

Faculté des bioingénieurs

Adapter un protocole d'évaluation de la naturalité forestière pour le rendre plus fonctionnel et applicable

Retour critique sur l'outil ÉPIFOR

Auteur : Cédric de Tillesse
Promoteur : Yannick Agnan (ELIE)
Lecteur·ice : Lea Mouton (ULiège)
Mathieu Jonard (ELIE)

Année académique 2025-2026

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Bioingénieur : Gestion des forêts et des espaces naturels

Remerciements

Je remercie chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire et qui m'ont aidé, accompagné et soutenu sur le terrain ou lors de la rédaction.

Je tiens d'abord à remercier mon promoteur Yannick Agnan pour son soutien, son encadrement et sa disponibilité imbattables. Grâce à son accompagnement sur le terrain, à ses relectures et aux nombreuses (et parfois longues) réunions, j'ai développé mon esprit critique et beaucoup appris sur la manière dont se pratique la science. Merci pour son humour et ses analogies. Et merci bien sûr pour les conseils lecture, les prêts de livre, les carrés de chocolat et les thés. Tout est mieux avec du chocolat et du thé.

Merci à Lea Mouton et à Mathieu Jonard d'avoir accepté d'être mes relecteurs et pour l'intérêt qu'ils ont apporté à ce mémoire. Et merci à Catherine Biache pour ces mêmes raisons, même si cela n'a finalement pas été possible.

Un grand merci à Lea Mouton de m'avoir aidé à identifier les bryophytes récoltés sur le terrain pour pas moins de 38 sachets d'échantillonnage dans les locaux de l'ULiège.

Merci à Nathalie Simon d'avoir pris le temps de répondre à mes questions concernant le questionnaire et d'y avoir porté de l'intérêt. Merci à elle, à Lionel Wibail, à Aurélie Jeunieux et à Gilles Schobbens pour la transmission du questionnaire aux utilisateurs d'ÉPIFOR.

Merci beaucoup aussi à Fabien, Hugo et Georgé de m'avoir accompagné sur le terrain (et encore à Fabien pour ses relectures). Merci à Thibault Tyrion d'avoir pris le temps de me montrer des peuplements intéressants à prospecter à Lauzelle.

Merci à Mathilde Trévisan de m'avoir fourni les cartes des peuplements de Marche-en-Famenne et de m'avoir accompagné sur le terrain.

Merci également à Patricia Taffarel et Damien Rouvroy pour m'avoir autorisé à accéder au cantonnement de Marche-en-Famenne, et à Hélène Huet et Patrick Verté pour l'autorisation concernant le cantonnement de Habay.

Merci à Tanguy de m'avoir prêté sa chaîne relascopique et partagé ses documents.

Enfin, merci à Jo et Maximilien pour leur amitié. Merci à mes parents pour leur soutien et leurs relectures. Et merci à Fanny pour tout.

CRediT

CrediT	Cédric de Tillesse	Contributeur-ices*	Intelligence artificielle
Conceptualisation	X	YA	
Méthodologie	X	YA	
Investigation	X	FD, HC, LM, MT, YA	
Analyse formelle	X		X
Validation	X		
Rédaction – version originale	X		
Rédaction – révision et édition	X	FD, YA	X
Visualisation	X		
Supervision		YA	

*FD : Fabien Dierckx, HC : Hugo Counoy, LM : Lea Mouton, MT : Mathilde Trévisan, YA : Yannick Agnan.

Pour information, voici la taxonomie CRediT :

- Conceptualisation : élaboration de l'idée de recherche principale, formulation des objectifs et des hypothèses ;
- Méthodologie : conception du protocole de recherche, choix des méthodes d'analyse ;
- Investigation : conduite du processus de recherche et collecte des données ;
- Analyse formelle : application de techniques statistiques, mathématiques ou autres méthodes formelles pour analyser ou synthétiser les données de recherche ;
- Validation : vérification et confirmation des résultats, réplication des analyses ;
- Rédaction – version originale : rédaction de la première version du manuscrit ;
- Rédaction – révision et édition : révision et correction du contenu intellectuel ainsi que de la forme ;
- Visualisation : préparation, création et/ou présentation des éléments visuels de l'œuvre publiée, en particulier la représentation des données ;
- Supervision : responsabilité de la direction et de l'encadrement des activités de recherche, y compris la planification et l'exécution.

Usage de l'intelligence artificielle

Les outils d'intelligence artificielle utilisés au cours du mémoire sont les suivants : Consensus, pour la recherche bibliographique ; NoteBookLM, pour la synthèse d'articles scientifiques ; Duck.ai, pour l'aide dans l'application de certaines techniques statistiques et la reformulation.

Table des matières

Remerciements.....	1
CRédiT	2
Table des matières.....	3
Liste des figures	5
Liste des tableaux	8
1. Introduction.....	9
2. État de l’art.....	10
2.1. Forêts et naturalité	10
2.1.1. La forêt et son importance	10
2.1.2. Dégradation de la forêt.....	11
2.1.3. La naturalité.....	13
2.1.4. Principes et outils de mesure de la naturalité forestière	13
2.2. Les lichens comme bioindicateurs de la naturalité en forêt	15
2.2.1. Les lichens.....	15
2.2.2. La bioindication.....	17
2.2.3. ÉPIFOR, un outil pour évaluer la naturalité forestière	20
3. Objectifs et démarche	22
3.1. Objectifs.....	22
3.1.1. Objectif général	22
3.1.2. Sous-objectifs et hypothèses de travail	22
3.2. Démarche.....	22
4. Matériels et méthodes	24
4.1. Enquête utilisateurs et gestion des données	24
4.1.1. Conception et diffusion.....	24
4.1.2. Structure et contenu.....	24
4.1.3. Confidentialité et gestion des données	25
4.2. Inventaires de terrain et protocole d’échantillonnage	25
4.2.1. Aire d’étude	25
4.2.2. Échantillonnage	29
4.2.3. Collecte des données sur le terrain.....	30
4.2.4. Traitement et analyse des données	32
5. Retour critique des utilisateurs d’ÉPIFOR.....	33

5.1. Profil des répondants	33
5.2. Retour critique.....	34
5.3. Recommandations d'amélioration	38
5.3.1. Améliorer la formation	38
5.3.2. Faciliter l'identification	39
5.3.3. Réduire la durée d'application.....	40
5.3.4. Compléter ÉPIFOR avec d'autres indicateurs.....	41
5.3.5. Proposer une carte interactive	41
5.3.6. Autres propositions.....	43
5.4. Biais potentiels	43
6. Simplifications du protocole ÉPIFOR	44
6.1. Résultats des inventaires et caractérisation des sites.....	44
6.1.1. Description des peuplements et résultats ÉPIFOR par placette.....	44
6.1.2. Comparaison des scores avec l'Indice de Biodiversité Potentielle.....	45
6.1.3. Hétérogénéité spatiale entre placettes	47
6.2. Réduction du nombre d'épiphytes et influence des caractéristiques des peuplements sur les scores ÉPIFOR.....	47
6.2.1. Impact de la simplification sur les scores ÉPIFOR	47
6.2.2. Effet du bois mort.....	50
6.2.3. Effet de la surface terrière	51
6.2.4. Effet du phorophyte.....	53
6.3. Réduction du nombre d'arbres	55
6.3.1. Effet de la circonférence.....	55
6.3.2. Effet de la réduction du nombre d'arbres.....	57
6.4. Réduction du nombre de sous-placettes	62
7. Conclusion et perspectives	64
Références.....	66
Annexes.....	80

Liste des figures

Figure 1 – Proportion et distribution mondiale des forêts dans le monde selon la zone climatique : tropicale, boréale, tempérée ou subtropicale (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020).....	10
Figure 2 – Variation nette annuelle de la superficie forestière mondiale, par décennie, entre 1990 et 2020 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020).	11
Figure 3 – Indice agrégé de risque d'incendie de forêt en Europe de l'ouest, <i>via</i> le satellite <i>Sentinel-2 cloudless 2024</i> . Le risque d'incendie représente la probabilité qu'un feu démarre, se propage et cause des dommages significatifs, résultant de conditions météorologiques, disponibilité de combustible, topographie et activités humaines. Les points rouges indiquent le pourcentage de la cellule spatiale classée à haut risque d'incendie, du plus clair (risque faible) au plus foncé (risque élevé ; European Commission, 2024).	12
Figure 4 – Types de dendromicrohabitats et indicateurs de l'IBP (Larrieu & Gonin, 2008a). .	14
Figure 5 – Coupe transversale d'un lichen montrant ses différentes structures. Les cellules algales sont colorées en vert et les hyphes du champignon sont en beige (Suno <i>et al.</i> , 2021).	15
Figure 6 – Formes de croissance des lichens représentant les différentes classes de thalles (Piepenbring <i>et al.</i> , 2015).	16
Figure 7 – À gauche : schéma et image d'un thalle hétéromère. À droite : thalle homoiomère. Haut : AquaPortail, 2026. Bas : Spribille, 2025.....	16
Figure 9 – Évaluation de la qualité de l'air par des lichens indicateurs (Hawksworth & Rose, 1970).	18
Figure 10 – Schéma conceptuel décrivant les relations entre les principaux facteurs de pollution et les approches méthodologiques fondées sur les réactions des lichens, adoptées dans les écosystèmes forestiers (Brunialti & Frati, 2023).	19
Figure 11 – <i>Usnea longissima</i> est un lichen fruticuleux très sensible à la pollution atmosphérique (Parc national des Pyrénées, 2026).	20
Figure 12 – Éventail d'ÉPIFOR, outil d'évaluation de la naturalité forestière en Wallonie (Delahaye <i>et al.</i> , 2024).	21
Figure 13 – Démarche générale.	23
Figure 14 – Représentation cartographique des unités spatiales. Les cartes sont à lire de gauche à droite : Wallonie -> Habay -> Site 4 -> Placette A3. Chaque point matérialise une unité d'échantillonnage, de taille réelle différente selon la carte. Les rectangles correspondent à la surface représentée sur la carte suivante. Carte réalisée sur QGIS.	27
Figure 15 – Exemple de lichen observé en chênaie-hêtraie dans le cantonnement d'Anlier/Habay (<i>Pertusaria pertusa</i>).	29
Figure 16 – Éventail du protocole ÉPIFOR.....	30

Figure 17 – Représentation schématique d’une placette d’échantillonnage de l’inventaire ÉPIFOR. Un site compte une à trois placettes et chaque placette est composée de cinq arbres principaux, chacun accompagné de trois arbres secondaires.	31
Figure 19 – Relascope à chaînette utilisé pour mesurer la surface terrière.....	32
Figure 20 – Proportion des répondants gérant principalement une futaie irrégulière ou jardinée.....	33
Figure 21 – Nombre d'utilisations du protocole parmi les répondants.....	34
Figure 22 – Durées d'application du protocole sur le terrain, hétérogènes selon les répondants.	34
Figure 23 – Cette figure illustre dans quelle mesure les répondants jugent faciles les étapes du protocole présentées à gauche.....	35
Figure 24 – Cette figure indique dans quelle mesure les répondants sont d'accord avec les affirmations présentées à gauche.....	36
Figure 25 – Ce graphique représente les principaux freins rencontrés par les répondants dans leur utilisation du protocole. Quinze répondants ont mentionné des problèmes relatifs à l’identification, neuf ont mentionné la formation, neuf la durée, cinq l’utilisation de la loupe. L’importance du frein est fondée sur le nombre de réponses mentionnant le problème spécifié en ordonnée.	37
Figure 26 – Avis de répondants concernant le nombre d'épiphytes et d'arbres à inventorier.	37
Figure 27 – Proportion des répondants souhaitant une carte interactive qui reprendrait les scores de naturalité en Wallonie.	38
Figure 28 – Total d'observations lichéniques pour l’ensemble des zones.	39
Figure 29 – Exemple de carte interactive qui pourrait être constituée sur base des scores de naturalité fournis par les contributeurs.	42
Figure 30 – Répartition des essences parmi les 240 arbres inventoriés pour ce mémoire.....	44
Figure 31 – IBP « contexte » <i>versus</i> IBP « peuplement et gestion ». La classe ÉPIFOR est représentée par des couleurs afin d’évaluer visuellement la potentielle existence d’une relation entre score ÉPIFOR et valeurs d’IBP.	46
Figure 32 – Localisation des placettes (points rouges) L1, au nord-ouest (îlot C) et L2, au sud-est (îlot F ; Projet Intégré En Forêt et Espaces Naturels, 2025).	46
Figure 33 – Localisation de la placette L3, dans l’îlot D2 dans autre compartiment que les deux placettes précédentes (Projet Intégré En Forêt et Espaces Naturels, 2024).	47
Figure 34 – Nombre d'espèces lichéniques uniques et communes entre les trois essences sur lesquelles les lichens sont les plus représentés (chênes, hêtres et charmes).	49
Figure 35 – Distribution du volume de bois mort en m ³ pour les placettes classées 0 et 1. Les boîtes indiquent la médiane et l’interquartile (Q1 à Q3). Les moustaches s’étendent au maximum jusqu’à 1,5 × l’intervalle interquartile.....	51
Figure 36 – Relation entre la surface terrière (m ² ·ha ⁻¹) et le volume de bois mort (m ³) pour chaque placette. Les points sont colorés selon la classe ÉPIFOR et la taille des points est	

proportionnelle au nombre d'espèces lichéniques. La variabilité est faible dans cet échantillon (n = 12) et aucune tendance nette n'apparaît.	52
Figure 37 – L'une des chênaies du cantonnement d'Anlier/Habay étudiées dans le cadre du mémoire.	54
Figure 38 – Hêtraie prospectée sur le terrain à Marche-en-Famenne.	54
Figure 39 – Distribution normalisée des essences principales selon le nombre de lichens hébergés; chaque valeur représente le nombre d'individus relevés sur les arbres d'une même essence dans une placette.	55
Figure 40 – Représentation des variations de circonférence des arbres entre les trois zones de l'aire d'étude.	56
Figure 41 – Parmi les 240 arbres échantillonnés (12 placettes × 5 gros et 15 petits arbres), les gros arbres hébergent plus d'espèces de lichens que les petits, en particulier parce qu'ils offrent davantage de surface et de microhabitats stables favorables aux lichens. En moyenne, il y a environ 0,38 espèce par gros arbre contre 0,13 espèce par arbre toutes tailles confondues.	58
Figure 42 – Nombre d'espèces lichéniques uniques par placette selon la catégorie de circonférence de l'arbre. Parmi les espèces figurant sur le graphique (parfois de niveau d'indication « bon » et « élevé » sur la même barre), la placette M2 compte deux espèces « élevé » sur les gros arbres. Les petits arbres présentent également des espèces « élevé » : une à M3 et M4, et deux à A5. Les autres espèces sont classées « bon ».	58
Figure 43 – La plupart des placettes présentent un ratio de capture de la richesse égal à 1 (aucune perte) lorsque l'on ne se base que sur les cinq gros arbres, mais deux placettes (L2 et M3) ont un ratio de 0 (absence totale d'espèces détectées avec les seuls gros arbres). Elles affichaient déjà une naturalité faible (classe 0) et peu de lichens (deux espèces chacune) ; la perte totale d'espèces n'altère donc pas significativement leur évaluation initiale. Globalement, la méthode « cinq gros arbres » conserve la classe ÉPIFOR dans 10 placettes sur 12 (83 %).	60
Figure 44 – Nombre d'espèces de lichen détectées par placette. Si les cinq gros arbres fournissent autant d'espèces que l'ensemble des 5 gros et 15 petits, les petits n'apportent rien.	61
Figure 45 – Comparaison de la richesse lichénique, montrant les pertes lorsque l'on considère uniquement les gros arbres (points situés en dessous de la diagonale, en rouge pour les moins représentatifs de la valeur initiale). L'idéal est l'équivalence des méthodes (points x alignés sur y). La richesse est souvent identique et la corrélation est élevée, malgré plusieurs placettes (L2, M3, M4, A5) montrant des diminutions.	61
Figure 46 – Variabilité du nombre d'espèces de chaque placette entre cinq <i>versus</i> trois sous-placettes. La taille des boxplots reflète l'incertitude ; la comparaison de la médiane (barres noires horizontales) au point de référence (moyenne des cinq sous-placettes ; points rouges) permet de détecter un biais éventuel.	63

Liste des tableaux

Tableau 1 – Hiérarchie spatiale des échelles d'étude et dates de terrain associées aux placettes. La couleur verte représente la naturalité supposée : faible en vert clair, élevée en vert foncé. La couleur bleue représente la chronologie de l'échantillonnage : du plus ancien (bleu clair) au plus récent (bleu foncé).	26
Tableau 2 – Localisation des placettes.	27
Tableau 3 – Résultat de naturalité ÉPIFOR : nombre d'espèces et scores par placette pour l'ensemble des épiphytes (lichens et bryophytes) relevés sur le terrain. Code couleur par zone : bleu = bois de Lauzelle, jaune = cantonnement de Marche-en-Famenne, vert = cantonnement d'Anlier/Habay.	45
Tableau 4 – Comparaison du nombre d'espèces et de scores lorsque lichens et bryophytes sont pris en compte <i>versus</i> lichens uniquement.	48
Tableau 5 – Comparaison du score lichénique de chaque placette avec son volume de bois mort en m ³ et sa surface terrière en m ² ·ha ⁻¹	50
Tableau 6 – Comparaison du nombre d'individus, des espèces et des scores ÉPIFOR lichéniques sur chêne et sur hêtre.	54
Tableau 7 – Comparaison des circonférences des arbres selon la zone.	56
Tableau 8 – Comparaison du nombre d'espèces et de scores entre inventaire complet (5 gros + 15 petits arbres) et inventaire limité à cinq gros arbres.	57
Tableau 9 – Nombre d'individus de lichens portés par les gros et les petits arbres, selon l'espèce. Le nombre porté par les petits arbres est ramené au nombre de gros arbres pour garder des proportions adéquates.	59
Tableau 10 – Perte d'espèces lichéniques et de classes ÉPIFOR lorsque l'on passe de cinq à trois sous-placettes.	62

1. Introduction

Les forêts séquestrent le carbone dans la biomasse et les sols, contribuent à la régulation du climat, régulent les températures et le cycle de l'eau, protègent les sols, hébergent une biodiversité essentielle et fournissent des services écosystémiques ainsi que des revenus à de nombreuses populations rurales (IUCN, 2022; Rajasugunasekar *et al.*, 2023). Le changement climatique, la déforestation et la surexploitation menacent ces fonctions (Faluyi & Irmak, 2023). Mesurer ces dégradations est donc indispensable ; la naturalité — le degré de proximité d'un écosystème par rapport à son état naturel — constitue une métrique pertinente pour cet objectif, fondée sur des éléments tels que l'impact humain, la structure forestière, les essences d'arbres, la faune et le bois mort (Winter, 2012).

Plusieurs méthodes permettent d'évaluer la naturalité : inventaires forestiers, télédétection, indices paysagers ou opérationnels. Toutefois, ces outils sont souvent lourds à mobiliser pour un gestionnaire de terrain : besoins importants en données et en expertise, temps de mise en œuvre élevé et sensibilité limitée aux variations fines qui déterminent la présence d'espèces spécialistes.

Les bioindicateurs, en particulier les lichens épiphytes (des symbioses algue-champignon vivant sur les troncs d'arbres), fournissent un signal intégré à long terme, sensible aux microhabitats et aux apports atmosphériques, et constituent un outil opérationnel pour évaluer la naturalité. La richesse lichénique est fortement liée au degré de naturalité (Czerepko *et al.*, 2021). Sur ce principe, l'Université catholique de Louvain (UCLouvain), l'Université de Liège (ULiège) et Epiphytia (une structure belge accompagnant la résilience des forêts) ont développé ÉPIFOR, un protocole visant la simplicité et l'applicabilité. Destiné à la gestion courante, il est fondé sur l'identification de lichens et de bryophytes épiphytes pour estimer un indice de naturalité dans les chênaies et hêtraies wallonnes.

Aucun retour critique sur l'utilisation d'ÉPIFOR n'ayant à ce jour été formalisé, ce mémoire a pour objectif d'évaluer l'outil *via* un questionnaire et des relevés de terrain, afin de formuler des recommandations d'amélioration.

2. État de l'art

2.1. Forêts et naturalité

2.1.1. La forêt et son importance

La forêt joue un rôle central sur la planète. Sa définition varie selon les objectifs (services écosystémiques, conservation) et de critères hétérogènes tels que le couvert, la hauteur, la composition, l'origine et la continuité (Chazdon *et al.*, 2016). La définition la plus utilisée au niveau mondial est celle de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture : surface terrestre minimale de 0,5 hectare, végétation dominée par des arbres capables d'atteindre au moins 5 m de hauteur, présentant un recouvrement de la canopée supérieur à 10 %, incluant les stades temporaires sans arbres lorsque la vocation reste forestière (FAO, 2000).

Les forêts constituent l'un des principaux biomes terrestres, couvrant près de 31 % des terres émergées, soit entre 4,0 et 4,6 milliards d'hectares (Potapov *et al.*, 2022). En Europe, les forêts occupent environ 40 % de la superficie (190 millions d'hectares), ce qui en fait l'une des régions les plus boisées du monde (**Figure 1** ; European Environment Agency., 2014).

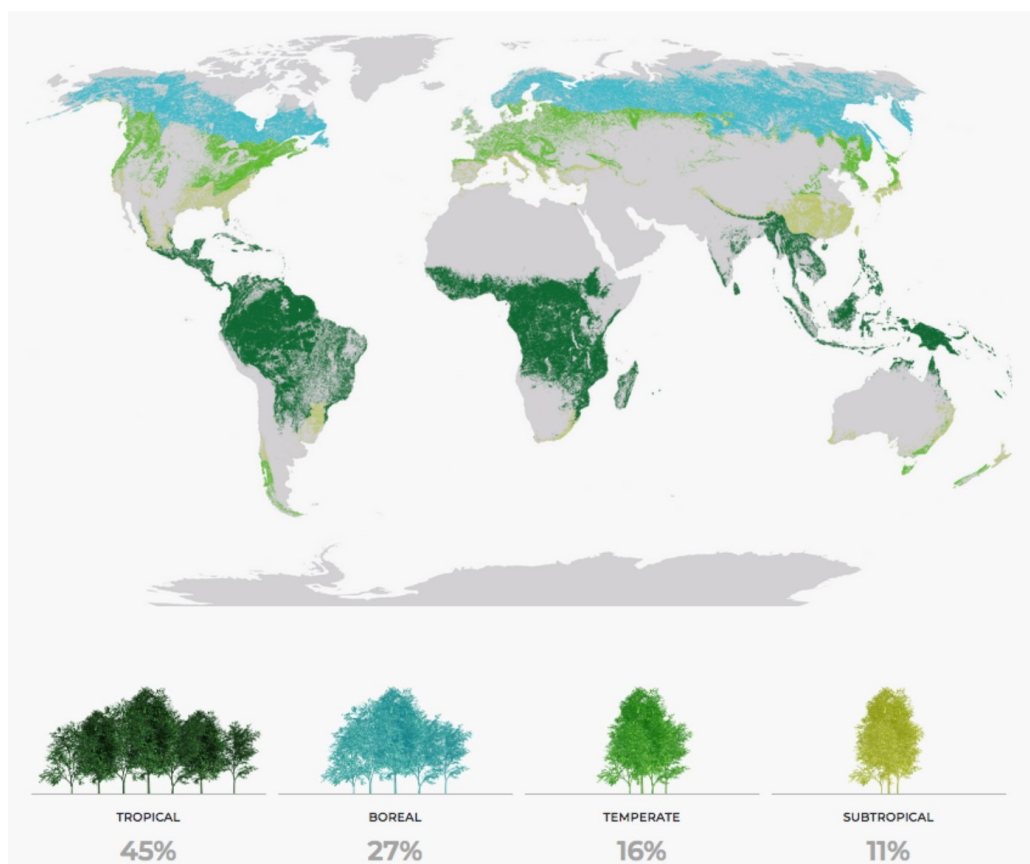


Figure 1 – Proportion et distribution mondiale des forêts dans le monde selon la zone climatique : tropicale, boréale, tempérée ou subtropicale (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020).

Ces écosystèmes multifonctionnels offrent une mosaïque d’habitats à de nombreuses espèces de plantes herbacées, faune, champignons et microorganismes, dont certaines sont strictement forestières et dépendantes de conditions écologiques spécifiques, comme la continuité forestière, la présence de bois mort ou de microclimats particuliers. Ces espèces représentent 80 % de la biodiversité terrestre (Toivonen *et al.*, 2023). Une diversité forestière plus élevée tend à renforcer la résilience fonctionnelle, spécifique et génétique des forêts (Thompson *et al.*, 2009). Leur complexité structurelle et fonctionnelle soutient des services essentiels ; la surface terrière et le diamètre des arbres, positivement corrélés au stock de carbone, constituent des indicateurs simples pour estimer ces services (Nazeri *et al.*, 2025). Elles régulent climat et eau, préviennent l'érosion et filtrent les polluants. Elles fournissent également bois et produits non ligneux, maintiennent des fonctions écosystémiques importantes, et offrent des services récréatifs, culturels et paysagers (Brockerhoff *et al.*, 2017; Rajasugunasekar *et al.*, 2023; Soberón & Llorente, 1993). À l’échelle mondiale, près d’1,6 milliard de personnes, majoritairement les populations les plus pauvres, dépendent des forêts pour leur subsistance (IUCN, 2022). Les forêts contribuent substantiellement à l’économie globale, fournissant entre 75 et 100 milliards de dollars par an en biens et services.

2.1.2. Dégradation de la forêt

Pourtant, les forêts se dégradent à grande échelle, menaçant les communautés qui en dépendent. Leurs fonctions écologiques s’érodent, conduisant à une diminution des services écosystémiques et à des émissions de carbone significatives (DellaSala *et al.*, 2025; Vásquez-Grandón *et al.*, 2018). Dans le monde, la superficie forestière continue de diminuer, malgré un rythme plus lent qu’auparavant (Figure 2).

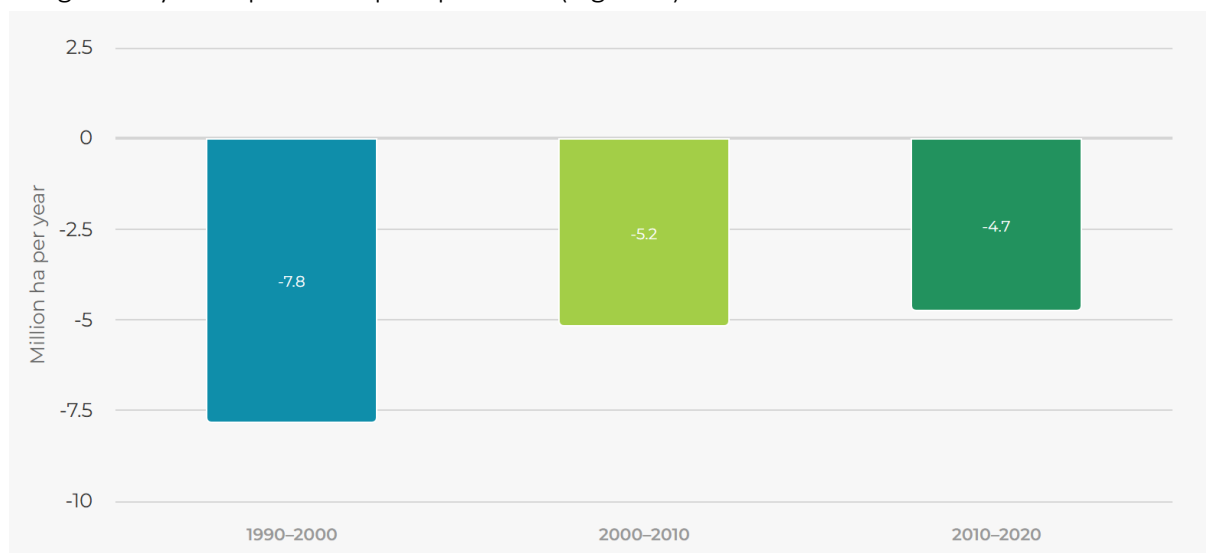


Figure 2 – Variation nette annuelle de la superficie forestière mondiale, par décennie, entre 1990 et 2020 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020).

En Europe, les forêts ont été profondément transformées par des siècles d’exploitation et de gestion : fragmentation, conversion en plantations monospécifiques et simplification

structurelle ont réduit la biodiversité (Patacca *et al.*, 2023). Une augmentation marquée des dégâts liés au vent, aux feux de forêt et aux scolytes a été observée dans 34 pays européens, représentant en moyenne 43,8 millions de m³ de bois affectés par an depuis 1950. Sur les 20 dernières années, ces perturbations ont représenté en moyenne 16 % des prélèvements forestiers annuels. Environ un tiers des forêts européennes présente un état de déclin (baisse du couvert arboré, du carbone du sol et de la richesse en espèces menacées) malgré une légère amélioration entre 2000 et 2018 (Maes *et al.*, 2023). Les trois quarts des forêts présentent une répartition homogène des âges et des tailles des arbres et un tiers d'entre elles est dominé par une seule espèce, tandis que 50 % sont limités à deux ou trois espèces (European Union, 2023). Ce manque de diversité en essences réduit la résilience des massifs. Plus de 60 % de la biomasse forestière européenne est exposée à des risques tels que les incendies (Figure 3), les ravageurs, les maladies ou les tempêtes, affectant la fourniture de services.

