %		0 %
détruits	> 90 %	28,11	5 %
		571,34	100%

Selon les données de l'aménagement de 2008, les futaies régularisées à base de Chênes (sessile en majorité) en mélange avec le Hêtre et le Charme dominant largement la forêt de Brin (83 %) (Tableau 3). Tous les types sont représentés avec néanmoins les structures à petits bois (11-12) et bois moyens à gros bois et bois moyens (22-23) majoritaires. Les peuplements mûrs (32-33) sont peu présents sur la forêt ainsi que les peuplements irréguliers.

Tableau 3 | Répartition des différents types de structures selon les essences dominantes (en ha selon les données de l'aménagement de 2008).

	R-G Semis- perchis	11-12	21-22	22-23	23-32	32-33	TSF Irrégulier	Trouées	Total
Chêne	57,07	113,33	64,51	113,1	29,81	7,00	64,88		449,70
Hêtre			1,02	39,98			5,96		46,96
Divers	22,89	14,03					9,65		46,57
Trouées								28,11	
Total	79,96	127,36	65,53	153,08	29,81	7,00	80,49	28,11	571,34

4. Inventaires dendrométriques et floristiques 2021

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).

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

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



© Lebourgeois F.

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

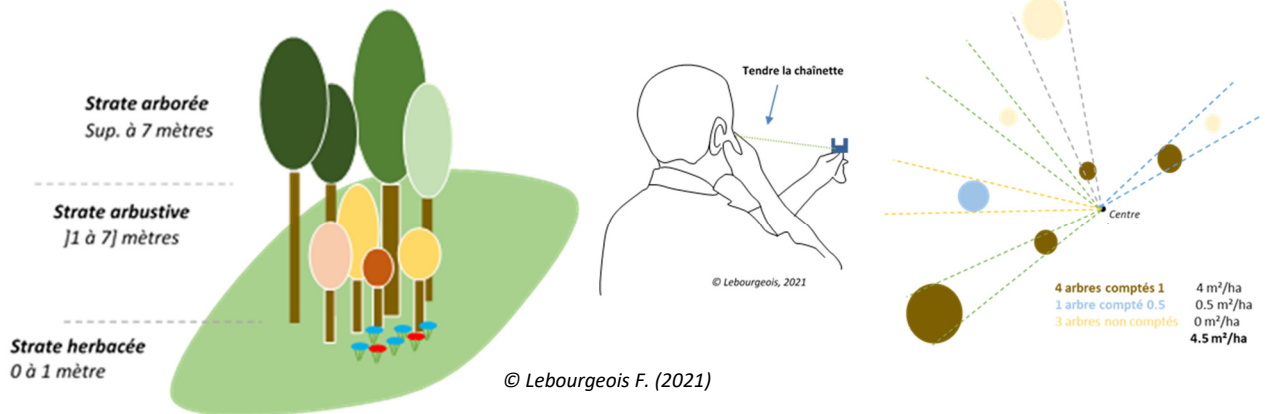


- A. 4 stations de vallons, (V1 à V4)
- B. 2 stations sur argile (AH et A)
- C. 6 stations sur limon (non hydromorphes – L1 et L3 ; faiblement hydromorphes, Lh2 et Lh3 – très hydromorphes, LH1 et LH2)
- D. 3 stations sur sable (non hydromorphes – S1 et S2 ; hydromorphe – SH)



© Lebourgeois F. (2021)

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



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



5. Résultats

5.1. Effectif des placettes

Lors de la semaine de terrain du 14 au 18 juin 2021, 75 placettes ont été installées en forêts de Brin et 20 en forêt domaniale d'Amance soit un total de 95 placettes sur les 956 ha retenus pour le projet. Le taux d'échantillonnage est donc de 1 placette pour 10 ha avec une prospection bien répartie sur l'ensemble de la zone (Figure 7).

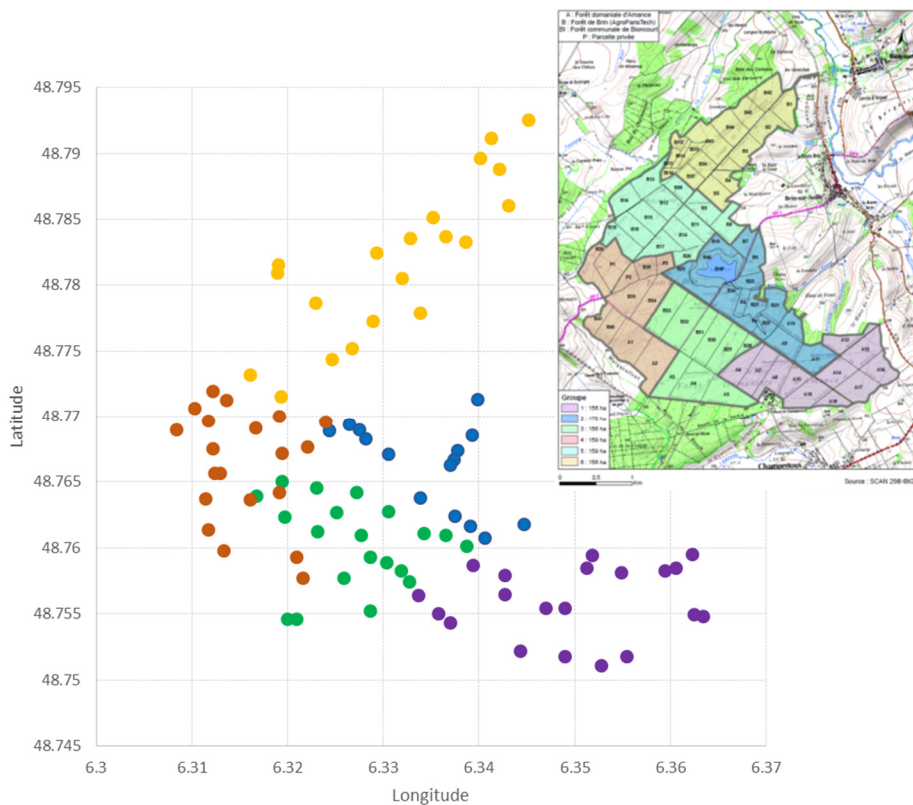


Figure 7 | Répartition spatiale des 95 placettes inventoriées en forêts de Brin (75) et domaniale d'Amance (15). La couleur des points correspond aux placettes installées par les 5 groupes d'étudiants (4-5 étudiants par groupe avec accompagnateurs pour réaliser les inventaires ; zones 5 et 6 regroupées).

5.2. Diversité floristique globale

Au total, 158 espèces différentes ont été inventoriées sur les 95 placettes (surface unitaire de 400 m²). Sur ces 158 espèces, 16 espèces sont présentes dans au moins 50 % des relevés et 6 dans plus de 75 %. À l'opposé, 83 espèces sont présentes dans moins de 5 % des relevés (Figure 8). Les espèces herbacées les plus fréquentes sont des espèces très classiques de la Plaine lorraine avec notamment le millet diffus, le carex des bois, la canche cespiteuse, l'anémone des bois.... Il est à noter que même les espèces à plus faibles fréquences sont des espèces ne présentant pas un caractère de rareté notable dans la région Grand Est et sur la Plaine lorraine. Concernant les espèces arborées, le Charme apparaît dans presque tous les relevés suivis par le Tilleul à petites feuilles et le Hêtre. Le Frêne commun et le Chêne sessile sont également très présents. Le Noisetier, l'Érable champêtre et le Chêne pédonculé complètent le panel des espèces arborées ou arbustives ; Aubépines et ronces sont également très fréquentes.

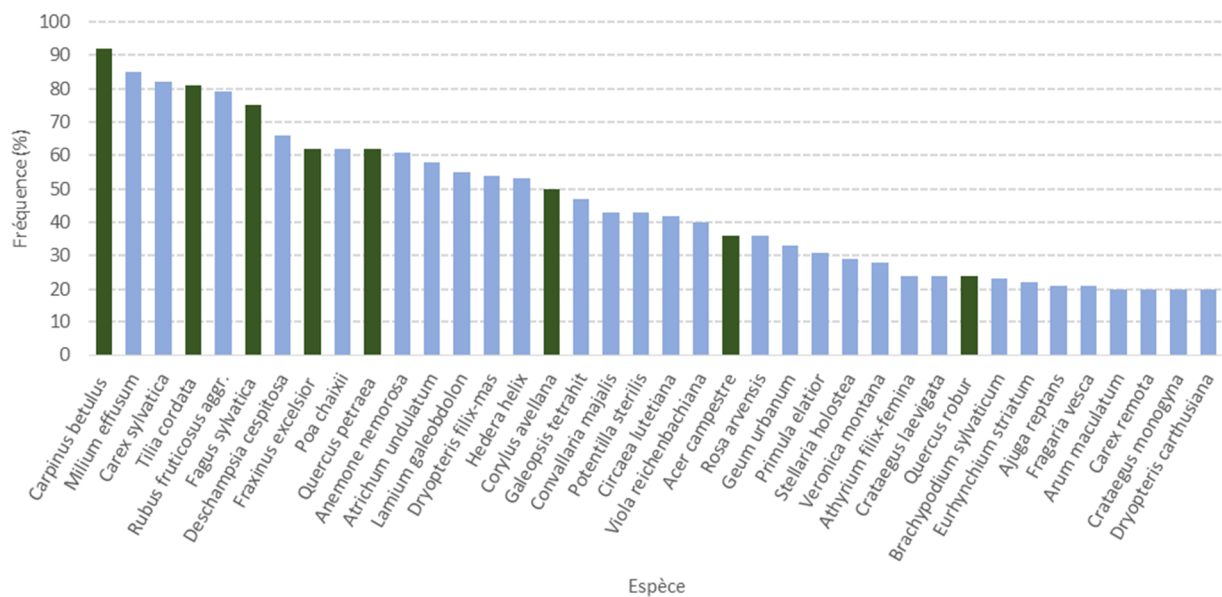


Figure 8 | Espèces végétales classées par ordre décroissant de fréquence dans les relevés floristiques (n=95 relevés de 400 m²). Seules les 38 espèces (parmi les 158 au total) présentes dans au moins 20 % des relevés sont présentées. Les espèces arborées/arbustives sont signalées par un histogramme vert.

5.3. Diversité α

La diversité α correspond au nombre moyen d'espèces par relevé floristique. En moyenne, la diversité est de 23 ± 9 espèces avec une amplitude de 3 à 45 espèces. Environ 1/3 des relevés contient moins de 20 espèces (moy. 17 espèces) et 1/3 entre 21 et 30 espèces (moy. 25 espèces). Les relevés « riches » à plus de 30 espèces représentent seulement 20 % des cas (moy. 37 espèces) (Figure 9).

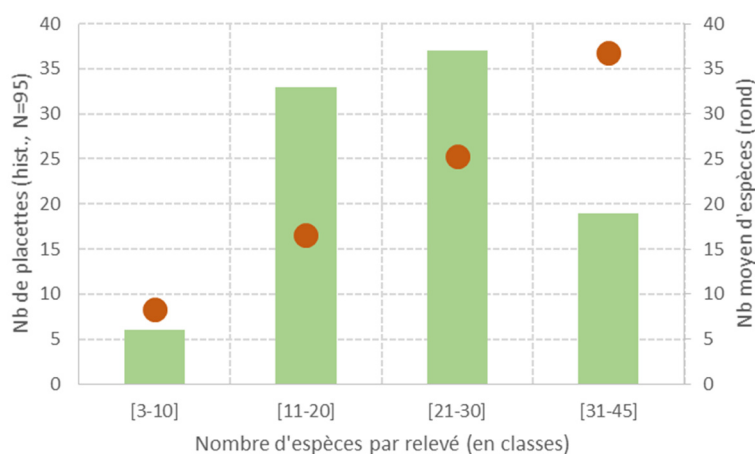


Figure 9 | Nombre de placettes par classe du nombre d'espèces par relevé (N=95 placettes au total et 158 espèces différentes). Le nombre moyen d'espèces par classe est également donné (ronds orange).

Par rapport aux 9 modules intégratifs menés précédemment selon les mêmes protocoles et pendant les mêmes périodes (relevés toujours effectués à la mi-juin), la diversité en forêts de Brin-Amance apparaît faible avec seulement 158 espèces contre 223 en moyenne dans les autres contextes (171 à 262) (Tableau 4). La diversité α apparaît également plus faible avec un écart moyen de 8 espèces par relevé (23 ici contre 31 pour les autres projets). Concernant les relevés les plus riches floristiquement, un maximum de 45 espèces a été relevé ici contre 51 à 74 pour les projets des années précédentes.

Tableau 4 | Synthèse des diversités α et β observées lors de 9 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). Plac. = Nombre total de placettes réalisées (une placette : 400 m² en contexte forestier fermé). Esp.= Nombre total d'espèces végétales relevées. CAGM = Calcaires, Argiles, Grès Rhétien et Marnes ; SGA = Sables, Grès et Argiles.

Année	Projet	Contexte	Région	Matériau	Plac.	Esp.	α	β
2011	Romesberg	Nord-Est	Plaine lorraine	Limon et Marnes	58	174	27 (9) (11 à 51)	0,48 (0,07) (0,13 à 0,56)
2012	Val Suzon	Nord-Est	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	82	252	33 (10) (7 à 52)	0,44 (0,08) (0,18 à 0,56)
2013	Val Suzon	Nord-Est	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	90	264	33 (11) (9 à 74)	0,41 (0,08) (0,07 à 0,55)
2014	Bezange-La-Grande	Nord-Est	Plaine lorraine	CAGM	87	188	33 (9) (9 à 62)	0,49 (0,06) (0,23 à 0,58)
2015	Chartreuse	Alpes	Alpes calcaires	Calcaires, argiles	74	262	35 (13) (6 à 62)	0,36 (0,051) (0,22 à 0,46)
2016	Auberive	Haute-Marne	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	109	230	31 (10) (11 à 57)	0,41 (0,06) (0,24 à 0,52)
2017	Auberive	Haute-Marne	Plateau calcaire Bourgogne	Calcaires	107	208	31 (10) (11 à 60)	0,46 (0,06) (0,23 à 0,56)
2018	Bezange-La-Grande	Nord-Est	Plaine lorraine	CAGM	116	171	30 (8) (12 à 56)	0,47 (0,05) (0,31 à 0,58)
2019	Compiègne	Nord	Haut de France - Soissonais	SCA	118	259	27 (12) (9 à 70)	0,32 (0,06) (0,17 à 0,42)

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 les forêts de Brin-Amanche, la similitude est de 47 ± 7 % (8 à 57 %) (Figure 10).

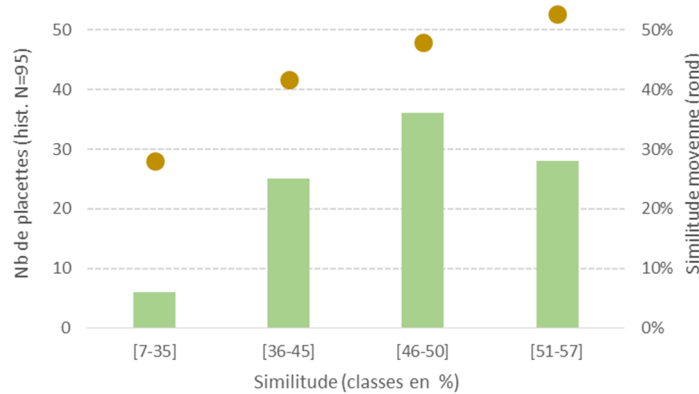


Figure 10 | Nombre de placettes par classe de similitude (N=95 placettes au total). La similitude moyenne par classe est également donnée (ronds marron). Plus la similitude est élevée et plus les relevés sont floristiquement semblables.

Il apparaît que seuls 6 % des relevés ont des similitudes faibles (moins de 30 %) et seuls 3 relevés ont des similitudes supérieures à 55 % (Figure 10). La valeur extrême très faible de 8 % correspond à un relevé fait sous un peuplement dense de Sapin sans couvert herbacé à l'exception de rejets et semis de Tremble et de Tilleul cordé. Il est à noter que la similitude moyenne est comparable à celles observées pour les autres projets menés en Plaine lorraine (0,47 à 0,49) et supérieure aux observations faites dans des contextes calcaires (0,36 à 0,46) (Tableau 4).

5.5. Caractéristiques de la flore observée

a. Familles et types biologiques

55 familles différentes ont été observées dans les 95 relevés mais 22 familles représentent 90 % des occurrences ; une occurrence étant un coefficient d'abondance-dominance ($n=2232$ coefficients pour les 95 relevés). Les familles des Rosacées et des Poacées représentent 14 % et 13 % des occurrences. Les Fagacées, Bétulacées, Lamiacées et Cypéracées représentent quant à elles de 6 à 7 % des occurrences.

Concernant les types biologiques, les hémicryptophytes (herbacées pérennes à bourgeons hivernaux à la surface du sol) représentent 44 % des espèces suivies par les phanérophytes (arbres, 23 %) et les chaméphytes (arbustes ou espèces herbacées à souche ligneuse, 13 %). Les herbacées pérennes à bulbe, rhizome ou tubercule (géophytes) représentent 9 % tandis que les mousses et les thérophytes (herbacées annuelles et lianes) représentent respectivement 6 et 5 % (Figure 11).

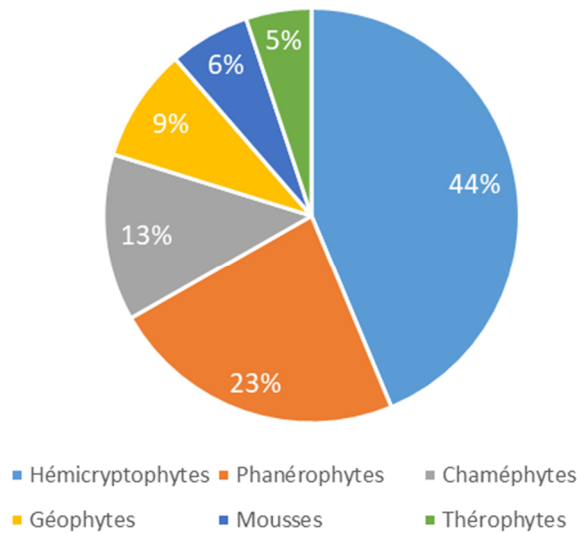


Figure 11 | Fréquences des différents types biologiques observés sur les 95 relevés (158 espèces différentes).

b. Groupes écologiques

Selon la nomenclature des groupes écologiques de la flore forestière française, les espèces des milieux riches et frais (neutronitrocline et -phile hydrocline) représentent près de 50 % des espèces inventoriées (Figure 12). On retrouve également des espèces calciclinales / calcicoles (~ 5 %) et des espèces à large amplitude (~ 10 %). Les espèces des milieux frais et légèrement acides (acidiclinales) représentent 10 % des espèces. *In fine*, les espèces inventoriées 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.

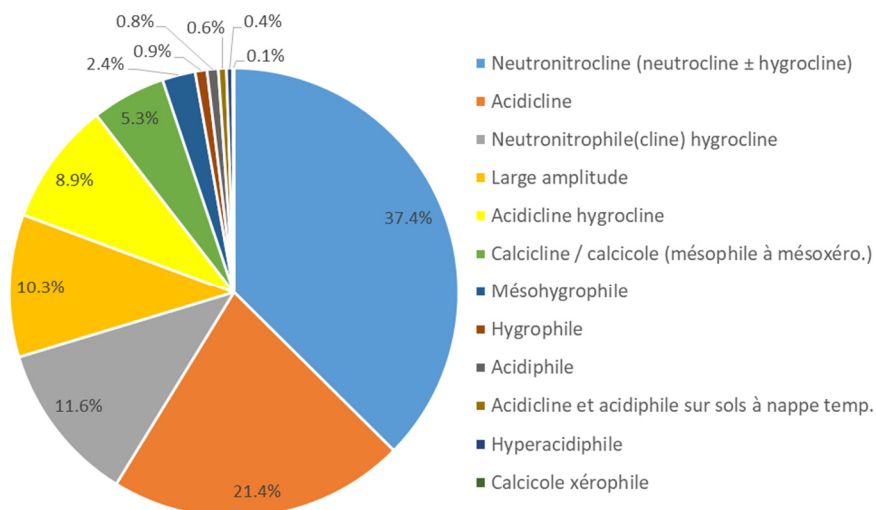
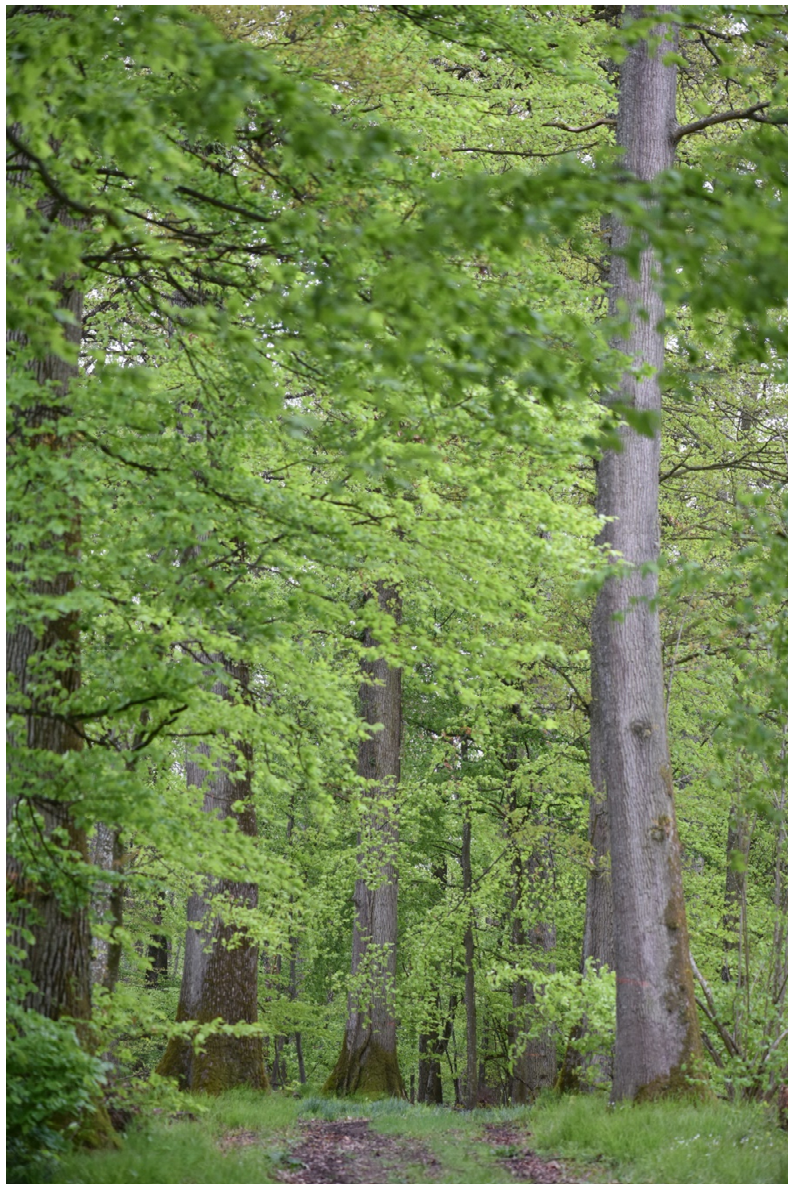


Figure 12 | Fréquences des différents groupes écologiques selon la nomenclature de la flore forestière française observés sur les 95 relevés (158 espèces différentes).

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 (~ 65 % des espèces). Concernant le mésoclimat, les espèces correspondent majoritairement à un contexte semi-continental à forte humidité atmosphérique. Les espèces relevées ne présentent pas de caractéristiques marquées vis-à-vis de l'étage de végétation car 70 % des espèces peuvent se trouver des étages collinéens à montagnards. On note toutefois des espèces de l'étage collinéen « chaud » (~ 10 %). Concernant les caractéristiques du sol, les indices d'Ellenberger confirment l'importance des espèces des sols riches chimiquement (majorité d'espèces acidiclinales à neutrophiles) à bonne disponibilité en azote (espèces mésotrophes à méso-eutrophes des eumull à dysmull) et à bonne disponibilité en eau (majorité d'espèces mésohygrophiles). Les indices d'Ellenberg révèlent également un pool d'espèces des sols temporairement engorgés sur des courtes durées (~ 10 % des espèces). Enfin, les espèces indiquent des textures des sols majoritairement limoneuses et limono-argileuses.



Chênaie sessiliflore – © F. Lebourgeois - 2019

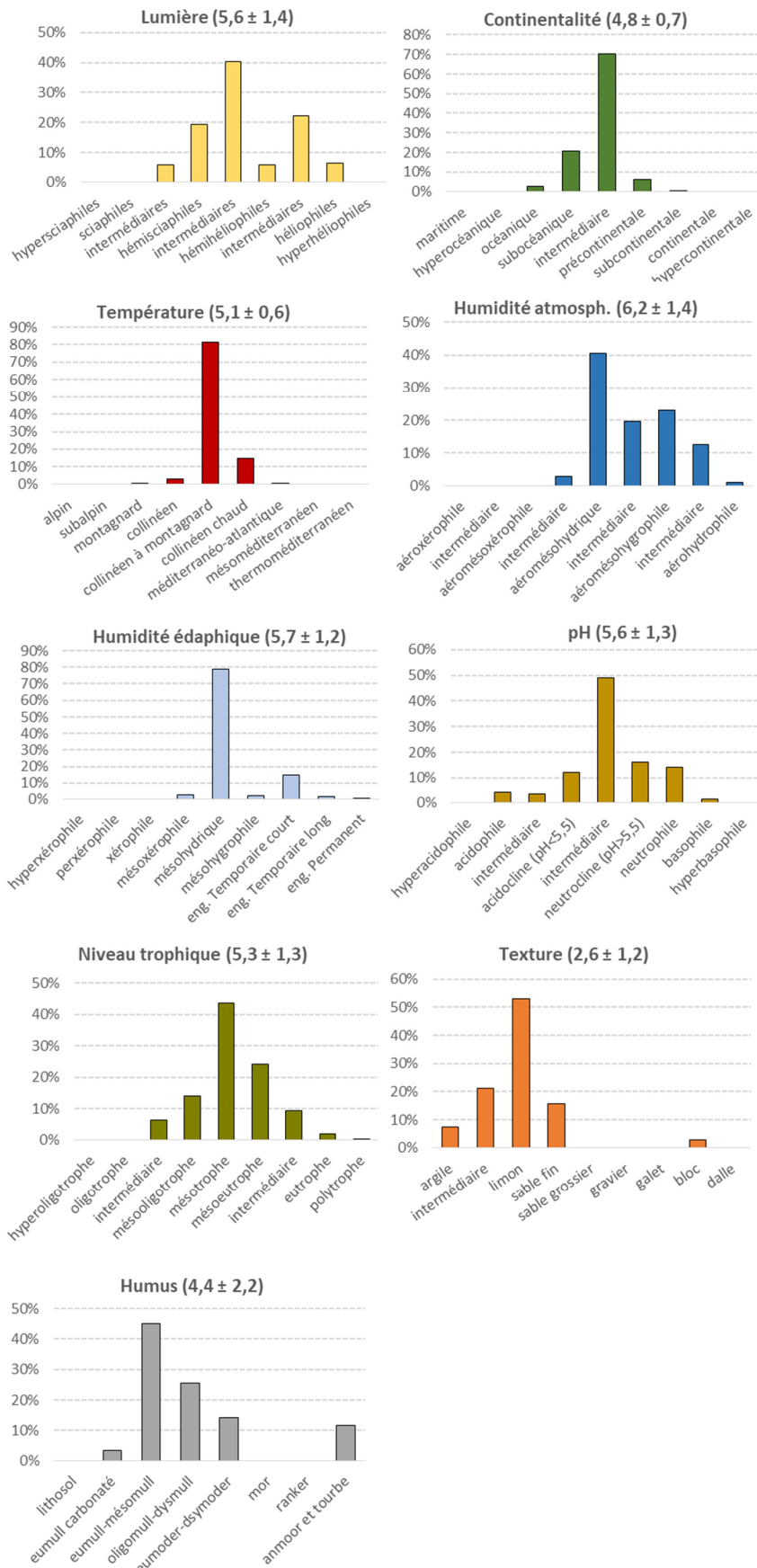


Figure 13 | Fréquences des différents groupes écologiques selon les valeurs indicatrices d'Ellenberg *et al.* 1992 observés sur les 95 relevés (158 espèces différentes).

c. Flore des forêts anciennes

Dans les années 2000, un certain nombre de travaux ont permis de caractériser la végétation des forêts anciennes (Dupouey *et al.*, 2002 ; Hermey *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 XIX^e siècle. On considère qu'entre ces deux dates, 1850 et aujourd'hui, il a existé une continuité de l'état boisé, sans changement d'affectation du sol. Au contraire, une forêt récente est une forêt qui est établie sur un sol anciennement dévolu à un autre usage, le plus souvent agricole (culture, prairie...) et qui n'était pas boisé à la date de référence choisie, celle des levés de la carte de l'état-major (soit la moitié du XIX^e siècle) » (<https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique273>).

La Figure 14 ci-dessous montre la présence de la forêt à la fois sur la carte de Cassini du 18^e siècle et sur la carte d'État-major du 19^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 Brin-Amance sur la carte de Cassini (en haut, zone entourée) et sur la carte d'État-major (en bas) sur laquelle apparaît clairement l'étang (Source GéoPortail).

Selon la liste de Hermy *et al.* (1999), 52 des 158 espèces (soit 33 %) sont des espèces de forêts anciennes. 25 de ces 52 espèces apparaissent dans au moins 10 % des relevés (n = 95 relevés au total) (Figure 15). Il est intéressant de noter que 3 espèces apparaissent dans plus de 80 % des relevés (*Milium effusum*, *Carex sylvatica* et *Tillia cordata*) et quatre autres dans au moins 1 relevé sur deux (*Anemone nemorosa*, *Lamium galeobdolon*, *Dryopteris filix-mas* et *Corylus avellana*).

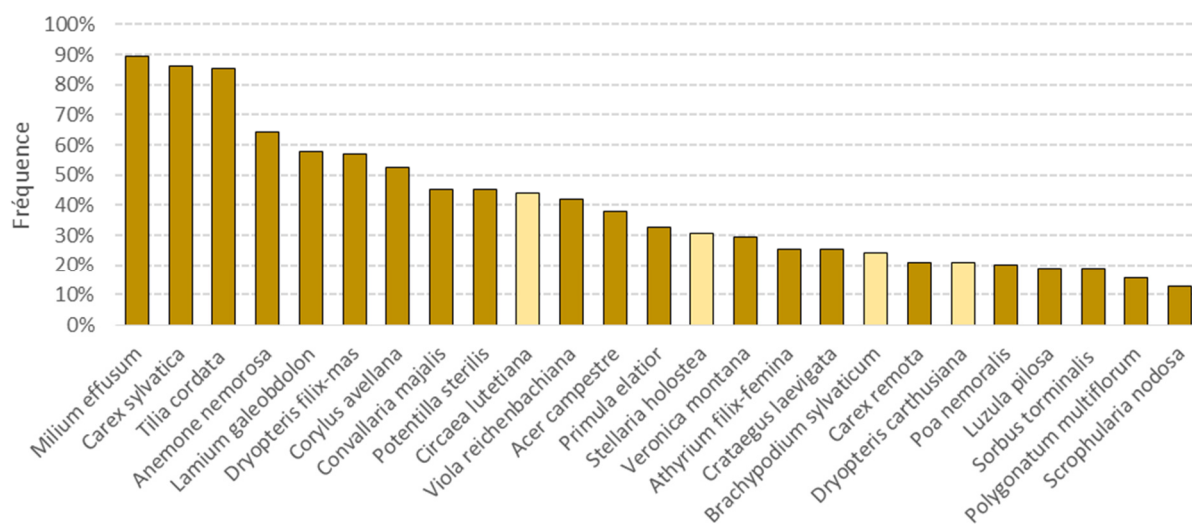


Figure 15 | Fréquences des 25 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=95) selon la liste de Hermy *et al.* 1999. Seules les espèces présentes dans au moins 10 % des relevés sont présentées. Le nombre total d'espèces inventoriées est de 158 dont 52 espèces des forêts anciennes. Les espèces avec des histogrammes plus clairs n'apparaissent pas dans la liste de Dupouey *et al.* 2002.

Selon la liste de Dupouey *et al.* (2002), le nombre d'espèces des forêts anciennes apparaît légèrement plus faible avec 47 espèces soit 30 %. Pour cette liste, 27 de ces 47 espèces apparaissent dans au moins 10 % des relevés (n = 95 relevés au total) (Figure 16). Comme pour la liste précédente, *Milium effusum*, *Carex sylvatica* et *Tillia cordata* apparaissent dans la majorité des relevés et *Anemone nemorosa*, *Lamium galeobdolon*, *Dryopteris filix-mas* et *Corylus avellana* dans au moins 50 % des cas. Dans ce classement, apparaît le Chêne sessile (*Quercus petraea*) considéré comme espèces des forêts anciennes par Dupouey *et al.* 2002.

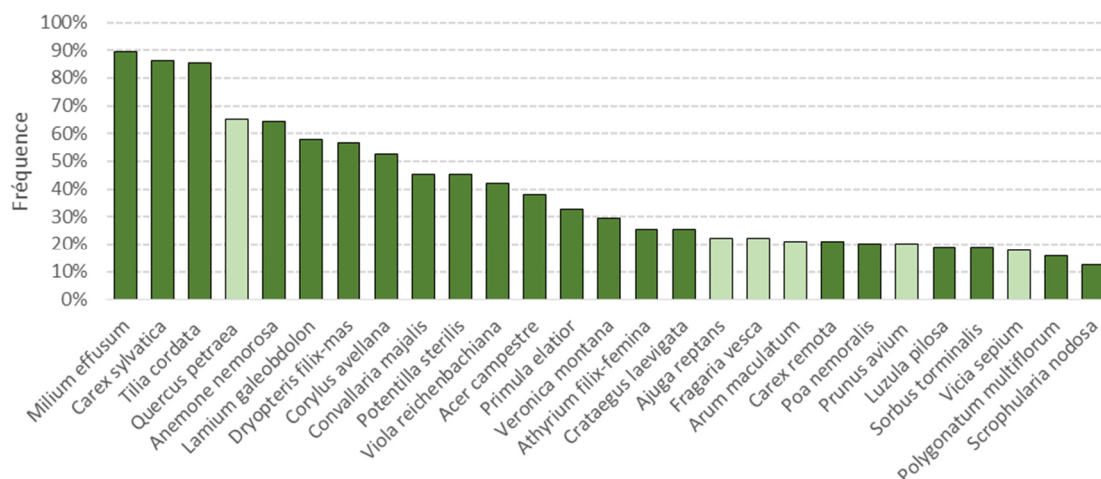


Figure 16 | Fréquences des 27 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=95) selon la liste de Dupouey *et al.* 2002. Seules les espèces présentes dans au moins 10 % des relevés sont présentées. Le nombre total d'espèces inventoriées est de 158 dont 47 espèces des forêts anciennes. Les espèces avec des histogrammes plus clairs n'apparaissent pas dans la liste de Hermy *et al.* 1999.

En considérant les deux listes, on obtient un total de **61 espèces de forêts anciennes** (soit 39 % des espèces inventoriées) avec 38 espèces communes aux deux listes. Le nombre important des espèces de forêts anciennes et leurs fréquences élevées dans les relevés confirment bien l'ancienneté de l'état boisé des massifs étudiés.

Les espèces des forêts anciennes sont des espèces plus sciaphiles que les espèces des forêts récentes (Figure 17). 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. 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 18).

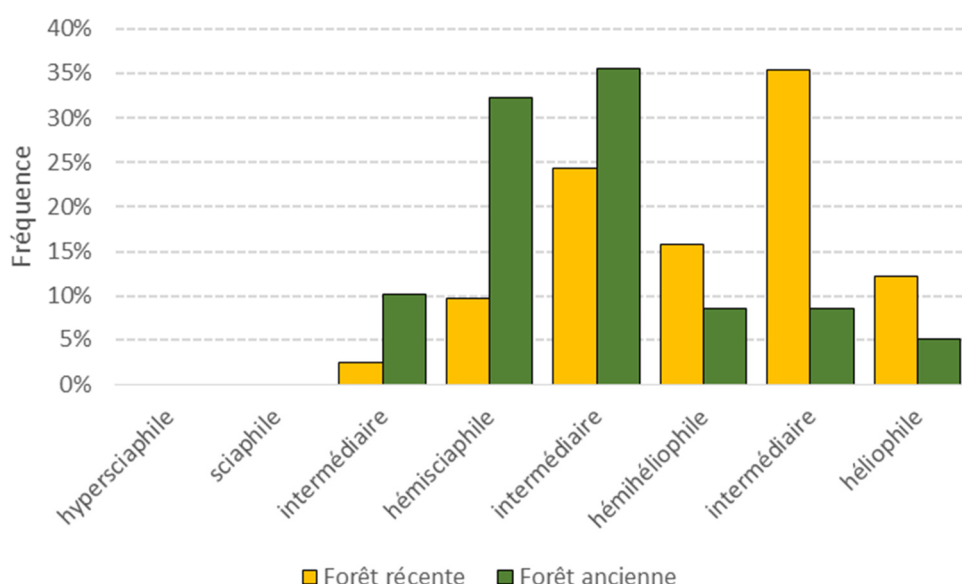


Figure 17 | Fréquences des espèces des forêts récentes (n=97) et anciennes (n=61) selon leurs valeurs indicatrices « lumière » issues du coefficient d'Ellenberg. La figure illustre clairement le caractère plus sciaphile des espèces des forêts anciennes et plus héliophile des forêts récentes.

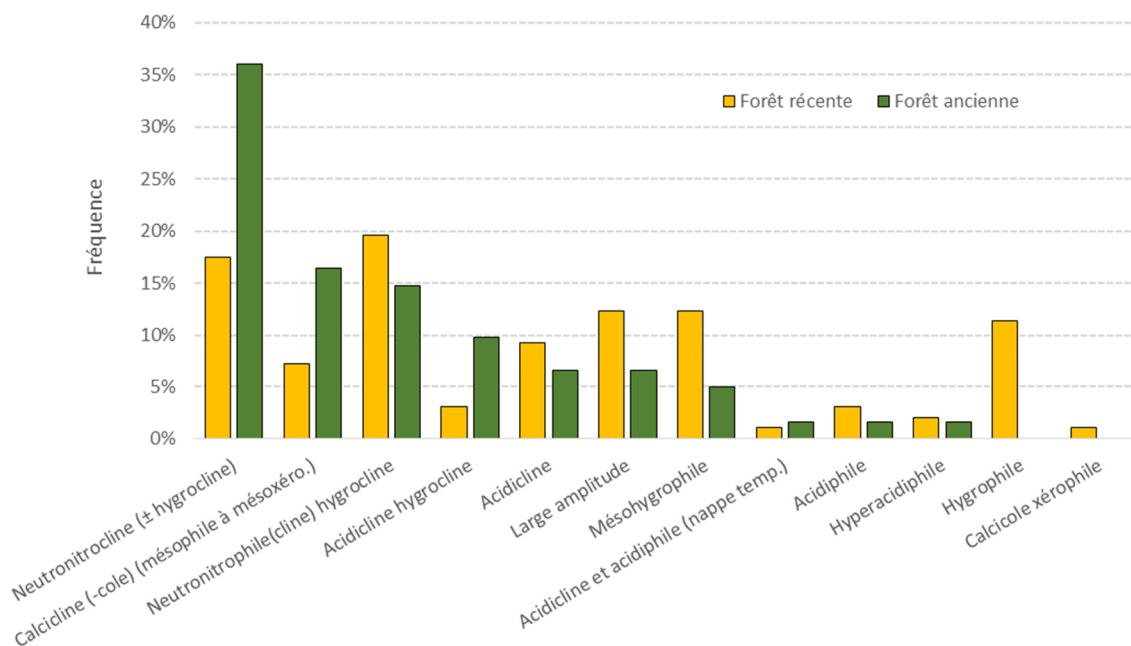


Figure 18 | Fréquences des espèces des forêts récentes (n=97) et anciennes (n=61) selon leurs groupes écologiques issus de la flore forestière française.