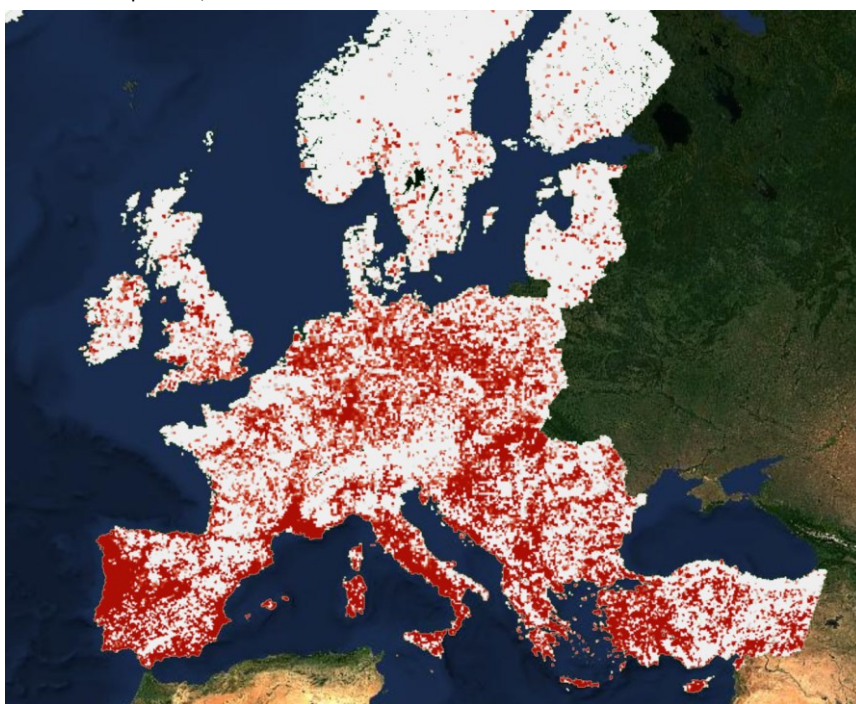


Figure 3 – Indice agrégé de risque d'incendie de forêt en Europe de l'ouest, via le satellite *Sentinel-2 cloudless* 2024. Le risque d'incendie représente la probabilité qu'un feu démarre, se propage et cause des dommages significatifs, résultant de conditions météorologiques, disponibilité de combustible, topographie et activités humaines. Les points rouges indiquent le pourcentage de la cellule spatiale classée à haut risque d'incendie, du plus clair (risque faible) au plus foncé (risque élevé ; European Commission, 2024).

La déforestation et la dégradation des forêts émettent annuellement 5 à 10 gigatonnes d'équivalent dioxyde de carbone par an dans le monde (IUCN, 2022). Ce total net comprend à la fois les émissions libérées par les terres et les forêts (par exemple lors de l'abattage d'arbres ou de la décomposition de la matière organique dans les sols) et le carbone absorbé dans l'atmosphère à mesure que les forêts se développent.

En Belgique et en Wallonie, l'action humaine a non seulement réduit et reconfiguré les forêts (Kervyn *et al.*, 2014), mais a aussi modifié les conditions locales (structure du couvert,

régulation hydrique, fragmentation), ce qui accroît la vulnérabilité des essences sensibles ; le hêtre montre ainsi en Wallonie des signes de dépérissement liés au stress hydrique (Pirronitto *et al.*, 2022). Pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts, la migration assistée et la diversification des essences sont préconisées (Grossiord *et al.*, 2015).

Dans ce contexte, l'Union européenne a formulé des objectifs de conservation dans sa stratégie biodiversité 2030, incluant des cibles de protection territoriale et de restauration de corridors écologiques (Forest Europe Growing Life, 2020). Le plan prévoit notamment de protéger 30 % des terres et des mers d'ici 2030, dont 10 % en réserve intégrale, et de planter trois milliards d'arbres. Une manière d'orienter la gestion et la conservation est d'évaluer le degré de similitude des forêts avec leur état naturel originel (Gregor *et al.*, 2024), c'est-à-dire leur naturalité.

2.1.3. La naturalité

La naturalité mesure la proximité d'un écosystème à l'état qu'il atteindrait naturellement sans impacts humains, compte tenu de son contexte biophysique et historique (Du Bus De Warnaffe & Devillez, 2002 ; Winter, 2012). La naturalité se lit sur quatre axes :

- structurel (organisation spatiale et verticale, classes d'âge) ;
- compositionnel (diversité d'espèces, essences indigènes) ;
- fonctionnel (processus écologiques, régénération) ;
- et historique (continuité temporelle, intensité des usages passés).

Plusieurs auteurs (Benest *et al.*, 2022; Gosselin *et al.*, 2022; Guette *et al.*, 2018) distinguent naturalité anthropique (liée à l'absence d'impacts humains) et naturalité biologique (fondée sur le maintien des interactions naturelles entre espèces et cycles écologiques). La naturalité est mobilisée pour privilégier les zones de conservation et guider les pratiques de gestion proches des dynamiques naturelles ; sa mesure nécessite des métriques multi-dimensionnelles et multi-indicateurs (Saltz & Cohen, 2025).

2.1.4. Principes et outils de mesure de la naturalité forestière

Plusieurs outils permettent d'évaluer ces différentes dimensions : le Forest Landscape Integrity Index combine fragmentation, infrastructures humaines et continuité d'habitats à grande échelle ; les inventaires forestiers fournissent des données détaillées de structure et de composition ; la télédétection offre une analyse spatiale extensive (mais reste peu sensible par exemple pour les microhabitats). Des outils opérationnels pour gestionnaires ont aussi été développés, tels que l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP), qui estime le potentiel d'accueil de la biodiversité à partir de critères structurels et contextuels comme la présence de dendromicrohabitats (Figure 4 ; Larrieu & Gonin, 2008). Cet outil est d'ailleurs positivement corrélé à la richesse lichénologique (Zeller *et al.*, 2022). De tels indicateurs de peuplement et de biodiversité structurelle (grands arbres, ouverture de la canopée, ancienneté) peuvent être

praticables par des non-spécialistes et leur utilisation est économique (Ćosović *et al.*, 2020). Plus complet, mais complexe à utiliser opérationnellement, For-Eval est une application mobile d'aide aux diagnostics de gestion durable des sols forestiers (ONF, 2026). Le concept High Nature Value identifie, lui, les massifs à forte valeur écologique en lien avec une gestion extensive et une longue continuité historique, principalement pour la planification et les politiques publiques (European Environment Agency., 2014).

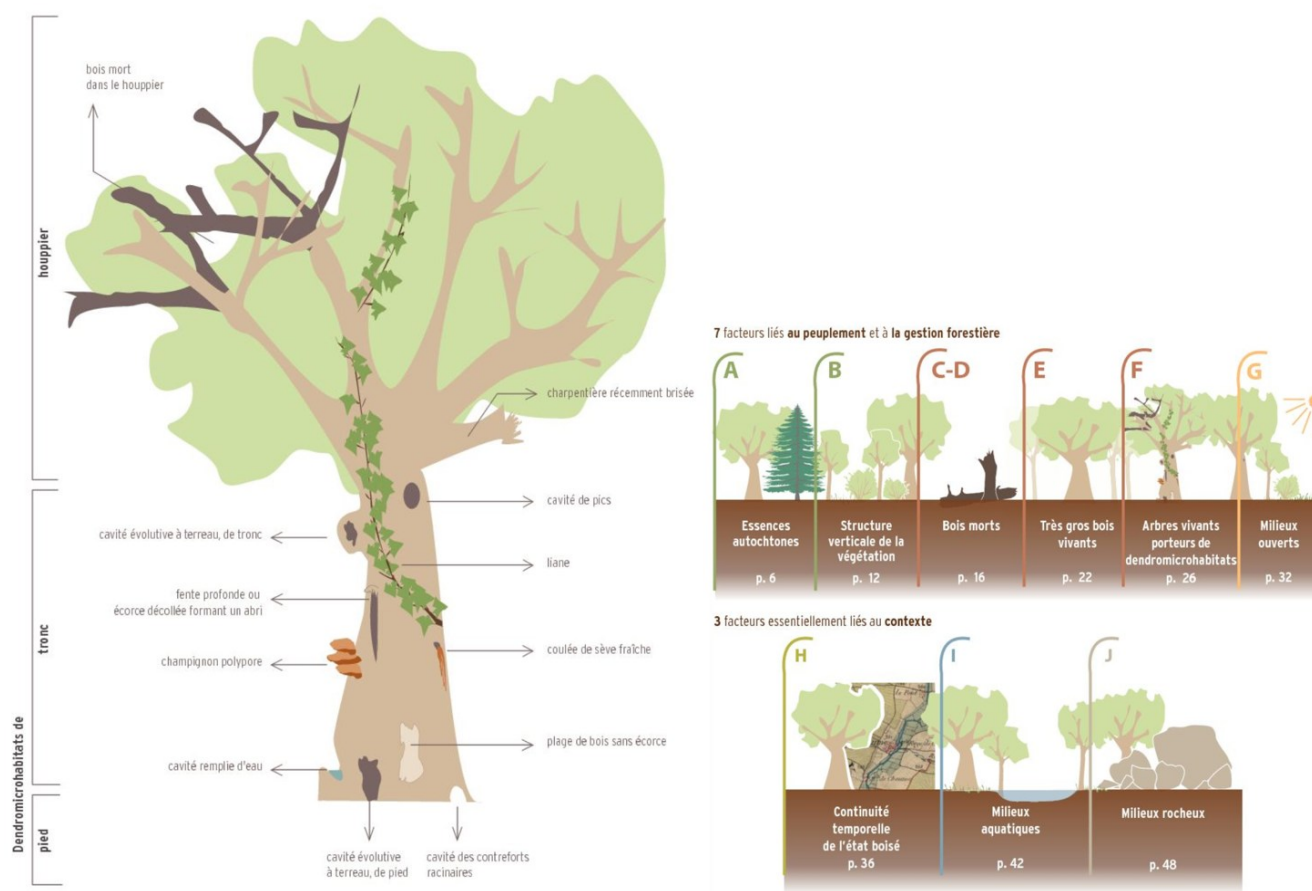


Figure 4 – Types de dendromicrohabitats et indicateurs de l'IBP (Larrieu & Gonin, 2008a).

Ces approches — indices paysagers et opérationnels, inventaires, télédétection — quantifient la naturalité selon des critères structuraux, compositionnels et contextuels, mais exigent généralement d'importantes masses de données, du temps et une expertise spécialisée, et peuvent manquer de sensibilité aux variations fines qui déterminent la présence d'espèces spécialistes. Les bioindicateurs, notamment les lichens épiphytes, apportent quant à eux un signal intégré à long terme, sensible aux microhabitats et aux apports atmosphériques, et constituent un outil opérationnel et interprétable pour évaluer la naturalité forestière.

2.2. Les lichens comme bioindicateurs de la naturalité en forêt

2.2.1. Les lichens

Nature, définition et partenaires symbiotiques

Les lichens forment un ensemble fascinant et très diversifié d'organismes symbiotiques : un champignon (le mycobionte) s'unit intimement à une algue verte ou à une cyanobactérie (le photobionte) pour composer un thalle unique (Figure 5). Les définitions récentes considèrent les lichens comme un exemple emblématique de mutualisme, où chaque partenaire tire avantage de l'association (Hawksworth & Grube, 2020).

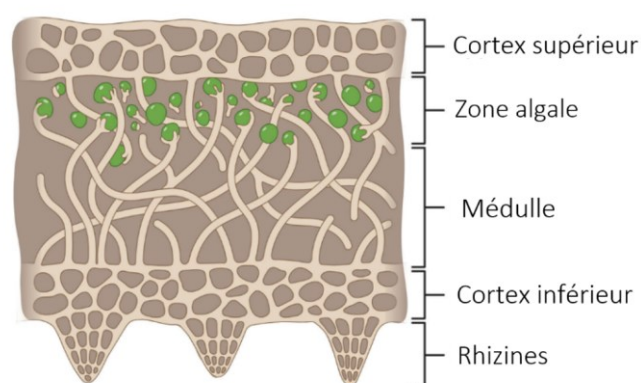


Figure 5 – Coupe transversale d'un lichen montrant ses différentes structures. Les cellules algales sont colorées en vert et les hyphes du champignon sont en beige (Suno *et al.*, 2021).

Le mycobionte, généralement un ascomycète, forme le thalle et détermine le nom de l'espèce. Le photobionte assure la photosynthèse et fournit la majeure partie des sucres nécessaires au lichen. Des associés supplémentaires (levures basidiomycètes, bactéries) peuvent compléter l'holobionte lichénique (Hawksworth & Grube, 2020 ; Spribille, 2025). Les estimations récentes indiquent plus de 19.300 espèces lichéniques décrites (dont 390 en Belgique), la majorité étant rares et restreintes à peu d'écorégions (Manzitto-Tripp *et al.*, 2022 ; Scharnagl *et al.*, 2023).

Morphologie

Morphologiquement, on distingue classiquement au moins trois formes de thalle : crustacé, foliacé et fruticuleux (Figure 6).

- Les lichens crustacés représentent environ 50 % des lichens ascomycètes. Ils forment une croûte étroitement fixée au substrat, qui ne peut être retirée sans destruction. Ils n'ont souvent pas de cortex inférieur.
- Les lichens foliacés possèdent un thalle aplati et lobé. Ils ne sont fixés au substrat qu'en un ou quelques points de leur face inférieure, les rhizines, et peuvent être facilement détachés du substrat. Ils comptent parmi les plus grands lichens.

- Les lichens fruticuleux ont une structure tridimensionnelle, souvent ramifiée. Leurs lobes peuvent être en forme de poils ou arbustifs, avec des lobes plats ou cylindriques (Thakur *et al.*, 2024).

Des formes dérivées existent également, du thalle squamuleux au thalle gélatineux, en passant par le thalle filamenteux, lobé ou podétial (Piepenbring *et al.*, 2015).

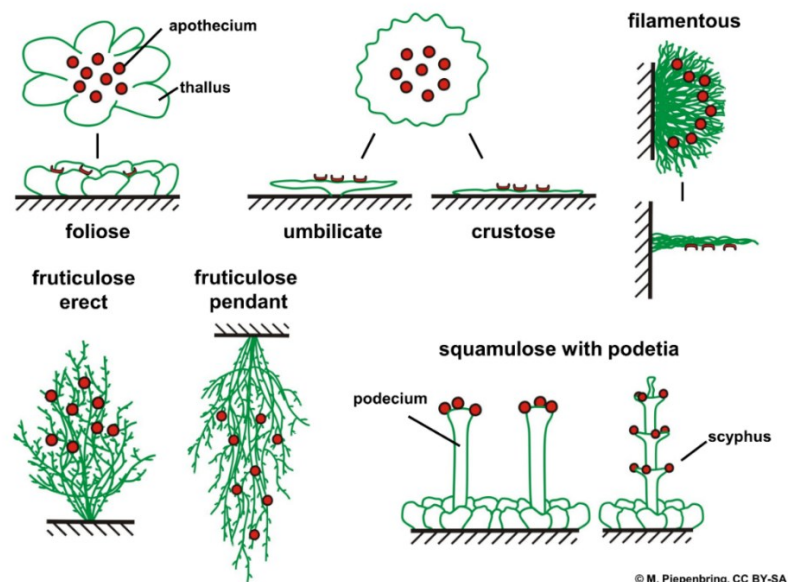


Figure 6 – Formes de croissance des lichens représentant les différentes classes de thalles (Piepenbring *et al.*, 2015).

Le thalle peut être hétéromère — stratifié avec une couche protectrice, une couche photosynthétique et des tissus de stockage/transport — ou homoiomère, non stratifié, où algues/cyanobactéries et hyphes fongiques sont mélangés de façon homogène (Figure 7 ; Spribille, 2025). Le cortex protège le lichen et module la transmission lumineuse ainsi que la rétention d'eau. La médulle contient la zone photobionte et elle maintient des poches d'air pour les échanges gazeux. Le cortex inférieur et les rhizines assurent l'ancrage sur les substrats.

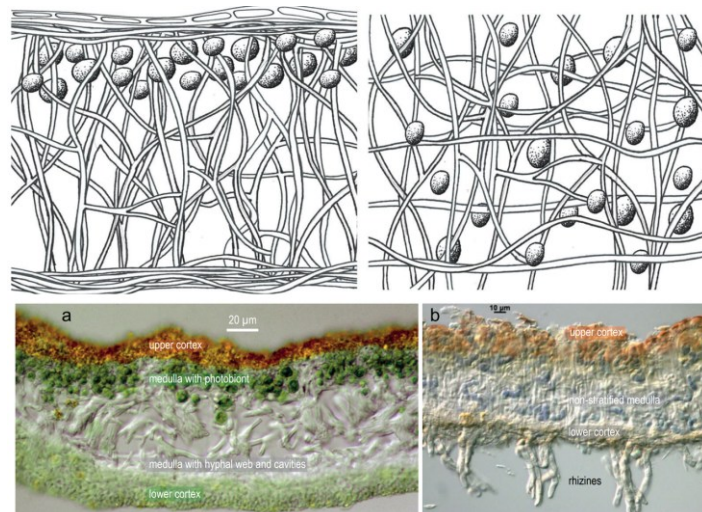


Figure 7 – À gauche : schéma et image d'un thalle hétéromère. À droite : thalle homoiomère. Haut : AquaPortail, 2026. Bas : Spribille, 2025.

Reproduction et croissance

Les lichens peuvent se reproduire de deux façons : sexuellement, principalement grâce au mycobionte qui produit les spores sexuées, ou de façon asexuelle, par la dispersion de propagules contenant à la fois le mycobionte et le photobionte (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ; Spribille, 2025). Les stratégies végétatives sont plus abondantes dans les forêts gérées (Malíček *et al.*, 2019). D'un point de vue évolutif, Tripp (2016) montre que l'asexualité chez les lichens apparaît souvent à partir d'ancêtres sexués, mais qu'il existe aussi de nombreux retours à la sexualité.

Les lichens présentent une croissance lente allant de quelques micromètres à quelques millimètres par an (Honegger, 2009). Leur longévité en fait de bons intégrateurs temporels des conditions environnementales, certaines espèces pouvant vivre plusieurs centaines d'années (Armstrong, 2015).

Écologie

Écologiquement, les lichens occupent de multiples substrats et jouent un rôle dans de nombreux écosystèmes. Les lichens épiphytes sont des lichens fixés sur un autre végétal, sans en être parasites. Ils dépendent des apports atmosphériques et sont particulièrement sensibles à la qualité de l'air, à l'humidité, à la lumière, à la stabilité du milieu d'ancrage et à la continuité forestière (Asplund & Wardle, 2017; Becker-Kerber *et al.*, 2025).

Le photobionte fournit des sucres que le mycobionte transforme en polyols : ceux-ci servent à la fois de réserve énergétique et de protection contre la dessiccation, autorisant ainsi le développement du mycélium dans des milieux aériens contraignants. En retour, le champignon assure la protection du photobionte en limitant l'herbivorie et l'excès de lumière, et influence sa reproduction et sa morphologie. La multiplicité des associations permet la sélection des partenaires les mieux adaptés et favorise la diversification des lichens (Spribille *et al.*, 2022). En outre, leur capacité à capter et accumuler des substances atmosphériques en fait des bioaccumulateurs pertinents pour la surveillance environnementale.

2.2.2. La bioindication

Principe

La bioindication utilise des organismes et leurs réponses (présence, abondance, diversité, traits, réactions physiologiques) comme indicateurs indirects de l'état et des pressions sur un écosystème, en s'appuyant sur des relations calibrées entre indicateurs et variables environnementales (Markert *et al.*, 2003). Elle mobilise divers groupes (invertébrés, oiseaux, amphibiens, mammifères, lombriciens, etc.) pour caractériser la qualité des milieux. Parmi ces approches, la bioindication lichénique se distingue comme une méthode synthétique adaptée pour intégrer la complexité écologique à des échelles opérationnelles (Abas, 2021 ; Dierckx *et al.*, 2025).

Application aux lichens

La bioindication lichénique exploite la sensibilité des espèces à des facteurs tels que la pollution atmosphérique, l'humidité, la continuité des habitats et l'intensité de gestion. Les traits (morphologie, chimie secondaire, mode de reproduction, type de photobionte) fournissent des informations sur la naturalité des forêts et l'ancienneté des milieux. Les lichens intègrent les conditions environnementales sur de longues périodes et détectent des perturbations faibles ou intermittentes (Cullen, 1990). Ils permettent, à moindre coût pour certaines applications, le calcul d'indices lichénologiques tels que l'Index of Atmospheric Purity pour cartographier la pollution (Conti & Cecchetti, 2001 ; LeBlanc & Sloover, 1970). Les lichens sont aussi des bioindicateurs de la qualité de l'air (Figure 8 ; Figure 9) : les changements dans la composition des communautés lichéniques, induites par l'accumulation de toxines et de nutriments, reflètent l'évolution des polluants atmosphériques comme le dioxyde de soufre ou les oxydes d'azote (Szczepaniak & Biziuk, 2003 ; Thakur *et al.*, 2024).

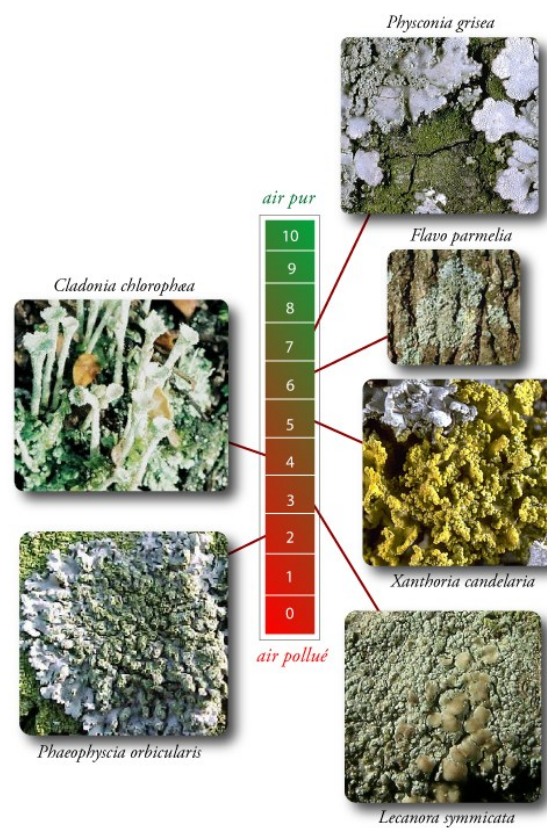


Figure 8 – Évaluation de la qualité de l'air par des lichens indicateurs (Hawksworth & Rose, 1970).

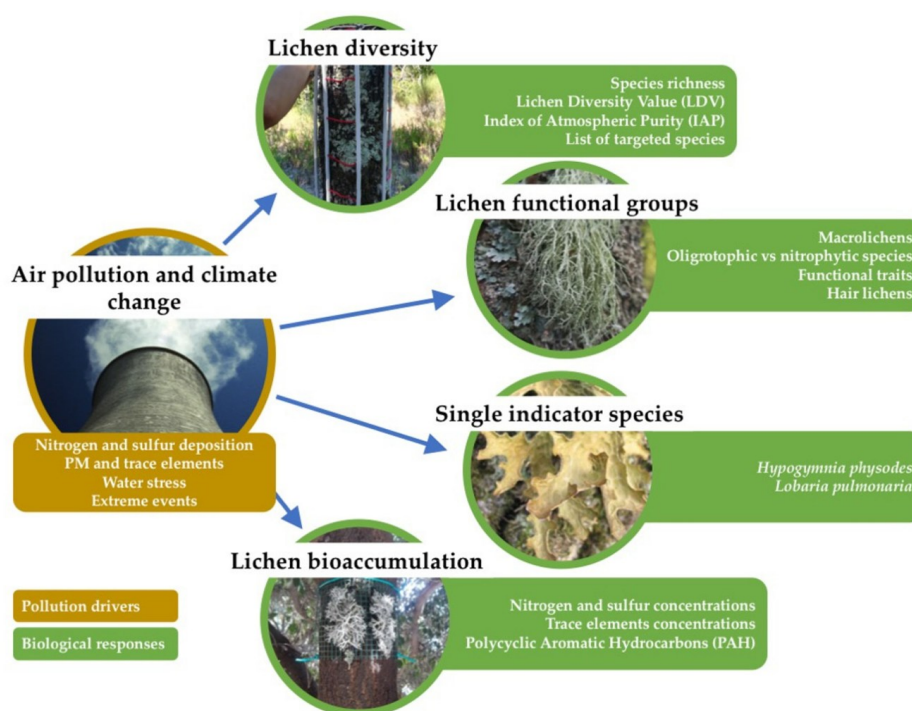


Figure 9 – Schéma conceptuel décrivant les relations entre les principaux facteurs de pollution et les approches méthodologiques fondées sur les réactions des lichens, adoptées dans les écosystèmes forestiers (Brunialti & Frati, 2023).

Les traits fonctionnels simples des lichens en font des indicateurs pratiques pour la surveillance écologique (Koch *et al.*, 2019). Les bryophytes épiphytes leur partagent de nombreux atouts et peuvent constituer un complément utile aux observations lichéniques (Hutsemékers *et al.*, 2023). Il en existe 25 000 espèces, dont 720 en Wallonie.

Lichens et naturalité forestière

Les vieux arbres et les forêts anciennes abritent des espèces spécialisées (par exemple les genres *Lobaria* et *Chaenotheca*, ou l'espèce *Usnea longissima* ; **Figure 10**) qui dépendent de substrats âgés et de microclimats stables, et dont la recolonisation est lente (Esseen *et al.*, 2023). Leur présence traduit la continuité écologique et une histoire de gestion favorable (Spribille, 2025). La diversité en lichens épiphytes est corrélée à la naturalité des forêts et peut servir d'indicateur fiable de celle-ci (Czerepko *et al.*, 2021; Dymytrova *et al.*, 2018a). Pour conserver ces espèces exigeantes et la diversité fonctionnelle, il faut agir simultanément sur la qualité de l'air, la disponibilité d'habitats favorables (arbres sénescents, bois mort) et la configuration du paysage (connectivité, arbres-refuges). La diversité épiphytique augmente avec l'âge des peuplements et de nouvelles espèces continuent d'être découvertes dans des forêts anciennes (Malíček *et al.*, 2019). Les communautés lichéniques constituent des indicateurs d'habitats en phase de succession avancée et de valeur conservatoire (Miller *et al.*, 2020), ce qui permet d'identifier des sites prioritaires pour la conservation à l'échelle régionale.



Figure 10 – *Usnea longissima* est un lichen fruticuleux très sensible à la pollution atmosphérique (Parc national des Pyrénées, 2026).

2.2.3. ÉPIFOR, un outil pour évaluer la naturalité forestière

Protocole, intérêts et limites

ÉPIFOR est né du besoin croissant d'intégrer la surveillance de la biodiversité aux inventaires forestiers, dans l'objectif d'évaluer les effets de la gestion sur la naturalité. ÉPIFOR est un protocole simplifié d'évaluation de la naturalité forestière des chênaies et hêtraies matures wallonnes, basé sur l'identification de lichens et bryophytes épiphytes. Financé par le Plan de relance de la Wallonie, il a été développé par l'UCLouvain, l'ULiège et des spécialistes. Un guide de terrain (Figure 11) a été conçu pour être utilisable par les propriétaires et gestionnaires sans expertise lichénologique approfondie tout en restant scientifiquement fondé (Delahaye *et al.*, 2024). Son objectif principal est d'aider les forestiers à mieux cibler les enjeux de conservation liés à leurs peuplements et interpréter l'impact de certaines actions sylvicoles sur la naturalité forestière. Les données de calibration proviennent de peuplements matures feuillus wallons répondant à des critères d'ancienneté et de maturité, dans lesquels les épiphytes ont été inventoriés sur troncs d'au moins 30 cm de circonférence, jusqu'à 2 m de hauteur.

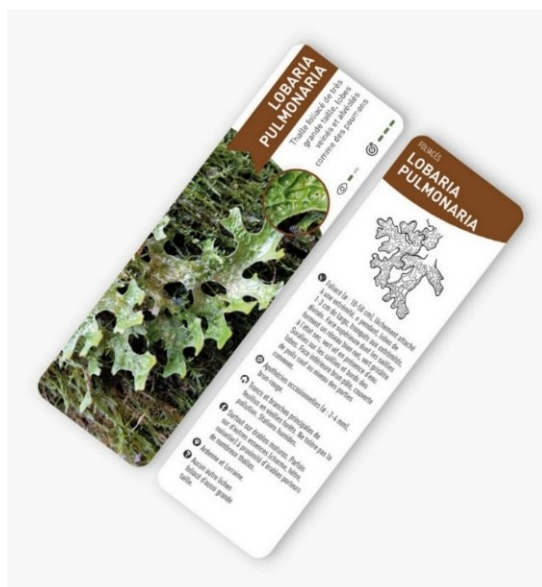


Figure 11 – Éventail d'ÉPIFOR, outil d'évaluation de la naturalité forestière en Wallonie (Delahaye *et al.*, 2024).

Le protocole repose sur l'observation standardisée d'un nombre limité d'arbres et d'espèces indicatrices afin de fournir un score de naturalité promptement interprétable et comparable (Delahaye *et al.*, 2024). Au total, 30 espèces de lichens et de bryophytes épiphytes sont utilisées pour calculer le score de naturalité. Toutes sont listées en annexe page 80.

Mais l'usage opérationnel d'ÉPIFOR présente plusieurs limites méthodologiques et conceptuelles. Son champ d'application est restreint (types de peuplements ciblés) et dépend fortement des caractéristiques du support (âge, essence, traits de l'écorce), ce qui peut conduire à surestimer l'histoire locale et à sous-estimer la dynamique et la dispersion (Fritz *et al.*, 2008; Malíček *et al.*, 2019; Mežaka *et al.*, 2012 ; Nordén & Appelqvist, 2001). Même avec des experts et un protocole standardisé, la probabilité moyenne de détection des lichens sur tronc est faible (0,49 par passage, 0,25–0,74 selon les espèces ; Von Hirschheydt *et al.*, 2024). Les inventaires limités aux deux premiers mètres du tronc, comme c'est le cas pour ÉPIFOR, peuvent manquer près de 50 % des lichens au niveau de l'arbre et 30–40 % au niveau de la placette, avec des biais liés à l'essence et au diamètre. Une sous-estimation systématique de la richesse, notamment sur gros hêtres, a été documentée (Boch *et al.*, 2013). Par ailleurs, les changements d'équipe affectent significativement les patrons de diversité observés dans les suivis à long terme, compliquant l'interprétation temporelle (Brunialti *et al.*, 2019). L'identification de nombreuses espèces reste difficile et des biais de détection et d'identification subsistent même chez des spécialistes (Counoy *et al.*, 2025). De plus, les communautés lichéniques répondent aussi à des facteurs non liés à la gestion, comme la pollution azotée, l'accroissement de l'ombrage ou le changement climatique (Diekmann *et al.*, 2023). Les listes d'indicateurs lichéniques doivent être rigoureusement validées et s'appuyer sur une meilleure compréhension biologique avant d'être généralisées (Whittet & Ellis, 2013). L'usage d'un indicateur isolé est par ailleurs déconseillé, les approches multi-indicateurs offrant une évaluation plus robuste (Bastrup-Birk *et al.*, 2014). Enfin, le retour des utilisateurs et l'évaluation opérationnelle de l'efficacité du protocole restent à formaliser.