5.6. Les stations forestières

Pour chacune des 95 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>).

Parmi les 15 stations définies dans le catalogue de la Plaine lorraine, 9 ont été trouvées sur la zone étudiée : 6 stations à dominante limoneuse en surface, 2 stations à dominante argileuse en surface et une station de vallon (Figure 19 et Figure 20). Il apparaît que 91 des 95 placettes présentent des traces d'hydromorphie (soit 96 %) et 87 un plancher argileux (soit 92 %) (Figure 21). Sur les 95 placettes, 84 présentent à la fois un plancher argileux et des traces d'hydromorphie (soit 88 %). Les stations très contraignantes c'est-à-dire avec des traces d'hydromorphie proches de la surface (avant 20 cm en moyenne, LH1, L1, LH2, AH et V4) représentent 48 % des relevés et les stations présentant une plus faible contrainte (traces en moyenne après 30 cm, Lh2, Lh3, L3 et A) un total de 52 % (Figure 19). En moyenne, le plancher apparaît à 40 ± 16 cm et les traces d'hydromorphie à 27 ± 14 cm (Figure 21) avec une relation linéaire étroite entre la profondeur du plancher argileux et l'apparition des traces d'hydromorphie (Figure 22).

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 les forêts de Brin et d'Amance sont des contextes assez fortement sensibles aux changements climatiques. En effet, 74 % des placettes correspondent à des stations fortement (37 %) ou moyennement sensibles (37 %) aux changements climatiques. Seuls 21 % des points correspondent à des stations jugées peu sensibles (Figure 23).

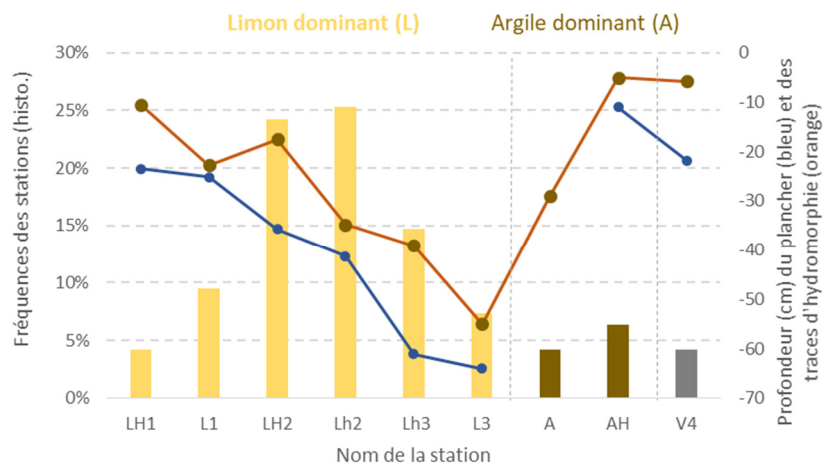
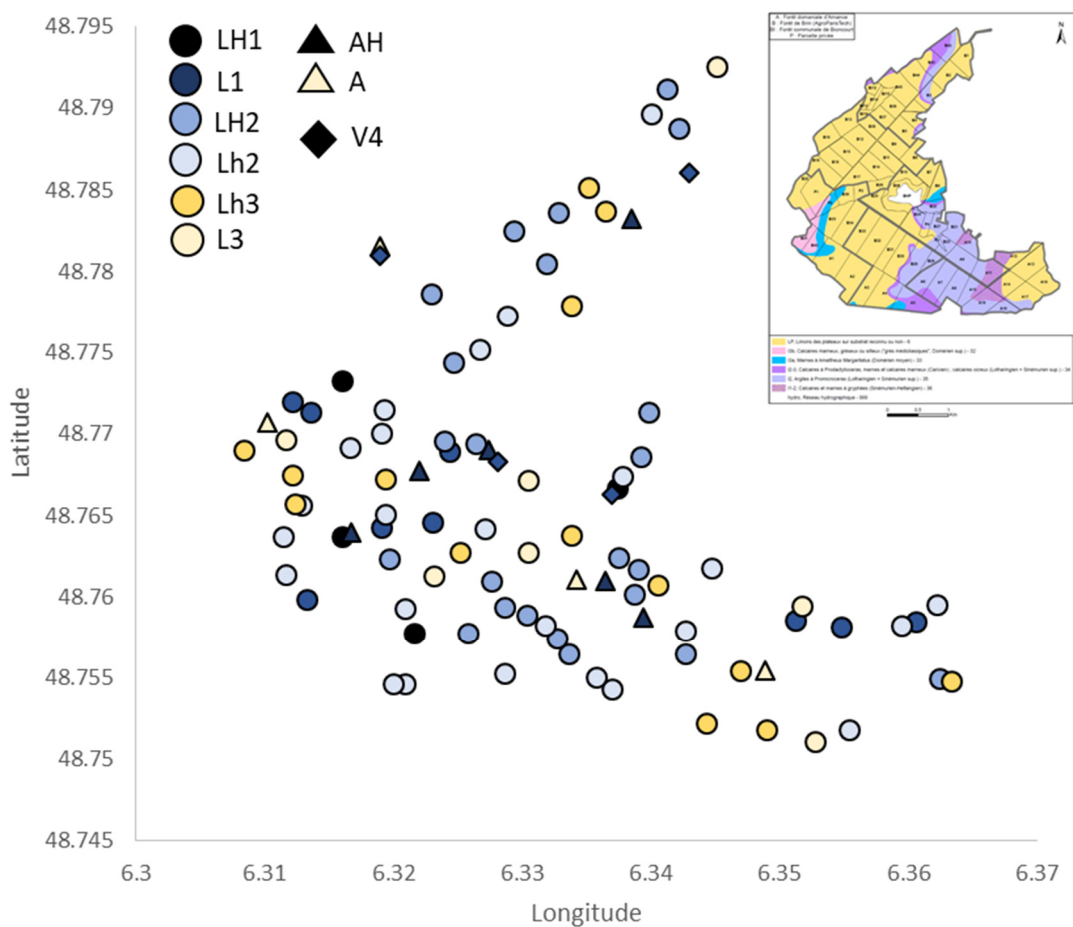


Figure 19 | Fréquences des stations relevées en forêts de Brin et d'Amance (histogramme) avec la moyenne de la profondeur du plancher argileux (en cm, ligne bleue) et des traces d'hydromorphie (en cm, ligne orange). L = Limon ; A = Argileux ; V = Vallon ; H et h = hydromorphie. La lettre en capitale indique une forte hydromorphie (traces proches de la surface). Les stations ont été classées selon la texture dominante de surface et la topographie et, pour chaque classe de texture, selon la contrainte d'engorgement (de la plus forte à la plus faible selon la profondeur des traces d'hydromorphie et/ou du plancher argileux).



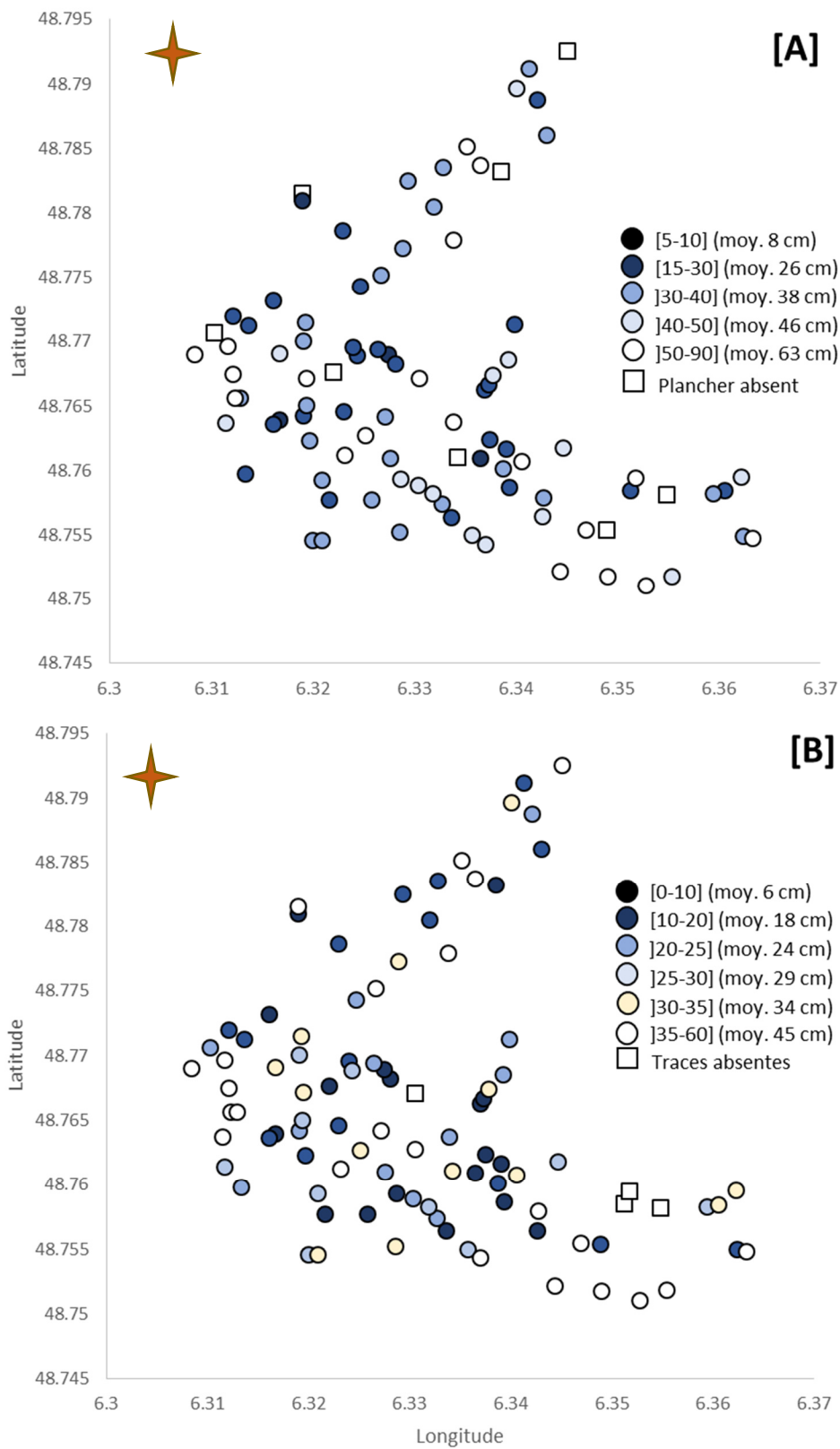


Figure 21 | Cartographie de la profondeur d'apparition d'un plancher argileux (en cm) [A] et des traces d'hydromorphie (en cm) [B] pour les 95 placettes installées en forêts de Brin et d'Amance.

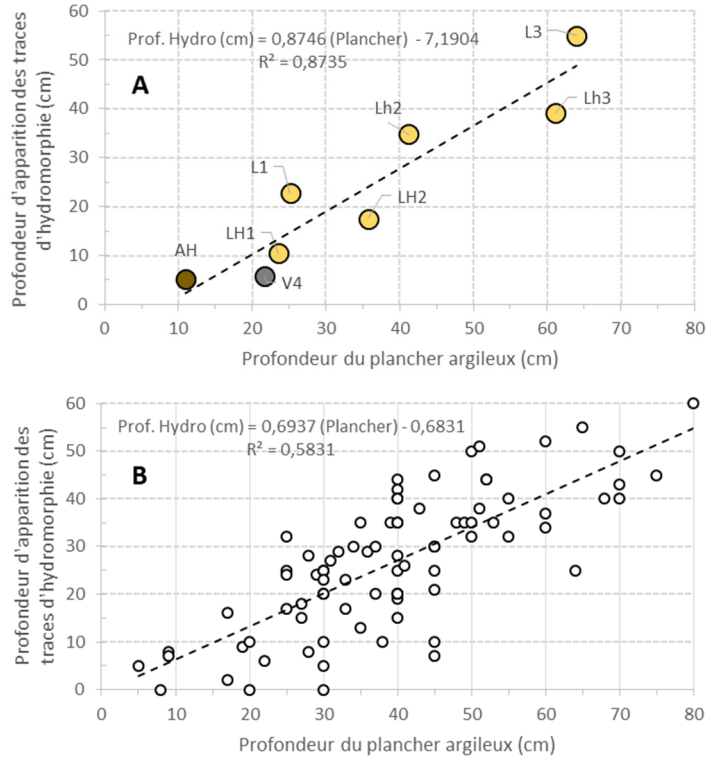


Figure 22 | Relation entre la profondeur d'apparition des traces d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm). La figure [A] donne la relation en considérant la moyenne par station et la figure [B] la relation en considérant les 84 placettes parmi les 95 présentant un plancher argileux et des traces d'hydromorphie dans le sol. A = Argileux ; L = Limon ; H et h = hydromorphie.

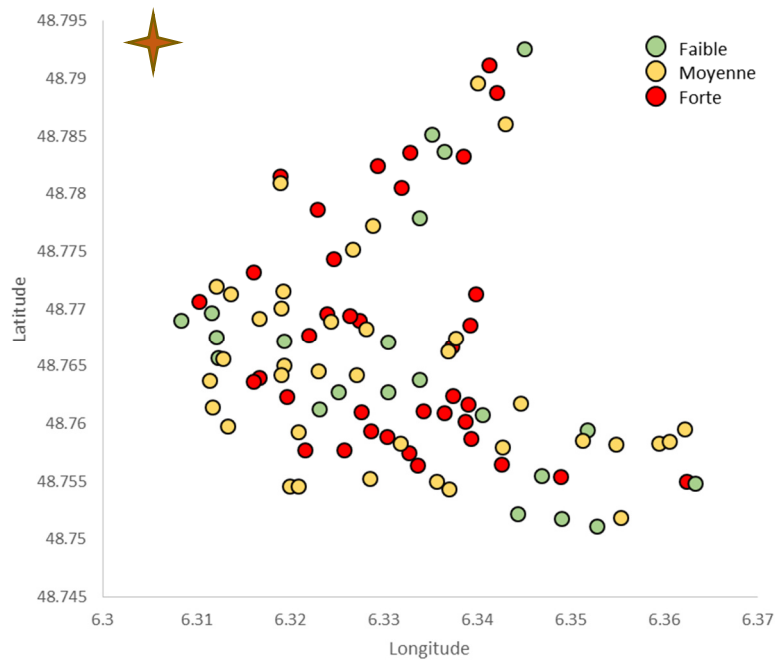


Figure 23 | Cartographie de la sensibilité des stations aux changements climatiques selon les recommandations du guide Plaine lorraine pour les 95 placettes installées en forêts de Brin et d'Amance. La sensibilité a été estimée à dire d'expert selon les conséquences possibles des modifications des régimes pluviométriques sur les contraintes d'engorgement hivernal et de sécheresse estivale.

5.7. Stations forestières et diversité floristique

En moyenne, le nombre d'espèces observées sur les stations à dominante limoneuse en surface (stations « L ») est de 22 ± 9 espèces. Cette moyenne est peu différente entre les 6 stations « limoneuses » observées. La diversité apparaît plus importante sur les stations à dominante argileuse ou dans les situations vallonnées (30 ± 8 espèces) (Figure 24).

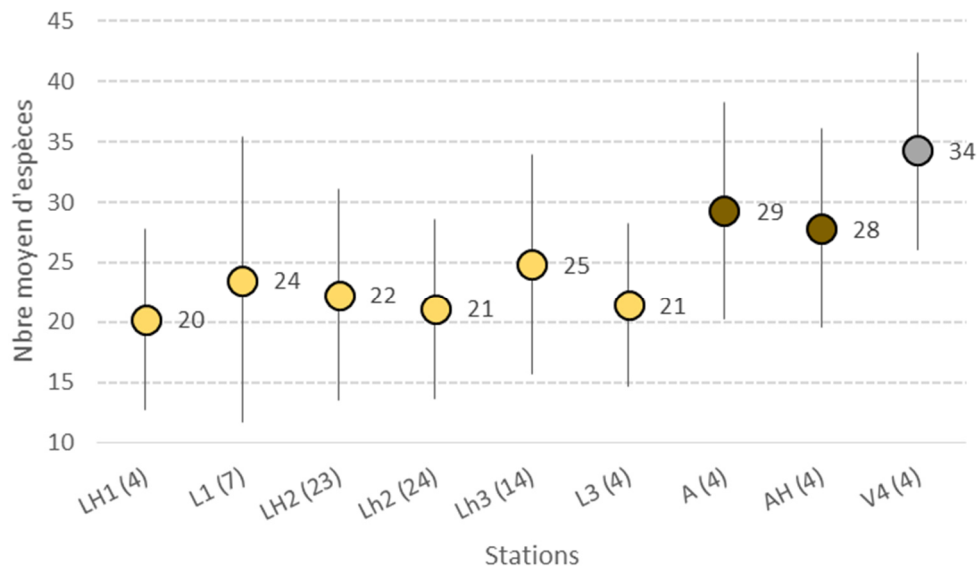


Figure 24 | Diversité floristique moyenne (\pm écart-type) selon les stations rencontrées en forêts de Brin et d'Amance. Pour les stations, A = Argileux, L = Limon, H et h = hydromorphie. La valeur () correspond aux effectifs.

Pour toutes les stations, la majorité des espèces appartient aux groupes des espèces neutroclines ou neutronitroclines \pm hydroclines (33 à 40 % selon la station). Cependant, les fréquences de certains groupes varient selon les stations. Ainsi, les espèces hygrophiles ou mésohygrophiles ou neutronitrophiles hydroclines voient leurs fréquences augmenter sur les stations argileuses et de vallons alors que la fréquence des espèces à large amplitude diminue fortement (Figure 25).

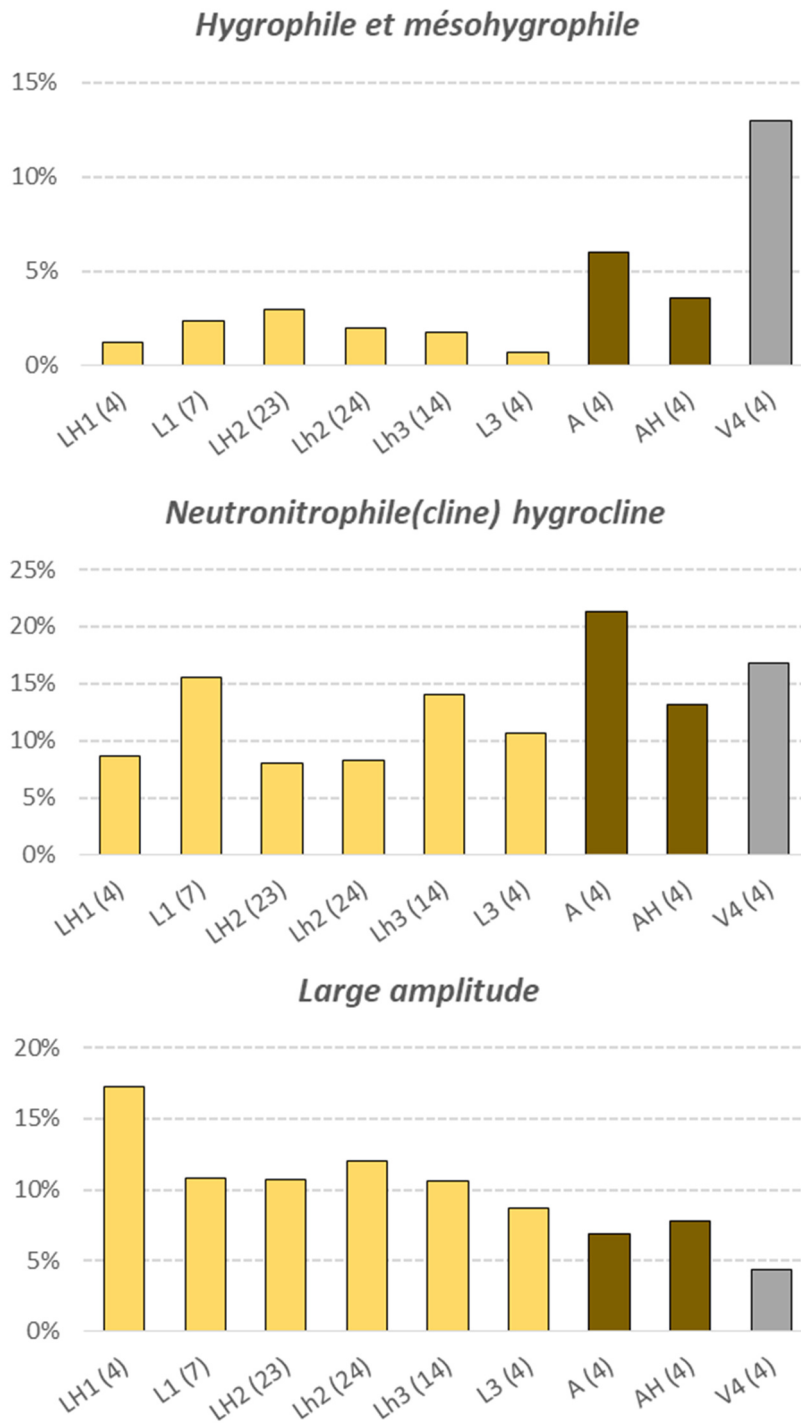


Figure 25 | Fréquences de certains groupes écologiques (selon le classement de la flore forestière française) selon les stations rencontrées en forêts de Brin et d'Amance. Pour les stations, A = Argileux, L = Limon, H et h = hydromorphie. La valeur () correspond aux effectifs.