3. Objectifs et démarche

3.1. Objectifs

3.1.1. Objectif général

L'objectif principal de ce mémoire est d'évaluer de manière critique le protocole ÉPIFOR et de proposer des pistes d'amélioration visant à accroître sa robustesse et son efficacité à évaluer la naturalité forestière. Plus spécifiquement, ce mémoire vise à identifier les limites actuelles de l'outil et de formuler des recommandations pratiques pour adapter la méthode aux variations de contexte tout en conservant son pouvoir de bioindication.

3.1.2. Sous-objectifs et hypothèses de travail

1. Évaluer l'applicabilité du protocole et sa perception sur le terrain par les utilisateurs. Ces évaluations permettront d'identifier des limites opérationnelles et méthodologiques.
2. Évaluer dans quelle mesure les caractéristiques des peuplements expliquent la variation des scores ÉPIFOR, en testant l'hypothèse d'un effet significatif de ces variables.
3. Explorer des pistes d'amélioration du protocole (exclusivité lichénique, réduction du nombre d'arbres ou de sous-placettes) afin de vérifier si ÉPIFOR peut être simplifié sans perte substantielle d'information.

3.2. Démarche

L'approche (Figure 12) combine une enquête par questionnaire auprès des utilisateurs d'ÉPIFOR et un travail de terrain. Le questionnaire en ligne vise à caractériser les répondants, recueillir et analyser leur appréciation de la naturalité, documenter l'applicabilité du protocole et identifier les sources de biais perçues. Le travail de terrain porte sur l'application du protocole ÉPIFOR dans trois zones de naturalités contrastées. Pour évaluer l'hétérogénéité spatiale, certains sites sont rééchantillonnés à des intervalles de plusieurs dizaines de mètres. Pour chaque arbre sont relevées la présence, la fréquence, l'abondance et la diversité des lichens épiphytes ciblés par ÉPIFOR, ainsi que l'essence et la circonférence des arbres, la surface terrière, la quantité de bois mort. Les sites sont choisis pour couvrir des régimes de gestion variés.

En vue de fournir aux gestionnaires forestiers des indications opérationnelles pour la gestion et l'interprétation des impacts sylvicoles, les recommandations issues de cette démarche visent à rendre ÉPIFOR plus simple pour l'évaluation de la naturalité en contexte wallon et à renforcer

la validité scientifique de l'outil par une prise en compte explicite des biais liés au support, à la structure du peuplement et à l'hétérogénéité spatiale.

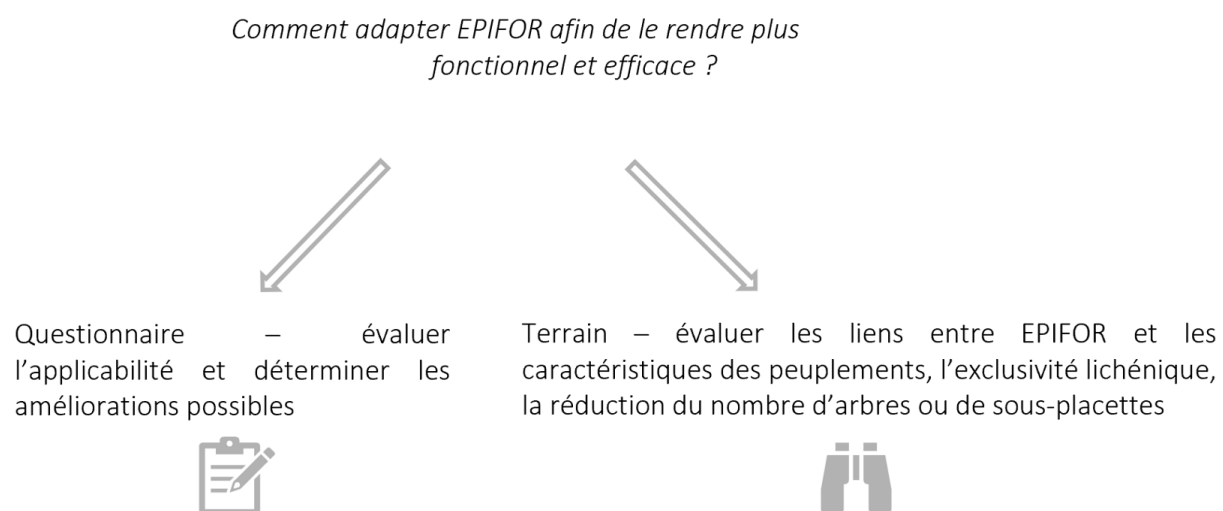


Figure 12 – Démarche générale.

4. Matériels et méthodes

4.1. Enquête utilisateurs et gestion des données

4.1.1. Conception et diffusion

Le questionnaire, rédigé en français et conçu sur Microsoft Forms entre novembre et décembre 2025, visait à recueillir l'avis des utilisateurs sur ÉPIFOR, et plus particulièrement sur sa partie relative aux lichens, afin de l'améliorer. La population visée comprenait les agents du Département de la Nature et des Forêts (DNF) et les fonctionnaires publics formés *via* l'association sans but lucratif belge Forêt.Nature et ayant déjà utilisé le protocole ÉPIFOR sur le terrain. Les critères d'admission explicites étaient l'appartenance à la liste de diffusion de la centrale de la Direction des Ressources Forestières (DRF, Service Public de Wallonie) et la réponse en ligne au questionnaire. Le questionnaire a été testé et validé par un membre de Forêt.Nature avant diffusion, qui a fait office de partenaire de formation et de vulgarisation pour le projet. En avril 2026, il a été transmis par la DRF aux agents du DNF ayant participé à la formation. Les réponses analysées ont été collectées entre le 14 et le 19 avril 2026.

4.1.2. Structure et contenu

Le questionnaire, non contraignant, comprenait 18 questions réparties en six sections intitulées « Bienvenue dans ce questionnaire ! », « À propos de vous », « Évaluer la naturalité à partir d'ÉPIFOR », « À propos d'ÉPIFOR », « Suivi des résultats » et « Merci ! ». Les items combinaient 10 questions à choix multiples et huit questions ouvertes, toutes étaient non obligatoires. Les questions fermées proposaient entre trois et cinq options, ou une échelle de type Likert (Pas du tout d'accord, Pas d'accord, Neutre / Sans opinion, D'accord, Tout à fait d'accord). Des cases « Neutre », « Sans opinion » ou « Autre » étaient systématiquement proposées lorsque cela était pertinent. Certaines questions autorisaient des réponses multiples, d'autres une seule. Les questions ouvertes, optionnelles, offraient un champ de commentaire libre. Les mots-clés les plus importants étaient mis en évidence en gras.

Les thèmes abordés ont été organisés pour progresser logiquement : identification du répondant et caractéristiques de la zone forestière gérée (statut professionnel, superficie, type de peuplement), définition de la naturalité et indicateurs déjà employés, modalités de la formation reçue, intérêt pour l'outil et fréquence d'utilisation du protocole. Si le répondant déclarait n'avoir jamais appliqué ÉPIFOR sur le terrain, le questionnaire s'interrompait. Pour les utilisateurs expérimentés, des questions ciblées ont porté sur l'ergonomie de l'outil, la facilité d'application, la durée des relevés, la concordance du répondant avec le diagnostic EPIFOR, la pertinence et le nombre d'espèces d'épiphytes ou d'arbres à inventorier, ainsi que sur la possible contribution des données utilisateurs à une carte interactive des scores de naturalité

en Wallonie. La liste exhaustive et détaillée des thèmes ainsi que des questions et réponses est donnée en annexes pages 81 et 83.

4.1.3. Confidentialité et gestion des données

Les répondants ont été informés que les réponses seraient strictement confidentielles et utilisées uniquement pour la recherche et l'amélioration d'ÉPIFOR. L'adresse électronique de l'auteur du mémoire a été fournie pour questions ou suivi. Les réponses ont été anonymisées : les noms des personnes ayant complété le questionnaire n'ont pas été collectés et des numéros d'identification ont été utilisés lors de l'analyse. Le fichier de collecte a été nettoyé et vérifié ; au besoin, des informations complémentaires ont été recherchées en ligne (Roue de la Naturalité de l'association Forêt & Naturalité, Réserves Forestières Intégrales, gestion forestière, martelage, milieux secs et alluviaux, espèces remarquables, espèces indicatrices, autres outils d'évaluation, sciences participatives), en évaluant avec prudence la fiabilité des sources externes.

4.2. Inventaires de terrain et protocole d'échantillonnage

4.2.1. Aire d'étude

L'étude a été conduite en Wallonie (Belgique) sur peuplements feuillus matures dominés par le hêtre (*Fagus sylvatica*) et des chênes indigènes (le chêne sessile, *Quercus petraea*, et le chêne pédonculé, *Quercus robur*). Trois zones ont été couvertes : le bois de Lauzelle (L), le cantonnement d'Anlier/Habay (A) et le cantonnement de Marche-en-Famenne (M). Une zone est une région correspondant à un ensemble forestier naturel ou semi-naturel en Belgique au sein duquel les inventaires écologiques ont été réalisés. Les zones ont été sélectionnées selon un gradient de naturalité, supposé le plus faible à Lauzelle, plus élevé à Marche-en-Famenne et le plus élevé à Habay. Sont représentés hiérarchiquement dans le Tableau 1 les trois zones, les sept sites, les 12 placettes et les 60 sous-placettes. Le site est un regroupement de placettes géographiquement proches permettant d'étudier l'hétérogénéité locale à l'échelle de quelques dizaines à quelques centaines de mètres. La placette est une unité d'échantillonnage précise à l'intérieur d'un site où a été appliqué le protocole. La sous-placette est une subdivision fine de la placette, centrée sur un gros arbre et ses trois petits arbres associés, destinée à étudier les interactions à micro-échelle.

Tableau 1 – Hiérarchie spatiale des échelles d'étude et dates de terrain associées aux placettes. La couleur verte représente la naturalité supposée : faible en vert clair, élevée en vert foncé. La couleur bleue représente la chronologie de l'échantillonnage : du plus ancien (bleu clair) au plus récent (bleu foncé).

Aire d'étude	Zone	Site	Placette	Date d'échantillonnage	Sous-placette
Wallonie	Bois de Lauzelle	Site 1	L1	28-01-26	1, 2, 3, 4, 5
			L2		1, 2, 3, 4, 5
		Site 2	L3	06-03-26	1, 2, 3, 4, 5
	Cantonnement d'Anlier/Habay	Site 3	A1	18-02-26	1, 2, 3, 4, 5
			A2		1, 2, 3, 4, 5
		Site 4	A3	23-02-26	1, 2, 3, 4, 5
			A4		1, 2, 3, 4, 5
			A5		1, 2, 3, 4, 5
	Cantonnement de Marche-en-Famenne	Site 5	M1	03-03-26	1, 2, 3, 4, 5
			M2		1, 2, 3, 4, 5
		Site 6	M3	18-03-26	1, 2, 3, 4, 5
		Site 7	M4		1, 2, 3, 4, 5

Les trois zones retenues (**Figure 13**) sont suffisamment étendues (plusieurs centaines à plusieurs milliers d'hectares) pour permettre l'analyse de l'hétérogénéité spatiale entre placettes d'un même site et pour appliquer le protocole ÉPIFOR dans des environnements de naturalité contrastée, de manière à obtenir des scores répartis le long d'un gradient de naturalité. Les placettes d'un même site sont distantes de quelques dizaines à quelques centaines de mètres. Les sites 1 à 5 sont des chênaies ou des chênaies-charmaies ; les 6 et 7 sont des hêtraies.

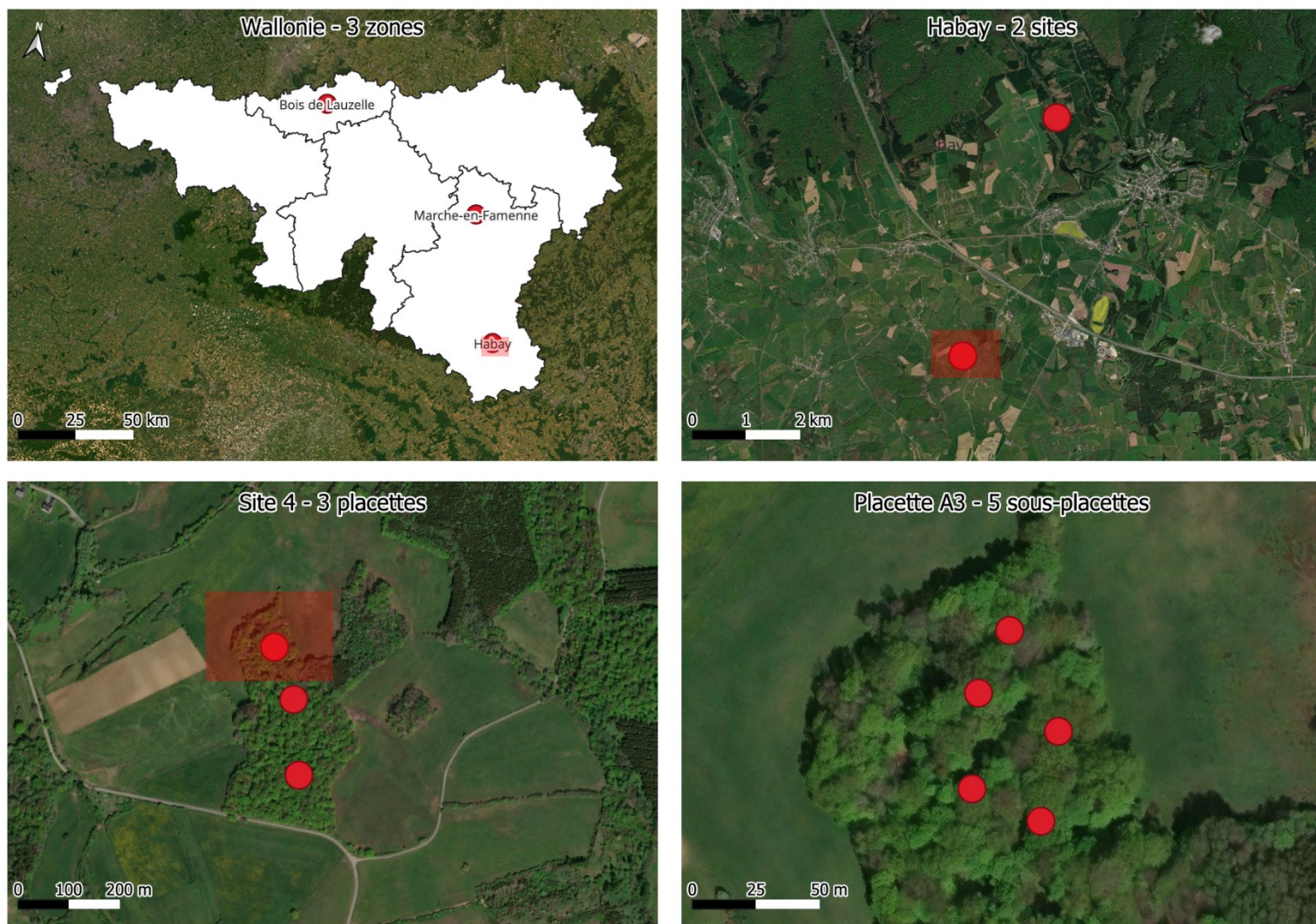


Figure 13 – Représentation cartographique des unités spatiales. Les cartes sont à lire de gauche à droite : Wallonie -> Habay -> Site 4 -> Placette A3. Chaque point matérialise une unité d'échantillonnage, de taille réelle différente selon la carte. Les rectangles correspondent à la surface représentée sur la carte suivante. Carte réalisée sur QGIS.

Le terme « placette » (**Tableau 2**) remplace ici la dénomination « station » utilisée dans le protocole ÉPIFOR afin d'éviter toute confusion avec la notion de station écologique (ensemble de conditions édaphiques, climatiques et topographiques). Ces placettes ont été choisies en fonction de leur accessibilité et, le cas échéant, sur recommandation des gardes forestiers locaux.

Tableau 2 – Localisation des placettes.

PLACETTE	LATITUDE	LONGITUDE
L1	50°40'35.2"N	4°35'07.1"E
L2	50°40'31.9"N	4°35'12.2"E
L3	50°40'43.8"N	4°35'42.3"E

M1	50°13'31.2"N	5°15'46.1"E
M2	50°13'55.9"N	5°16'52.3"E
M3	50°11'59.3"N	5°20'45.1"E
M4	50°09'46.1"N	5°17'13.9"E
A1	49°44'25.0"N	5°37'26.3"E
A2	49°44'22.1"N	5°37'17.9"E
A3	49°42'05.9"N	5°35'48.0"E
A4	49°41'55.5"N	5°35'50.0"E
A5	49°42'00.8"N	5°35'48.9"E

Le bois de Lauzelle est la première zone à avoir été prospectée. Il se situe dans la commune d'Ottignies-Louvain-la-Neuve, en province du Brabant wallon. Propriété privée de l'UCLouvain, d'une superficie de 201 hectares incluant une réserve de 20 hectares, le site est une forêt périurbaine mixte principalement feuillue (hêtre, chêne et autres feuillus) avec quelques plantations historiques de résineux. La structure est hétérogène, alternant secteurs multi-étagés et parcelles plus régulières liées à des exploitations passées. La gestion, certifiée PEFC, vise la diversification structurelle et la restauration de la régénération naturelle pour renforcer la résilience aux tempêtes et à la sécheresse. Le climat y est tempéré océanique et l'altitude moyenne est comprise entre 100 et 150 m.

Le cantonnement d'Anlier/Habay est localisé dans la commune de Habay, en province de Luxembourg, en Ardenne belge. Grand massif domanial de plusieurs milliers d'hectares (près de 7.000 hectares au total), la région étudiée fait environ 944 hectares de superficie. Cette forêt publique est dominée par des hêtraies et d'autres feuillus (chêne, charme, érable), avec des résineux introduits historiquement (épicéa, douglas). Les peuplements présentent une mosaïque d'âges et de structures (secteurs matures, régénérations actives, parcelles issues de coupes ou anciennes plantations). La gestion contemporaine privilégie la durabilité, la régénération naturelle du hêtre, la conservation du bois mort et la préservation des habitats. La zone est souvent considérée comme un exemple de forêt naturelle en Wallonie. Son climat est tempéré océanique à influence continentale, caractéristique de l'Ardenne, avec des hivers froids et étés modérés. Son altitude varie de 250 à 350 m.

Le cantonnement de Marche-en-Famenne se situe quant à lui dans la commune du même nom, en province de Luxembourg, en Ardenne belge. Le massif est comparable au cantonnement de Habay : composé principalement de hêtraies et de chênaies mêlées à d'autres feuillus, avec une mosaïque d'âges et de structures spatiales et la présence occasionnelle de résineux, liée à des interventions passées. La gestion actuelle favorise des peuplements mélangés, multi-étagés et multifonctionnels (biodiversité, production, récréation) afin d'accroître la résilience. Le climat est tempéré océanique à influence montagnarde, plus frais et humide qu'en plaine. L'altitude est d'environ 200 à 300 m.

4.2.2. Échantillonnage

L'inventaire a été réalisé selon le protocole ÉPIFOR, en six journées de terrain de janvier à mars 2026. Conformément au protocole, 15 espèces de lichens (**Figure 14**) et 15 espèces de bryophytes, toutes épiphytes, devaient être recherchées sur chaque placette homogène.



Figure 14 – Exemple de lichen observé en chênaie-hêtraie dans le cantonnement d’Anlier/Habay (*Pertusaria pertusa*).

Les conditions météorologiques (humidité, ensoleillement, vent) affectent l’état hydrique, l’activité physiologique, la dessiccation, la visibilité des caractères diagnostiques et l’abondance des espèces (Ormond *et al.*, 2025). Quelques paramètres météorologiques ont donc été notés lors de l’inventaire dans les différents sites :

- Sites 1 et 3 : humide et couvert, sans précipitation, températures moyennes, vent faible.
- Sites 2, 5, 6 et 7 : sec et ensoleillé (5, 6, 7 plus chauds), vent faible.
- Site 4 : sec avec alternance d’éclaircies et de nuages, températures moyennes, vent soutenu.

Les lichens ont été identifiés avec l’éventail ÉPIFOR (**Figure 15**). Des ouvrages de référence, flores ou clés d’identification ont été utilisés en appui pour faciliter les déterminations. Le protocole a toujours été appliqué par deux à trois personnes sur le terrain, dont l’auteur du mémoire. Tous les échantillons de bryophytes prélevés pour reconnaissance ultérieure ont ensuite été identifiés au microscope optique.



Figure 15 – Éventail du protocole ÉPIFOR.

4.2.3. Collecte des données sur le terrain

Lichens et bryophytes

Sur le terrain, les lichens difficiles à identifier ainsi que tous les bryophytes ont été prélevés directement sur l'écorce à l'aide d'un couteau, puis placés dans des sachets transparents étiquetés au feutre par un code renvoyant à la placette d'origine. Cet inventaire a été complété par un relevé de la surface terrière et du bois mort.

Pour chaque placette, cinq gros arbres ont été sélectionnés. Ceux-ci ne sont pas définis selon une circonférence minimale mais représentent les cinq plus gros arbres présents sur la placette. Autour de chacun d'eux, les trois petits arbres les plus proches ont été choisis comme arbres associés, amenant à un total de 20 arbres par placette. La sélection des gros arbres s'est faite visuellement en privilégiant les individus de plus grande circonférence et, autant que possible, appartenant à l'essence dominante du peuplement (hêtre ou chêne indigène). Seuls les arbres vivants et d'une circonférence minimale de 30 cm ont été retenus. La distance minimale entre deux gros arbres correspondait à la hauteur approximative de ces arbres. Au total, 240 arbres ont été inventoriés : 60 au bois de Lauzelle, 80 dans le cantonnement de Marche-en-Famenne et 100 dans le cantonnement d'Anlier/Habay. La durée minimale prévue par relevé était de 30 minutes.

Sur chaque arbre, l'observation portait sur les deux premiers mètres de hauteur. L'évaluation consistait à noter la présence et l'étendue d'occupation de chaque taxon ÉPIFOR et de la fréquence d'observation, qui peut varier d'une occurrence ponctuelle à une présence sur 80 %

des arbres. Les observations ont été effectuées à l'aide d'une loupe de grossissement $\times 10$. En l'absence d'espèce du protocole, aucune donnée n'était inscrite pour l'arbre et l'opérateur passait au suivant. Pour faciliter les déterminations, certains groupes taxonomiques complexes (par exemple *Bryoria* spp. ou le couple *Lecanactis abietina* / *Opegrapha vermicellifera*) ont été notés sous l'appellation de groupe ou de genre par commodité. Aucune donnée n'a été héritée ; l'ensemble des relevés a été recueilli directement par l'équipe de terrain. La placette d'échantillonnage est schématisée sur la **Figure 16**.

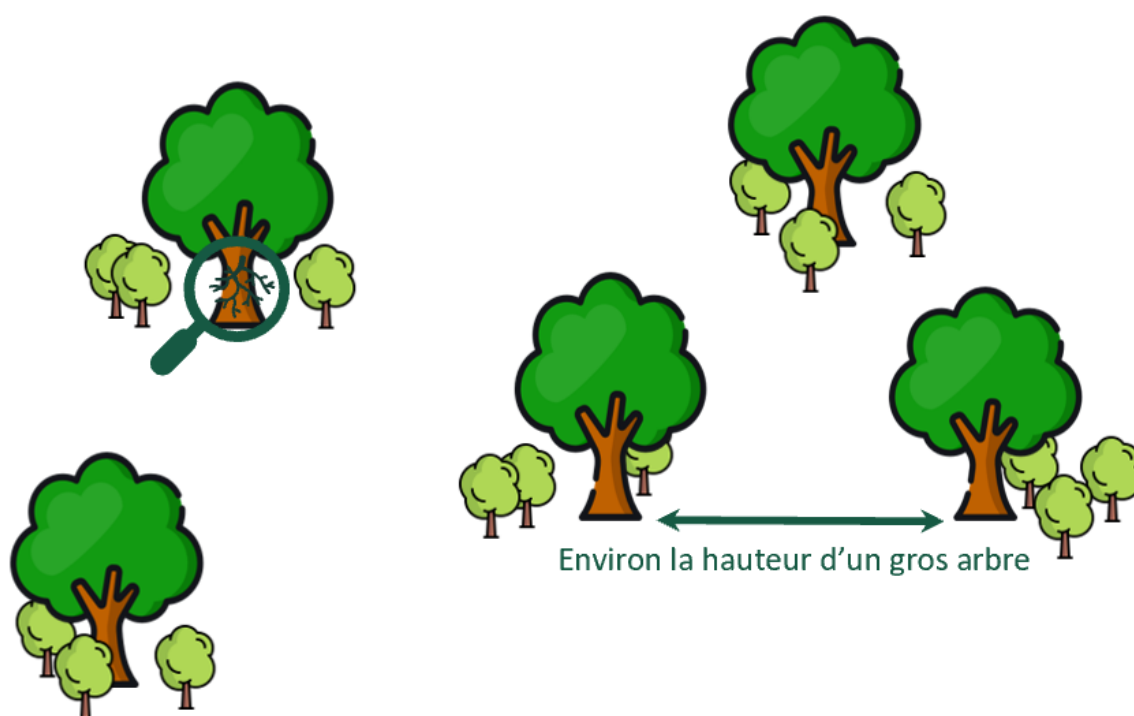


Figure 16 – Représentation schématique d'une placette d'échantillonnage de l'inventaire ÉPIFOR. Un site compte une à trois placettes et chaque placette est composée de cinq arbres principaux, chacun accompagné de trois arbres secondaires.

Données complémentaires

Le bois mort a été inventorié dans la zone circonscrite autour de chaque gros arbre en le couchant au sol pour mesure. Ont été consignés les souches de plus de 30 cm de diamètre, les troncs couchés et les bois morts sur pied dont la circonférence dépasse 30 cm. Le diamètre des souches a été noté avec une précision de l'ordre de la dizaine de centimètres, de même que la circonférence et la longueur des bois morts couchés ainsi que la circonférence des bois morts sur pied.

La surface terrière a été estimée au pied de chaque gros arbre en mètres carrés par hectare à l'aide d'un relascope à chaînette, montré en **Figure 17**, en se basant sur le facteur deux de la chaînette. Pour chaque arbre relevé, le code de la zone, de la placette et de l'arbre a été enregistré, ainsi que le nom de l'essence et la circonférence mesurée en centimètres à 1,30 m

de hauteur à l'aide d'un mètre ruban. Les coordonnées de toutes les sous-placettes ont été relevées avec une application GPS, et des photographies de chaque site ont été prises.



Figure 17 – Relascope à chaînette utilisé pour mesurer la surface terrière.

4.2.4. Traitement et analyse des données

Traitement de données

Douze placettes ont été inventoriées afin d'évaluer les limites d'ÉPIFOR et l'hétérogénéité spatiale au sein des sites. Les observations de terrain ont été notées sur des fiches imprimées spécifiques puis saisies et compilées dans des classeurs Excel. Le calcul des scores ÉPIFOR repose sur le niveau d'indication des taxons observés, code 1 pour « bon », 2 pour « élevé » et 3 pour « très élevé ». Le score se calcule selon les règles suivantes :

- Classe 3 (naturalité haute) si au moins une espèce de niveau 3 est présente ou si au moins cinq espèces de niveau 2 sont relevées ;
- Classe 2 (naturalité moyenne) si au moins six espèces de niveau 1 ou 2 sont présentes ;
- Classe 1 (naturalité faible) si au moins trois espèces de niveau 1 ou 2 sont présentes ;
- Classe 0 (hors naturalité) si moins de trois espèces de niveau 1 ou 2 sont enregistrées.

Analyse des données

Les indicateurs calculés sont notamment l'hétérogénéité spatiale au niveau des sites (entre placettes), la richesse spécifique par essence et par placette, la variation des scores ÉPIFOR lorsque l'on ne considère que trois sous-placettes au lieu de cinq, la richesse observée sur les gros arbres comparée à celle de l'ensemble des arbres, ainsi que la baisse de richesse lichénique ou la perte de classe associée à l'utilisation des seuls gros arbres.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec Excel et RStudio (version 2026.01.2). Les tests employés comprennent le test t paramétrique et son pendant non paramétrique de Wilcoxon apparié, la corrélation de Pearson pour l'évaluation des relations linéaires, la corrélation de Spearman pour l'analyse des rangs et la régression linéaire pour comparer richesses selon les jeux de données. Les visualisations produites incluent entre autres des diagrammes en barres représentant les ratios ou les richesses par placette, des boîtes à moustaches de richesse lichénique et des nuages de points.

5. Retour critique des utilisateurs d'ÉPIFOR

5.1. Profil des répondants

Les neuf répondants au questionnaire sont tous agents du DNF ou fonctionnaires publics. Ils représentent près de 12 % de l'ensemble des agents ayant suivi la formation donnée par Forêt.Nature. Ces réponses constituent le jeu de données exploité pour l'évaluation « utilisateur » d'ÉPIFOR dans le cadre de ce mémoire. Chacun d'entre eux gère principalement une superficie forestière d'au moins 100 hectares et a été formé au protocole ÉPIFOR par Forêt.Nature. La durée moyenne de réponse au questionnaire a été de 13 minutes et 36 secondes. La majorité des répondants (sept sur neuf) travaille au moins en partie en futaie feuillue, irrégulière ou jardinée (**Figure 18**).



Figure 18 – Proportion des répondants gérant principalement une futaie irrégulière ou jardinée.