5.8. Habitat forestier, valeur écologique et conservation

Les deux forêts étudiées peuvent être rattachées 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*). 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 : *Quercu roboris-Fagetea sylvaticae*

▪ Ordre : *Fagetalia sylvaticae*

Forêts collinéennes

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

✓ Alliance : *Carpinion betuli*

Dans l'alliance du *Carpinion betuli*, le pool des espèces indicatrices permet de distinguer six associations différenciées. Ici la composition spécifique permet de rattacher sans ambiguïté les forêts étudiées à l'association du « *Poo chaixii-Fagetum sylvaticae* » c'est-à-dire aux « Hêtraies-chênaies à Pâturin de Chaix » (91.30 – 6). En effet, parmi les 16 espèces indicatrices de l'habitat, 14 ont été trouvées. 9 des 16 espèces apparaissent dans au moins 40 % des relevés et 5 des 10 espèces majeures dans au moins 60 % des cas (61 à 89 % des relevés) (Tableau 5). Ici, il s'agit de la variante « riche » avec une plus faible fréquence des espèces acidiphiles (faibles fréquences des luzules ou du chèvrefeuille) et une présence de quelques espèces d'arbres et d'arbustes « calcicoles » comme l'érable champêtre (présence dans 36 relevés sur 95), du cornouiller mâle, du troène, du camérisier à balai...

Tableau 5 | Espèces indicatrices des « Hêtraies-chênaies à Pâturin de chaix » (d'après les cahiers habitats, Natura 2000). Les espèces sur fond en vert foncé sont les espèces majeures pour la définition de l'habitat. Le % indique la fréquence des relevés contenant l'espèce (n=95 relevés). Le rang indique la fréquence de l'espèce parmi les 124 espèces recensées (hors espèce arborée). Par exemple, le *Milium effusum* apparaît dans 89 % des relevés et est l'espèce la plus relevée des 124 recensées.

Espèces "indicatrices"	Freq (n=95)	Rang (sur 124)
Luzula pilosa	19%	32
Deschampsia cespitosa	69%	4
Milium effusum	89%	1
Rubus fruticosus aggr.	83%	3
Poa chaixii	65%	5
Atrichum undulatum	61%	7
Lonicera periclymenum	6%	50
Oxalis acetosella	0%	-
Polytrichum formosum	9%	43
Stellaria holostea	31%	19
Luzula sylvatica	0%	-
Potentilla sterilis	45%	13
Polygonatum multiflorum	16%	34
Viola reichenbachiana	42%	15
Convallaria majalis	45%	12
Lamium galeobdolon	58%	8

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.



Un exemple de couvert continu de *Miliun effusum*.

« Hêtraie-chênaie à pâturin des bois en Lorraine »

© F. Lebourgeois 2021



5.9. Typologie des peuplements forestiers

Pour les 95 inventaires dendrométriques réalisés, la surface terrière (Gtot) moyenne est de $22,1 \pm 7,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ (1 à 50,5) (Figure 26).

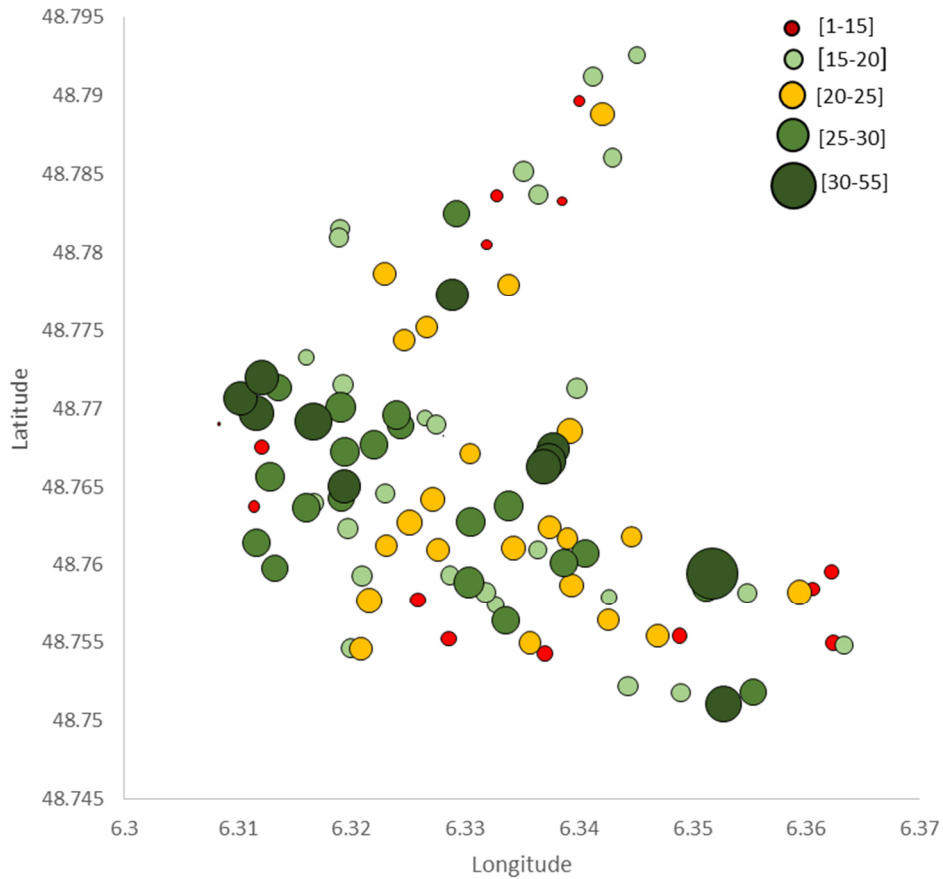


Figure 26 | Cartographie de la surface terrière totale du peuplement (Gtot en m^2/ha) selon cinq classes. Dans chaque classe, la taille du symbole est fonction de la valeur de Gtot.

En moyenne, les Chênes (sessile en majorité) représentent 44 % de Gtot, le Charme 23 %, le Hêtre 12 %, le Tilleul (essentiellement cordé) 8 %, les feuillus divers (Frêne, Érables, Merisier, Alisier torminal...) 11 % et les résineux (Pins, Sapin, Épicéa, Douglas) 2 %. Les essences dominantes sont donc les Chênes (sessile majoritairement), le Charme et le Hêtre (Figure 27).

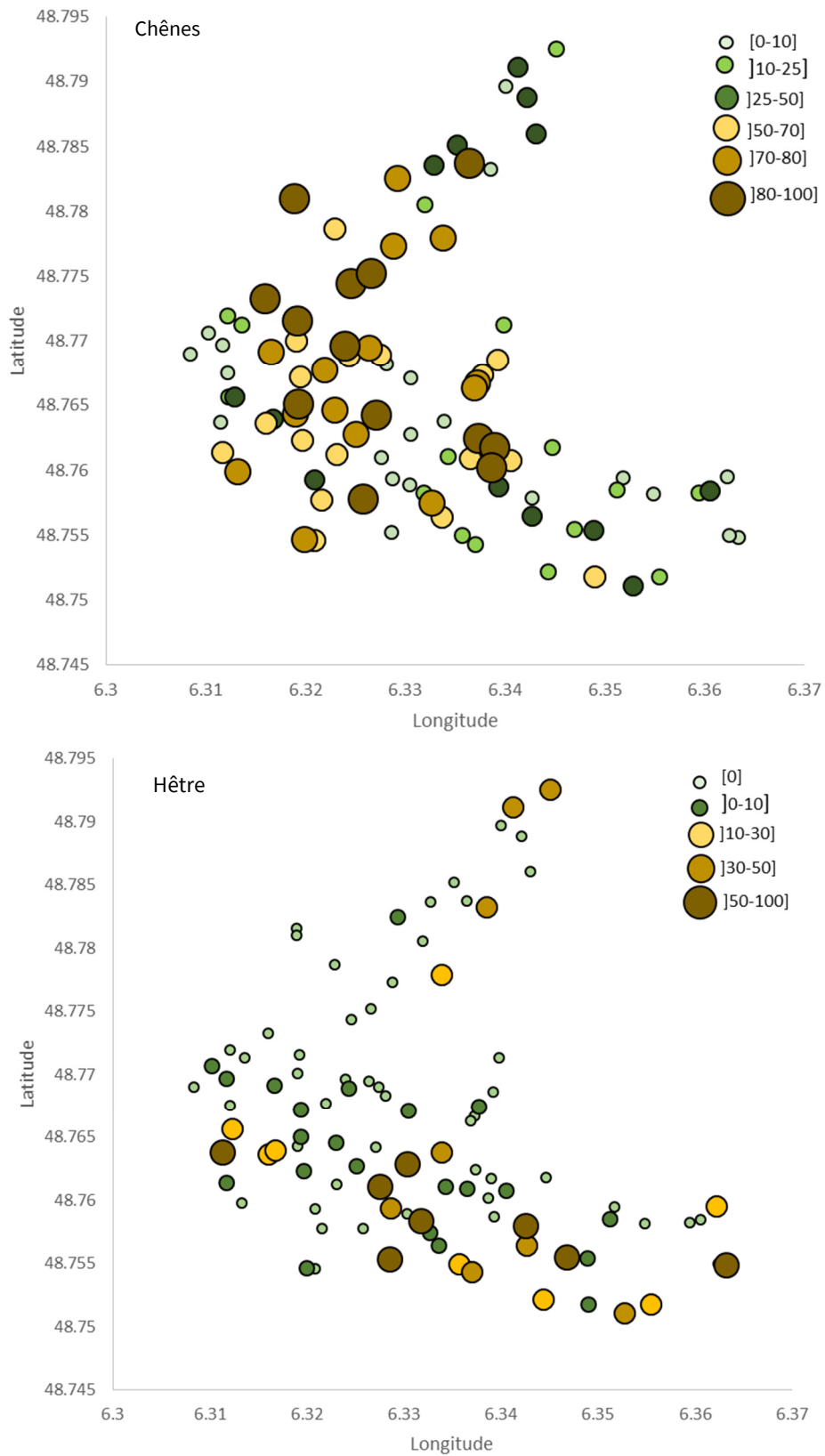


Figure 27 | Cartographie de la proportion (en %) des Chênes (en haut, Chêne sessile en majorité) et du Hêtre (en bas) dans la surface terrière totale du peuplement. Les symboles représentent les classes exprimées en %.

La composition spécifique peut varier assez fortement selon la surface terrière totale du peuplement (Figure 28). Si le Charme apparaît important dans tous les peuplements (environ 20 % de la surface terrière), les feuillus divers (Frêne, Bouleau, Tremble, Érables...) et le Hêtre représentent les essences dominantes dans les peuplements à faible capital ($\leq 15 \text{ m}^2/\text{ha}$). Quand le capital augmente, la place des Chênes devient prépondérante avec une diminution de la part du Hêtre et une forte proportion du Tilleul (cordé) pour les peuplements à plus fort capital ($> 30 \text{ m}^2/\text{ha}$) (Figure 28).

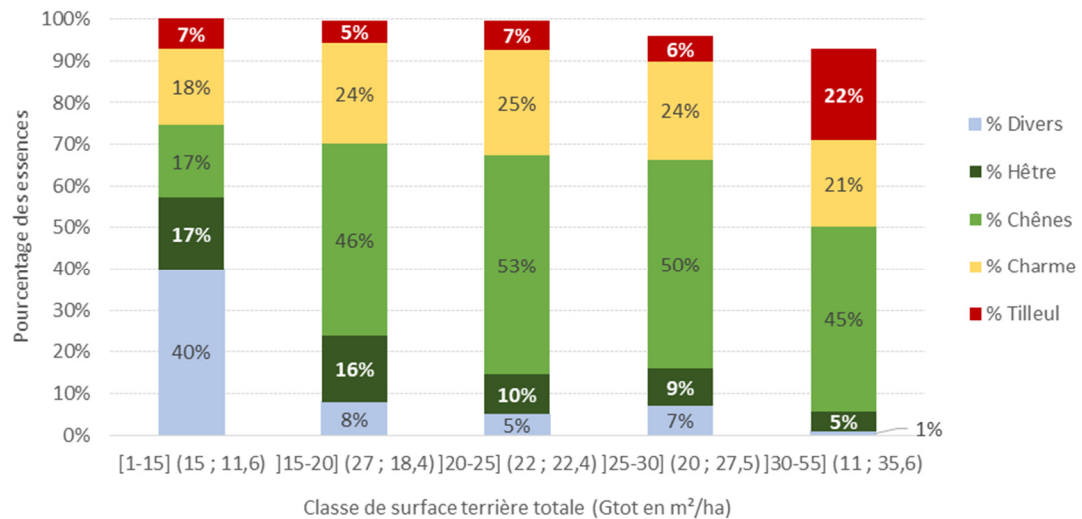


Figure 28 | Pourcentage des essences dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m²/ha). Pour chacune des cinq classes, la première valeur entre parenthèses correspond au nombre de placettes dans la classe (n total = 95 placettes) et la seconde à la moyenne de la surface terrière totale (en m²/ha). Par exemple, pour la classe [1-15], le nombre de placettes est de 15 et Gtot est en moyenne de 11,6. Pour cette classe, les feuillus divers (« Divers ») représentent en moyenne 40 % de Gtot et le tilleul cordé moins de 10 %. Pour les chênes, il s'agit de chêne sessile en grande majorité.

Concernant la structure, les petits bois représentent en moyenne 26 % de la surface terrière totale, les bois moyens 43 % et les gros bois 31 % (Figure 29). La proportion de bois moyens apparaît globalement constante pour toutes les classes de surface terrière. La part des petits bois est plus importante pour les placettes à faible capital et celle des gros bois plus importante quand le capital augmente (Figure 29).

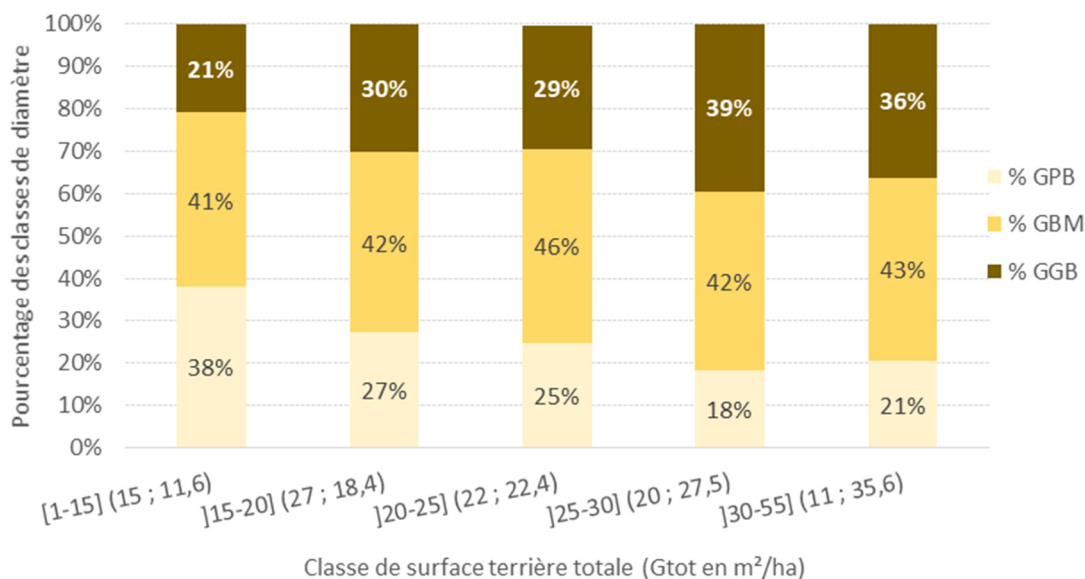


Figure 29 | Pourcentages des trois catégories de diamètres dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (Gtot en m²/ha). Pour chacune des cinq classes, la première valeur entre parenthèses correspond au nombre de placettes dans la classe (n total = 95 placettes) et la seconde à la moyenne de la surface terrière totale (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).

Les peuplements réguliers à bois moyens dominants (types 2X) et irréguliers (types 5X) sont majoritaires avec respectivement 31 % et 37 % des placettes. Dans ces deux types, les types 21 (bois moyen à petit bois) et 52 (irrégulier à bois moyen) représentent à eux deux 40 % des placettes (Figure 30 et Figure 32).

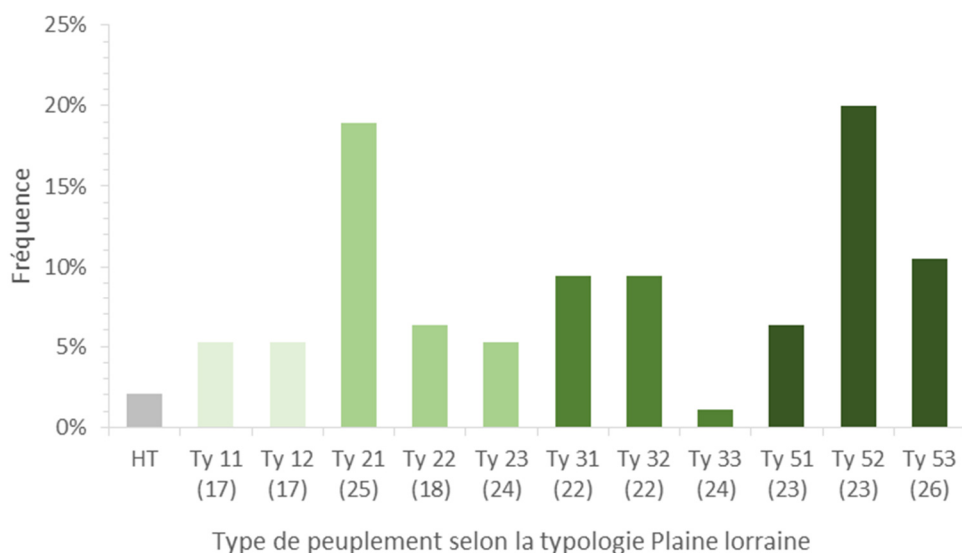


Figure 30 | Fréquences des types de peuplements dans les forêts de Brin et d'Amance selon la typologie de la Plaine lorraine. La valeur entre parenthèses correspond à la surface terrière moyenne (en m²/ha). 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier.

La comparaison avec les données de l'aménagement de 2008 (voir [Tableau 3](#) pour les données) suggère une maturation des peuplements vers des structures à gros bois dominants et structures irrégulières ([Figure 31](#)).