Huit des neuf répondants fournissent une définition de la naturalité que l'on peut résumer comme suit : « Un état de la forêt proche de son état naturel. » Plusieurs d'entre eux abordent l'écosystème forestier comme étant caractérisé par une faible intervention humaine et un état de la forêt qui lui permet d'exprimer pleinement ses dynamiques, structures et fonctions naturelles. Les définitions insistent sur la proximité à un état non perturbé, la spontanéité des processus écologiques, ainsi que la diversité biologique et structurelle du peuplement. Une réponse nuance la notion en questionnant la référence temporelle (stade climacique) et la possibilité de séparer actions humaines et nature dans des paysages déjà modifiés.

Les répondants ayant déjà utilisé des indicateurs d'évaluation de la naturalité autres qu'ÉPIFOR ont eu l'occasion de préciser lesquels. Parmi sept réponses, trois citent des indicateurs ou méthodes spécifiques : l'IBP, la Roue de la Naturalité développée par l'asbl Forêt & Naturalité et les inventaires botaniques (lichens et bryophytes) avec comptage de bois mort. Deux mentionnent des mesures structurelles : nombre de dendromicrohabitats, présence d'espèces remarquables et arbres d'âges différents, ou la simple reconnaissance d'espèces en forêt. Deux n'ont pas utilisé d'indicateurs autres qu'ÉPIFOR.

Cinq répondants ont utilisé ÉPIFOR deux fois ou plus jusqu'à présent, mais trois ne l'ont encore employé qu'une seule fois (**Figure 19**). L'un d'eux n'avait jamais utilisé ÉPIFOR et a donc été immédiatement dirigé vers la fin du questionnaire.



Figure 19 – Nombre d'utilisations du protocole parmi les répondants.

Le guide ÉPIFOR indique que la durée minimale d'application du protocole sur le terrain, pour une placette (la placette est dénommée « station » dans le protocole), doit s'étendre sur 30 minutes. Dans l'idéal, cette durée devrait rester la plus courte possible, et être comprise par exemple entre 30 et 60 minutes, comme c'est le cas pour deux des répondants (**Figure 20**). La moitié ont appliqué le protocole en 60 à 180 minutes, mais la durée d'intervention sur le terrain varie considérablement selon les utilisateurs. Elle s'étend de 15 à 30 minutes dans le cas le plus rapide à au-delà de 180 minutes dans la situation la plus longue. Ces deux répondants sont les mêmes qui ont estimé que les durées de préparation et de terrain n'étaient pas raisonnables. Cette forte variabilité est préjudiciable à la standardisation du protocole. Les durées observées sont généralement supérieures aux prévisions initiales, ce qui indique que le protocole, dans sa forme actuelle, demande de passer plus de temps que prévu sur les lieux d'inventaire qu'estimé à l'origine.



Figure 20 – Durées d'application du protocole sur le terrain, hétérogènes selon les répondants.

5.2. Retour critique

Le ressenti général vis-à-vis de l'utilisation d'ÉPIFOR est plutôt favorable. Néanmoins, sur sept réponses, trois soulignent des difficultés d'application sur le terrain ou d'identification des espèces, deux mettent en avant des limites d'applicabilité liées au contexte écologique ou à la gestion forestière, une personne juge l'outil « moyen ».

L'intérêt pour ÉPIFOR varie grandement selon les répondants au questionnaire. Les intérêts cités sont les suivants :

- Prendre en compte la naturalité évaluée par ÉPIFOR afin d'aménager la zone forestière gérée.
- Connaître la qualité du milieu.
- Évaluer la qualité de l'air.
- Renseigner des collègues chez qui des observations d'espèces indicatrices ont été faites lors de martelages.
- Constituer une base pour le marquage en « arbre d'intérêt biologique » (donc non exploités et considérés comme réserve) en cas de présence d'espèces remarquables.

Plusieurs étapes sont relativement simples à réaliser pour les utilisateurs (**Figure 21**), parmi lesquelles le choix du site où appliquer le protocole (pour six répondants), la sélection des arbres à inventorier (pour sept répondants) et l'observation des épiphytes (pour six répondants). Les consignes relatives à ces points semblent claires et complètes. En revanche, l'identification des espèces indicatrices s'avère plus complexe. Personne n'a répondu « tout à fait d'accord » à l'idée que l'identification soit simple : trois d'entre eux ne sont « pas d'accord » et un dernier n'est « pas du tout d'accord ». La compétence des utilisateurs en identification paraît d'ailleurs jouer un rôle clé dans l'adoption ou l'abandon du protocole. L'évaluation du score suscite quant à elle des avis partagés, quatre l'estiment aisée, mais deux autres la trouvent difficile à très difficile.

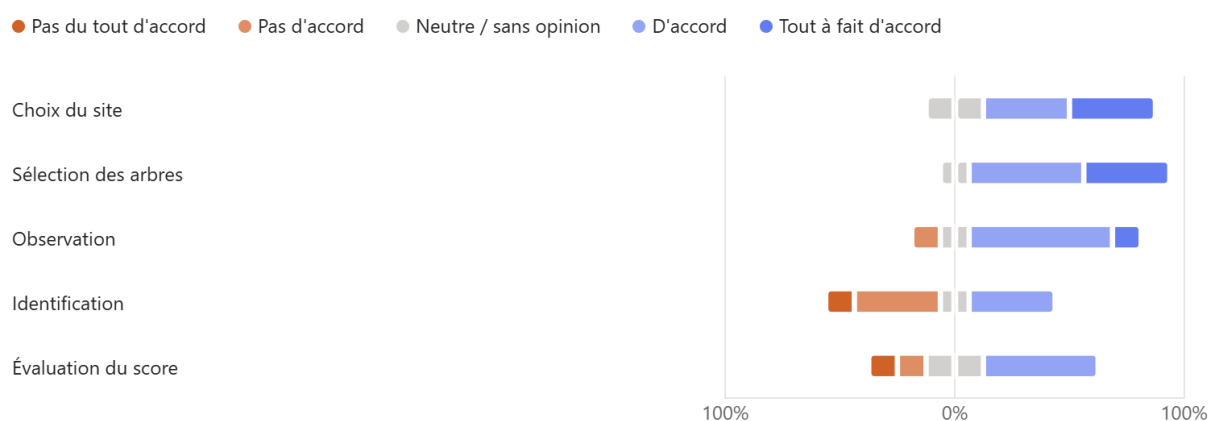


Figure 21 – Cette figure illustre dans quelle mesure les répondants jugent faciles les étapes du protocole présentées à gauche.

Parmi les défis mentionnés par les utilisateurs, six d'entre eux évoquent des difficultés en lien avec la formation, six autres avec la phase d'identification (**Figure 22**). Les répondants signalent que l'identification nécessite de l'expérience et une observation plus spécifique qu'en botanique ou en entomologie. En revanche, la délimitation des placettes est jugée pertinente pour la moitié d'entre eux (les autres donnent un avis neutre). Les avis sont moins tranchés mais globalement positifs vis-à-vis de la clarté et de la complétude des consignes (cinq répondants). Des avis partagés sont émis sur la facilité d'utiliser le protocole sur le terrain (quatre répondants) et sur les durées de préparation et de terrain (quatre répondants).

Certains utilisateurs notent qu'il faut pouvoir consacrer beaucoup de temps à l'identification lichénique. Des avis relativement positifs sont donnés quant à la fiabilité des scores ÉPIFOR obtenus (six répondants sont d'accord ou sans opinion) et à l'intérêt d'utiliser à nouveau ÉPIFOR à l'avenir (sept répondants sont d'accord ou sans opinion). Ce dernier point est particulièrement encourageant car il reflète la satisfaction générale des répondants. L'utilisation de la loupe engendre des réponses tranchées mais opposées (quatre la jugent contraignante, trois autres la jugent commode).

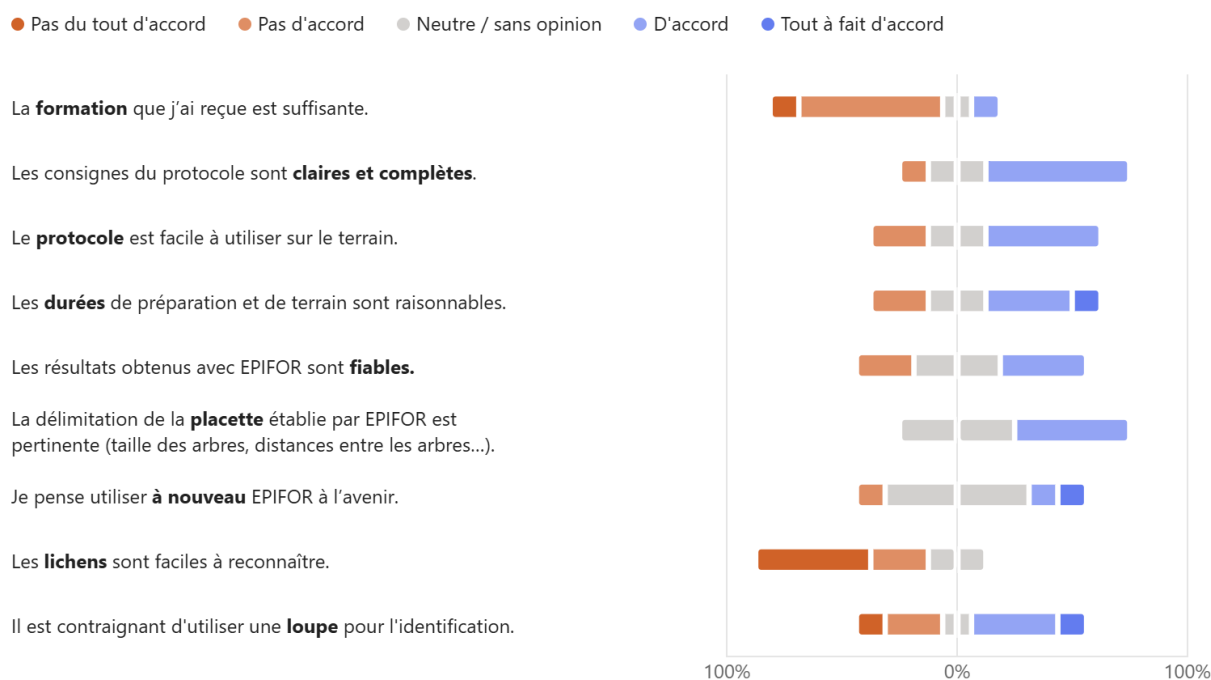


Figure 22 – Cette figure indique dans quelle mesure les répondants sont d'accord avec les affirmations présentées à gauche.

Les principaux obstacles relevés concernent principalement (Figure 23) :

- l'identification des épiphytes (15 mentions sur le sujet dans le questionnaire) ;
- la durée d'application du protocole sur le terrain (neuf mentions) ;
- la qualité de la formation (neuf mentions) ;
- l'utilisation obligatoire d'une loupe (cinq mentions).

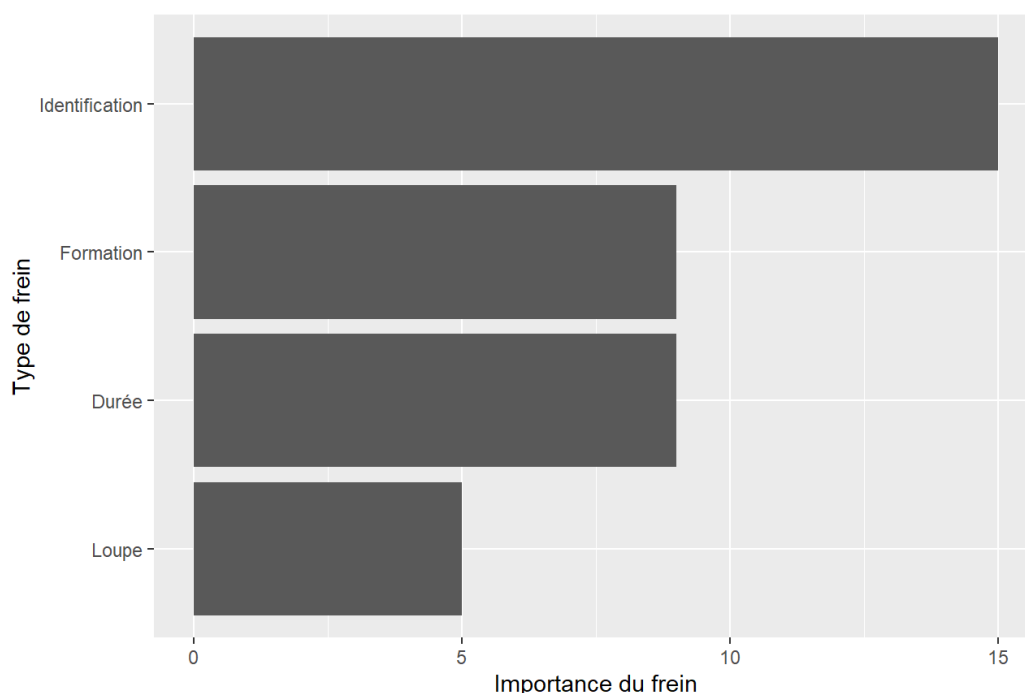


Figure 23 – Ce graphique représente les principaux freins rencontrés par les répondants dans leur utilisation du protocole. Quinze répondants ont mentionné des problèmes relatifs à l’identification, neuf ont mentionné la formation, neuf la durée, cinq l’utilisation de la loupe. L’importance du frein est fondée sur le nombre de réponses mentionnant le problème spécifié en ordonnée.

Les avis sur le diagnostic ÉPIFOR sont partagés et prudents : plusieurs répondants déclarent manquer d’expérience pour évaluer le score ou le trouvent trop subjectif. Certains considèrent ÉPIFOR utile comme indicateur à confronter avec d’autres diagnostics pour affiner l’évaluation de la qualité d’habitat. Les limites évoquées sont les suivantes : effectif d’espèces peut-être trop faible, dépendance à la présence de gros arbres (limitation spatiale) et applicabilité restreinte en dehors de milieux favorables (par exemple hors des zones alluviales).

Lorsque leurs réponses ne sont pas neutres, les répondants suggèrent de réduire le nombre de petits arbres dans le protocole (deux répondants) et d’augmenter à la place le nombre de gros arbres (deux répondants ; **Figure 24**). Le nombre d’épiphytes indicatrices semble pertinent pour la plupart des utilisateurs (six répondants).

● Réduit ● Augmenté ● Ce nombre est pertinent

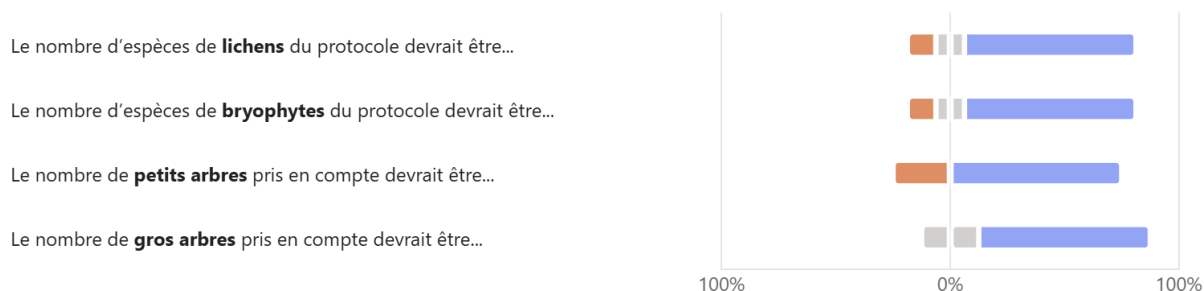


Figure 24 – Avis de répondants concernant le nombre d’épiphytes et d’arbres à inventorier.

Une carte interactive est souhaitée par cinq des six répondants dont les réponses traduisent une prise de position sur le sujet (**Figure 25**). Ils éprouveraient de l'intérêt à fournir leurs données obtenues *via* ÉPIFOR dans l'objectif de participer à la réalisation d'une carte interactive reprenant les scores de naturalité en Wallonie.



Figure 25 – Proportion des répondants souhaitant une carte interactive qui reprendrait les scores de naturalité en Wallonie.

5.3. Recommandations d'amélioration

Plusieurs pistes d'amélioration sont explorées pour répondre aux limites identifiées par le questionnaire. Ces axes visent à corriger les insuffisances relevées et à renforcer la pertinence du protocole.

5.3.1. Améliorer la formation

Concernant la formation, un répondant fait mention de sa qualité mais précise qu'elle devrait idéalement se tenir dans des conditions matérielles confortables. Plusieurs autres demandent davantage d'exercices pratiques. Trois améliorations sont proposées pour répondre à ces enjeux :

- 1) Structurer la formation en plusieurs sessions : une session théorique initiale suivie de plusieurs sessions pratiques individualisées, pour un apprentissage progressif permettant d'emmagasinier de manière plus naturelle les nombreuses espèces à reconnaître. Une session pourrait se concentrer sur l'identification des lichens, tandis qu'une autre pourrait cibler les bryophytes.
- 2) Insister, durant la formation, sur la distinction entre les épiphytes ciblés par le protocole et les espèces facilement confondues ou très communes, en s'appuyant sur des supports visuels. Une piste similaire serait de regrouper les espèces morphologiquement similaires présentant les mêmes caractéristiques écologiques, comme cela a été préconisé par Counoy *et al.* (2023) pour l'outil Lichens GO.
- 3) Préférer les sessions en été, par temps sec, pour bénéficier de conditions météorologiques favorables (et éviter les périodes de gel notamment). Les jours de

pluie, annuler les sessions en raison de la perte importante de confort pour les participants.

5.3.2. Faciliter l'identification

Les indicateurs de composition tels que bryophytes et lichens sont difficiles à identifier pour les non spécialistes, comme le montre la littérature (Ćosović *et al.*, 2020). Une amélioration proposée est la création de supports d'aide à l'identification : des fiches pratiques de terrain pour différencier les espèces indicatrices des espèces semblables ou communes (par exemple *Chrysothrix candelaris*, espèce hautement indicatrice, et des espèces du genre *Candelariella*, non bioindicatrices). Certaines espèces trop rares pourraient être exclues du protocole (Figure 26).

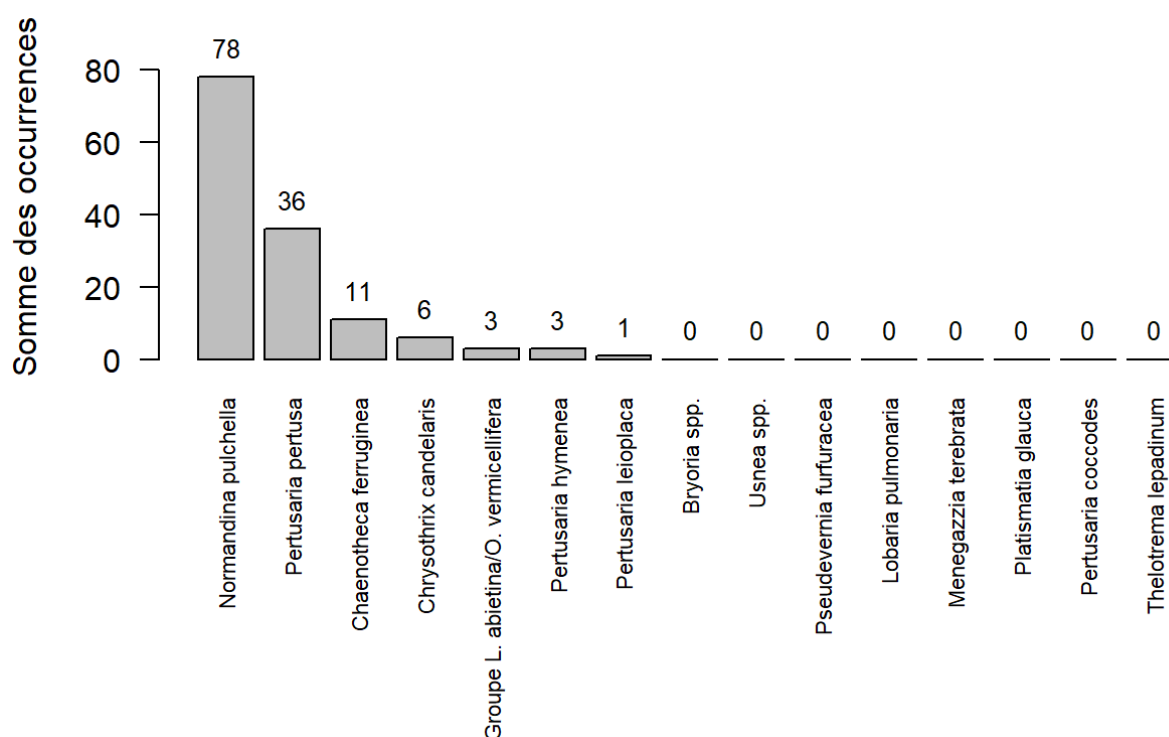


Figure 26 – Total d'observations lichéniques pour l'ensemble des zones.

Usnea spp. et *Pseudevernia furfuracea* se rencontrent généralement en hauteur, hors de la plage d'inventaire (0-200 cm). D'autres espèces ne montrent leurs caractères déterminants qu'à une période précise de l'année. C'est le cas par exemple d'*Ulotia crispa* chez les bryophytes, qui n'est identifiable qu'à partir de mars-avril, avec la maturité des sporophytes. De telles caractéristiques pourraient motiver le retrait de ces espèces de l'éventail. D'autres espèces, telles qu'*Isothecium myosuroides* ou *Isothecium alopecuroides*, pourraient être regroupées sous un même taxon, car difficiles à distinguer et présentant les mêmes valeurs d'observation et d'indication. Pour justifier toute exclusion, il faudrait synthétiser les jeux de données disponibles (inventaires régionaux, bases historiques, contributions d'autres opérateurs) et évaluer méthodiquement fréquence et détectabilité ; si elles restent

systématiquement trop rares, les retirer pourrait s'avérer pertinent. Les fiches d'aide comporteraient photos et illustrations, une clé de détermination simplifiée, ainsi qu'une échelle permettant d'identifier la taille des espèces à déterminer.

Intégrer à ÉPIFOR un indice de difficulté d'identification pour chaque espèce indicatrice pourrait améliorer la fiabilité des observations. Pour valider l'indice, idéalement, plusieurs experts évalueraient chaque espèce (facile / intermédiaire / difficile) selon la visibilité et la variabilité morphologique, puis l'indice serait approuvé empiriquement sur le terrain par des observateurs de niveaux variés. Une fois inclus dans l'éventail ÉPIFOR, l'indice permettrait à l'utilisateur de déclarer son niveau d'expertise et serait guidé : les débutants se concentreraient d'abord sur les espèces « faciles », tandis que les experts prendraient toutes les espèces en compte. Chaque espèce recevrait un code (1 = facile, 2 = intermédiaire, 3 = difficile) et le calcul du score serait recalibré selon la confiance d'observation. Pour préserver la comparabilité des données, il faudrait conserver une unique version de l'outil plutôt que des versions séparées pour néophytes et aguerris et adapter le calcul du score pour permettre la pondération par difficulté, réduisant ainsi les erreurs d'observation tout en maintenant la validité écologique de l'indicateur.

5.3.3. Réduire la durée d'application

Une autre tendance concerne la durée d'application du protocole sur le terrain : le temps d'inventaire d'une placette rapporté par les répondants varie de moins de 30 minutes à plus de 180 minutes. Ces écarts tiennent en partie à l'intérêt variable porté à l'évaluation de la naturalité, mais traduisent probablement un manque de standardisation et une durée généralement excessive d'application du protocole sur le terrain.

Pour remédier à cela, plusieurs pistes sont envisagées (toutes discutées dans la section concernant les résultats de terrain) :

- 1) ne conserver que les lichens ;
- 2) réduire le nombre d'arbres à inventorier ;
- 3) réduire le nombre de sous-placettes à prospecter.

Ces ajustements rendraient l'application plus rapide. Il est aussi nécessaire d'indiquer, lors de la formation et sur l'éventail, une durée maximale recommandée pour l'identification : « 90 minutes » semble être un plafond adapté si le protocole reste inchangé (une durée minimale de 30 minutes figure déjà sur l'éventail). Si une version révisée intègre les ajustements proposés, la durée maximale recommandée pourrait être abaissée (par exemple à 60 minutes), à moduler selon l'ampleur des modifications.

5.3.4. Compléter ÉPIFOR avec d'autres indicateurs

Plusieurs personnes suggèrent d'associer ÉPIFOR à d'autres indicateurs de naturalité, notamment l'IBP, le nombre de dendromicrohabitats, la présence d'espèces remarquables, l'âge et la sénescence des arbres, l'inventaire du bois mort, les inventaires (botaniques, lichéniques, bryophytiques) et la Roue de Naturalité conçue par Forêt & Naturalité. Zeller *et al.* (2022) soulignent d'ailleurs que, grâce à sa facilité d'application et au temps qu'il fait gagner, l'IBP pourrait servir d'indicateur en complément d'approches de surveillance centrées sur les espèces comme ÉPIFOR. Ćosović *et al.* (2020) montrent que les indicateurs à l'échelle du peuplement, les indicateurs de biodiversité structurelle et l'exploitation de bases de données existantes constituent des moyens efficaces, simples d'emploi et rapides pour évaluer la naturalité. Ces indicateurs pourraient être intégrés à un protocole unique incluant l'inventaire des lichens afin de compléter ÉPIFOR et d'en renforcer la robustesse.

L'intégration d'ÉPIFOR dans un cadre méthodologique plus large, tenant compte de la taille, de l'âge et de la structure du massif ainsi que de la présence de bois mort, permettrait une évaluation plus complète de la naturalité, mais risquerait d'alourdir le protocole. Si une intégration complète n'est pas réalisable, il est recommandé de présenter clairement ÉPIFOR comme un outil complémentaire nécessitant la cooccurrence d'autres indicateurs pour renforcer sa fiabilité (Dymytrova *et al.*, 2018b). Ce cadre serait d'ailleurs utile au regard des réserves exprimées par certains répondants sur les diagnostics produits.

Notons que Forêt.Nature, dans sa formation, préconise déjà de croiser l'outil avec des critères de maturité forestière (gros bois, très gros bois, bois mort sur pied et au sol), de continuité spatiale (taille et connectivité du massif) et de continuité temporelle (persistance de la forêt feuillue), mais cette information pourrait être ajoutée également sur l'éventail.

5.3.5. Proposer une carte interactive

Plusieurs répondants souhaitent une carte interactive et se disent prêts à partager leurs données ÉPIFOR pour y contribuer, afin de cartographier les scores de naturalité en Wallonie. Pour les contributeurs volontaires, les scores ÉPIFOR pourraient être collectés pour constituer cette carte (**Figure 27**). Elle serait destinée à visualiser spatialement la naturalité évaluée par les utilisateurs, et pourrait également permettre de détecter son évolution dans le temps. En pratique elle inclurait au minimum :

- l'emplacement des placettes associées aux scores ÉPIFOR ;
- la valeur du score pour chaque point (échelle colorée selon la classe de naturalité) ;
- une indication de la confiance ou de la qualité des données (avec un score ajusté selon la difficulté d'identification ou le signalement « expert / non-expert ») ;
- certaines métadonnées liées : date et durée du relevé, notes sur les difficultés d'identification ;

- des filtres et couches optionnels : type de peuplement (régulier / irrégulier / taillis, résineux / feuillus), âge ou diamètre moyen des arbres, présence d'espèces remarquables, données sur le bois mort et la surface terrière, indicateurs complémentaires (IBP, dendromicrohabitats) si fournis par le contributeur ;
- des outils d'exploration : agrégation par mailles ou par commune, possibilités d'export (CSV, shapefile).

Cette représentation cartographique serait particulièrement utile pour repérer les tendances spatiales (zones à haute naturalité ou zones sous-échantillonnées par exemple), prioriser les protections et orienter les gestions locales.

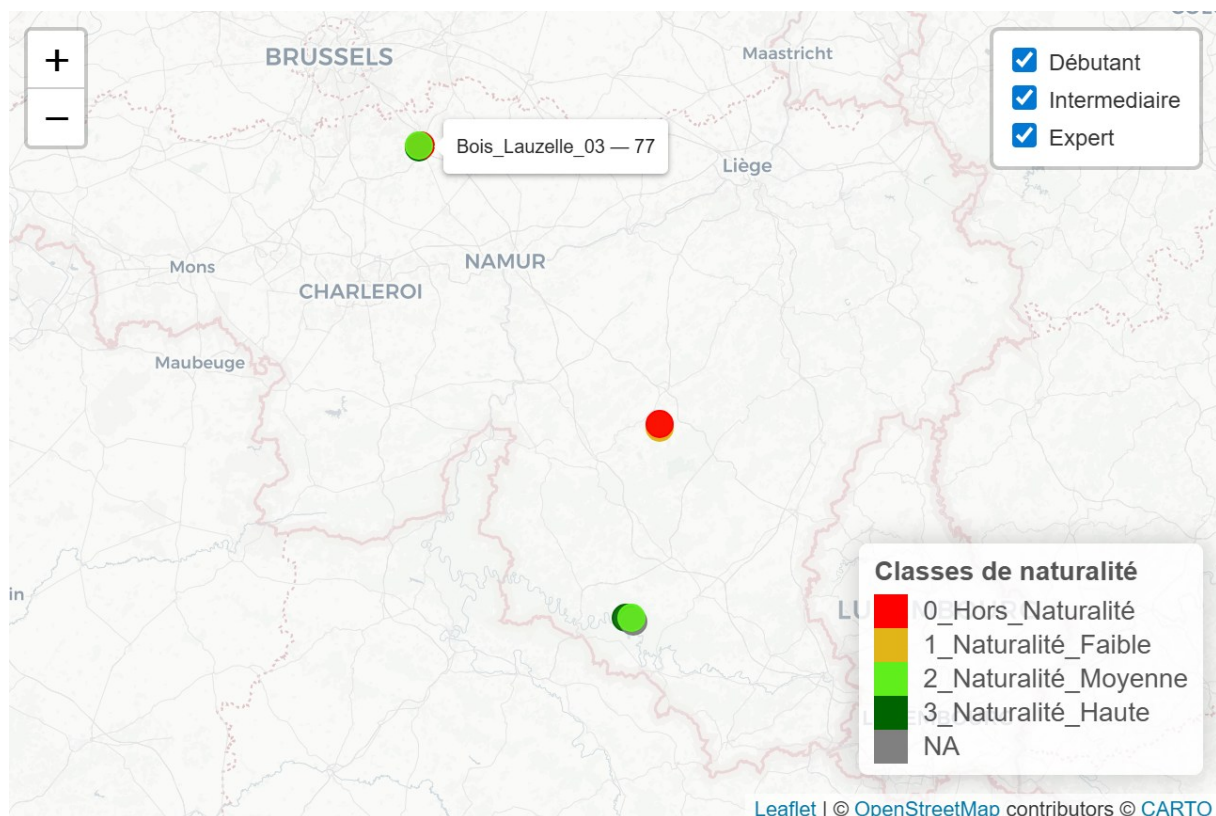


Figure 27 – Exemple de carte interactive qui pourrait être constituée sur base des scores de naturalité fournis par les contributeurs.

La science participative est définie par Haklay *et al.* (2023) comme l'ouverture de l'activité scientifique à un public plus large, dont une grande partie n'est pas professionnellement impliquée dans des instituts de recherche. Cette approche pourrait être utilisée avec ÉPIFOR pour favoriser l'appropriation des enjeux de naturalité par les gestionnaires et les aider dans leur aménagement forestier, tout en renforçant le lien entre science et pratique. Il est recommandé d'accompagner la carte d'avertissements méthodologiques et de favoriser la croisée avec d'autres indicateurs tels que l'IBP, les inventaires de bois mort, l'âge des peuplements pour obtenir des interprétations robustes.

5.3.6. Autres propositions

Ouvrir l'outil à d'autres contextes

Un utilisateur signale la dépendance d'ÉPIFOR au contexte forestier, jugée trop restrictive : l'outil convient surtout aux zones alluviales mais devrait être étendu aux milieux secs, fréquents dans les Réserves Forestières Intégrales et pertinents pour l'évaluation de la naturalité. Il est proposé d'intégrer des espèces indicatrices des milieux secs pour élargir la couverture écologique d'ÉPIFOR.

Offrir des alternatives à la loupe

Plusieurs utilisateurs estiment l'usage systématique d'une loupe peu pratique. Une alternative économique consiste à recommander une lentille macro pour smartphone (coûtant environ 10 à 20 €), qui facilite l'identification sur le terrain tout en limitant les contraintes logistiques. Sur l'éventail, un code QR renvoyant vers une application mobile d'identification pourrait aussi s'avérer pertinent. La formation pratique et les exercices de terrain guidés pourraient insister sur les caractères visibles sans loupe.

Simplifier le calcul du score

Les consignes sont jugées claires et complètes, mais il serait utile de simplifier l'éventail et le protocole. Le calcul du score pourrait être allégé et clarifié, voire repensé totalement si les bryophytes sont retirées de l'évaluation. L'indice ÉPIFOR actuel paraît trop restrictif et pourrait être transformé en une échelle continue permettant de définir des intervalles de « niveau de naturalité » plutôt qu'un seul chiffre. Ces intervalles, selon les scores obtenus, pourraient ensuite servir de base à des recommandations de gestion.

5.4. Biais potentiels

Plusieurs biais peuvent affecter les résultats du questionnaire :

- un biais d'auto-sélection, les répondants étant vraisemblablement ceux les plus intéressés par ÉPIFOR ou, au contraire, les plus insatisfaits, ce qui pourrait compromettre la généralisation des conclusions à l'ensemble des utilisateurs d'ÉPIFOR ;
- un biais lié à la taille réduite de l'échantillon ($n = 9$) diminuant la puissance et la représentativité ;
- un biais d'information lié à l'absence d'obligation de répondre à toutes les questions (données manquantes) ;
- un biais lié à l'expertise des répondants, qui apportent des réponses selon leurs connaissances, variables selon la personne.

Dans la mesure du possible, ces biais ont été pris en compte dans l'interprétation des résultats.

6. Simplifications du protocole ÉPIFOR

Cette section vise à évaluer l'influence de la simplification du protocole ÉPIFOR sur le score obtenu et le diagnostic réalisé. Après avoir décrit les caractéristiques des sites d'études, trois pistes sont envisagées : (1) ne considérer que les lichens au sein des espèces épiphytes, (2) réduire le nombre d'arbres inventoriés, et (3) réduire le nombre sous-placettes par placette.

6.1. Résultats des inventaires et caractérisation des sites

6.1.1. Description des peuplements et résultats ÉPIFOR par placette

Au total, 76 charmes communs (*Carpinus betulus*), 66 chênes sessiles (*Quercus petraea*), 56 hêtres communs (*Fagus sylvatica*), 28 chênes pédonculés (*Quercus robur*), sept érables sycomores (*Acer pseudoplatanus*), cinq bouleaux verruqueux (*Betula pendula*), un érable champêtre (*Acer campestre*) et un merisier (*Prunus avium*) ont été recensés sur l'ensemble de l'aire d'étude (**Figure 28**). La répartition complète des essences par placette est fournie en annexe page 90. Les données brutes relatives aux espèces et aux scores des lichens et des bryophytes sont présentées dans le **Tableau 3**. Le nombre d'espèces épiphytes par placette varie de 1 à 10 (moyenne 5,08), le score ÉPIFOR s'étage de la classe 0 à la classe 3 (moyenne 1,17) et la richesse totale observée sur l'ensemble des placettes est de 61 espèces. L'hétérogénéité spatiale est marquée : certaines placettes présentent des richesses très faibles (une à deux espèces, classe 0), tandis que d'autres atteignent jusqu'à 10 espèces et la classe 3.

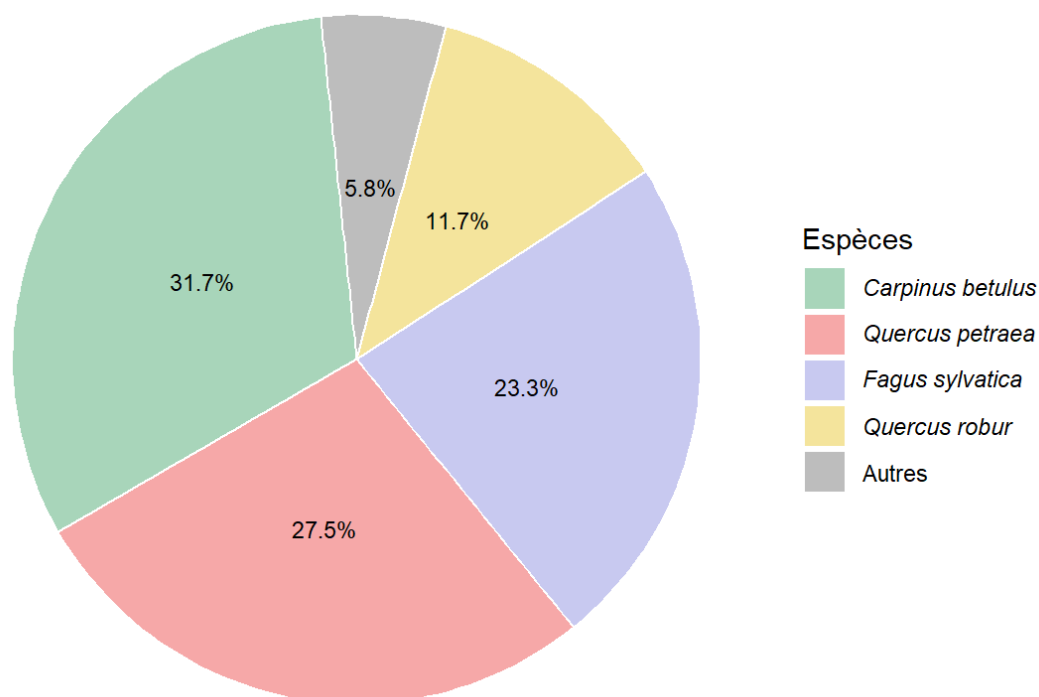


Figure 28 – Répartition des essences parmi les 240 arbres inventoriés pour ce mémoire.

Tableau 3 – Résultat de naturalité ÉPIFOR : nombre d'espèces et scores par placette pour l'ensemble des épiphytes (lichens et bryophytes) relevés sur le terrain. Code couleur par zone : bleu = bois de Lauzelle, jaune = cantonnement de Marche-en-Famenne, vert = cantonnement d'Anlier/Habay.

Placette	Nombre d'espèces d'épiphytes	Score complet
L1	1	Classe 0
L2	5	Classe 1
L3	4	Classe 1
M1	8	Classe 2
M2	10	Classe 2
M3	4	Classe 1
M4	5	Classe 1
A1	1	Classe 0
A2	2	Classe 0
A3	4	Classe 1
A4	7	Classe 2
A5	10	Classe 3
Total	61	14 classes
Moyenne par placette	5,08	1,17 classe

6.1.2. Comparaison des scores avec l'Indice de Biodiversité Potentielle

L'IBP mesure, pour un peuplement forestier, son potentiel d'accueil d'espèces à partir de 10 facteurs notés, aboutissant à un score compris entre 0 et 50 (Larrieu & Gonin, 2008b). Il comprend le volet « contexte » (trois facteurs : continuité forestière, milieux aquatiques, milieux rocheux) qui décrit les conditions de paysage favorables et indépendantes des pratiques sylvicoles ; et le volet « peuplement et gestion » (sept facteurs : essences autochtones, structure verticale, gros bois mort debout et au sol, gros arbres vivants, arbres porteurs de microhabitats, milieux ouverts) qui reflète la capacité modulable par la gestion à accueillir la biodiversité. Les facteurs sont notés (souvent 0, 2 ou 5) et les sous-scores des deux volets sont convertis en percentiles (0–33 %, 34–67 %, 68–100 %) pour faciliter l'interprétation et la prise de décision.

Au bois de Lauzelle, les données de score IBP sont disponibles, ce qui permet d'évaluer la cohérence entre ces évaluations et le score ÉPIFOR (**Figure 29**). La placette L1, située en

peuplement feuillu à transformation irrégulière, a un IBP « contexte » faible (0–33 %) et un IBP « peuplement et gestion » élevé (81–100 %), mais le score ÉPIFOR reste en classe 0 (hors naturalité). La placette L2, également en feuillu à transformation irrégulière, présente un IBP « contexte » faible (0–33 %) et un IBP « peuplement et gestion » assez élevé (61–80 %), tandis que le score ÉPIFOR se situe en classe 1 (faible naturalité). Ces deux placettes sont représentées sur la **Figure 30**. La placette L3 (**Figure 31**), quant à elle en feuillu à entretien irrégulier, affiche des valeurs moyennes pour l’IBP « contexte » (34–67 %) et pour l’IBP « peuplement et gestion » (41–60 %). Sa classe vaut 1, ce qui correspond à une naturalité faible.

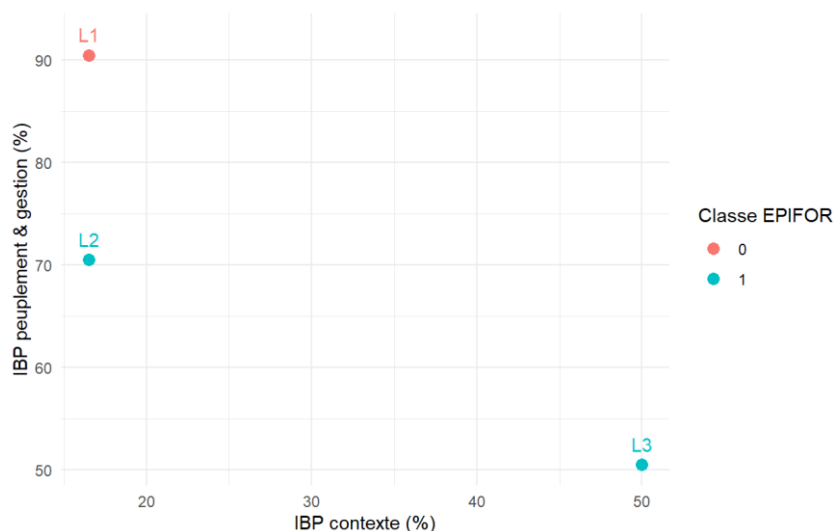


Figure 29 – IBP « contexte » *versus* IBP « peuplement et gestion ». La classe ÉPIFOR est représentée par des couleurs afin d’évaluer visuellement la potentielle existence d’une relation entre score ÉPIFOR et valeurs d’IBP. Sur base de ces données, aucun lien évident n’apparaît entre les scores IBP et ÉPIFOR. Les deux scores sont complémentaires mais ne mesurent pas les mêmes aspects.

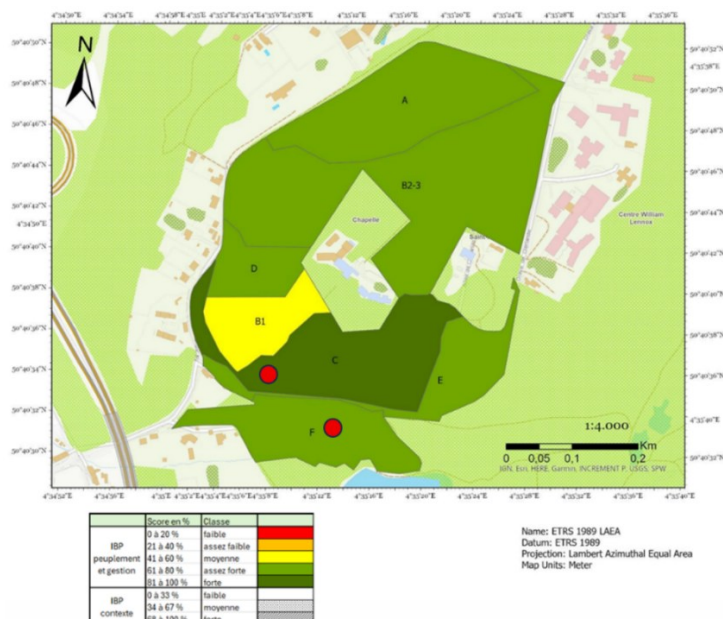


Figure 30 – Localisation des placettes (points rouges) L1, au nord-ouest (îlot C) et L2, au sud-est (îlot F ; Projet Intégré En Forêt et Espaces Naturels, 2025).

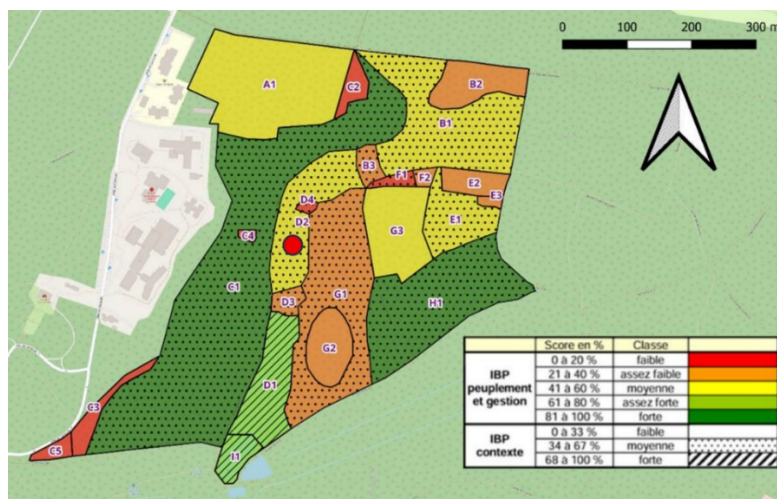


Figure 31 – Localisation de la placette L3, dans l'îlot D2 dans autre compartiment que les deux placettes précédentes (Projet Intégré En Forêt et Espaces Naturels, 2024).

6.1.3. Hétérogénéité spatiale entre placettes

Des différences apparaissent entre les scores des placettes au sein d'une même zone (Tableau 3), en se déplaçant de quelques centaines de mètres au maximum. La variabilité locale est particulièrement marquée dans la zone d'Anlier/Habay, où l'écart peut atteindre jusqu'à trois classes entre les placettes. L'hétérogénéité est moins prononcée dans les deux autres zones, mais demeure présente, en raison notamment de la présence d'espèces uniques concentrées dans certaines placettes uniquement. Parfois, seule une espèce indicatrice suffit à faire passer le score d'une classe à une autre, comme c'est le cas pour la placette A2. Sans variabilité spatiale, toutes les placettes d'une même zone (Lauzelle, Marche-en-Famenne ou Anlier/Habay) auraient des scores identiques, mais l'on constate parfois que le score peut changer en se déplaçant d'à peine quelques dizaines de mètres. Cela montre l'hétérogénéité spatiale au sein des sites. Pour réduire l'incertitude des scores ÉPIFOR, il convient de privilégier des espèces indicatrices d'abondance suffisante, ainsi que de multiplier les relevés au sein des sites plutôt que de se limiter à un seul point d'échantillonnage. Ceci devrait permettre d'atténuer l'impact des placettes « hotspots » ou exceptionnellement pauvres et de fournir une estimation de la naturalité plus robuste au niveau de la zone.

6.2. Réduction du nombre d'épiphytes et influence des caractéristiques des peuplements sur les scores ÉPIFOR

6.2.1. Impact de la simplification sur les scores ÉPIFOR

Dans le protocole initial, l'inventaire d'une placette consistait à identifier, sur 5 gros et 15 petits arbres, les lichens et les bryophytes indicateurs. Mais parmi ces épiphytes, les bryophytes sont généralement les plus difficiles à déterminer sur le terrain, comme cela a été précisé plus haut.

L'objectif de cette section est d'évaluer l'impact d'une simplification du protocole ÉPIFOR consistant à ne conserver que les lichens et d'exclure les bryophytes afin de décider si cette version allégée reste pertinente sur le plan écologique et opérationnel, et de déterminer le lien entre certaines métriques (bois mort, surface terrière, circonférence, phorophyte) avec un score ÉPIFOR purement lichénique.

Les données utilisées proviennent des inventaires par placette avec relevés d'épiphytes lichéniques et bryophytiques. Une comparaison placette par placette des scores ÉPIFOR calculés avec « lichens + bryophytes » et avec « lichens uniquement » est fournie dans le **Tableau 4**. Les pertes constatées après l'exclusion des bryophytes atteignent jusqu'à sept espèces et deux classes pour certaines placettes, la moyenne par placette étant de 2,5 espèces et 0,66 classe perdues. Certaines placettes ne sont presque pas affectées tandis que d'autres voient leur score diminuer d'une ou deux classes. Selon les informations issues du terrain, la placette de l'aire d'étude la plus pauvre en lichens est la L1, au bois de Lauzelle, avec une seule espèce détectée, *Normandina pulchella*. La placette présentant la plus forte abondance lichénique observée est la A4 (cantonement d'Anlier/Habay) avec 15 *Normandina pulchella*, neuf *Pertusaria pertusa* et un *Pertusaria hymenea*. La placette la plus diversifiée est la M2, dans le cantonnement de Marche-en-Famenne, avec cinq *Normandina pulchella*, deux *Chaenotheca ferruginea*, deux taxons du groupe *Lecanactis abietina* / *Opegrapha vermicellifera*, un *Chrysothrix candelaris* et un *Pertusaria pertusa*. Plusieurs espèces de lichens sont communes aux chênes, hêtres et charmes, tandis que d'autres espèces montrent une affinité pour une essence donnée (**Figure 32**).

Tableau 4 – Comparaison du nombre d'espèces et de scores lorsque lichens et bryophytes sont pris en compte versus lichens uniquement.

Placette	Nombre d'espèces épiphytiques	Nombre d'espèces lichéniques	Perte d'espèces	Score complet	Score lichénique	Perte de classe
L1	1	1	0	Classe 0	Classe 0	0
L2	5	2	3	Classe 1	Classe 0	1
L3	4	4	0	Classe 1	Classe 1	0
M1	8	3	5	Classe 2	Classe 1	1
M2	10	5	5	Classe 2	Classe 1	1
M3	4	2	2	Classe 1	Classe 0	1
M4	5	3	2	Classe 1	Classe 1	0
A1	1	1	0	Classe 0	Classe 0	0
A2	2	2	0	Classe 0	Classe 0	0
A3	4	2	2	Classe 1	Classe 0	1
A4	7	3	4	Classe 2	Classe 1	1
A5	10	3	7	Classe 3	Classe 1	2
Moyenne par placette	5,08	2,58	2,50	1,16	0,50	0,66

La littérature et les observations méthodologiques apportent des arguments en faveur des lichens : ils présentent des caractères macroscopiques distinctifs, autorisent des diagnostics chimiques rapides et sont moins soumis à la variabilité saisonnière (Green *et al.*, 2011; Krajanová, 2023; Ormond *et al.*, 2025). De plus, de nombreuses espèces lichéniques conservent leurs traits en conditions sèches, alors que certaines bryophytes exigent un niveau d'humidité particulier pour révéler leurs caractères diagnostiques (Green *et al.*, 2011).

Par ailleurs, la richesse spécifique en lichens est significativement corrélée au degré de naturalité forestière, alors que l'abondance en bryophytes n'affiche pas toujours de relation aussi nette avec les régimes de gestion (Czerepko *et al.* 2021). Les lichens sont donc moins complexes à identifier et plus pertinents comme indicateurs. Empiriquement, l'exclusion des bryophytes entraîne une perte mesurable d'informations (en espèces et en classes) mais ne fait pas disparaître le signal pertinent pour l'évaluation de la naturalité ; la simplification réduit la résolution des scores sans invalider leur capacité à classer les placettes de façon cohérente. Une baisse des performances est donc observée, mais ce compromis est jugé acceptable : réduire le nombre de classes et accepter une légère perte de précision semble justifié dans ce contexte. Il serait souhaitable d'accroître l'échantillonnage d'espèces afin de compenser le manque de contraste entre scores.

En conséquence, la version d'ÉPIFOR centrée uniquement sur les lichens peut être adoptée si la priorité est la rapidité et la facilité d'identification sur le terrain, à condition d'accepter une perte moyenne d'environ 2,5 espèces et 0,66 classe par placette. Il ne faudrait ni élargir la liste lichénologique, afin de préserver la simplicité du protocole, ni la réduire, pour conserver la précision des scores. Dans les analyses qui suivent, seuls les lichens sont pris en compte.

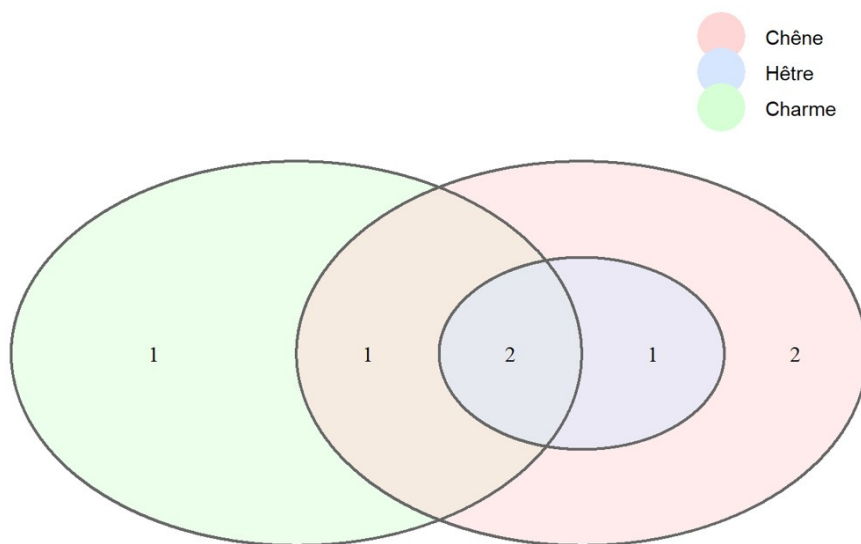


Figure 32 – Nombre d'espèces lichéniques uniques et communes entre les trois essences sur lesquelles les lichens sont les plus représentés (chênes, hêtres et charmes).

6.2.2. Effet du bois mort

Dans l'objectif de déterminer si les scores ÉPIFOR sont influencés par des variables dendrologiques, l'une d'entre elles, le volume de bois mort, a été inventoriée sur le terrain et rapportée en m³ pour chaque placette, pour un total de 92,3 m³ dans toute l'aire d'étude. Différentes métriques opérationnelles ont été employées : diamètre des souches (converti en volume *via* une hauteur de référence), circonférence des bois morts sur pied (avec une hauteur de référence), longueur et circonférence pour le bois mort au sol. Le **Tableau 5** récapitule ces volumes ainsi que la surface terrière pour chaque placette.

Tableau 5 – Comparaison du score lichénique de chaque placette avec son volume de bois mort en m³ et sa surface terrière en m²·ha⁻¹.

Placette	Nombre d'individus lichéniques	Nombre d'espèces lichéniques	Score lichénique	Volume de bois mort [m ³]	Surface terrière [m ² ·ha ⁻¹]
L1	1	1	Classe 0	10,3	19
L2	3	2	Classe 0	4,5	21
L3	7	4	Classe 1	25,4	21
M1	15	3	Classe 1	5,2	15
M2	11	5	Classe 1	2,4	23
M3	2	2	Classe 0	23,3	25
M4	3	3	Classe 1	6,3	15
A1	16	1	Classe 0	1,4	22
A2	11	2	Classe 0	6,0	27
A3	20	2	Classe 0	2,8	28
A4	25	3	Classe 1	3,1	17
A5	24	3	Classe 1	1,6	21
Moyenne par placette	11,5	2,6	0,5 classe	7,7	21

L'analyse, appuyée par des boxplots (**Figure 33**), montre l'absence d'association détectable entre le volume de bois mort et le score ÉPIFOR. Une régression logistique donne $\beta = -0,012$ (p est supérieure à 0,5) et AIC = 20,61. La déviance résiduelle varie peu par rapport au modèle nul (16,64 à 16,61). L'odds ratio estimé vaut environ 0,99 (IC de 95 % pour 0,84–1,15), ce qui indique qu'aucun effet statistiquement significatif du volume de bois mort sur la probabilité d'obtenir ÉPIFOR = 1 n'a été mis en évidence dans l'échantillon de 12 placettes. La quantité de bois mort mesurée ici n'explique donc pas la variation du score ÉPIFOR.

Toutefois, cette absence d'effet statistiquement détectable ne permet pas d'exclure une influence écologique réelle du bois mort et doit être interprétée avec prudence : la taille d'échantillon est réduite, la variance du volume relativement faible et des variables confondantes (stades de décomposition, qualité de l'écorce, pollution atmosphérique, etc.) n'ont pas été contrôlées. De plus, la métrique « volume total » peut masquer des effets spécifiques à certaines catégories ou stades de bois mort. Des analyses complémentaires sont

donc recommandées : échantillonnage élargi et stratifié (y compris sur des sites à grands volumes), distinction des catégories et stades de décomposition, intégration de covariables pertinentes. L'ajout d'indicateurs saproxyliques comme les champignons ou les invertébrés permettrait également d'évaluer plus complètement la valeur écologique du bois mort au-delà des réponses lichéniques.

Les volumes mesurés ici restent modestes et les placettes se situent dans des classes de naturalité faibles à très faibles, ce qui est cohérent avec la littérature indiquant que les forêts gérées ont généralement moins de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de bois mort (Puletti *et al.*, 2017), souvent $<20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Fridman & Walheim, 2000), tandis que les forêts de haute naturalité présentent typiquement des volumes de l'ordre de $100\text{--}200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ou plus en forêt tempérée (Bujoczek *et al.*, 2018; Chivulescu *et al.*, 2022; Christensen *et al.*, 2005; Rimle *et al.*, 2017). Dans ce contexte de faibles volumes, la continuité des habitats et la qualité des microhabitats épiphytiques (liées à l'âge et à la taille des arbres) peuvent être des déterminants plus importants pour les espèces indicatrices mesurées par ÉPIFOR que le simple stock de bois mort. La richesse spécifique augmentant avec l'âge des arbres et avec les paramètres liés à leur taille (Nascimbene *et al.*, 2009), ÉPIFOR peut donc refléter prioritairement ces dimensions plutôt que la ressource ligneuse morte.

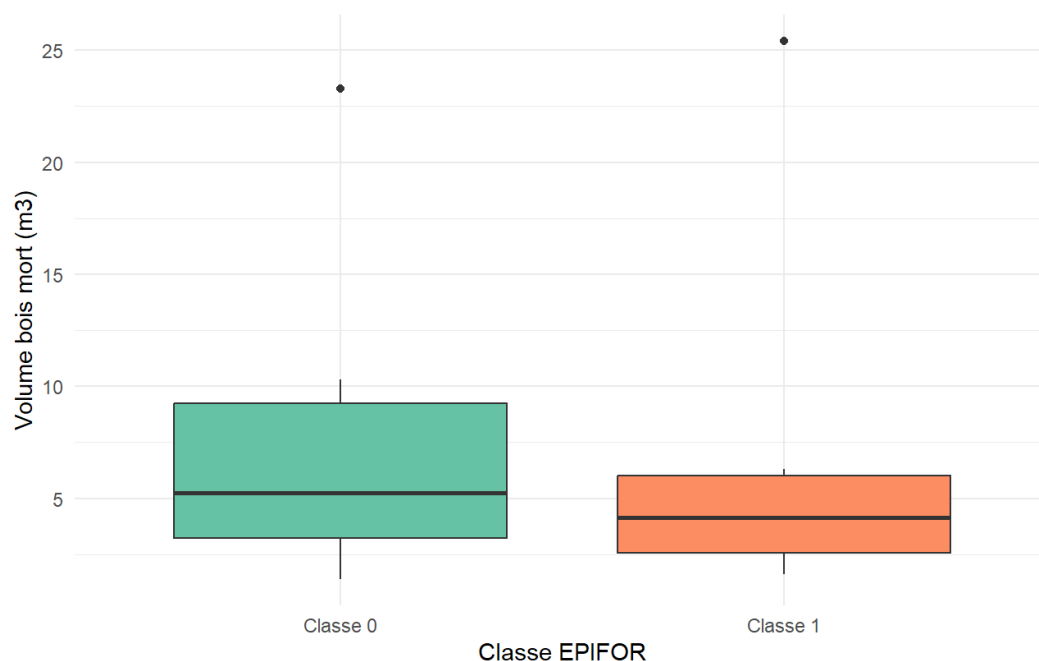


Figure 33 – Distribution du volume de bois mort en m^3 pour les placettes classées 0 et 1. Les boîtes indiquent la médiane et l'interquartile (Q1 à Q3). Les moustaches s'étendent au maximum jusqu'à $1,5 \times$ l'intervalle interquartile.