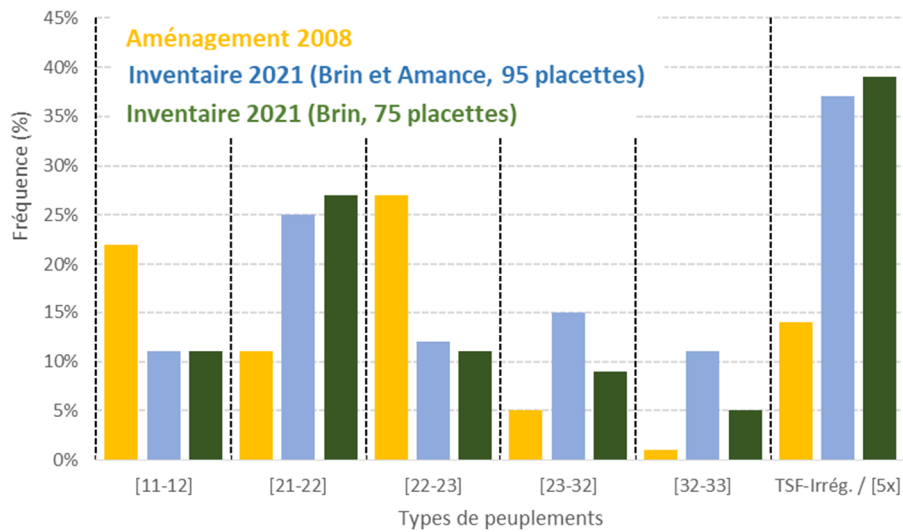


Figure 31 | Comparaison des types de peuplements entre les données de l'inventaire de 2008 et les données issues des relevés 2021. Pour l'inventaire 2018, il s'agit des proportions calculées par rapport aux surfaces inventoriées en 2008 sur la forêt de Brin exclusivement (total 571,34 ha) (hors trouées, chablis...) (voir [Tableau 3](#)). Pour les données 2021, il s'agit des proportions calculées à partir des 95 placettes pour les forêts de Brin et d'Amance ou des 75 placettes pour la seule forêt de Brin. TSF-Irrég. correspond aux notations de 2008 et [5x] aux peuplements irréguliers de 2021 [51-52 et 53].

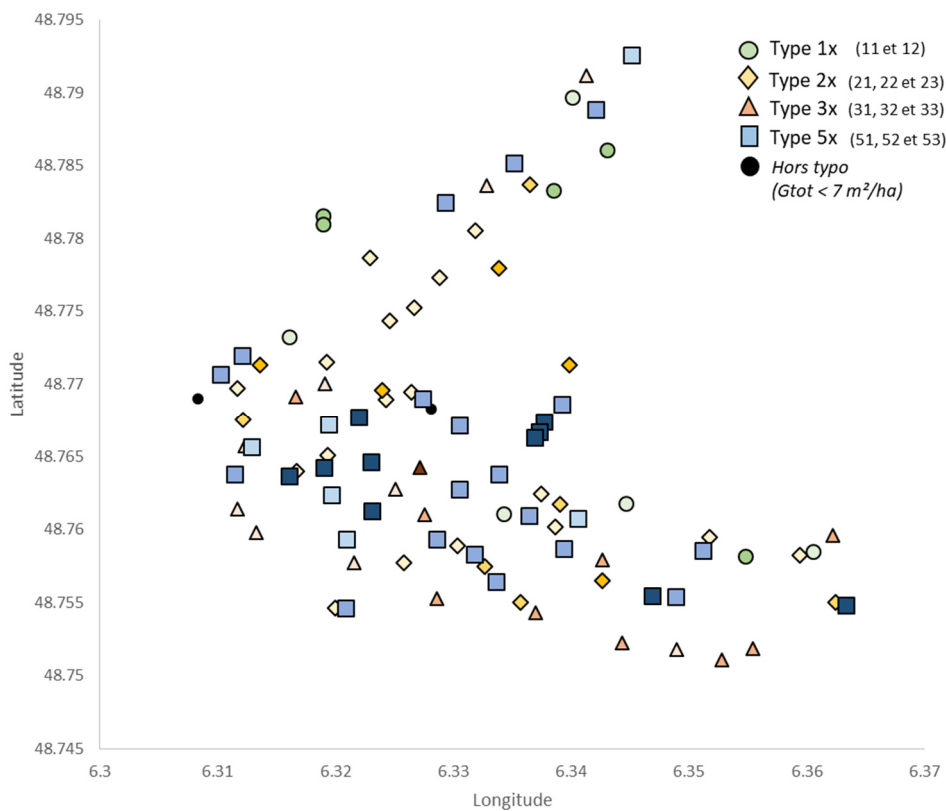


Figure 32 | Cartographie des types de peuplements selon la typologie de la Plaine lorraine. La forme des symboles représente les types « principaux » (1, 2, 3, 5) et l'intensité de la couleur les types « secondaires » (11, 12, 21...). 1, 2, 3, 5 = petit bois, bois moyen, gros bois et irrégulier.

Sur les 95 inventaires, 78 ont présenté des gros bois (soit 82 % des cas) avec une surface terrière moyenne de GB de $8,8 \pm 5,8 \text{ m}^2/\text{ha}$ (1 à 24,5). Parmi ces 78 inventaires, 68 (87 %) ont des GB de Chênes (sessile majoritairement) et 48 (61 %) que des GB de Chênes ($G = 7,5 \pm 6 \text{ m}^2/\text{ha}$ (1 à 20)). Un total de 29 inventaires (37 %) a des GB de Hêtre et seulement 4 que des GB de Hêtre ($G = 7,5 \pm 2 \text{ m}^2/\text{ha}$ (6 à 10,5)). Les GB de feuillus divers (essentiellement Frêne et Tilleul cordé) sont présents dans 33 % des inventaires. Enfin, 30 % des inventaires ont présenté à la fois des GB de Chênes et de Hêtre.

5.10. Bois mort et dendromicrohabitats

Sur les 95 placettes échantillonnées, 579 bois mort au sol ont été relevés (diamètre minimum de 5 cm) pour des diamètres moyens de $9,1 \pm 4,3 \text{ cm}$ (5 à 45 cm). Le bois mort observé est très peu décomposé mais avec une écorce qui est souvent absente (Figure 33). Les bois morts sont en contact avec le sol dans 70 % des cas et ne correspondent pas à des chablis (seulement 7 % de chablis).

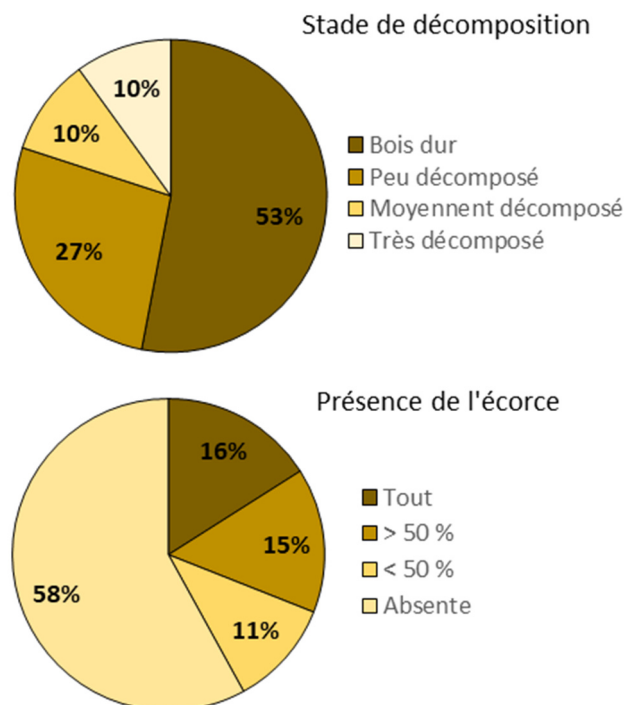


Figure 33 | Stade de décomposition (fréquences dans les 4 classes) et présence de l'écorce (fréquence dans les 4 classes) pour les 579 bois morts au sol inventoriés. Pour le stade de décomposition, il s'agit du test du couteau (lame non enfoncée, lame enfoncée sur au plus $\frac{1}{4}$, lame enfoncée entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ et lame totalement enfoncée). Pour l'écorce, il s'agit du pourcentage de recouvrement de l'écorce sur le bois mort.

Le volume de bois mort au sol est en moyenne de $13,5 \pm 12,5$ m³/ha (0 à 70) mais avec des fortes variations entre placettes. Ainsi, 52 % des placettes ont des volumes inférieurs à 10 m³/ha et 48 % des volumes supérieurs. Des volumes supérieurs à 30 m³/ha ont été observés dans seulement 9 % des cas (Figure 34).

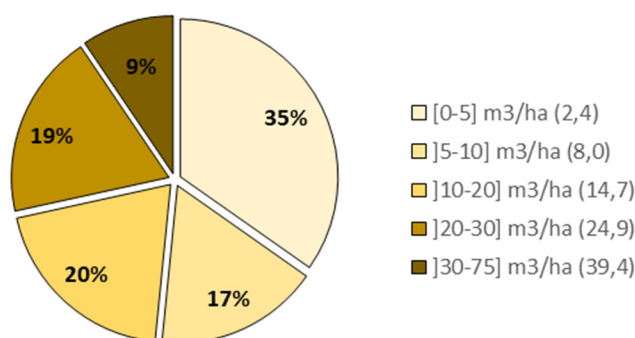


Figure 34 | Fréquences des volumes de bois mort au sol selon 5 classes (en m³/ha) (N=95 placettes ; 2 placettes sans bois mort au sol). La valeur entre parenthèses correspond à la moyenne des volumes de bois mort en m³/ha au sol dans la classe.

Le volume de bois mort apparaît inférieur 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 $19,5 \pm 29$ m³/ha (697 placettes) (Tableau 6). Ce volume est également inférieur aux données moyennes des placettes du réseau futaie irrégulière (environ 23 m³/ha, 5726 placettes et 61 forêts, Brucciamachie, comm. Pers) et à la moyenne nationale issue des données de l'IGN (16 m³/ha ; données 2019).

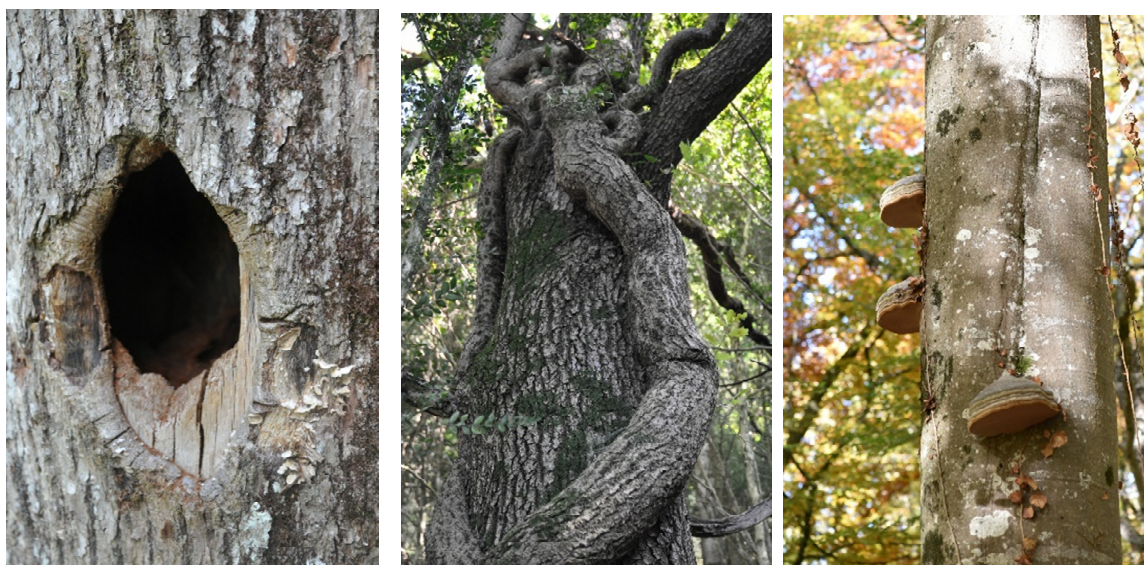
Tableau 6 | Volumes moyens de bois mort au sol observés lors des 7 projets étudiants précédents réalisés dans différentes forêts domaniales gérées. Les relevés ont été réalisés avec le même protocole et toujours à la même période (deuxième semaine de juin).

Massif	Nb de plac.	Vol(m ³ /ha)	Min	Max
Auberive	197	20.4 (25.3)	0.0	159.4
2016	90	19.3 (26.5)	0.0	159.4
2017	107	21.3 (24.2)	0.0	139.2
Bezange	203	28.6 (36)	0.0	244.1
2014	87	21.1 (26.8)	0.0	180.0
2018	116	34.2 (41)	0.5	244.1
ValSuzon	176	8.8 (20.8)	0.0	244.1
2012	69	13.1 (30.8)	0.0	244.1
2013	107	6.0 (9.3)	0.0	63.3
Compiègne				
2019	121	18.8 (26)	0.0	183.0
Total	697	19.5 (29)	0.0	244.1

Pour les arbres morts sur pied, seulement 24 placettes avec des bois morts sur pied ont été observées (soit sur seulement 25 %) pour un total de 49 bois mort sur pied. Les dendromicrohabitats (observés sur les trois plus gros arbres de l'inventaire dendrométrique, généralement chênes ou hêtre) sont plutôt rares. Ainsi, seulement 10 % des placettes ont présenté au moins 1 arbre avec une cavité haute. La présence de champignon (polypore, amadouvier...) est aussi très faible (7 %). Les gros lierres sont plus présents ainsi que les cavités basses (contreforts des grosses racines de chênes et de hêtre) et les altérations des écorces ([Tableau 7](#)).

Tableau 7 | Fréquences des dendromicrohabitats exprimées en % des placettes (N=95) présentant des cavités hautes, basses, une altération des écorces, des champignons ou des lianes (gros lierre) sur 0, 1, 2 ou 3 arbres.

	Cavités hautes	Cavités basses	Altération écorce	Champignon	Liane (dia > 5 cm)
aucun arbre	89%	64%	75%	93%	73%
1 arbre	8%	27%	23%	6%	15%
2 arbres	2%	4%	1%	1%	11%
3 arbres	0%	4%	1%	0%	2%



©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 α (95 relevés), des analyses en composantes principales suivies de classification ascendante hiérarchique ont été réalisées (FactoMineR et hclust R version 3.4.4).

Les 5 variables écologiques prises en compte sont : le type d'humus (**Hum**, eumull, mésomull, oligomull/dysmull), la texture des horizons de surface (**Text**, dominante limoneuse ou argileuse), la profondeur du plancher argileux (**Plan**, en cm), la profondeur d'apparition des tâches d'hydromorphie (**Hydro**, cm) et le type de station (**Stat**, 9 modalités). Les variables liées au peuplement sont au nombre de 13 : la surface terrière totale (**GTot**), 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**), le type de peuplement selon la typologie de la Plaine lorraine (**TypoL**, 12 types), le pourcentage de hêtre et de chênes dans la surface terrière (**%GHET** et **%GCH**), le recouvrement (en %) de la strate arborée, arbustive et le total des deux (**RecA**, **Recab**, **RecTot**).

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 35,7 % de la variance (Figure 35-1). L'axe 1 (21,3 %) est expliqué essentiellement par des variables dendrométriques et notamment celles liées aux gros bois (GGB et %GGB, valeurs positives le long de l'axe 1) et petits bois (GPB et %GPB, valeurs négatives) (Figure 35-2A et 3). Le type de peuplement (TypoL) ressort également avec une contribution plus faible mais avec un sens d'action similaire à celle des gros bois. L'axe 1 oppose donc très clairement les relevés pauvres en gros bois (Figure 35-2A et 2B) (≤ 25 % de gros bois dans la surface terrière, coordonnées négatives) des relevés plus riches (> 25 %, coordonnées positives). In fine, l'ordonnement des 95 relevés le long de l'axe 1 suit très bien l'augmentation de la proportion de gros bois dans la surface terrière.

L'axe 2 explique 14,4 % de la variance des relevés. Comme pour l'axe 1, ce sont les valeurs dendrométriques qui expliquent le mieux la structuration des relevés (Figure 35-4) avec un rôle majeur de la surface terrière totale et de bois moyen (les deux facteurs évoluant dans le même sens : les valeurs élevées de surface terrière sont liées aux fortes valeurs de bois moyens).

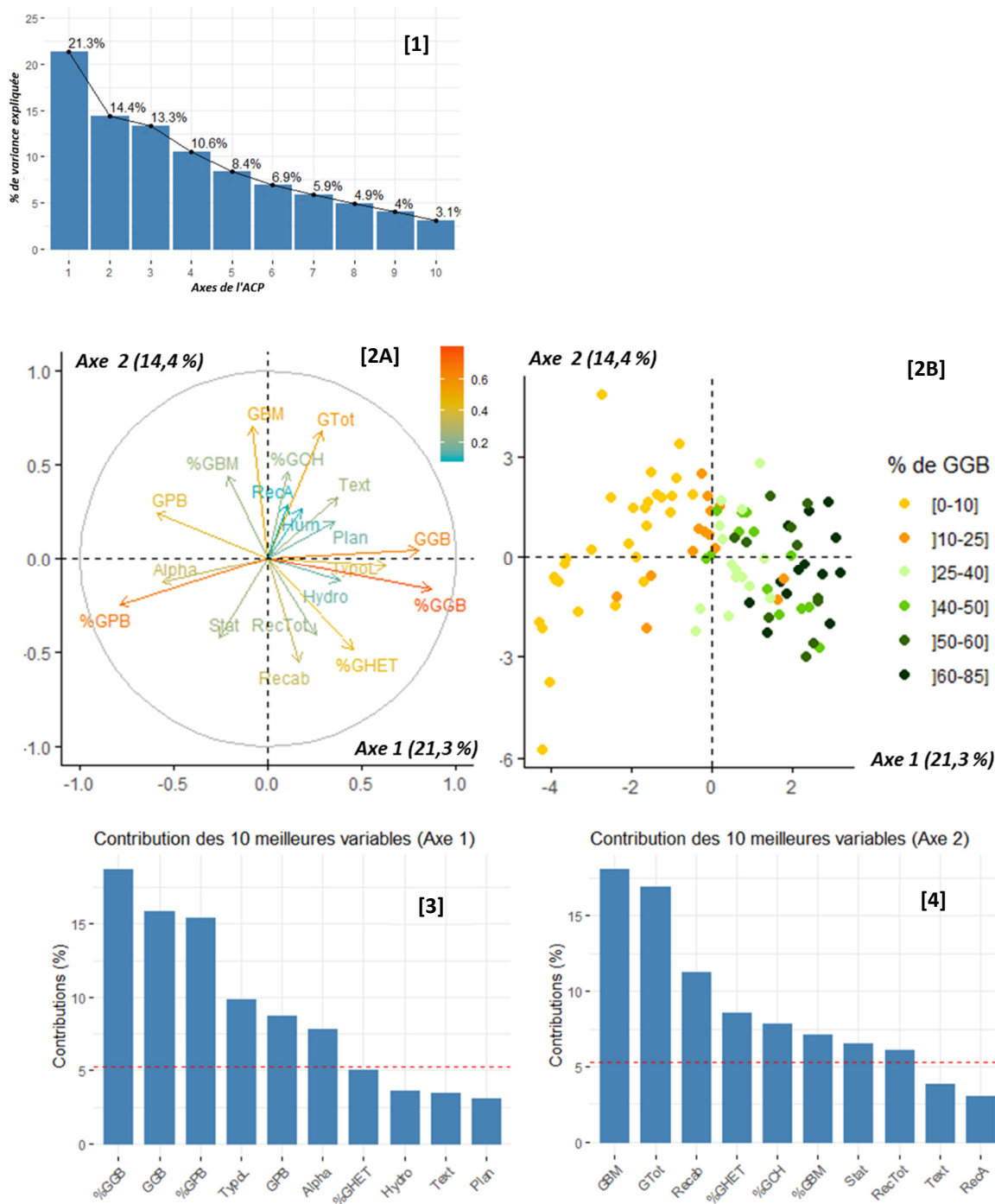


Figure 35 | Résultat de l'analyse en composantes principales effectuée sur la diversité floristique α (Alpha) observée sur les 95 relevés. La diversité est définie comme le nombre total d'espèces observées par relevé. [1] : % de variance expliquée par les différents axes. [2A] : répartition des 18 variables écologiques (5) et sylvicoles (13) sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique l'importance de la variable pour l'explication des axes (\cos^2). [2B] : répartition des 95 relevés sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique le % de Gros bois dans la surface terrière totale (% GGB). [3] : Contributions des 10 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 1 (21,3 % de variance expliquée). [4] : Contributions des 10 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 2 (14,4 % de variance expliquée). Pour [3] et [4], la ligne rouge en pointillé indique le seuil significatif de la contribution des variables (ici $1/18 * 100 = 5,5\%$). Voir texte pour les détails.