6.2.3. Effet de la surface terrière

Pour évaluer si la surface terrière exerce une influence sur les scores ÉPIFOR, cette dernière a été mesurée sur le terrain pour toutes les sous-placettes avant d'être moyennée en une valeur par placette. La surface terrière moyenne par zone est de $21 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ pour Lauzelle, $19 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$

pour Marche-en-Famenne et $23 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ pour Anlier/Habay. Au niveau des placettes, les valeurs varient de 15 à $28 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (**Tableau 5**), des niveaux généralement associés à des forêts de faible naturalité. La moyenne sur l'échantillon vaut $21,52 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ et l'écart-type est 4,39. Celui des scores ÉPIFOR est égal à 0,52. La relation entre surface terrière et bois mort est représentée sur la **Figure 34**.

Une régression logistique examinant l'effet de la surface terrière sur la probabilité d'obtenir ÉPIFOR = 1 fournit un signal négatif d'intensité modérée (McFadden pseudo- $R^2 \approx 0,33$; $G^2 = 5,45$), indiquant que la surface terrière explique une partie de la variation des scores mais de façon limitée. Les tests comparant les moyennes entre classes ÉPIFOR confirment une tendance négative, non significative au seuil $\alpha = 0,05$. La taille d'échantillon restreinte ($n = 12$) et la puissance statistique insuffisante empêchent de tirer des conclusions robustes.

Sur le plan écologique, la tendance observée est cohérente avec la littérature : les forêts de faible naturalité affichent généralement des surfaces terrières basses (souvent $15\text{--}30 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), tandis que les forêts de haute naturalité ont des valeurs plus élevées, typiquement $30\text{--}40 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Bölöni *et al.*, 2021; Van Do *et al.*, 2020), parfois $>50 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Petritan *et al.*, 2021). Toutefois, l'échantillon utilisé ne permet pas d'affirmer l'existence d'une relation causale entre surface terrière et ÉPIFOR. Pour confirmer et préciser cette tendance, il est recommandé d'élargir l'échantillonnage, d'intégrer des covariables pertinentes (âge des arbres, composition en essences, pression de gestion) et d'explorer des modèles multivariés ou à effets mixtes pour isoler l'effet propre de la surface terrière, dont l'effet sur la présence d'épiphytes est moindre que le bois mort (Czerepko *et al.*, 2021).

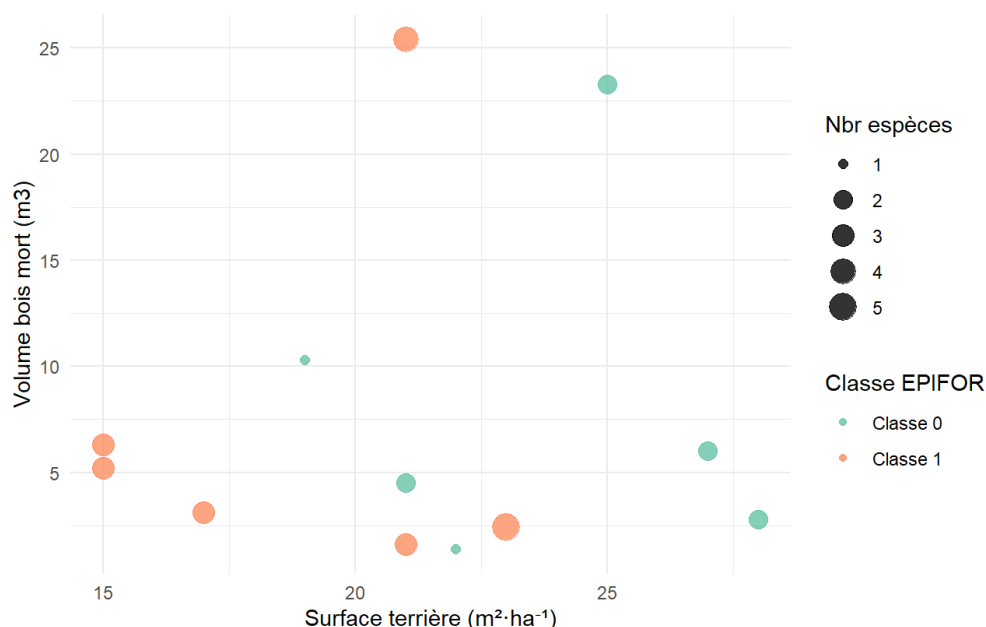


Figure 34 – Relation entre la surface terrière ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) et le volume de bois mort (m^3) pour chaque placette. Les points sont colorés selon la classe ÉPIFOR et la taille des points est proportionnelle au nombre d'espèces lichéniques. La variabilité est faible dans cet échantillon ($n = 12$) et aucune tendance nette n'apparaît.

6.2.4. Effet du phorophyte

Les lichens ont été comparés entre chêne et hêtre pour évaluer l'effet du phorophyte sur les scores ÉPIFOR. Les relevés montrent des différences nettes : 55 individus et 22 espèces ont été observés sur 94 chênes (**Figure 35**), contre 18 individus et 10 espèces sur 56 hêtres (**Figure 36**), récapitulé au **Tableau 6**. La même tendance est observée pour les espèces et le nombre d'individus observés (**Figure 37**).

Pour comparer les groupes « chêne » et « hêtre » dont les distributions ne sont pas normales, on peut recourir à un test non paramétrique, par exemple le Mann–Whitney, qui révèle une différence hautement significative entre les scores ÉPIFOR des placettes sur chêne et sur hêtre ($p < 0,001$). Cela confirme que les scores sont significativement plus élevés sur chêne que sur hêtre.

Cette observation concorde avec la littérature : la distribution des lichens dépend fortement des propriétés de l'écorce, comme la texture ou le pH, et des préférences écologiques des espèces, ce qui explique en partie la plus grande abondance et diversité lichéniques sur chêne (Boggess *et al.*, 2024). Dans notre échantillon, la corrélation positive entre type de phorophyte et score ÉPIFOR indique que la composition en essences influe sur l'indicateur lichénique mesuré. Toutefois, malgré la significativité statistique observée ici, il convient de rester prudent quant à la généralisation et à l'interprétation causale. À nouveau, des covariables susceptibles d'affecter la communauté lichénique (âge des arbres, exposition, microclimat, état et stade de l'écorce, pression de gestion) pourraient intervenir.

Les implications pour ÉPIFOR sont les suivantes : ÉPIFOR apparaît sensible aux différences de phorophyte et reflète, dans cet échantillon, une meilleure naturalité mesurée sur les chênes que sur les hêtres. Les placettes sur chêne présentent globalement des effectifs, une richesse spécifique et des classes ÉPIFOR supérieurs à ceux des placettes sur hêtre. Pour confirmer et préciser ce lien de causalité, il est recommandé d'élargir l'échantillonnage et d'inclure les covariables pertinentes afin d'isoler l'effet propre de l'essence sur les scores ÉPIFOR. Au vu de ces observations, une piste à étudier est d'ajuster les scores par essence : réduire le score attribué sur chêne par rapport à celui donné sur hêtre pour mieux refléter la naturalité.



Figure 35 – L’une des chênaies du cantonnement d’Anlier/Habay étudiées dans le cadre du mémoire.



Figure 36 – Hêtraie prospectée sur le terrain à Marche-en-Famenne.

Tableau 6 – Comparaison du nombre d’individus, des espèces et des scores ÉPIFOR lichéniques sur chêne et sur hêtre.

Placette	Individus sur chêne	Espèces sur chêne	Scores sur chêne	Individus sur hêtre	Espèces sur hêtre	Scores sur hêtre
L1	0	1	Classe 0	1	1	Classe 0
L2	2	2	Classe 0	0	0	Classe 0
L3	4	1	Classe 0	0	0	Classe 0
M1	10	3	Classe 1	0	0	Classe 0
M2	9	5	Classe 1	0	0	Classe 0
M3	0	0	Classe 0	2	2	Classe 0
M4	1	1	Classe 0	3	2	Classe 1
A1	10	1	Classe 0	7	1	Classe 0
A2	8	1	Classe 0	3	2	Classe 0
A3	4	2	Classe 0	2	2	Classe 0
A4	4	3	Classe 1	0	0	Classe 0
A5	3	2	Classe 0	0	0	Classe 0
Total	55	22	3 classes	18	10	1 classe
Moyenne par placette	4,58	1,83	0,25 classe	1,5	0,83	0,08

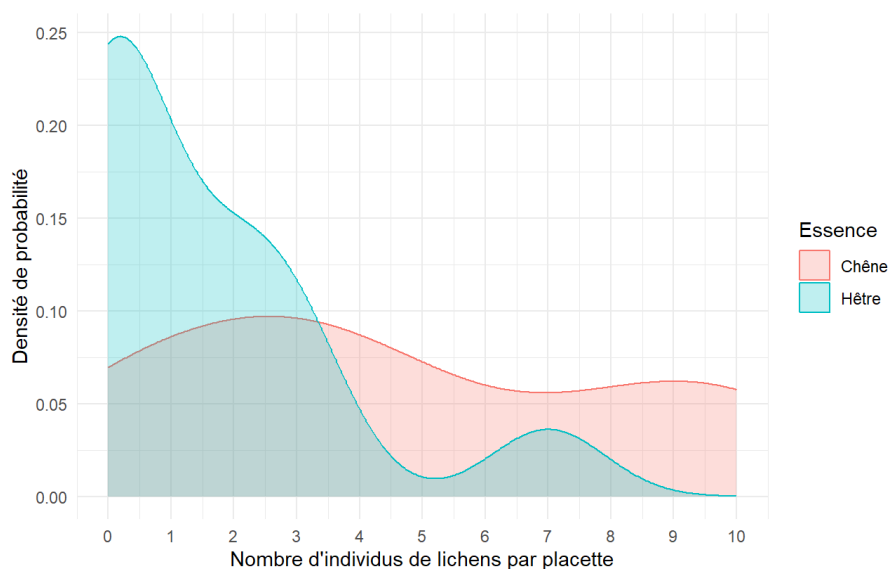


Figure 37 – Distribution normalisée des essences principales selon le nombre de lichens hébergés; chaque valeur représente le nombre d’individus relevés sur les arbres d’une même essence dans une placette.

6.3. Réduction du nombre d’arbres

Parallèlement à l’exclusivité lichénique, une simplification possible du protocole ÉPIFOR consiste à n’inventorier que les cinq plus gros arbres par placette (au lieu des 5 gros et 15 petits habituels). L’analyse porte sur l’effet de la circonférence et de cette réduction du nombre d’arbres sur la présence, l’abondance et la diversité des lichens, ainsi que sur la cohérence des classes ÉPIFOR.

6.3.1. Effet de la circonférence

L’objectif de cette section est d’examiner les différences de circonférence entre arbres « gros » et « petits » par placette et par zone, d’en décrire les variations observées et d’évaluer leur signification statistique.

Les gros arbres ont en moyenne 2,5 fois la circonférence des petits, ils présentent une moyenne de 233 cm et un écart-type de 41,4 (coefficient de variation de 17,8 %), tandis que les petits ont une moyenne de 93 cm et un écart-type de 39,2 (coefficient de variation de 42,2 % ; **Tableau 7**). Anlier/Habay présente les plus grandes circonférences moyennes, avec des arbres de 132 cm en moyenne, tandis que Marche-en-Famenne a les plus petites circonférences globales mais le score par placette le plus élevé, 0,75 en moyenne par placette (**Figure 38**).

On peut noter que l’amplitude des différences de circonférence entre gros et petits arbres par placette montre une forte dissymétrie pour la placette A5 (180 cm de différence entre la moyenne des gros et celle des petits), et à l’inverse un faible contraste pour la placette A2, avec

seulement 70 cm de différence entre les circonférences moyennes des gros et des petits arbres.

Tableau 7 – Comparaison des circonférences des arbres selon la zone.

	Circonférence moyenne des gros arbres [cm]	Circonférence moyenne des petits arbres [cm]	Circonférence moyenne de tous les arbres [cm]	Rapport gros/petit arbre	Score ÉPIFOR moyen par placette
Lauzelle	230	98	131	2,35	0,33
Marche-en-Famenne	227	85	121	2,67	0,75
Anlier/Habay	240	96	132	2,5	0,4
Moyenne	233	93	128	2,5	0,5

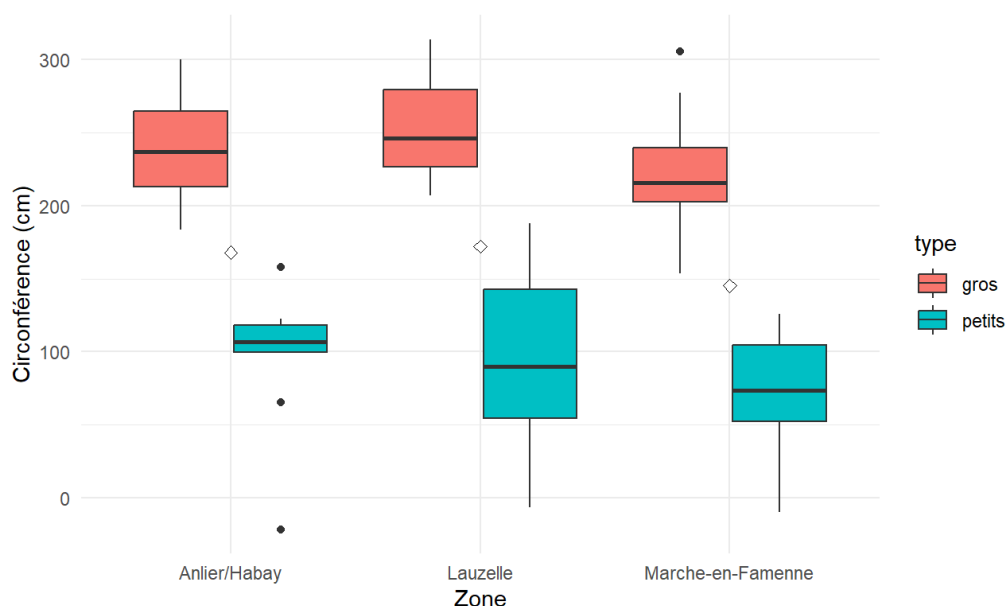


Figure 38 – Représentation des variations de circonférence des arbres entre les trois zones de l'aire d'étude.

Les circonférences ne sont pas normales et les échantillons sont petits, un test non paramétrique comparant les rangs sans hypothèse de normalité est donc à nouveau utile pour comparer ces données. Le test de Wilcoxon (Mann–Whitney) appliqué pour comparer la circonférence moyenne des arbres entre les deux groupes ÉPIFOR (0 *versus* 1) donne $W = 2$ avec une p-valeur de 0,667. Cette p-valeur bien supérieure au seuil usuel ($\alpha = 0,05$) indique l'absence de différence statistiquement significative des distributions de circonférence entre les deux groupes dans cet échantillon. En d'autres mots, il n'existe pas de preuve suffisante pour affirmer que les circonférences diffèrent entre les deux groupes. Il convient de souligner que le test repose sur des effectifs très faibles, ce qui réduit sa puissance et rend le résultat

moins informatif : l'absence de différence détectée peut venir d'un manque de données plutôt que d'une absence d'effet réel.

6.3.2. Effet de la réduction du nombre d'arbres

Au niveau des placettes, la réduction à cinq gros arbres entraîne une perte d'espèces et de classes modérée et localisée (**Tableau 8**). Sur 12 placettes, deux voient leur classe ÉPIFOR diminuer (17 % des cas), soit une perte moyenne de 0,17 classe par placette. Le nombre total d'espèces passe de 31 (inventaire complet) à 23 (cinq gros arbres) : huit espèces perdues au total, soit une baisse moyenne de 0,67 espèce par placette, avec des pertes globalement réparties de manière homogène. Les pertes maximales par placette atteignent deux espèces. Inversement, n'inventorier que les petits arbres (**Figure 39**) engendre des pertes bien plus importantes, cinq classes et 12 espèces manquent, dont la disparition complète de *Pertusaria leioplaca* des inventaires. Les espèces uniques aux gros arbres sont d'ailleurs plus nombreuses que celles uniques aux petits arbres (**Figure 40**).

Tableau 8 – Comparaison du nombre d'espèces et de scores entre inventaire complet (5 gros + 15 petits arbres) et inventaire limité à cinq gros arbres.

Placette	Nombre d'espèces lichéniques complet	Nombre d'espèces lichéniques gros arbres	Perte d'espèces	Score complet	Score gros arbres	Perte de classe
L1	1	1	0	Classe 0	Classe 0	0
L2	2	0	2	Classe 0	Classe 0	0
L3	4	4	0	Classe 1	Classe 1	0
M1	3	3	0	Classe 1	Classe 1	0
M2	5	5	0	Classe 1	Classe 1	0
M3	2	0	2	Classe 0	Classe 0	0
M4	3	1	2	Classe 1	Classe 0	1
A1	1	1	0	Classe 0	Classe 0	0
A2	2	2	0	Classe 0	Classe 0	0
A3	2	1	1	Classe 0	Classe 0	0
A4	3	3	0	Classe 1	Classe 1	0
A5	3	2	1	Classe 1	Classe 0	1
Total	31	23	8	6	4	2
Moyenne par placette	2,58	1,92	0,67	0,5 classe	0,33 classe	0,17

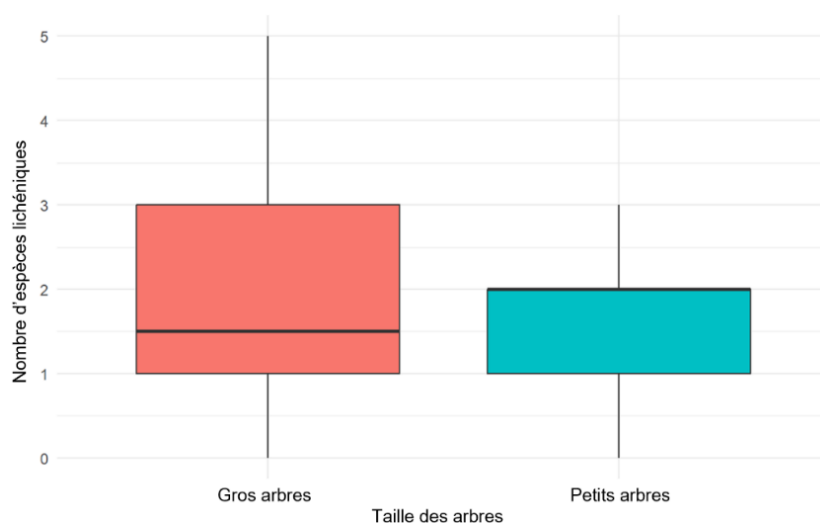


Figure 39 – Parmi les 240 arbres échantillonnés (12 placettes × 5 gros et 15 petits arbres), les gros arbres hébergent plus d'espèces de lichens que les petits, en particulier parce qu'ils offrent davantage de surface et de microhabitats stables favorables aux lichens. En moyenne, il y a environ 0,38 espèce par gros arbre contre 0,13 espèce par arbre toutes tailles confondues.

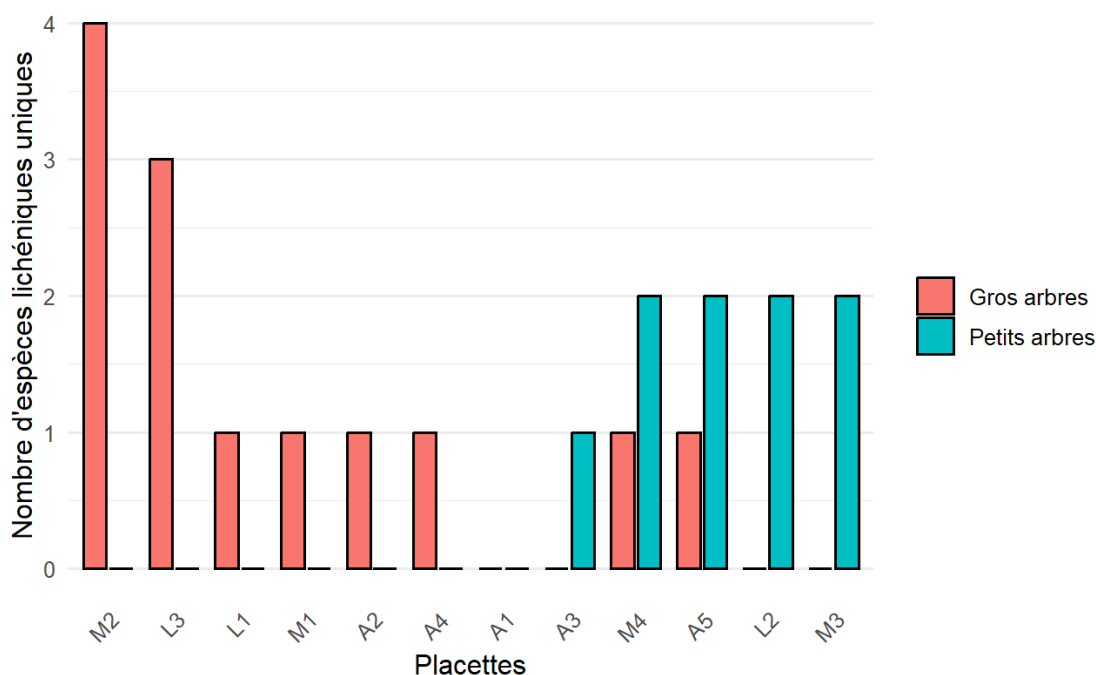


Figure 40 – Nombre d'espèces lichéniques uniques par placette selon la catégorie de circonférence de l'arbre.

Parmi les espèces figurant sur le graphique (parfois de niveau d'indication « bon » et « élevé » sur la même barre), la placette M2 compte deux espèces « élevé » sur les gros arbres. Les petits arbres présentent également des espèces « élevé » : une à M3 et M4, et deux à A5. Les autres espèces sont classées « bon ».

Certains taxons sont majoritairement ou exclusivement observés sur les gros arbres, comme *Pertusaria leioplaca* et *Chaenotheca ferruginea*, tandis que d'autres sont plus fréquents sur les petits, par exemple *Pertusaria pertusa* (Tableau 9). Ces différences montrent des rapports marqués en faveur des gros arbres pour plusieurs espèces indicatrices.

En moyenne, 0,38 espèce est relevée par gros arbre contre 0,13 espèce par arbre toutes tailles confondues. Inventorier deux gros arbres supplémentaires par placette permet de dépasser la richesse observée avec l'inventaire complet. Selon cette extrapolation, inventorier sept gros arbres par placette suffit à atteindre la richesse totale observée avec 5 gros et 15 petits arbres répartis sur 12 placettes.

Tableau 9 – Nombre d'individus de lichens portés par les gros et les petits arbres, selon l'espèce. Le nombre porté par les petits arbres est ramené au nombre de gros arbres pour garder des proportions adéquates.

	Individus portés par les gros arbres	Individus portés par les petits arbres	Rapport gros/petits
<i>Pertusaria leioplaca</i>	1	0	-
<i>Pertusaria hymenea</i>	2	0,3	6,67
Groupe <i>L. abietina</i> / <i>O. vermicellifera</i>	2	0,3	6,67
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	7	1,3	5,38
<i>Chrysothrix candelaris</i>	3	1	3
<i>Normandina pulchella</i>	18	20	0,9
<i>Pertusaria pertusa</i>	4	10,7	0,37

Les deux méthodes (inventaire complet *versus* cinq gros arbres) sont fortement corrélées mais la méthode « cinq gros arbres » tend à sous-estimer légèrement la richesse, en particulier pour les placettes à faibles richesses (**Figure 41**). Une analyse statistique au moyen d'un test t indique une différence significative de richesse entre les deux méthodes ($t = 2,60$; $p < 0,05$). Les corrélations sont élevées : pour la richesse, Pearson donne un r de 0,828 ($p < 0,001$) et Spearman un ρ de 0,762 ($p < 0,01$). Pour les classes ÉPIFOR, la corrélation de Pearson donne un r valant 0,707 et une p -valeur inférieure à 0,05, et la corrélation de Spearman donne un ρ de 0,707 et une p -valeur inférieure à 0,05 également. La régression linéaire explique 68,5 % de la variance ($R^2 = 0,685$) mais montre un biais d'estimation aux faibles richesses.

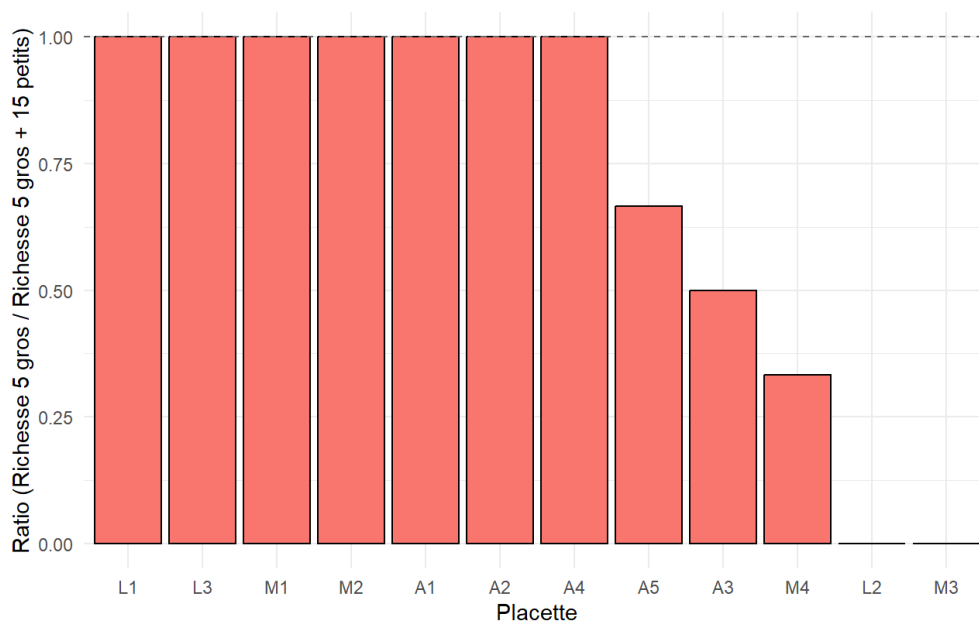


Figure 41 – La plupart des placettes présentent un ratio de capture de la richesse égal à 1 (aucune perte) lorsque l'on ne se base que sur les cinq gros arbres, mais deux placettes (L2 et M3) ont un ratio de 0 (absence totale d'espèces détectées avec les seuls gros arbres). Elles affichaient déjà une naturalité faible (classe 0) et peu de lichens (deux espèces chacune) ; la perte totale d'espèces n'altère donc pas significativement leur évaluation initiale. Globalement, la méthode « cinq gros arbres » conserve la classe ÉPIFOR dans 10 placettes sur 12 (83 %).

Réduire le protocole à cinq gros arbres permettrait de réaliser un gain de temps important, près de 75 % de réduction de la durée de relevé, mais introduirait inévitablement un risque ponctuel de sous-classification et une perte de qualité (**Figure 42**), notamment pour les placettes proches des seuils de classement. Les pertes d'espèces affectent notamment des taxons indicateurs tels que *Chrysothrix candelaris* et le groupe *Lecanactis abietina* / *Opegrapha vermicellifera*, mais ces absences pourraient être réduites en échantillonnant davantage de gros arbres : l'extrapolation indique qu'inventorier sept gros arbres par placette permettrait généralement d'atteindre la richesse observée avec l'inventaire complet. Les arbres les plus gros offrent plus de surface et de microhabitats stables, favorisant l'installation de lichens, y compris les espèces rares. Inventorier 5 gros arbres à la place de 5 gros + 15 petits induit une sous-estimation de 0,67 espèce, mais les placettes typiques sont peu affectées et les placettes les plus riches restent riches.

Néanmoins, dans les placettes où la différence de circonférence entre gros et petits arbres est marquée, la suppression des petits arbres induit des chutes plus importantes. Il paraît donc pertinent, afin de conserver la richesse lichénique (**Figure 43**), de conserver une diversité de circonférences pour représenter la variabilité des phorophytes. Une option intermédiaire, qui resterait à analyser, serait donc d'inventorier 10 arbres par placette en privilégiant la diversité de taille (cinq couples gros/petit), limitant la sous-estimation tout en réduisant l'effort.

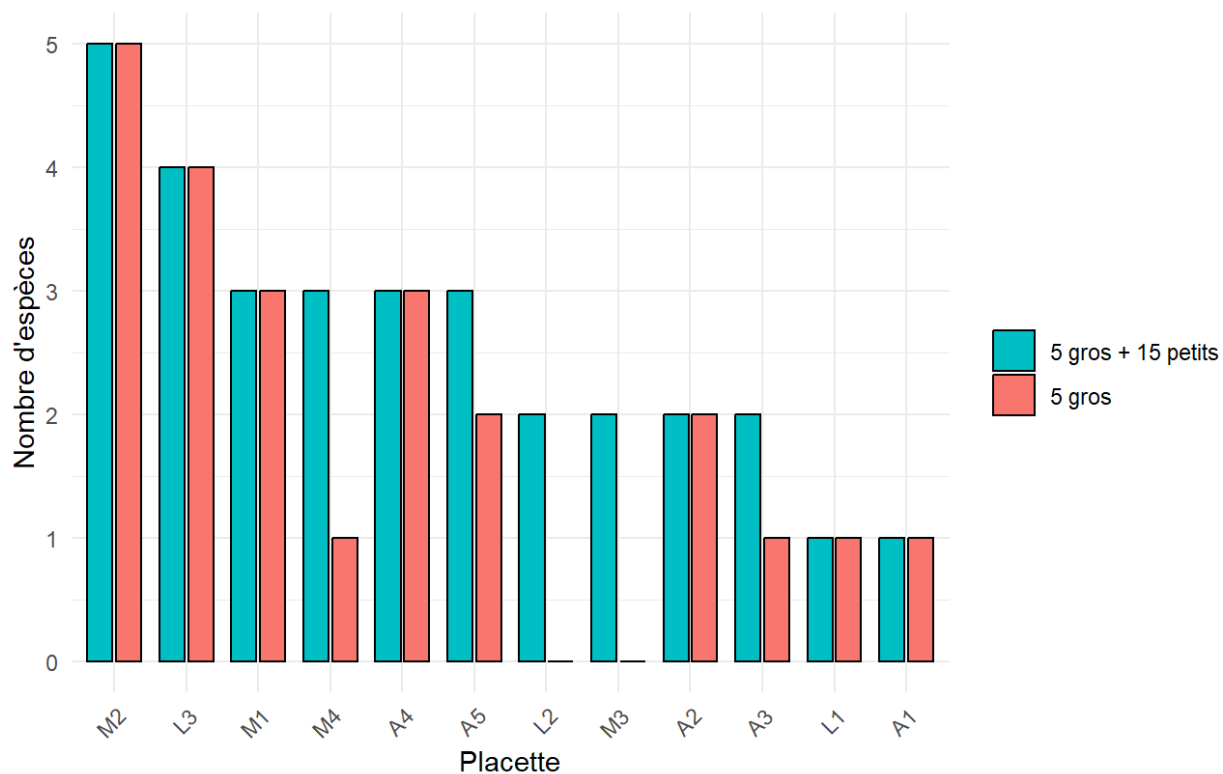


Figure 42 – Nombre d'espèces de lichen détectées par placette. Si les cinq gros arbres fournissent autant d'espèces que l'ensemble des 5 gros et 15 petits, les petits n'apportent rien.