Concernant la diversité floristique α , l'analyse du plan factoriel 1-2 montre que sa variation au sein des 95 relevés est expliquée essentiellement par l'axe 1 c'est-à-dire par les variables dendrométriques (Figure 35-2A et 3). Il apparaît que la diversité floristique est d'autant plus faible que la proportion de gros bois augmente (Tableau 8). Les variables écologiques comme les profondeurs du plancher ou d'hydromorphie ou encore le type de station ne sont pas très discriminantes (Figure 36). Cependant, comme observé précédemment dans la partie description des données, les relevés sur argile et/ou en vallons présentent des diversités floristiques plus fortes. Enfin, les recouvrements des strates arborées et arbustives n'influencent pas la diversité.

Tableau 8 | Évolution de la diversité floristique selon le pourcentage de gros bois dans la surface terrière totale du relevé (% GGB) (voir aussi figure 34).

Classe	% de GGB	Val.	Diversité floristique				Nb relevés
			Moy.	std	min	max	
[0-10]	3 %		27,7	10,2	3	45	29
]10-25]	20 %		23,1	7,2	10	38	14
]25-40]	34 %		24,5	8,3	14	41	15
]40-50]	46 %		22,1	7,4	11	35	13
]50-60]	56 %		18,9	7,5	9	31	11
]60-85]	68 %		18,8	6,7	9	30	13

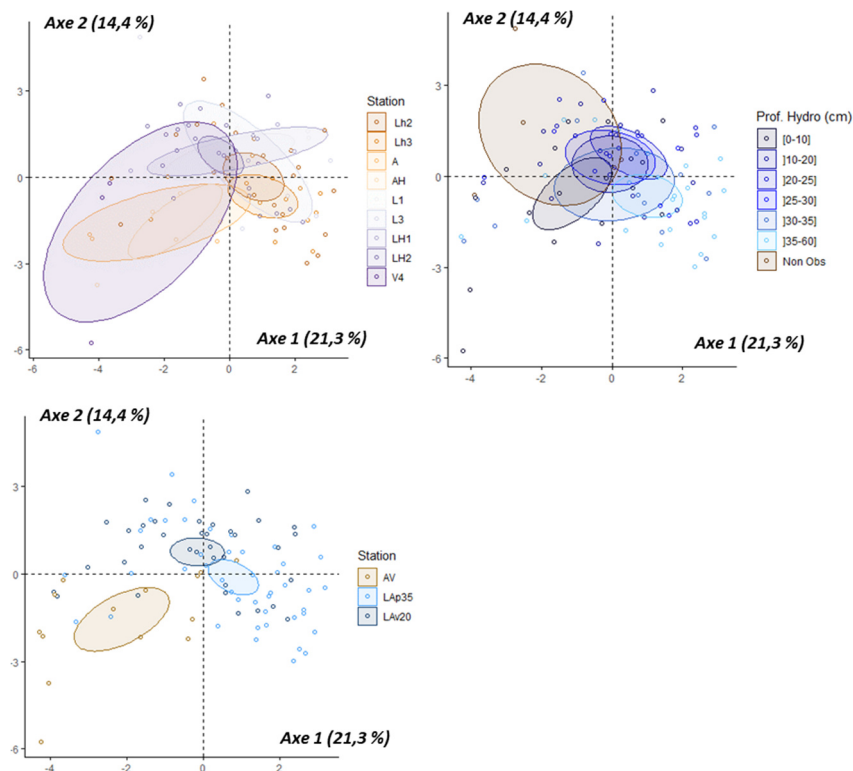


Figure 36 | Répartition des 95 relevés sur le plan factoriel 1-2 selon les stations forestières, la profondeur d'apparition de l'hydromorphie (en classes et en cm) et la profondeur d'apparition du plancher argileux (3 classes, pas de plancher AV, avant 20 cm – Lav20 - et après 35 cm – LAp35). Les cercles indiquent les ellipses de confiance à 95 %. Des ellipses disjointes montrent des groupes totalement séparés.

La classification ascendante hiérarchique réalisée après l'ACP met clairement en évidence 4 groupes de relevés dans la forêt (Figure 37). Les groupes 3 et 4 regroupent exclusivement les placettes à type irrégulier (5x) (Tableau 9). Le groupe 3 correspond à des situations faiblement hydromorphes avec une proportion équilibrée de Hêtre et de Chênes et un fort recouvrement de la strate arbustive (charme). Pour ces conditions, la diversité floristique est globalement faible. Le groupe 4 présente des situations nettement plus contraignantes avec une hydromorphie proche de la surface. Dans ce cas, la proportion de Chênes augmente fortement et celle du Hêtre diminue (ce qui est attendu en raison de la faible tolérance de cette espèce à l'engorgement). Dans ces placettes, le recouvrement du Charme est aussi plus faible. La diversité floristique est élevée. Les groupes 1 et 2 regroupent des peuplements de types variés mais avec une prépondérance des types 2 et 3. Le groupe 1 correspond à des conditions d'engorgement assez contraignantes (profondeur d'apparition des traces d'hydromorphie à 23 cm en moyenne). Les surfaces terrières moyennes sont assez faibles avec une dominance de Chênes et une strate arbustive bien présente. Enfin, le groupe 2 correspond à des situations moins contraignantes, des surfaces terrières plus élevées et une diversité des espèces arborées plus forte (seulement 41 % de Hêtre et de Chênes dans la surface terrière). Dans ces deux groupes, la diversité floristique est assez similaire.

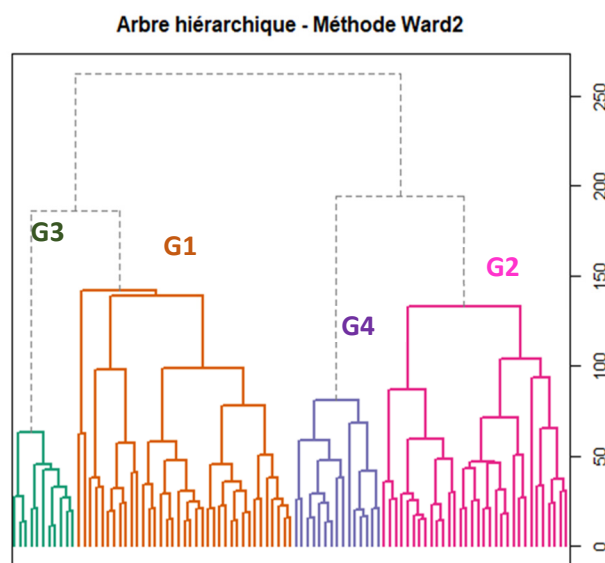


Figure 37 | Classification ascendante hiérarchique (méthode Ward 2) sur les 95 relevés. La CAH discrimine nettement 4 groupes de relevés selon leurs caractéristiques écologiques et dendrométriques (G1 = 37 relevés, G2 = 32, G3 = 11 et G4 = 15).

Tableau 9 | Caractéristiques écologiques et dendrométriques des 4 groupes définis par la CAH.

	N°	Alpha	Prof. (cm)		Surface terrière G (m ² /ha)				% dans G de..			% de l'esp. dans G		Rec. Arb.
			Plancher	Hydro.	Tot	PB	BM	GB	PB	BM	GB	HETRE	CHENES	
G1	37	22.6	30	23	19.0	4.7	9.3	5.0	0.27	0.46	0.26	0.15	0.49	35
G2	32	25.0	48	32	23.3	6.2	9.6	7.5	0.29	0.42	0.30	0.07	0.36	9
G3	11	18.6	49	33	23.3	4.8	9.5	9.0	0.21	0.40	0.39	0.26	0.35	53
G4	15	26.1	20	15	26.6	5.0	10.4	11.2	0.19	0.39	0.42	0.05	0.52	19

Type	1..	2..	3..	5..	Nb de relevés
G1	7	18	10	2	
G2	5	11	9	7	
G3	0	0	0	11	
G4	0	0	0	15	

5.12. Analyse de la flore des assecs de gestion de l'étang de Brin

a. Définition des assecs

Parallèlement aux relevés en forêt, des relevés floristiques dans l'asec de l'étang de Brin ont été réalisés sous la direction de Fabien Spicher en 2021. Si la carte de Cassini témoigne de l'ancienneté de la forêt (voir Figure 14), l'étang n'est pas visible au cœur de la forêt suggérant son absence au 18^{ième} siècle. Cependant la consultation de documents d'archives (voir site dédié de <http://francois.munier1.free.fr>) suggère un aménagement progressif d'une zone humide par les ducs de Lorraine dès le 15^e siècle et au 16^e siècle :

- « Il y eut, en 1508, plusieurs actes d'échange entre le Duc de Lorraine, d'une part, les seigneurs de Lenoncourt et de Ludres, d'autre part, par lesquels René II et Philippe de Gueldres, abandonnèrent ce qu'ils avaient en l'étang le Comte, près Lenoncourt, contre des portions de l'étang de Brin. (T. C. Château-Salins, et Cart. Nancy domaine.) »
- « En 1584, ce receveur fit observer qu'il serait bon de faire encore un étang au-dessous du premier, avec une chaussée de pierre, duquel on pourrait tirer plus grand profit. En 1612, on fit un pont de bois sur la chaussée de l'étang. Une note des comptes de 1589 nous apprend que l'on élevait, dans cet étang, des carpes au miroir qui y étaient apportées des viviers du Saurupt. »

L'étang de Brin est donc très certainement un étang ancien qui a toujours entouré par la forêt. La définition d'un étang est encore discutée mais on trouve souvent comme définition un « écosystème à eau stagnante créée par endiguage » ou un « habitat aquatique d'eau douce stagnant de différentes surfaces, profondeurs et origines ».



Étang de Brin – Octobre 2010
© F. Lebourgeois

L'étang de Brin est un étang destiné à la production de poissons qui sont utilisés pour l'approvisionnement de différents étangs de pêche de la région lorraine. Les espèces majeures de l'étang sont les gardons (très majoritaires en biomasse) puis les brochets et les tanches. Les perches et les carpes sont moins représentées.

L'étang est pêché régulièrement en automne (vidange en octobre ou novembre). En 2010, au moment de la pêche automnale, il avait été constaté un envasement extrêmement important rendant la pêche dangereuse. Il a donc été décidé une mise en assec de l'étang. Un assec est « un assèchement temporaire d'une zone humide, cours d'eau, étang ». Pour un étang piscicole, il correspond à une période plus ou moins longue pendant laquelle l'étang est vidé pour récupérer le poisson. On distingue deux types d'assec suite à la vidange :

1. Fermeture des vannes après la pêche et remplissage progressif en hiver par les eaux de pluies et/ou par l'alimentation par un ru ou cours d'eau. L'absence de l'eau dans l'étang est de courte durée (2-3 mois) et on parle alors d'« assec de pêche » ;
2. Les vannes sont laissées ouvertes après la pêche ce qui empêche l'étang de se remplir. L'étang peut rester vide une année voire plus. On parle alors d'« assec de gestion ». C'est cet assec de gestion qui a été réalisé en 2010 et en 2021.

L'assec de gestion à différents objectifs ou présente différents intérêts :

- L'assec de gestion permet la réalisation de **travaux d'entretien** indispensables au bon fonctionnement de l'étang (ouvrages hydrauliques, curage, berges...);
- L'absence de l'eau permet la **minéralisation des vases** par oxygénation (action des micro-organismes) ce qui réduit considérablement le comblement de l'étang (sur plusieurs centimètres voire dizaines de cm selon les cas). La minéralisation permet la mise à disposition d'éléments minéraux nécessaires au bon développement des végétaux ce qui augmente les années suivantes les rendements piscicoles ;
- L'assec permet **d'assainir l'étang** en éliminant, par une exposition prolongée aux UV, les virus / bactéries présents à la surface des boues ;
- Le retrait temporaire de la végétation aquatique **limite le développement des hôtes pathogènes** pour les poissons ce qui améliore leur croissance les années suivantes ;
- Si le fond de l'étang est mis en culture, les bons rendements généralement observés peuvent compenser les pertes liées à l'absence de pêche ;
- Une **flore rare voire très rare spécifique de l'assec** peut apparaître en permettant au stock semencier de s'exprimer. La croissance des hélophytes (« espèce se développant dans les sols gorgés d'eau mais dont les bases des tiges sont le plus souvent non immergées ») tels que les roseaux (*Phragmites sp.*) ou les massettes (*Thypha sp.*) est souvent favorisée ;
- L'avifaune est souvent également favorisée par ces pratiques de gestion (zone de nourrissage pour les migrants, de reproduction...) comme la diversité des insectes ou amphibiens.

Concernant l'étang de Brin, les recherches effectuées en 2010 par Lebourgeois et Spicher (non publié) sur les assecs anciens ont été difficiles. Une photo aérienne de 1950 montre l'étang de Brin asséché et des enquêtes réalisées auprès des habitants des communes proches de l'étang suggèrent un dernier assec en 1978. Pour ces assecs, on ne sait pas s'il s'agissait d'assec de pêche de courte durée ou d'assec de gestion. Sur la période récente (depuis les années 2000), l'étang de Brin a été mis en assec de pêche régulièrement et en assec de gestion deux fois : octobre 2010 et remise en eau en octobre 2011 (Figure 38) et 2020/2021.

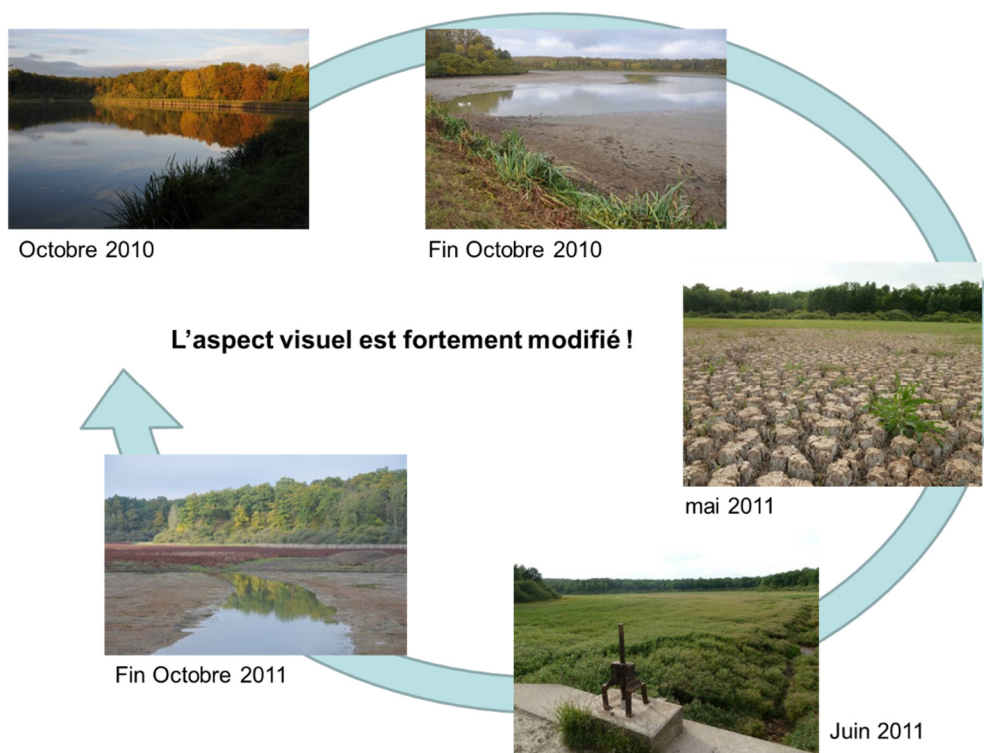


Figure 38 | Photos de l'évolution de l'assec de l'étang de Brin entre octobre 2010 et octobre 2011 (© F. Lebourgeois).

b. Caractéristiques de l'étang de Brin

Comme le reste de la forêt, l'étang de Brin est développé sur des matériaux argileux (marnes, calcaires marneux...) en mélange avec des limons éoliens. Il correspond au point bas de la forêt (environ 230 m) permettant une alimentation par ruissellement et infiltration des pluies. Deux canaux alimentent également l'étang par intermittence. L'étang a une superficie de 17 ha environ pour un périmètre d'environ 1700 m. (profondeur maximale de 3 m environ). L'étang a une forme de « pied palmé à 4 doigts ». Il fait environ 600 m dans sa plus grande largeur et 430 m dans sa plus grande longueur. La zone ouverte la plus proche se situe à environ 300 mètres (Figure 39).

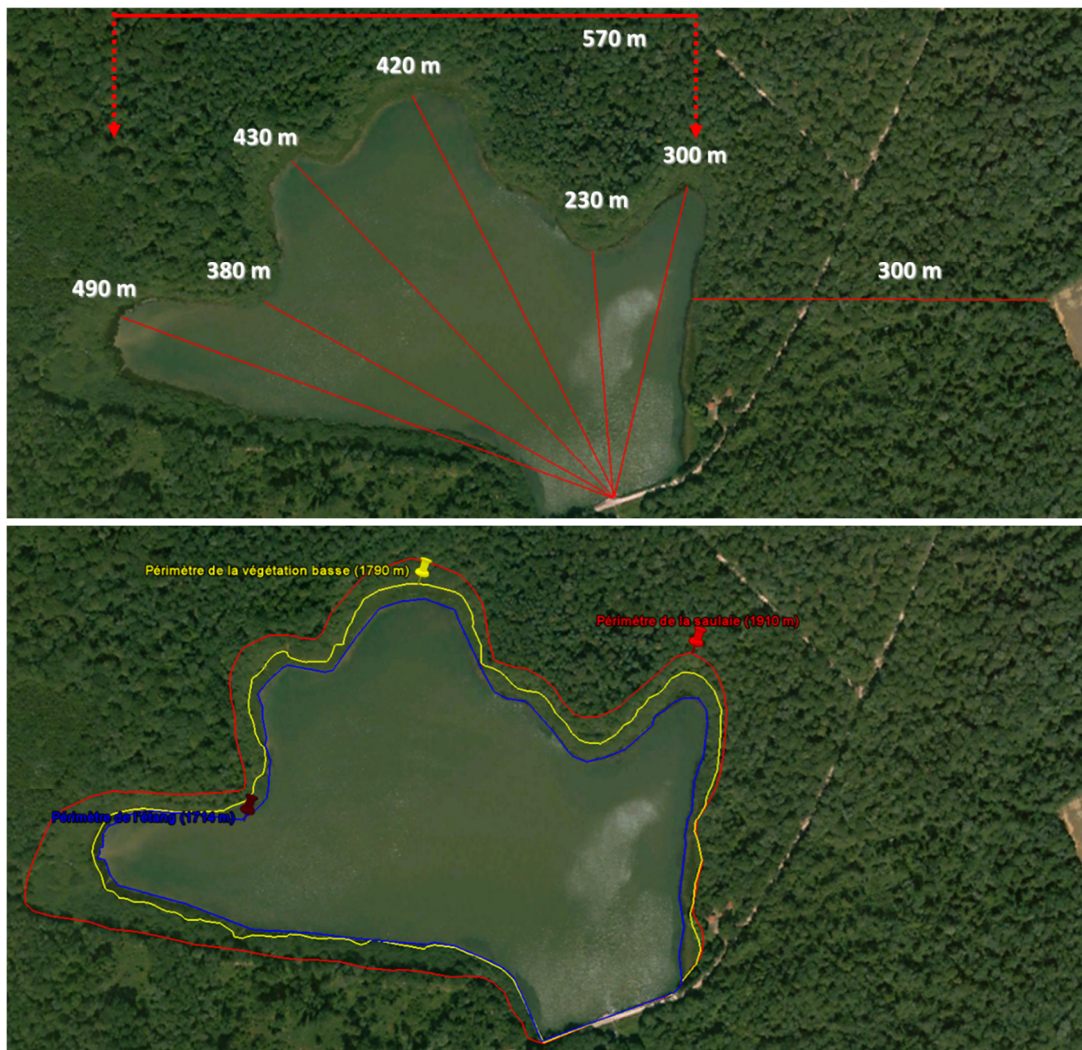


Figure 39 | Caractéristiques de l'étang de Brin en 2010 (vue Google Earth à 1,2 km) (F. Lebourgeois).