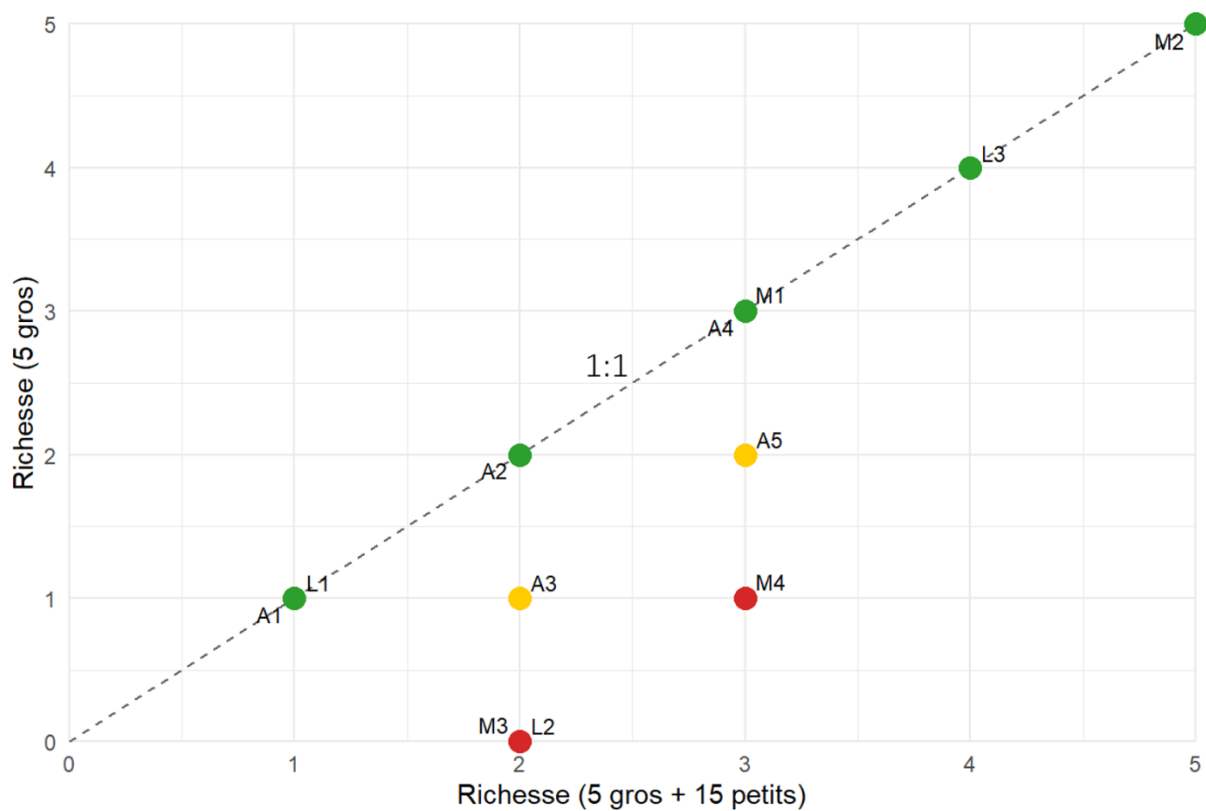


Figure 43 – Comparaison de la richesse lichénique, montrant les pertes lorsque l'on considère uniquement les gros arbres (points situés en dessous de la diagonale, en rouge pour les moins représentatifs de la valeur

initiale). L'idéal est l'équivalence des méthodes (points x alignés sur y). La richesse est souvent identique et la corrélation est élevée, malgré plusieurs placettes (L2, M3, M4, A5) montrant des diminutions.

6.4. Réduction du nombre de sous-placettes

L'objectif de cette dernière section est d'évaluer l'impact que peut avoir la réduction du nombre de sous-placettes sur la richesse, l'abondance et l'hétérogénéité lichénique, en plus d'apprécier l'effet sur le nombre d'espèces et les classes ÉPIFOR (**Tableau 10**).

Tableau 10 – Perte d'espèces lichéniques et de classes ÉPIFOR lorsque l'on passe de cinq à trois sous-placettes.

Placette	Nombre d'espèces de lichens			Score lichénique		
	5 sous-placettes	3 sous-placettes	Perte d'espèce	5 sous-placettes	3 sous-placettes	Perte de classe
L1	1	1	0	Classe 0	Classe 0	0
L2	2	1	1	Classe 0	Classe 0	0
L3	4	1	3	Classe 1	Classe 0	1
M1	3	3	0	Classe 1	Classe 1	0
M2	5	5	0	Classe 1	Classe 1	0
M3	2	0	2	Classe 0	Classe 0	0
M4	3	1	2	Classe 1	Classe 0	1
A1	1	1	0	Classe 0	Classe 0	0
A2	2	2	0	Classe 0	Classe 0	0
A3	2	2	0	Classe 0	Classe 0	0
A4	3	2	1	Classe 1	Classe 0	1
A5	3	3	0	Classe 1	Classe 1	0
Total	31	22	9	6 classes	3 classes	3
Moyenne par placette	2,58	1,83	0,75	0,5 classe	0,18 classe	0,25

Pour chaque placette, la valeur de référence correspond à la moyenne des cinq sous-placettes (**Figure 44**). Toutes les combinaisons possibles de trois sous-placettes parmi cinq (10 combinaisons) ont été calculées à partir des données réelles afin d'estimer la variabilité. La dispersion des boxplots sur cette dernière figure illustre l'incertitude liée au choix de trois

sous-placettes ; la comparaison de la médiane de ces combinaisons à la valeur de référence renseigne sur le biais éventuel.

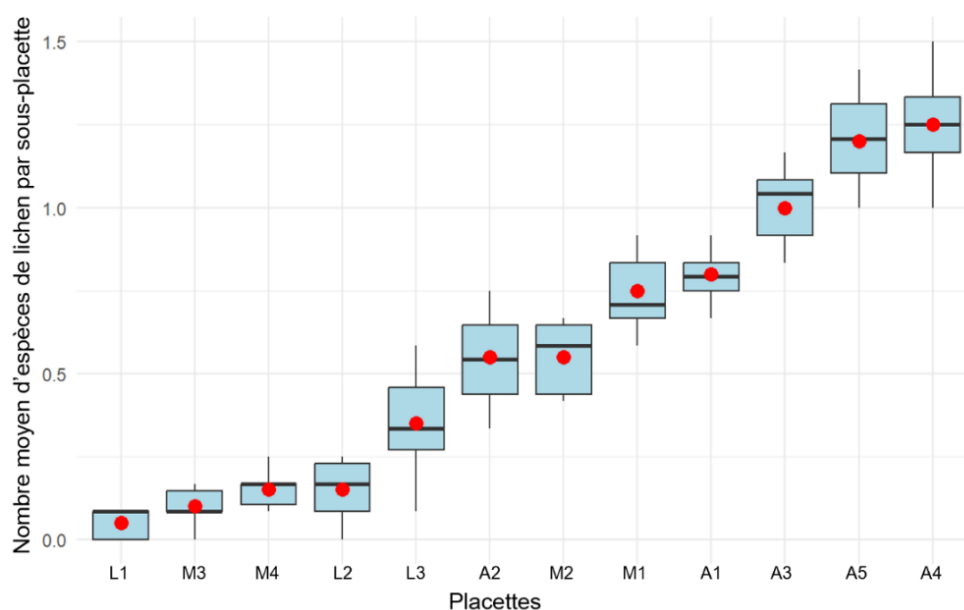


Figure 44 – Variabilité du nombre d'espèces de chaque placette entre cinq *versus* trois sous-placettes. La taille des boxplots reflète l'incertitude ; la comparaison de la médiane (barres noires horizontales) au point de référence (moyenne des cinq sous-placettes ; points rouges) permet de détecter un biais éventuel.

Les placettes les plus défavorables atteignent une erreur moyenne de 0,117 espèce, ce qui indique que la variabilité induite par trois sous-placettes reste, en moyenne, inférieure au seuil retenu. Toutefois, la réduction entraîne davantage de pertes que l'option « cinq gros arbres ». En effet, passer de cinq à trois sous-placettes provoque la disparition de trois classes ÉPIFOR sur 12 placettes (trois placettes déclassées) et la disparition de neuf espèces au total, passant de 31 à 22 espèces. Ces diminutions sont supérieures à celles observées lorsque l'on ne conserve que les cinq gros arbres, et plus grandes encore qu'avec les sept ou les 10 gros arbres conseillés plus haut.

D'un point de vue opérationnel, recenser sept gros arbres est plus efficace que d'inventorier trois sous-placettes (sept arbres *versus* 12 arbres pour les trois sous-placettes), tout en limitant mieux la baisse d'espèces et de classes. Par conséquent, la stratégie axée sur les gros arbres, éventuellement portée à 10 pour renforcer la détection des taxons rares, est préférée à la réduction à trois sous-placettes.

7. Conclusion et perspectives

L'évaluation de la naturalité forestière par bioindication épiphytique, telle qu'expérimentée avec ÉPIFOR, confirme le potentiel de cette approche mais met en évidence des limites opérationnelles et méthodologiques qui réduisent son efficacité en condition de terrain. Le travail réalisé combine trois apports complémentaires : (1) la collecte structurée des retours utilisateurs, (2) des relevés de terrain comparatifs et (3) la formulation de recommandations pratiques issues de ces deux sources. Ensemble, ces éléments permettent de tracer une voie pragmatique pour rendre ÉPIFOR plus fonctionnel et applicable sans perdre sa simplicité originelle.

L'identification des épiphytes, en particulier des bryophytes, reste la principale contrainte de terrain. La création de fiches pratiques insistant sur la distinction entre espèces épiphytiques confondables et très communes ainsi que l'intégration d'un indice de difficulté par espèce améliorerait la fiabilité des observations.

La durée d'application du protocole sur le terrain varie fortement selon les utilisateurs et est généralement excessive. Fixer une durée maximale (par exemple 90 minutes par placette) et l'indiquer sur l'éventail contribuerait à en renforcer la standardisation.

Structurer la formation en sessions progressives (préférer les sorties par temps sec), privilégier la pratique et fournir supports visuels et clés simplifiées sont des mesures concrètes pouvant être mises en œuvre rapidement.

Le calcul du score ÉPIFOR est perçu comme peu intuitif. Le simplifier (idéalement en score continu) et y associer des recommandations de gestion par plages renforcerait son utilité opérationnelle. ÉPIFOR devrait être présenté et employé comme un indicateur complémentaire intégré à un éventail multi-indicateurs (IBP, dendromicrohabitats, bois mort, âge/sénescence, inventaires botaniques, etc.) et adapté à d'autres contextes (par exemple aux milieux secs en y ajoutant des espèces typiques). Son adoption reste très dépendante d'une formation adaptée et du confort des opérateurs.

L'exclusion des bryophytes au profit des seuls lichens entraîne une perte modeste de richesse (2,5 espèces et 0,66 classe par placette en moyenne) tout en conservant sa capacité à classer les placettes ; ce compromis opérationnel est pertinent à condition de maintenir la même liste d'espèces lichéniques pour préserver la précision.

Réduire le nombre d'arbres par placette tout en préservant la diversité est plus efficace que de diminuer le nombre de sous-placettes : inventorier cinq couples (un gros + un petit arbre) par placette conserve richesse et robustesse tout en simplifiant le protocole.

Dans les jeux de données étudiés (Lauzelle, Marche-en-Famenne, Anlier), aucun lien robuste n'a été trouvé entre les scores ÉPIFOR et certaines variables testées (IBP, volume de bois mort, surface terrière, circonférence), ce qui indique la nécessité d'échantillonnages plus larges pour détecter des corrélations réelles ou modéliser des effets covariés. Une relation a cependant été constatée entre le phorophyte et le score ÉPIFOR : les chênes présentent en moyenne 3,08 individus, une espèce et 0,17 classe lichéniques de plus par placette que les hêtres.

En somme, il est donc possible de rendre l'outil plus fonctionnel et applicable en privilégiant l'exclusivité lichénique et l'inventaire de gros arbres, voire de cinq couples d'arbres (gros/petits). Une seconde version d'ÉPIFOR devrait prioritairement intégrer ces ajustements ainsi que les recommandations issues du questionnaire.

Par ailleurs, la création d'une carte interactive et d'une base de données centralisée permettrait de visualiser spatialement et temporellement la naturalité en Wallonie. Les utilisateurs y partageraient leurs scores ÉPIFOR, chaque placette serait cartographiée et colorée selon son niveau de naturalité et assortie d'un indice de confiance sur la qualité des données, ainsi que de métadonnées (date et durée du relevé, difficultés d'identification). Des filtres optionnels afficheraient le type de peuplement (régulier, irrégulier, taillis, résineux, feuillus), l'âge ou le diamètre moyen des arbres, le volume de bois mort et la surface terrière. Des outils d'agrégation permettraient de passer de l'échelle de la placette au site ou au cantonnement. Les contributeurs pourraient aussi joindre des indicateurs complémentaires (IBP, dendromicrohabitats) lorsque disponibles. Cette plateforme offrirait une fonction d'export et faciliterait le suivi dynamique de la naturalité épiphytique, la détection de tendances spatiales, la priorisation des actions de conservation et l'orientation des gestions locales.

Une autre piste d'avenir consiste à développer une application mobile d'identification des épiphytes indicateurs afin de réduire l'incertitude d'identification et le recours à la loupe sur le terrain. L'application combinerait une banque d'images annotées multi-saisons et multi-stades, un module de reconnaissance entraîné sur images labellisées localement et un indice automatique de confiance et de difficulté. La validation serait réalisée *via* un test inter-opérateurs comparant identifications humaines seules, humaines assistées par l'application et experts de référence, en mesurant les gains en précision, en temps et en reproductibilité. Un tel outil améliorerait la fiabilité des données de terrain et diminuerait la durée des inventaires.

Références

- Abas, A. (2021). A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, 121, 107197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107197>
- AquaPortail. (2026). *Thalle* *hétéromère*. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/14790/thalle-heteromere>
- Armstrong, R. A. (2015). Lichen Growth and Lichenometry. In D. K. Upreti, P. K. Divakar, V. Shukla, & R. Bajpai (Eds.), *Recent Advances in Lichenology* (pp. 213–227). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2181-4_10
- Asplund, J., & Wardle, D. A. (2017). How lichens impact on terrestrial community and ecosystem properties. *Biological Reviews*, 92(3), 1720–1738. <https://doi.org/10.1111/brv.12305>
- Bastrup-Birk, A., Chirici, G., Eggers, J., Herder, M. D., Lindner, M., Lombardi, F., Barbati, A., Marchetti, M., Zolli, C., Malak, D. A., Marin, A. I., & Biala, K. (2014). *Developing a forest naturalness indicator for Europe Concept and methodology for a high nature value (HNV) forest indicator*. European Environment Agency. <https://doi.org/10.13140/2.1.1726.3684>
- Becker-Kerber, B., Brocks, J. J., Archilha, N. L., Rodella, C. B., Petkov, V., deAzevedo, E. R., Pimentel, T., Garcia, R., Petts, D., Czas, J., Ardakani, O. H., Chappaz, A., Albuquerque, Â., Ortega-Hernández, J., Lerosey-Aubril, R., Kipp, M. A., Johnson, B., Thoury, M., Oliveira, C. M. A., ... Basei, M. A. S. (2025). The rise of lichens during the colonization of terrestrial environments. *Science Advances*, 11(44), eadw7879. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adw7879>

- Benest, F., Carruthers-Jones, J., & Guetté, A. (2022). Travaux actuels d’inventaire des forêts à forte naturalité à l’échelle nationale et européenne. *Revue Forestière Française*, 73(2–3), 161–178. <https://doi.org/10.20870/revforfr.2021.5467>
- Boch, S., Müller, J., Prati, D., Blaser, S., & Fischer, M. (2013). Up in the Tree – The Overlooked Richness of Bryophytes and Lichens in Tree Crowns. *PLoS ONE*, 8(12), e84913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084913>
- Bogges, L. M., McCain, C. M., Manzitto-Tripp, E. A., Pearson, S. M., & Lendemer, J. C. (2024). Disturbance and diversity: Lichen species richness decreases with increasing anthropogenic disturbance. *Biological Conservation*, 293, 110598. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110598>
- Bölöni, J., Aszalós, R., Frank, T., & Ódor, P. (2021). Forest type matters: Global review about the structure of oak dominated old-growth temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 500, 119629. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119629>
- Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., Lyver, P. O., Meurisse, N., Oxbrough, A., Taki, H., Thompson, I. D., Van Der Plas, F., & Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
- Brunialti, G., & Frati, L. (2023). Biomonitoring with Lichens and Mosses in Forests. *Forests*, 14(11), 2265. <https://doi.org/10.3390/f14112265>
- Brunialti, G., Frati, L., Malegori, C., Giordani, P., & Malaspina, P. (2019). Do Different Teams Produce Different Results in Long-Term Lichen Biomonitoring? *Diversity*, 11(3), 43. <https://doi.org/10.3390/d11030043>

- Bujoczek, L., Szewczyk, J., & Bujoczek, M. (2018). Deadwood volume in strictly protected, natural, and primeval forests in Poland. *European Journal of Forest Research*, 137(4), 401–418. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1124-1>
- Chazdon, R. L., Brancalion, P. H. S., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., Moll-Rocek, J., Vieira, I. C. G., & Wilson, S. J. (2016). When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*, 45(5), 538–550. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y>
- Chivulescu, Șerban, Pitar, D., Apostol, B., Leca, Ștefan, & Badea, O. (2022). Importance of Dead Wood in Virgin Forest Ecosystem Functioning in Southern Carpathians. *Forests*, 13(3), 409. <https://doi.org/10.3390/f13030409>
- Christensen, M., Hahn, K., Mountford, E. P., Ódor, P., Standovár, T., Rozenbergar, D., Diaci, J., Wijdeven, S., Meyer, P., Winter, S., & Vrska, T. (2005). Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 210(1–3), 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.032>
- Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: Lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. *Environmental Pollution*, 114(3), 471–492. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00224-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00224-4)
- Ćosović, M., Bugalho, M., Thom, D., & Borges, J. (2020). Stand Structural Characteristics Are the Most Practical Biodiversity Indicators for Forest Management Planning in Europe. *Forests*, 11(3), 343. <https://doi.org/10.3390/f11030343>
- Counoy, H., Turcati, L., Bogaert, P., Agnello, G., Austruy, A., Batič, F., Biache, C., Boucheron, C., Brancaloni, L., Branquinho, C., Castello, M., Catalano, I., Cioffi, M., Dron, J., Duflo, C., Ferrez, Y., Garrido-Benavent, I., Gattus, J., Gerdol, R., ... Agnan, Y. (2025). Towards a New Interpretative Framework for Air Quality and Climate Biomonitoring With Lichens: A

- Meta-Analysis of Surveys Using the European Protocol. *Global Change Biology*, 31(12), e70632. <https://doi.org/10.1111/gcb.70632>
- Counoy, H., Turcati, L., Lorrillière, R., Bénateau, S., Maalouf, J.-P., Agnello, G., Turpin, S., & Agnan, Y. (2023). Performance evaluation and applicability of *Lichens GO*, a citizen science-based protocol for urban air quality monitoring. *Ecological Indicators*, 150, 110269. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110269>
- Cullen, P. (1990). Biomonitoring and environmental management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 14(2–3), 107–114. <https://doi.org/10.1007/BF00677911>
- Czerepko, J., Gawryś, R., Szymczyk, R., Pisarek, W., Janek, M., Haidt, A., Kowalewska, A., Piegdoń, A., Stebel, A., Kukwa, M., & Cacciatori, C. (2021). How sensitive are epiphytic and epixylic cryptogams as indicators of forest naturalness? Testing bryophyte and lichen predictive power in stands under different management regimes in the Białowieża forest. *Ecological Indicators*, 125, 107532. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107532>
- Delahaye, L., Agnan, Y., Hutsemékers, V., & Simon, N. (2024). *ÉPIFOR - Évaluation de la naturalité des chênaies et hêtraies wallonnes par les lichens et bryophytes indicateurs. Forêt.Nature asbl.*
- DellaSala, D. A., Mackey, B., Kormos, C. F., Young, V., Boan, J. J., Skene, J. L., Lindenmayer, D. B., Kun, Z., Selva, N., Malcolm, J. R., & Laurance, W. F. (2025). Measuring forest degradation via ecological-integrity indicators at multiple spatial scales. *Biological Conservation*, 302, 110939. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110939>
- Diekmann, M., Heinken, T., Becker, T., Dörfler, I., Heinrichs, S., Leuschner, C., Peppler-Lisbach, C., Osthaus, M., Schmidt, W., Strubelt, I., & Wagner, E. (2023). Resurvey studies of terricolous bryophytes and lichens indicate a widespread nutrient enrichment in

- German forests. *Journal of Vegetation Science*, 34(4), e13201.
<https://doi.org/10.1111/jvs.13201>
- Dierckx, F., Agnan, Y., Biache, C., & Titeux, H. (n.d.). *Bioindication de la naturalité forestière par les lichens épiphytes en Wallonie*.
- Du Bus De Warnaffe, G., & Devillez, F. (2002). Quantifier la valeur écologique des milieux pour intégrer la conservation de la nature dans l'aménagement des forêts: Une démarche multicritères. *Annals of Forest Science*, 59(4), 369–387.
<https://doi.org/10.1051/forest:2002013>
- Dymytrova, L., Brändli, U.-B., Ginzler, C., & Scheidegger, C. (2018a). Forest history and epiphytic lichens: Testing indicators for assessing forest autochthony in Switzerland. *Ecological Indicators*, 84, 847–857. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.009>
- Dymytrova, L., Brändli, U.-B., Ginzler, C., & Scheidegger, C. (2018b). Forest history and epiphytic lichens: Testing indicators for assessing forest autochthony in Switzerland. *Ecological Indicators*, 84, 847–857. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.009>
- Esseen, P.-A., Rytterstam, J., Atrena, A., & Jonsson, B. G. (2023). Long-term dynamics of the iconic old-forest lichen *Usnea longissima* in a protected landscape. *Forest Ecology and Management*, 546, 121369. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121369>
- European Commission. (2024). *Indice agrégé de risque d'incendie de forêt en Europe de l'ouest*. EFFIS Wildfire Risk Viewer. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/apps/fire.risk.viewer/>
- European Environment Agency. (2014). *Developing a forest naturalness indicator for Europe: Concept and methodology for a high nature value (HNV) forest indicator*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/20177>

European Union. (2023). *Règlement (UE) 2023/1115 du Parlement européen et du Conseil du 31 mai 2023 relatif à la mise à disposition sur le marché de l'Union et à l'exportation à partir de l'Union de certains produits de base et produits associés à la déforestation et à la dégradation des forêts, et abrogeant le règlement (UE) no 995/2010 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE).*

Faluyi, M. O., & Irmak, S. (2023). Northeastern American Forests: Natural Disturbances, Climate Change Impact, and the Utilization of Increasingly Damaged Forest Trees for Biofuel Production. *Forests*, 14(12), 2409. <https://doi.org/10.3390/f14122409>

FAO. (2000). *Évaluation des ressources forestières mondiales 2000*. FAO. <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/fra-2000/fr>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Évaluation des ressources forestières mondiales 2020 (FRA 2020)*.

Forest Europe Growing Life. (2020). *FOREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020*.

Fridman, J., & Walheim, M. (2000). Amount, structure, and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 131(1–3), 23–36. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00208-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00208-X)

Fritz, Ö., Gustafsson, L., & Larsson, K. (2008). Does forest continuity matter in conservation? – A study of epiphytic lichens and bryophytes in beech forests of southern Sweden. *Biological Conservation*, 141(3), 655–668. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.12.006>

Gosselin, F., Génot, J.-C., & Lachat, T. (2022). Libre évolution et naturalité en forêt: Définitions et métriques associées. *Revue forestière française*, 73(2–3), 115–136. <https://doi.org/10.20870/revforfr.2021.5464>

- Green, T. G. A., Sancho, L. G., & Pintado, A. (2011). Ecophysiology of Desiccation/Rehydration Cycles in Mosses and Lichens. In U. Lüttge, E. Beck, & D. Bartels (Eds.), *Plant Desiccation Tolerance* (Vol. 215, pp. 89–120). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-19106-0_6
- Gregor, K., Reyer, C. P. O., Nagel, T. A., Mäkelä, A., Krause, A., Knoke, T., & Rammig, A. (2024). Reconciling the EU forest, biodiversity, and climate strategies. *Global Change Biology*, 30(8), e17431. <https://doi.org/10.1111/gcb.17431>
- Grossiord, C., Gessler, A., Granier, A., & Bonal, D. (2015). Les forêts tempérées face aux conséquences du changement climatique: Est-il primordial de favoriser une plus forte diversité d'arbres dans les peuplements forestiers ? *Revue Forestière Française*, (2), Fr.], ISSN 0035. <https://doi.org/10.4267/2042/57901>
- Guette, A., Carruthers-Jones, J., Godet, L., & Robin, M. (2018). « Naturalité »: Concepts et méthodes appliqués à la conservation de la nature. *Cybergeogeo*.
<https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.29140>
- Haklay, M., König, A., Moustard, F., & Aspee, N. (2023). Citizen science and Post-Normal Science's extended peer community: Identifying overlaps by mapping typologies. *Futures*, 150, 103178. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103178>
- Hawksworth, D. L., & Grube, M. (2020). Lichens redefined as complex ecosystems. *New Phytologist*, 227(5), 1281–1283. <https://doi.org/10.1111/nph.16630>
- Hawksworth, D. L., & Rose, F. (1970). Qualitative Scale for estimating Sulphur Dioxide Air Pollution in England and Wales using Epiphytic Lichens. *Nature*, 227(5254), 145–148.
<https://doi.org/10.1038/227145a0>

- Honegger, R. (2009). Lichen-Forming Fungi and Their Photobionts. In H. B. Deising (Ed.), *The Mycota* (Vol. 5, pp. 307–333). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-87407-2_16
- Hutsemékers, V., Mouton, L., Westenbohm, H., Collart, F., & Vanderpoorten, A. (2023). Disentangling climate change from air pollution effects on epiphytic bryophytes. *Global Change Biology*, 29(14), 3990–4000. <https://doi.org/10.1111/gcb.16736>
- IUCN. (2022). *IUCN 2021 annual report*. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2022-014-En.pdf>
- Kervyn, T., JacqueminMIN F., F., Branquart, E., Delhayé, L., Dufrêne, M., & Claessens, H. (2014). Les forêts anciennes en Wallonie 2ème partie: Cartographie. *Forêt Wallonne*, (133).
- Koch, N. M., Matos, P., Branquinho, C., Pinho, P., Lucheta, F., Martins, S. Ma. D. A., & Vargas, V. Ma. F. (2019). Selecting lichen functional traits as ecological indicators of the effects of urban environment. *Science of The Total Environment*, 654, 705–713. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.107>
- Krajanová, V. (2023). Discoveries and identification methods of metal oxalates in lichens and their mineral associations: A review of past studies and analytical options for lichenologists. *Fungal Biology Reviews*, 43, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.09.003>
- Larrieu, L., & Gonin, P. (2008a). L'indice de biodiversité potentielle (ibp): Une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, (6). <https://doi.org/10.4267/2042/28373>
- Larrieu, L., & Gonin, P. (2008b). L'indice de biodiversité potentielle (ibp): Une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, (6). <https://doi.org/10.4267/2042/28373>

- LeBlanc, S. C. F., & Sloover, J. D. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48(8), 1485–1496. <https://doi.org/10.1139/b70-224>
- Maes, J., Bruzón, A. G., Barredo, J. I., Vallecillo, S., Vogt, P., Rivero, I. M., & Santos-Martín, F. (2023). Accounting for forest condition in Europe based on an international statistical standard. *Nature Communications*, 14(1), 3723. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39434-0>
- Malíček, J., Palice, Z., Vondrák, J., Kostovčík, M., Lenzová, V., & Hofmeister, J. (2019). Lichens in old-growth and managed mountain spruce forests in the Czech Republic: Assessment of biodiversity, functional traits and bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 28(13), 3497–3528. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01834-4>
- Manzitto-Tripp, E. A., Lendemer, J. C., & McCain, C. M. (2022). Most lichens are rare, and degree of rarity is mediated by lichen traits and biotic partners. *Diversity and Distributions*, 28(9), 1810–1819. <https://doi.org/10.1111/ddi.13581>
- Markert, B., Anton, B., & Harald, Z. (2003). *Bioindicators and Biomonitoring: Principles, Concepts and Applications*. https://www.researchgate.net/publication/313718613_Bioindicators_and_Biomonitoring_Principles_Concepts_and_Applications
- Mežaka, A., Brūmelis, G., & Piterāns, A. (2012). Tree and stand-scale factors affecting richness and composition of epiphytic bryophytes and lichens in deciduous woodland key habitats. *Biodiversity and Conservation*, 21(12), 3221–3241. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0361-8>