La ripisylve est caractéristique des étangs lorrains (Figure 40). Une zone d'une dizaine de mètres de large caractérisée par une végétation basse d'herbacée (Typha, Carex, Glycérie...) (Ordre du *Phragmitetalia australis*) sépare l'étang de la saulaie marécageuse basse (essentiellement *Salix cinerea*) puis de la saulaie haute (Alliance du *Salicion-cinereae*). Une ripisylve d'une vingtaine de mètres de large en moyenne sépare donc l'étang du peuplement forestier composé majoritairement de Chênes (pédonculé et sessile) et de Charme.

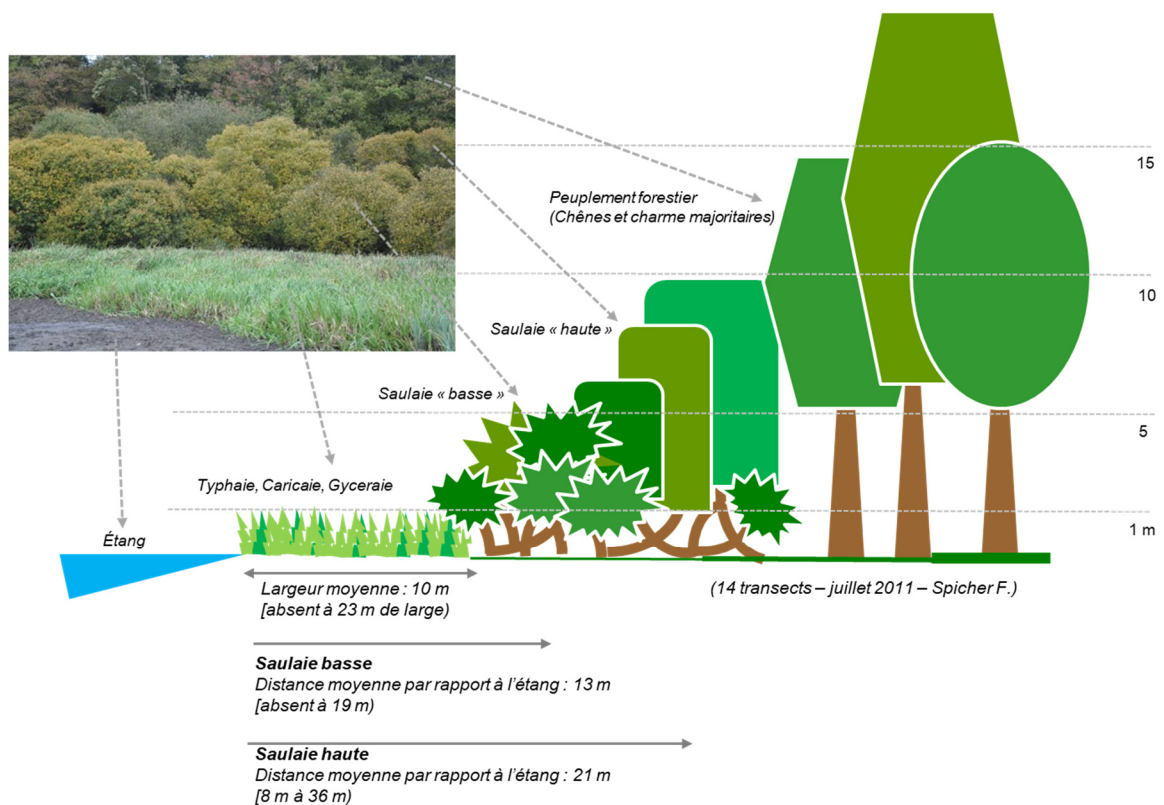


Figure 40 | Caractéristiques moyennes des groupements végétaux présents autour de l'étang de Brin. Les mesures ont été faites en juillet 2011 à partir de 14 transects répartis tout autour de l'étang (Spicher Fabien) (dessin F. Lebourgeois, 2021).

c. Diversité floristique de l'assec

Pour l'inventaire floristique de 2021, 7 relevés ont été réalisés : 6 relevés de 16 m² (4x4 m) dans des vases exondées ± sèches et 1 relevé de 4 m² (2x2 m) au bord du chenal dans les vases encore humides et gorgées d'eau. Les relevés ont été faits dans différentes zones de façon à couvrir toute la variabilité des « faciès » observés dans l'étang (zone avec dominance de telles ou telles espèces) (Figure 41) et donc en évitant la proximité de la ripisylve bien « stabilisée » pour la composition floristique. Pour ces 7 relevés, le couvert herbacé a varié de 60 à 100 % pour une moyenne de 85 %.

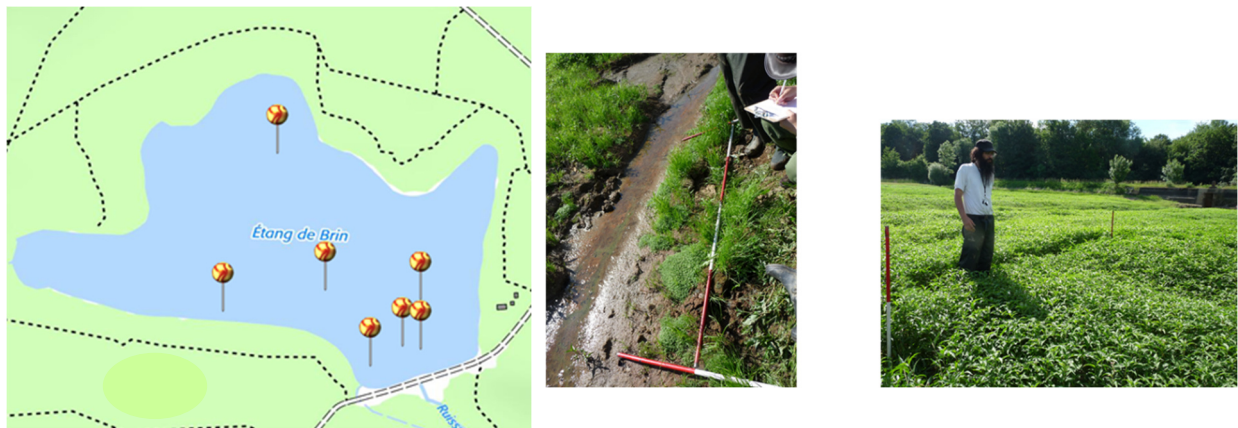


Figure 41 | Localisation des 7 relevés floristiques effectués dans le fond de l'étang de Brin en juin 2021 (début de l'assec de gestion en octobre 2020) (carte et photos © Neri et al. 2021).

En 2021, 50 espèces ont été inventoriées. En ajoutant les espèces observées en 2011 mais non retrouvées en 2021, le total des espèces s'élève à 61 espèces (Tableau 10). Il est à noter que les relevés de 2011 n'avaient pas été faits aux mêmes endroits et selon les mêmes protocoles. Selon la flore de Lorraine (Vernier, 2013), 70 % sont des espèces très communes à assez communes et 30 % des espèces peu communes à très rares (Figure 42). 5 espèces sont des espèces rares et 3 des espèces très rares. Parmi les 3 espèces très rares, deux sont des espèces protégées régionalement.

Espèces	Famille	Nom français	Rareté en Lorraine
<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol.	Poaceae	Vulpin fauve	Rare
<i>Amaranthus</i> sp.	Amaranthaceae	Amarante sp.	non renseigné
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Asteraceae	Armoise commune	Très commun
<i>Betula pendula</i> Roth	Betulaceae	Bouleau verruqueux	Très commun
<i>Bidens</i> sp. (<i>tripartita</i> L. ou <i>radiata</i> Thuill.)	Asteraceae	Bident trifolié ou radié	non renseigné
<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	Cyperaceae	Scirpe maritime	Rare
<i>Callitriche stagnalis</i> Scop.	Plantaginaceae	Callitriche des étangs	Rare
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Brassicaceae	Capselle bourse-à-pasteur	Très commun
<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	Cyperaceae	Fausse laïche aiguë	Assez commun
<i>Carex bohemica</i> Schreb.	Cyperaceae	Laïche de Bohême	Très rare
<i>Carex riparia</i> Curtis (à confirmer)	Cyperaceae	Laïche des rives	Assez commun
<i>Carex rostrata</i> Stokes (à confirmer)	Cyperaceae	Laïche à bec	Rare
<i>Carpinus betulus</i> L.	Betulaceae	Charme commun	Très commun
<i>Elatine hexandra</i> (Lapierre) DC.	Elatinaceae	Elatine à six étamines	Très rare
<i>Elatine triandra</i> Schkuhr	Elatinaceae	Elatine à trois étamines	Très rare
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult.	Cyperaceae	Souchet des marais	Peu commun
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. Ex Nevski	Poaceae	Petit Chiendent	Commun
<i>Epilobium hirsutum</i> L.	Onagraceae	Epilobe hirsute	Très commun
<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb.	Onagraceae	Epilobe à petites fleurs	Assez commun
<i>Epilobium tetragonum</i> L.	Onagraceae	Epilobe à quatre angles	Assez commun
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	Rosaceae	Reine-des-près	Très commun
<i>Galium aparine</i> L.	Rubiaceae	Gaillet gratteron	Très commun
<i>Galium palustre</i> L.	Rubiaceae	Gaillet des marais	Assez commun
<i>Geum urbanum</i> L.	Rosaceae	Benoîte des villes	Très commun
<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.	Poaceae	Grande glycérie	Assez commun
<i>Iris pseudacorus</i> L.	Iridaceae	Iris faux acore	Très commun
<i>Juncus articulatus</i> L.	Juncaceae	Jonc articulé	Assez commun
<i>Juncus bulbosus</i> L.	Juncaceae	Jonc bulbeux	Assez rare
<i>Juncus effusus</i> L.	Juncaceae	Jonc diffus	Très commun
<i>Lactuca serriola</i> L.	Asteraceae	Laitue scariole	Commun
<i>Lepidium campestre</i> (L.) R. Br.	Brassicaceae	Passerage des champs	Commun
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Poaceae	Ivraie multiflore	Peu commun
<i>Lotus pedunculatus</i> Cav.	Fabaceae	Lotier pédonculé	Assez commun
<i>Lycopus europaeus</i> L.	Lamiaceae	Lycopé d'Europe	Très commun
<i>Lythrum salicaria</i> L.	Lythraceae	Salicaire officinale	Très commun
<i>Matricaria recutita</i> L.	Asteraceae	Matricaire tronquée	Assez commun
<i>Medicago lupulina</i> L.	Fabaceae	Luzerne-houblon	Très commun
<i>Myosoton aquaticum</i> (L.) Moench	Caryophyllaceae	Stellaire aquatique	Commun
<i>Oenanthe aquatica</i> (L.) Poir.	Apiaceae	Oenanthe aquatique	Assez rare
<i>Persicaria amphibia</i> (L.) Gray	Polygonaceae	Renouée amphibie	Assez commun
<i>Persicaria lapatifolia</i> (L.) Delarbre	Polygonaceae	Renouée à feuilles de patience	Commun
<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	Polygonaceae	Renouée poivre d'eau	Peu commun
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Poaceae	Baldingère faux roseau	Très commun
<i>Plantago major</i> L.	Plantaginaceae	Grand plantain	Très commun
<i>Poa annua</i> L.	Poaceae	Pâturin annuel	Très commun
<i>Poa trivialis</i> L.	Poaceae	Pâturin commun	Commun
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Polygonaceae	Renouée des oiseaux	Très commun
<i>Ranunculus repens</i> L.	Ranunculaceae	Renoncule rampante	Très commun
<i>Ranunculus sceleratus</i> L.	Ranunculaceae	Renoncule scélérate	Assez rare
<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser	Brassicaceae	Rorippe des marais	Assez rare
<i>Rumex crispus</i> L.	Polygonaceae	Oseille crépue	Commun
<i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.	Polygonaceae	Oseille aquatique	Peu commun
<i>Rumex maritimus</i> L.	Polygonaceae	Oseille maritime	Rare
<i>Salix cinerea</i> L.	Salicaceae	Saule cendré	Assez commun
<i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla	Cyperaceae	Scirpe des chaisiers	Peu commun
<i>Stachys palustris</i> L.	Lamiaceae	Epiaire des marais	Assez commun
<i>Stellaria nemorum</i> L.	Caryophyllaceae	Stellaire des forêts	Assez rare
<i>Trifolium repens</i> L.	Fabaceae	Trèfle rampant	Très commun
<i>Tussilago farfara</i> L.	Asteraceae	Tussilage	Très commun
<i>Typha angustifolia</i> L.	Typhaceae	Massette à feuille étroite	Peu commun
<i>Urtica dioica</i> L.	Urticaceae	Ortie dioïque	Très commun

Tableau 10 | Liste des 61 espèces inventoriées (par ordre alphabétique) lors des deux assecs de gestion de l'étang de Brin en 2011 et 2021. Les espèces en italiques sont les espèces inventoriées en 2011 et non relevées en 2021. Les deux espèces en gras sont les espèces à statut de protection régionale.

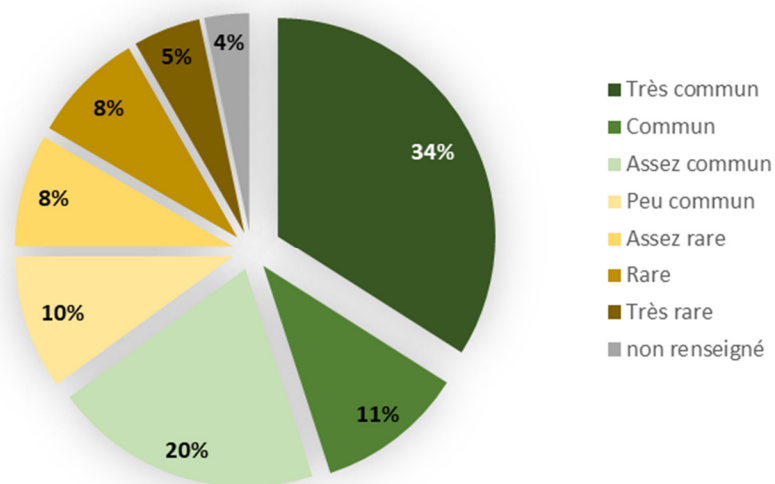


Figure 42 | Répartition des 61 espèces inventoriées lors des assecs de gestion de Brin en 2011 et 2021 selon leur statut de rareté en Lorraine.

d. Rattachement phytosociologique de la flore de l'assec

La classification phytosociologique française actuelle en lien avec la composition floristique de l'étang suggère un double rattachement.

Dans un premier temps, la végétation de l'assec peut être rattachée à une végétation riveraine des zones exondées (Référentiel taxonomique TaxRef) :

- Classe : *Bidentetea tripartitae* Br.-Bl. & Tüxen ex Klika in Klika & Hadač 1944
 - Ordre : *Bidentetalia tripartitae*
 - ✓ Alliance : *Bidention tripartitae* Nordh. 1940 em. Tüxen in Poli & J. Tüxen 1960
 - Associations :

Bidenti-Alopecuretum aequalis

Bidenti-Ranunculetum scelerati (mésio-eutrophile, neutrocline à basicline très envasé)

Bidenti-Rumicetum maritime (mésio-eutrophile, neutrocline à basicline peu envasé)

Polygono hydropiperis-Bidentetum cernuae

Polygono hydropiperis-Bidentetum tripartitae (mésio-eutrophile, neutrocline, substrat limoneux à arg.)

Rumicetum palustris

Selon les cahiers d'habitats, il s'agit des « Rivières avec berges vaseuses avec végétation du *Bidention* p.p. » (code natura 2000 : 3270-1 ; correspondances Code Corine 24.52/22.33). La flore correspond à une végétation pionnière, assez haute (20 à 100 cm) et éphémère (souvent annuelle), dominée par des thérophytes dressées à larges feuilles, se développant sur des berges, les vases riches en éléments nutritifs (surtout en azote) et exondées (en période estivale, dans les conditions d'assec...). Cet habitat est répandu aux étages collinéens et montagnards de la région de l'Europe tempérée et pénètre dans la région méditerranéenne. Selon le caractère plus ou moins envasé du substrat et sa richesse, les associations seront plus ou moins bien représentées dans l'habitat dont le maintien est lié à la fluctuation du niveau des eaux. Ainsi, les aménagements tendant à régulariser ces variations sont défavorables au maintien de cet habitat.

Parmi les espèces caractéristiques de la classe définissant l'habitat, on trouve les différentes espèces de *Bidens* (*tripartita*, *frondosa*, *cernua*), *Persicaria lapatifolia* et *hydropiper*, *Alopecurus aequalis*, *Rorippa palustris*, *Ranunculus sceleratus*, *Rumex maritimus*, *Chenopodium rubrum* et *glaucum*... Il est à noter que la majeure partie des espèces différentielles a été observée dans l'étang (Tableau 10).

La présence des élatines et de la laïche de Bohême suggère également le rattachement à :

➤ Classe : *Juncetea bufonii* B. Foucault 1988

▪ Ordre : *Elatino triandrae* – *Cyperetalia fusci* B. Foucault 1988

✓ Alliance : *Elatino triandrae-Eleocharition ovatae* Pietsch & Müll.-Stoll 1968, Pietsch 1969

Cette classe correspond à une végétation moins exigeante en azote que le *Bidentetea tripartitae* et beaucoup moins haute. C'est une formation rase et plus ouverte dominée par des carex et joncs et des plantes annuelles hygrophiles. C'est souvent dans cette classe, en mosaïque avec la précédente, que l'on observe des espèces rares et patrimoniales. Parmi les espèces de cette classe, on trouve notamment : *Carex bohemica*, *Elatines hexandra* et *triandra*, *Callitriche stagnalis*, *Persicaria hydropiper*, *Ranunculus sceleratus*... ; espèces présentes dans l'assec de l'étang de Brin (Tableau 10).

e. Les deux espèces remarquables de l'étang de Brin

Une des deux espèces les plus emblématiques de l'assec de l'étang de Brin est donc le ***Carex bohemica*** ou Laïche de Bohême qui est une espèce eurasiatique continentale avec un statut de protection régionale (Figure 43) (Muller, 2006). Petitmengin mentionnait l'espèce à Brin dans ses écrits de 1901 (Herborisation en Lorraine, le Monde des plantes, 11, 55-56) et 1907 (Sur de nouveaux hybrides et quelques nouvelles contributions à la flore lorraine, Bull. Séances Soc. Sci. Nancy, série 3, 8 (2) : 145-148). Ce carex est donc caractéristique des groupements des vases exondés des étangs et il apparaît dans des conditions particulières comme les grandes sécheresses ou les assec de gestion. Dans l'assec de l'étang de Brin, ce carex a été observé soit dispersé parmi les autres espèces ou soit recouvrant des surfaces importantes (plusieurs dizaines de m²) avec plusieurs milliers de pieds.



Figure 43 | Photos de *Carex bohemica* lors de l'assec de l'étang de Brin en 2011 (© F. Lebourgeois 2011).

L'autre espèce à statut de protection régionale est l'***Elatine hexandra*** (Figure 44) qui était déjà considérée comme une espèce rare en Lorraine au XIX^e siècle (Muller, 2006). L'élatine a été observé sur de plus petites surfaces que la laïche de Bohême sur les zones dénudées ou sur les faces encore humides des fentes de rétraction de la vase.



Figure 44 | Photos d'*Elatine hexandra* lors de l'assec de l'étang de Brin en 2011 (© F. Lebourgeois 2011).

6. Synthèse

Les forêts de Brin et d'Amance sont deux « forêts anciennes » caractéristiques dans leur structure et composition forestières et leur biodiversité végétale des forêts feuillues de plaine de la Plaine lorraine. Les deux massifs sont soumis à un mésoclimat semi-continental 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 (voir Figure 4). Ceci se traduit déjà par des dépérissements et des mortalités plus ou moins diffuses qui augmentent depuis les dernières années (Chênes et plus récemment Hêtre). Le contexte géologique est assez uniforme avec les limons des plateaux déposés sur des argiles ou des marnes se traduisant par des sols à engorgement temporaire sur quasiment toute la forêt. Le plancher argileux apparaît en moyenne à 40 ± 16 cm et les traces d'hydromorphie à 27 ± 14 cm (voir Figure 21). Concernant les peuplements forestiers, les essences dominantes sont les Chênes (sessile majoritairement), le Charme et le Hêtre (voir Figure 27). La surface terrière moyenne est de $22,1 \pm 7,5$ m²/ha (voir Figure 26) avec une prépondérance de bois moyens (43 %) et les gros bois (31 %) ; les petits bois représentant une plus faible proportion de la surface terrière totale (26 %) (voir Figure 29). Les peuplements réguliers à bois moyens dominants (types 2.) et irréguliers (types 5.) sont majoritaires (31 % et 37 % des relevés). Dans ces deux types, les types 21 (bois moyen à petit bois) et 52 (irrégulier à bois moyen) représentent à eux deux 40 % des placettes (voir Figure 30 et Figure 32).

Concernant la biodiversité végétale, 158 espèces ont été inventoriées (95 relevés sous couvert forestier continu de 400 m²). 16 espèces sont présentes dans au moins 50 % des relevés et 6 dans plus de 75 %. À l'opposé, 83 espèces sont présentes dans moins de 5 % des relevés (voir Figure 8). Les espèces inventoriées sont des espèces « banales » et sans caractère patrimonial. Elles témoignent de sols riches chimiquement et bien alimentés en eau. La diversité moyenne par relevé floristique (= diversité α) est de 23 ± 9 espèces avec une amplitude de 3 à 45 espèces. Environ 1/3 des relevés contient moins de 20 espèces (moy. 17 espèces) et 1/3 entre 21 et 30 espèces (moy. 25 espèces). Les relevés « riches » à plus de 30 espèces représentent seulement 20 % des cas (moy. 37 espèces) (voir Figure 9). Par rapport aux projets réalisés précédemment avec les mêmes protocoles et pendant les mêmes périodes (juin) dans le Grand Est en Plaine lorraine ou Plateau calcaire, la diversité α apparaît beaucoup plus faible avec un écart moyen de 8 espèces par relevé (23 ici contre 31 pour les autres projets). Les conditions stationnelles des deux forêts étudiées étant très homogènes, la diversité floristique dépend très peu de ces dernières mais est étroitement liée à la structure forestière avec une diversité d'autant plus faible que la proportion de gros bois augmente (voir Tableau 8). *In fine*, les forêts peuvent être rattachées aux Hêtraies de l'*Asperulo-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 sans ambiguïté les forêts étudiées 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 $13,5 \pm 12,5$ m³/ha (0 à 70) mais avec des fortes variations entre placettes. Ainsi, 52 % des placettes ont des volumes inférieurs à 10 m³/ha et 48 % des volumes supérieurs. Des volumes supérieurs à 30 m³/ha ont été observés dans seulement 9 % des cas (voir Figure 34). Ce volume de bois mort est inférieur à celui observé lors des précédents projets avec un volume moyen de $19,5 \pm 29$ m³/ha (moyenne sur 697 placettes) (voir Tableau 6). Ce volume est également inférieur aux données moyennes des placettes du réseau futaie irrégulière (environ 23 m³/ha, 5726 placettes et 61 forêts, Brucciamachie, comm. Pers) et à la moyenne nationale issue des données de l'IGN (16 m³/ha ; données 2019). Le bois mort au sol est de petite dimension (579 bois mort au sol ; Dia. : $9,1 \pm 4,3$ cm (5 à 45 cm)). Il est très peu décomposé mais avec une écorce qui est souvent absente. Les bois morts sont en contact avec le sol dans 70 % des cas et ne correspondent pas à des chablis (seulement 7 % de chablis). La flore de l'assec est caractéristique de l'alliance du *Bidention tripartitae* avec également en mosaïque l'alliance de l'*Elatino triandrae-Eleocharition ovatae*. Pour les deux campagnes de relevés (2011 et 2021), 61 espèces différentes ont été inventoriées (voir Tableau 10). Selon la flore de Lorraine, 70 % des espèces sont très communes à assez communes et 30 % des espèces peu communes à très rares (voir Figure 42). 5 espèces sont des espèces rares et 3 des espèces très rares. Parmi les 3 espèces très rares, deux sont des espèces protégées régionalement : *Carex bohemica* et *Elatine hexandra*.

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 Mittel-europa. *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.
- 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.
- THORNTON 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 Photo aérienne et carte topographique IGN Scan 25 des forêts étudiées (environ 1000 ha) (Source https://www.geoportail.gouv.fr/carte).....	5
Figure 2 Évolutions des précipitations et températures annuelles sur la période 1950-2020 pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à 15 km de la forêt).....	6
Figure 3 Diagramme ombrothermique pour la station Météo-France de Nancy Tomblaine (Alt. 212 m ; Station à 15 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.....	7
Figure 4 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 selon les résultats des descriptions pédologiques (voir partie résultats : texture LA sur Argile ; plancher à 40 cm ; traces d'hydromorphie à partir de 27 cm ; enracinement fort avant le plancher et moindre après). Cette RU est sans doute sous-évaluée pour les Chênes mais semble raisonnable pour les Hêtres beaucoup plus sensibles aux contraintes d'engorgement que les chênes (enracinement nettement moins profond dans ces contextes). Les données en gras correspondent aux moyennes et écarts-types pour chaque période de 10 ans.....	8
Figure 5 Carte géologique simplifiée des forêts étudiées (Source AgroParisTech-2021 – C. Bresson). B = Brin ; A = Amance ; P = Privée ; numéro des parcelles.	10
Figure 6 Tableau de synthèse des stations forestières et de leurs caractéristiques avec synthèse du choix des essences.	11
Figure 7 Répartition spatiale des 95 placettes inventoriées en forêts de Brin (75) et domaniale d'Amance (15). La couleur des points correspond aux placettes installées par les 5 groupes d'étudiants (4-5 étudiants par groupe avec accompagnateurs pour réaliser les inventaires ; zones 5 et 6 regroupées).....	15
Figure 8 Espèces végétales classées par ordre décroissant de fréquence dans les relevés floristiques (n=95 relevés de 400 m ²). Seules les 38 espèces (parmi les 158 au total) présentes dans au moins 20 % des relevés sont présentées. Les espèces arborées/arbustives sont signalées par un histogramme vert.	16
Figure 9 Nombre de placettes par classe du nombre d'espèces par relevé (N=95 placettes au total et 158 espèces différentes). Le nombre moyen d'espèces par classe est également donné (ronds orange).....	16
Figure 10 Nombre de placettes par classe de similitude (N=95 placettes au total). La similitude moyenne par classe est également donnée (ronds marron). Plus la similitude est élevée et plus les relevés sont floristiquement semblables.....	18
Figure 11 Fréquences des différents types biologiques observés sur les 95 relevés (158 espèces différentes).	19
Figure 12 Fréquences des différents groupes écologiques selon la nomenclature de la flore forestière française observés sur les 95 relevés (158 espèces différentes).	19
Figure 13 Fréquences des différents groupes écologiques selon les valeurs indicatrices d'Ellenberg et al. 1992 observés sur les 95 relevés (158 espèces différentes).	21

Figure 14 Présence de la forêt de Brin-Amance sur la carte de Cassini (en haut, zone entourée) et sur la carte d'État-major (en bas) sur laquelle apparaît clairement l'étang (Source GéoPortail).	22
Figure 15 Fréquences des 25 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=95) selon la liste de Hermy et al. 1999. Seules les espèces présentes dans au moins 10 % des relevés sont présentées. Le nombre total d'espèces inventoriées est de 158 dont 52 espèces des forêts anciennes. Les espèces avec des histogrammes plus clairs n'apparaissent pas dans la liste de Dupouey et al. 2002.	23
Figure 16 Fréquences des 27 espèces des forêts anciennes les plus fréquentes dans les relevés (n=95) selon la liste de Dupouey et al. 2002. Seules les espèces présentes dans au moins 10 % des relevés sont présentées. Le nombre total d'espèces inventoriées est de 158 dont 47 espèces des forêts anciennes. Les espèces avec des histogrammes plus clairs n'apparaissent pas dans la liste de Hermy et al. 1999.	24
Figure 17 Fréquences des espèces des forêts récentes (n=97) et anciennes (n=61) 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.	24
Figure 18 Fréquences des espèces des forêts récentes (n=97) et anciennes (n=61) selon leurs groupes écologiques issus de la flore forestière française.	25
Figure 19 Fréquences des stations relevées en forêts de Brin et d'Amance (histogramme) avec la moyenne de la profondeur du plancher argileux (en cm, ligne bleue) et des traces d'hydromorphie (en cm, ligne orange). L = Limon ; A = Argileux ; V = Vallon ; H et h = hydromorphie. La lettre en capitale indique une forte hydromorphie (traces proches de la surface). Les stations ont été classées selon la texture dominante de surface et la topographie et, pour chaque classe de texture, selon la contrainte d'engorgement (de la plus forte à la plus faible selon la profondeur des traces d'hydromorphie et/ou du plancher argileux).	26
Figure 20 Cartographie des stations en forêts de Brin et d'Amance. L = Limon ; A = Argileux ; V = Vallon ; H et h = hydromorphie. La lettre en capitale indique une forte hydromorphie (traces proches de la surface). La carte en haut à droite représente le matériau parental.	26
Figure 21 Cartographie de la profondeur d'apparition d'un plancher argileux (en cm) [A] et des traces d'hydromorphie (en cm) [B] pour les 95 placettes installées en forêts de Brin et d'Amance.	27
Figure 22 Relation entre la profondeur d'apparition des traces d'hydromorphie (en cm) et la profondeur du plancher argileux (en cm). La figure [A] donne la relation en considérant la moyenne par station et la figure [B] la relation en considérant les 84 placettes parmi les 95 présentant un plancher argileux et des traces d'hydromorphie dans le sol. A = Argileux ; L = Limon ; H et h = hydromorphie.	28
Figure 23 Cartographie de la sensibilité des stations aux changements climatiques selon les recommandations du guide Plaine lorraine pour les 95 placettes installées en forêts de Brin et d'Amance. 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.	28
Figure 24 Diversité floristique moyenne (\pm écart-type) selon les stations rencontrées en forêts de Brin et d'Amance. Pour les stations, A = Argileux, L = Limon, H et h = hydromorphie. La valeur () correspond aux effectifs.	29
Figure 25 Fréquences de certains groupes écologiques (selon le classement de la flore forestière française) selon les stations rencontrées en forêts de Brin et d'Amance. Pour les stations, A = Argileux, L = Limon, H et h = hydromorphie. La valeur () correspond aux effectifs.	30

- Figure 26** | Cartographie de la surface terrière totale du peuplement (G_{tot} en m^2/ha) selon cinq classes. Dans chaque classe, la taille du symbole est fonction de la valeur de G_{tot} 33
- Figure 27** | Cartographie de la proportion (en %) des Chênes (en haut, Chêne sessile en majorité) et du Hêtre (en bas) dans la surface terrière totale du peuplement. Les symboles représentent les classes exprimées en %..... 34
- Figure 28** | Pourcentage des essences dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (G_{tot} en m^2/ha). Pour chacune des cinq classes, la première valeur entre parenthèses correspond au nombre de placettes dans la classe (n total = 95 placettes) et la seconde à la moyenne de la surface terrière totale (en m^2/ha). Par exemple, pour la classe [1-15], le nombre de placettes est de 15 et G_{tot} est en moyenne de 11,6. Pour cette classe, les feuillus divers (« Divers ») représentent en moyenne 40 % de G_{tot} et le tilleul cordé moins de 10 %. Pour les chênes, il s'agit de chêne sessile en grande majorité..... 35
- Figure 29** | Pourcentages des trois catégories de diamètres dans la surface terrière totale selon les classes de surface terrière totale (G_{tot} en m^2/ha). Pour chacune des cinq classes, la première valeur entre parenthèses correspond au nombre de placettes dans la classe (n total = 95 placettes) et la seconde à la moyenne de la surface terrière totale (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)... 36
- Figure 30** | Fréquences des types de peuplements dans les forêts de Brin et d'Amance selon la typologie de la Plaine lorraine. La valeur entre parenthèses correspond à la surface terrière moyenne (en m^2/ha). 1 = petit bois ; 2 = bois moyen ; 3 = gros bois et 5 = irrégulier. 36
- Figure 31** | Comparaison des types de peuplements entre les données de l'inventaire de 2008 et les données issues des relevés 2021. Pour l'inventaire 2018, il s'agit des proportions calculées par rapport aux surfaces inventoriées en 2008 sur la forêt de Brin exclusivement (total 571,34 ha) (hors trouées, chablis...) (voir [Tableau 3](#)). Pour les données 2021, il s'agit des proportions calculées à partir des 95 placettes pour les forêts de Brin et d'Amance ou des 75 placettes pour la seule forêt de Brin. TSF-Irrég. correspond aux notations de 2008 et [5x] aux peuplements irréguliers de 2021 [51-52 et 53]..... 37
- Figure 32** | Cartographie des types de peuplements selon la typologie de la Plaine lorraine. La forme des symboles représente les types « principaux » (1, 2, 3, 5) et l'intensité de la couleur les types « secondaires » (11, 12, 21...). 1, 2, 3, 5 = petit bois, bois moyen, gros bois et irrégulier..... 37
- Figure 33** | Stade de décomposition (fréquences dans les 4 classes) et présence de l'écorce (fréquence dans les 4 classes) pour les 579 bois morts au sol inventoriés. Pour le stade de décomposition, il s'agit du test du couteau (lame non enfoncée, lame enfoncée sur au plus $\frac{1}{4}$, lame enfoncée entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ et lame totalement enfoncée). Pour l'écorce, il s'agit du pourcentage de recouvrement de l'écorce sur le bois mort..... 38
- Figure 34** | Fréquences des volumes de bois mort au sol selon 5 classes (en m^3/ha) ($N=95$ placettes ; 2 placettes sans bois mort au sol). La valeur entre parenthèses correspond à la moyenne des volumes de bois mort en m^3/ha au sol dans la classe..... 39
- Figure 35** | Résultat de l'analyse en composantes principales effectuée sur la diversité floristique α (Alpha) observée sur les 95 relevés. La diversité est définie comme le nombre total d'espèces observées par relevé. [1] : % de variance expliquée par les différents axes. [2A] : répartition des 18 variables écologique (5) et sylvicole (13) sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique l'importance de la variable pour l'explication des axes (\cos^2). [2B] : répartition des 95 relevés sur le plan factoriel 1-2. La couleur indique le % de Gros bois dans la surface terrière totale (% GGB). [3] : Contributions des 10 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 1 (21,3 % de variance expliquée). [4] : Contributions des 10 meilleures variables à l'interprétation de l'axe 2 (14,4 % de

variance expliquée). Pour [3] et [4], la ligne rouge en pointillé indique le seuil significatif de la contribution des variables (ici $1/18 * 100 = 5,5 \%$). Voir texte pour les détails..... 42

Figure 36 | Répartition des 95 relevés sur le plan factoriel 1-2 selon les stations forestières, la profondeur d'apparition de l'hydromorphie (en classes et en cm) et la profondeur d'apparition du plancher argileux (3 classes, pas de plancher AV, avant 20 cm – Lav20 - et après 35 cm – LAp35). Les cercles indiquent les ellipses de confiance à 95 %. Des ellipses disjointes montrent des groupes totalement séparés..... 43

Figure 37 | Classification ascendante hiérarchique (méthode Ward 2) sur les 95 relevés. La CAH discrimine nettement 4 groupes de relevés selon leurs caractéristiques écologiques et dendrométriques (G1 = 37 relevés, G2 = 32, G3 = 11 et G4 = 15). 44

Figure 38 | Photos de l'évolution de l'assec de l'étang de Brin entre octobre 2010 et octobre 2011 (© F. Lebourgeois). 47

Figure 39 | Caractéristiques de l'étang de Brin en 2010 (vue Google Earth à 1,2 km) (F. Lebourgeois). 48

Figure 40 | Caractéristiques moyennes des groupements végétaux présents autour de l'étang de Brin. Les mesures ont été faites en juillet 2011 à partir de 14 transects répartis tout autour de l'étang (Spicher Fabien) (dessin F. Lebourgeois, 2021). 49

Figure 41 | Localisation des 7 relevés floristiques effectués dans le fond de l'étang de Brin en juin 2021 (début de l'assec de gestion en octobre 2020) (carte et photos © Neri et al. 2021)..... 50

Figure 42 | Répartition des 61 espèces inventoriées lors des assecs de gestion de Brin en 2011 et 2021 selon leur statut de rareté en Lorraine. 52

Figure 43 | Photos de *Carex bohemica* lors de l'assec de l'étang de Brin en 2011 (© F. Lebourgeois 2011)..... 53

Figure 44 | Photos d'*Elatine hexandra* lors de l'assec de l'étang de Brin en 2011 (© F. Lebourgeois 2011)..... 54

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 | Répartition des dégâts suite à la tempête de décembre 2003 en forêt de Brin. 12

Tableau 3 | Répartition des différents types de structures selon les essences dominantes (en ha selon les données de l'aménagement de 2008). 12

Tableau 4 | Synthèse des diversités α et β observées lors de 9 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). Plac. = Nombre total de placettes réalisées (une placette : 400 m² en contexte forestier fermé). Esp.= Nombre total d'espèces végétales relevées. CAGM = Calcaires, Argiles, Grès Rhétien et Marnes ; SGA = Sables, Grès et Argiles. 17

Tableau 5 | Espèces indicatrices des « Hêtraies-chênaies à Pâturin de chaix » (d'après les cahiers habitats, Natura 2000). Les espèces sur fond en vert foncé sont les espèces majeures pour la définition de l'habitat. Le % indique la fréquence des relevés contenant l'espèce (n=95 relevés). Le rang indique la fréquence de l'espèce parmi les 124 espèces recensées (hors espèce arborée).

Par exemple, le *Milium effusum* apparaît dans 89 % des relevés et est l'espèce la plus relevée des 124 recensées. 31

Tableau 6 | Volumes moyens de bois mort au sol observés lors des 7 projets étudiants précédents réalisés dans différentes forêts domaniales gérées. Les relevés ont été réalisés avec le même protocole et toujours à la même période (deuxième semaine de juin). 39

Tableau 7 | Fréquences des dendromicrohabitats exprimées en % des placettes (N=95) présentant des cavités hautes, basses, une altération des écorces, des champignons ou des lianes (gros lierre) sur 0, 1, 2 ou 3 arbres. 40

Tableau 8 | Évolution de la diversité floristique selon le pourcentage de gros bois dans la surface terrière totale du relevé (% GGB) (voir aussi figure 34). 43

Tableau 9 | Caractéristiques écologiques et dendrométriques des 4 groupes définis par la CAH. ... 44

Tableau 10 | Liste des 61 espèces inventoriées (par ordre alphabétique) lors des deux assecs de gestion de l'étang de Brin en 2011 et 2021. Les espèces en italiques sont les espèces inventoriées en 2011 et non relevées en 2021. Les deux espèces en gras sont les espèces à statut de protection régionale. 51