- Miller, J. E. D., Vilella, J., Stone, D., & Hardman, A. (2020). Using lichen communities as indicators of forest stand age and conservation value. *Forest Ecology and Management*, 475, 118436. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118436>
- Nascimbene, J., Marini, L., Motta, R., & Nimis, P. L. (2009). Influence of tree age, tree size and crown structure on lichen communities in mature Alpine spruce forests. *Biodiversity and Conservation*, 18(6), 1509–1522. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9537-7>
- Nazeri, A., Jusoh, I., & Bolhassan, M. H. (2025). Stand Structure Characteristics of Fragmented and Primary Forests and Their Correlation to Carbon Stocks. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 10(1), jtbb13362. <https://doi.org/10.22146/jtbb.13362>
- Nordén, B., & Appelqvist, T. (2001). Conceptual problems of Ecological Continuity and its bioindicators. *Biodiversity & Conservation*, 10(5), 779–791. <https://doi.org/10.1023/A:1016675103935>
- ONF. (2026). *Application mobile For-Eval*.
- Ormond, A., Ellis, C. J., & Colesie, C. (2025). The trade-off between photosynthetic rate and thallus moisture-demand explains lichen habitat association with the temperate rainforest. *Oecologia*, 207(3), 48. <https://doi.org/10.1007/s00442-025-05687-3>
- Parc national des Pyrénées. (2026). *Usnea longissima (type fruticuleux en tige)*.
- Patacca, M., Lindner, M., Lucas-Borja, M. E., Cordonnier, T., Fidej, G., Gardiner, B., Hauf, Y., Jasinevičius, G., Labonne, S., Linkevičius, E., Mahnken, M., Milanovic, S., Nabuurs, G., Nagel, T. A., Nikinmaa, L., Panyatov, M., Bercak, R., Seidl, R., Ostrogović Sever, M. Z., ... Schelhaas, M. (2023). Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*, 29(5), 1359–1376. <https://doi.org/10.1111/gcb.16531>

- Petritan, A. M., Petritan, I. C., Hevia, A., Walentowski, H., Bouriaud, O., & Sánchez-Salguero, R. (2021). Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies. *Forest Ecology and Management*, 491, 119097. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119097>
- Piepenbring, M., Hofmann, T. A., Miranda, E., Cáceres, O., & Unterseher, M. (2015). Leaf shedding and weather in tropical dry-seasonal forest shape the phenology of fungi – Lessons from two years of monthly surveys in southwestern Panama. *Fungal Ecology*, 18, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.08.004>
- Pirronitto, S., Teng, F., & Chandelier, A. (2022). *LE DÉPÉRISSEMENT DU HÊTRE EN ARDENNE : RÉSULTAT D'UNE ÉTUDE MENÉE DE 2019 À 2022*. (164). <https://foretnature.be/wp-content/uploads/2024/10/FO164-35-42.pdf>
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X.-P., Baggett, A., Kommareddy, I., & Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
- Projet intégré en forêt et espaces naturels*. (2024).
- Projet intégré en forêt et espaces naturels*. (2025).
- Puletti, N., Giannetti, F., Chirici, G., & Canullo, R. (2017). Deadwood distribution in European forests. *Journal of Maps*, 13(2), 733–736. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1369184>
- Rajasugunasekar, D., Patel, A. K., Devi, K. B., Singh, A., Selvam, P., & Chandra, A. (2023). An Integrative Review for the Role of Forests in Combating Climate Change and Promoting

- Sustainable Development. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 4331–4341. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113614>
- Rimle, A., Heiri, C., & Bugmann, H. (2017). Deadwood in Norway spruce dominated mountain forest reserves is characterized by large dimensions and advanced decomposition stages. *Forest Ecology and Management*, 404, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.036>
- Saltz, D., & Cohen, S. (2025). On the normative roles of biodiversity and naturalness in conservation. *Conservation Biology*, 39(5), e70072. <https://doi.org/10.1111/cobi.70072>
- Scharnagl, K., Tagirdzhanova, G., & Talbot, N. J. (2023). The coming golden age for lichen biology. *Current Biology*, 33(11), R512–R518. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.03.054>
- Soberón, J., & Llorente, J. (1993). The Use of Species Accumulation Functions for the Prediction of Species Richness. *Conservation Biology*, 7(3), 480–488. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.07030480.x>
- Spribille, T. (2025). : *Biology of Algae, Lichens and Bryophytes. The Quarterly Review of Biology*, 100(1), 36–36. <https://doi.org/10.1086/734490>
- Spribille, T., Resl, P., Stanton, D. E., & Tagirdzhanova, G. (2022). Evolutionary biology of lichen symbioses. *New Phytologist*, 234(5), 1566–1582. <https://doi.org/10.1111/nph.18048>
- Suno, H., Machida, M., Dohi, T., & Ohmura, Y. (2021). Quantum chemical calculation studies toward microscopic understanding of retention mechanism of Cs radioisotopes and other alkali metals in lichens. *Scientific Reports*, 11(1), 8228. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87617-w>

- Szczepaniak, K., & Biziuk, M. (2003). Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. *Environmental Research*, 93(3), 221–230. [https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(03\)00141-5](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(03)00141-5)
- Thakur, M., Bhardwaj, S., Kumar, V., & Rodrigo-Comino, J. (2024). Lichens as effective bioindicators for monitoring environmental changes: A comprehensive review. *Total Environment Advances*, 9, 200085. <https://doi.org/10.1016/j.teadva.2023.200085>
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., & Mosseler, A. (2009). *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change* (No. 43; pp. 1–67). USDA. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/36775>
- Toivonen, J., Kangas, A., Maltamo, M., Kukkonen, M., & Packalen, P. (2023). Assessing biodiversity using forest structure indicators based on airborne laser scanning data. *Forest Ecology and Management*, 546, 121376. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121376>
- Tripp, E. A. (2016). Is asexual reproduction an evolutionary dead end in lichens? *The Lichenologist*, 48(5), 559–580. <https://doi.org/10.1017/S0024282916000335>
- Van Do, T., Yamamoto, M., Kozan, O., Hai, V. D., Trung, P. D., Thang, N. T., Hai, L. T., Nam, V. T., Hung, T. T., Van Thang, H., Manh, T. D., Khiem, C. C., Lam, V. T., Hung, N. Q., Quy, T. H., Tuyen, P. Q., Bon, T. N., Phuong, N. T. T., Khuong, N. V., ... Hung, B. K. (2020). Ecoregional variations of aboveground biomass and stand structure in evergreen broadleaved forests. *Journal of Forestry Research*, 31(5), 1713–1722. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00969-y>
- Vásquez-Grandón, A., Donoso, P. J., & Gerding, V. (2018). Forest Degradation: When Is a Forest Degraded? *Forests*, 9(11), 726. <https://doi.org/10.3390/f9110726>

- Von Hirschheydt, G., Kéry, M., Ekman, S., Stofer, S., Dietrich, M., Keller, C., & Scheidegger, C. (2024). Occupancy model reveals limited detectability of lichens in a standardised large-scale monitoring. *Journal of Vegetation Science*, 35(2), e13255. <https://doi.org/10.1111/jvs.13255>
- Whittet, R., & Ellis, C. J. (2013). Critical tests for lichen indicators of woodland ecological continuity. *Biological Conservation*, 168, 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.09.011>
- Winter, S. (2012). Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. *Forestry*, 85(2), 293–304. <https://doi.org/10.1093/forestry/cps004>
- Zeller, L., Baumann, C., Gonin, P., Heidrich, L., Keye, C., Konrad, F., Larrieu, L., Meyer, P., Sennhenn-Reulen, H., Müller, J., Schall, P., & Ammer, C. (2022). Index of biodiversity potential (IBP) versus direct species monitoring in temperate forests. *Ecological Indicators*, 136, 108692. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108692>

Annexes

Annexe 1. Liste des espèces de lichens et de bryophytes comprises dans le protocole ÉPIFOR

Espèce de lichen	Étendue de l'observation à réaliser	Niveau d'indication
<i>Bryoria</i> spp.	Présence localisée	Très élevé
<i>Usnea</i> spp.	Présence localisée	Très élevé
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Présence localisée	Bon
<i>Lobaria pulmonaria</i>	Présence localisée	Très élevé
<i>Menegazzia terebrata</i>	Présence localisée	Très élevé
<i>Platismatia glauca</i>	Présence localisée	Bon
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	Présence localisée	Bon
Groupe <i>Lecanactis abietina</i> / <i>Opegrapha vermicellifera</i>	Présence localisée	Élevé
<i>Pertusaria coccodes</i>	Présence localisée	Élevé
<i>Pertusaria hymenea</i>	Présence localisée	Bon
<i>Pertusaria leioplaca</i>	Présence localisée	Bon
<i>Pertusaria pertusa</i>	Présence localisée	Bon
<i>Thelotrema lepadinum</i>	Présence localisée	Élevé
<i>Normandina pulchella</i>	Présence localisée	Bon
<i>Chrysothrix candelaris</i>	Présence localisée	Élevé

Espèce de bryophyte	Étendue de l'observation à réaliser	Niveau d'indication
<i>Homalothecium sericeum</i>	Présence localisée	Bon
<i>Antitrichia curtipendula</i>	Présence localisée	Très élevé
<i>Isothecium myosuroides</i>	Présence sur 80 % des arbres	Bon
<i>Isothecium alopecuroides</i>	Présence sur 80 % des arbres	Bon
<i>Leucodon sciuroides</i>	Présence localisée	Élevé
<i>Neckera crispa/pumila</i>	Présence localisée	Élevé
<i>Dicranum scoparium</i>	Présence sur 80 % des arbres	Bon
<i>Orthotrichum stramineum</i>	Présence localisée	Bon
<i>Ulotia crispa</i>	Présence localisée	Bon
<i>Zygodon</i> spp	Présence localisée	Bon
<i>Frullania tamarisci</i>	Présence localisée	Élevé
<i>Microlejeunea ulicina</i>	Présence localisée	Élevé
<i>Ptilidium pulcherrimum</i>	Présence localisée	Très élevé
<i>Blepharostoma trichophyllum</i>	Présence localisée	Très élevé
<i>Metzgeria temperata/violacea</i>	Présence localisée	Élevé

Annexe 2. Contenu détaillé des thèmes du questionnaire

Questionnaire utilisateur ÉPIFOR – évaluation de l'expérience et des pratiques

Section 1 : Bienvenue dans ce questionnaire !

Répondre aux questions réparties en différentes sections vous prendra une quinzaine de minutes environ. Aucune question n'est obligatoire. L'objectif est d'obtenir votre retour sur l'outil ÉPIFOR et en particulier sur sa partie concernant les lichens, afin de pouvoir l'améliorer. Pour toute question ou suivi, mon adresse mail est la suivante : cedric.detillesse@student.uclouvain.be. Merci !

Section 2 : À propos de vous

Quel est votre **statut professionnel** ? Agent du DNF ou fonctionnaire public / Gestionnaire ou expert forestier privé / Entrepreneur de travaux forestiers / Chercheur ou enseignant / Conseiller / attaché Natura 2000 ou conservation de la nature / Autre

Quelle est la **superficie** forestière que vous gérez ou étudiez principalement ? Moins de 5 hectares / 5 à 25 hectares / 26 à 100 hectares / Plus de 100 hectares

Quel est le **type de peuplement feuillu** sur lequel vous travaillez avec ÉPIFOR ? Futaie régulière / Futaie irrégulière ou jardinée / Taillis simple ou taillis-sous-futaie / Autre

Section 3 : Évaluer la naturalité à partir d'ÉPIFOR

Quelle est votre définition de la **naturalité** ?

Si vous avez déjà utilisé des **indicateurs** d'évaluation de la naturalité autres qu'ÉPIFOR, veuillez préciser lesquels.

Comment avez-vous été **formé** au protocole ÉPIFOR ? Formation *via* Forêt.Nature / Collègue ou ami / Autodidacte / Autre

Quel **intérêt** avez-vous à utiliser ÉPIFOR (par exemple, avez-vous pris en compte la naturalité évaluée par ÉPIFOR pour aménager la zone forestière dans laquelle vous travaillez) ?

Combien de fois avez-vous utilisé ÉPIFOR jusqu'ici ? 1 fois / 2 à 5 fois / 6 à 10 fois / Plus de 10 fois / Je n'ai jamais utilisé ÉPIFOR

Section 4 : À propos d'ÉPIFOR

Quel est votre **ressenti général** quant à l'utilisation d'ÉPIFOR ?

Dans quelle mesure trouvez-vous chaque étape du protocole **facile** à appliquer ? (Pas du tout d'accord ; Pas d'accord ; Neutre/sans opinion ; D'accord ; Tout à fait d'accord) Choix du site / Sélection des arbres / Observation / Identification / Evaluation du score

Avez-vous des **commentaires** libres par rapport à la question précédente ?

Indiquez à quel point vous êtes **d'accord** avec les affirmations suivantes. (Pas du tout d'accord ; Pas d'accord ; Neutre/sans opinion ; D'accord ; Tout à fait d'accord)

La **formation** que j'ai reçue est suffisante. / Les consignes du protocole sont **claires et**

complètes. / Le **protocole** est facile à utiliser sur le terrain. / Les **durées** de préparation et de terrain sont raisonnables. / Les résultats obtenus avec ÉPIFOR sont **fiables.** / La délimitation de la **placette** établie par ÉPIFOR est pertinente (taille des arbres, distances entre les arbres...). / Je pense utiliser **à nouveau** ÉPIFOR à l'avenir. / Les lichens sont faciles à reconnaître. / Il est contraignant d'utiliser une **loupe** pour l'identification.

Avez-vous des **commentaires** libres par rapport à la question précédente ?

Veuillez préciser la **durée** moyenne de l'application du protocole ÉPIFOR sur le terrain, pour une station définie par l'outil (5 gros arbres + 3 petits à côté de chaque gros). Moins de 15 minutes / Entre 15 et 30 minutes / Entre 30 et 60 minutes / Entre 60 et 180 minutes / Plus de 180 minutes

Quel est votre avis sur le **diagnostic** fourni par ÉPIFOR ? Quelles en sont les limites selon vous (hétérogénéité spatiale, différences entre chênaie et hêtraie...) ?

Indiquez à quel point vous êtes **d'accord** avec les affirmations suivantes. (Réduit ; Augmenté ; Ce nombre est pertinent) Le nombre d'espèces de **lichens** du protocole devrait être... / Le nombre d'espèces de **bryophytes** du protocole devrait être... / Le nombre de **petits arbres** pris en compte devrait être... / Le nombre de **gros arbres** pris en compte devrait être...

Souhaitez-vous ajouter une suggestion d'amélioration supplémentaire ou un **commentaire** libre avant de passer à la dernière section du questionnaire ?

Section 5 : Suivi des résultats

À l'avenir, éprouveriez-vous de l'intérêt à fournir vos données obtenues *via* ÉPIFOR afin de participer à la réalisation d'une **carte interactive** reprenant les scores de naturalité en Wallonie ? Oui / Non / Je ne sais pas

Section 6 : Merci !

Vos réponses resteront strictement confidentielles et seront utilisées uniquement pour la recherche et l'amélioration d'ÉPIFOR.

Annexe 3. Résultats bruts du questionnaire

Nombre de réponses : 9.

Durée moyenne de réponse au questionnaire : 13'36.

- 1) Quel est votre **statut professionnel** ? Agent du DNF ou fonctionnaire public (9).
- 2) Quelle est la **superficie** forestière que vous gérez ou étudiez principalement ? Plus de 100 hectares (9).
- 3) Quel est le **type de peuplement feuillu** sur lequel vous travaillez avec ÉPIFOR ? Futaie irrégulière ou jardinée (7) / Futaie régulière (2) / Taillis simple ou taillis-sous-futaie (1) / Autre (1).
- 4) Quelle est votre définition de la **naturalité** ?

1	être le plus proche de l'état naturel
2	L'état de conservation de l'écosystème forestier le plus proche possible de celui qu'il serait sans intervention humaine
3	C'est le côté naturel et spontané d'un milieu et de ses structures et fonctions
4	Le caractère naturel au sens visuel, mais aussi au niveau de la diversité du peuplement
5	Qui a été et qui est peu impacté par l'homme, qui répond à des caractéristiques naturelles importantes (espèces indigènes, biodiversité élevée, etc.)
6	Sans objet... Je dirais "qui se rapproche d'un état naturel", mais à quel stade climacique entend-on "naturel"? Et si on pense à des forêts où on voit peu l'impact de l'homme, séparer les actions humaines de la nature reste une vision occidentale, sachant que nos forêts sont toutes modifiées, ou au moins impactées par les activités humaines...
7	Une forêt dans laquelle peuvent s'exprimer pleinement les dynamiques forestières naturelles
8	sans action de l'homme
9	Etat de la biodiversité présente dans un biotope à un moment donné

- 5) Si vous avez déjà utilisé des **indicateurs** d'évaluation de la naturalité autres qu'ÉPIFOR, veuillez préciser lesquels.

1	IBP
2	bois mort, inventaires bota (+ lichens et mousses)
3	Non, par manque de temps.
4	J'ai déjà reconnu les espèces présentées en forêt.
5	Nombre de "dendromicrohabitats", présences d'espèces "remarquables" (animales, végétales, mycologiques, etc.), arbres de différents âges, dont le stade sénescant

6	Roue de la naturalité développé par l'asbl Forêt et Naturalité
7	non

6) Comment avez-vous été **formé** au protocole ÉPIFOR ? Formation *via* Forêt.Nature (9).

7) Quel **intérêt** avez-vous à utiliser ÉPIFOR (par exemple, avez-vous pris en compte la naturalité évaluée par ÉPIFOR pour aménager la zone forestière dans laquelle vous travaillez) ?

1	en général ,oui
2	NON
3	aucun
4	Connaître la qualité du milieu, même au niveau qualité de l'air.
5	Je n'ai pas encore rencontré les organismes présentés par ÉPIFOR dans ma zone d'action, mais j'ai pu renseigner des collègues chez qui j'ai observé ces organismes lors de martelages.
6	Marquage en "arbre biologique" (donc non exploités et considérés comme "réserve") si on constate la présence d'espèces remarquables
7	Je n'ai pas de zone où les lichens sont assez présents pour l'utiliser. Critère peu pertinent pour ce massif.
8	non

8) **Combien de fois** avez-vous utilisé ÉPIFOR jusqu'ici ? Je n'ai jamais utilisé ÉPIFOR (1) / 1 fois (3) / 2 à 5 fois (4) / 6 à 10 fois (1) / Plus de 10 fois (0).

9) Quel est votre **ressenti général** quant à l'utilisation d'ÉPIFOR ?

1	pas évident sur le terrain
2	Complexe dans la détermination des espèces
3	moyen
4	C'est une ouverture vers un monde à part, parfois difficile à maîtriser
5	Favorable
6	Très bel outil, mais pas applicable partout. J'ai l'impression qu'il n'est pas adapté aux milieux secs pourtant souvent plus représenté dans les RFI
7	Difficilement compatible avec la gestion forestière menée actuellement

10) Dans quelle mesure trouvez-vous chaque étape du protocole **facile** à appliquer ?

/	Choix du site	Sélection des arbres	Observation	Identification	Évaluation du score
---	---------------	----------------------	-------------	----------------	---------------------

1	Neutre / sans opinion	D'accord	D'accord	Pas d'accord	Pas d'accord
2	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Pas d'accord	Pas du tout d'accord	Pas du tout d'accord
3	D'accord	D'accord	Neutre / sans opinion	D'accord	Neutre / sans opinion
4	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	Pas d'accord	D'accord
5	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord	D'accord	Pas d'accord	D'accord
6	D'accord	D'accord	D'accord	D'accord	D'accord
7	D'accord	D'accord	D'accord	Neutre / sans opinion	D'accord
8	Neutre / sans opinion	Neutre / sans opinion	D'accord	D'accord	Neutre / sans opinion

11) Avez-vous des **commentaires** libres par rapport à la question précédente ?

1	Il faut apprendre à regarder autrement, et moins vite qu'en botanique ou entomologie.
2	Il faut un peu d'expérience pour l'identification. Si on ne l'a plus jamais pratiqué après la formation, c'est difficile
3	Comme on n'est pas spécialistes, il serait utile d'avoir un document annexe permettant d'identifier les espèces proches avec lesquelles on pourrait les confondre
4	non

12) Indiquez à quel point vous êtes **d'accord** avec les affirmations suivantes.

/	La formation que j'ai reçue est suffisante.	Les consignes du protocole sont claires et complètes.	Le protocole est facile à utiliser sur le terrain.	Les durées de préparation et de terrain sont raisonnables.	Les résultats obtenus avec ÉPIFOR sont fiables.
1	Pas d'accord	D'accord	Pas d'accord	D'accord	Pas d'accord
2	Pas du tout d'accord	Neutre / sans opinion	Neutre / sans opinion	Neutre / sans opinion	Neutre / sans opinion
3	Pas d'accord	Pas d'accord	Neutre / sans opinion	Pas d'accord	Neutre / sans opinion

4	Pas d'accord	D'accord	D'accord	Pas d'accord	D'accord
5	D'accord	D'accord	D'accord	D'accord	D'accord
6	Pas d'accord	D'accord	D'accord	Tout à fait d'accord	Neutre / sans opinion
7	Neutre / sans opinion	D'accord	D'accord	D'accord	D'accord
8	Pas d'accord	Neutre / sans opinion	Pas d'accord	Neutre / sans opinion	Pas d'accord

La délimitation de la placette établie par ÉPIFOR est pertinente (taille des arbres, distances entre les arbres...).	Je pense utiliser à nouveau ÉPIFOR à l'avenir.	Les lichens sont faciles à reconnaître.	Il est contraignant d'utiliser une loupe pour l'identification.
D'accord	Neutre / sans opinion	Pas du tout d'accord	D'accord
Neutre / sans opinion	Neutre / sans opinion	Pas du tout d'accord	Pas d'accord
Neutre / sans opinion	Pas d'accord	Neutre / sans opinion	Tout à fait d'accord
Neutre / sans opinion	Tout à fait d'accord	Pas du tout d'accord	Pas du tout d'accord
D'accord	Neutre / sans opinion	Pas d'accord	D'accord
D'accord	D'accord	Neutre / sans opinion	D'accord
D'accord	Neutre / sans opinion	Pas d'accord	Pas d'accord
Neutre / sans opinion	Neutre / sans opinion	Pas du tout d'accord	Neutre / sans opinion

13) Avez-vous des **commentaires** libres par rapport à la question précédente ?

1	Il faut savoir consacrer du temps à ce domaine...
2	Je l'utilise en martelage, pour montrer un lichen caractéristique à mes collègues, mais je n'ai jamais eu besoin d'appliquer le protocole complet dans ma vie professionnelle.

3	non
---	-----

14) Veuillez préciser la **durée** moyenne de l'application du protocole ÉPIFOR sur le terrain, pour une station définie par l'outil (cinq gros arbres + trois petits à côté de chaque gros).

1	Entre 30 et 60 minutes
2	Entre 60 et 180 minutes.
3	Entre 15 et 30 minutes
4	Plus de 180 minutes.
5	Entre 60 et 180 minutes.
6	Entre 60 et 180 minutes.
7	Entre 30 et 60 minutes
8	Entre 60 et 180 minutes.

15) Quel est votre avis sur le **diagnostic** fourni par ÉPIFOR ? Quelles en sont les limites selon vous (hétérogénéité spatiale, différences entre chênaie et hêtraie...) ?

1	par rapport à mon ressenti, différent,
2	face à la complexité de l'identification, je n'ai pas réalisé de diagnostic
3	pas assez utilisé pour avoir un vrai avis
4	C'est une indication à croiser avec d'autres diagnostics, le tout peut être assez précis dans la détermination des habitats et la qualité de ceux-ci.
5	Difficile à dire, je ne l'ai jamais vraiment utilisé pour son but premier.
6	Manque peut-être d'espèces
7	Malheureusement peu d'endroits où le dispositif peut être installé faute de gros arbres et souvent limité aux zones alluviales
8	Incohérent

16) Indiquez à quel point vous êtes **d'accord** avec les affirmations suivantes.

	Le nombre d'espèces de lichens du protocole devrait être...	Le nombre d'espèces de bryophytes du protocole devrait être...	Le nombre de petits arbres pris en compte devrait être...	Le nombre de gros arbres pris en compte devrait être...
1	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent

2	Réduit	Réduit	Réduit	Ce nombre est pertinent
3	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Réduit	Augmenté
4	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent
5	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent
6	Augmenté	Augmenté	Ce nombre est pertinent	Augmenté
7	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent
8	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent	Ce nombre est pertinent

17) Souhaitez-vous ajouter une suggestion d'amélioration supplémentaire ou un **commentaire** libre avant de passer à la dernière section du questionnaire ?

1	Créer des fiches espèces plus détaillées avec les confusion possible. La difficultés d'identification réside dans l'identification en tant que telle mais aussi dans les confusions possibles avec les espèces non indicatrices qui ne sont pas abordées à la formation.
2	Loupe indispensable à la détermination
3	Formation de qualité, et qui ne devrait pas se faire par temps de gel ou de pluie... il faut un minimum de confort.
4	non

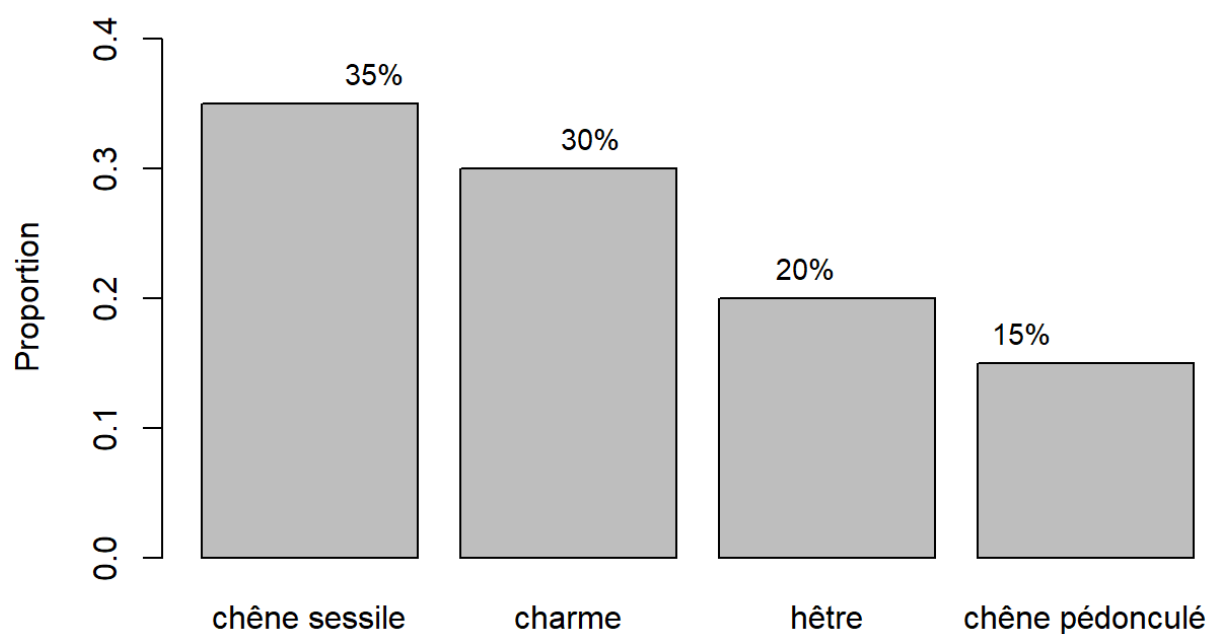
18) À l'avenir, éprouveriez-vous de l'intérêt à fournir vos données obtenues *via* ÉPIFOR afin de participer à la réalisation d'une **carte interactive** reprenant les scores de naturalité en Wallonie ?

1	Non
2	Je ne sais pas
3	Je ne sais pas
4	Oui
5	Oui
6	Oui

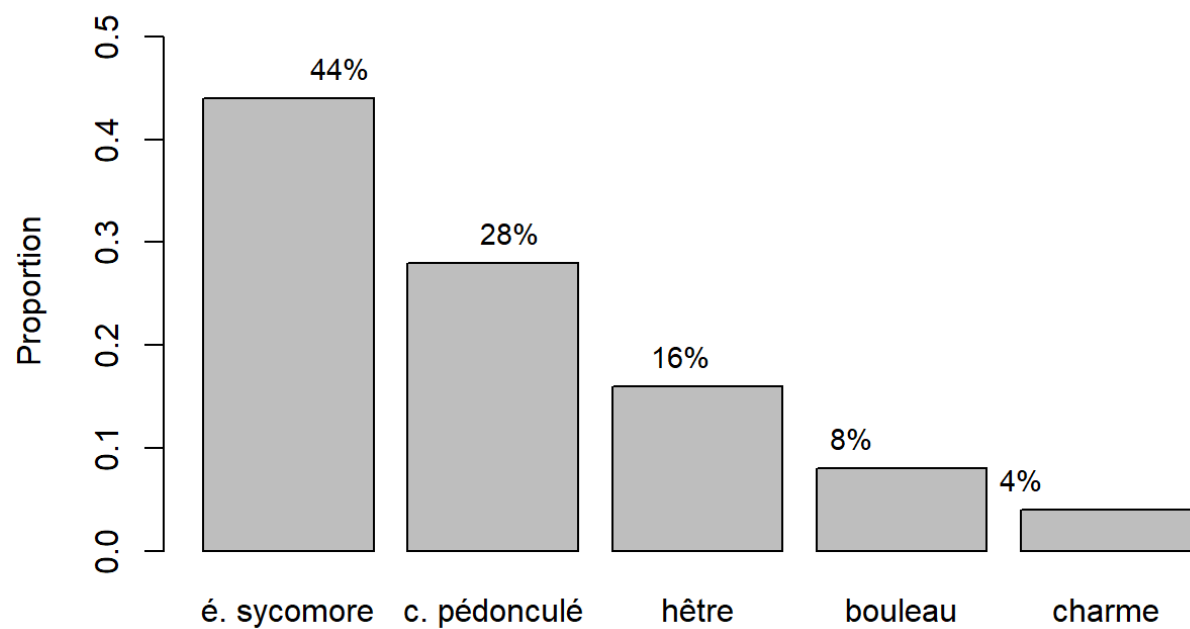
7	Oui
8	Oui

Annexe 4. Proportion en essences dans chaque placette (%). Légende : c. pour chêne, é. pour érable.

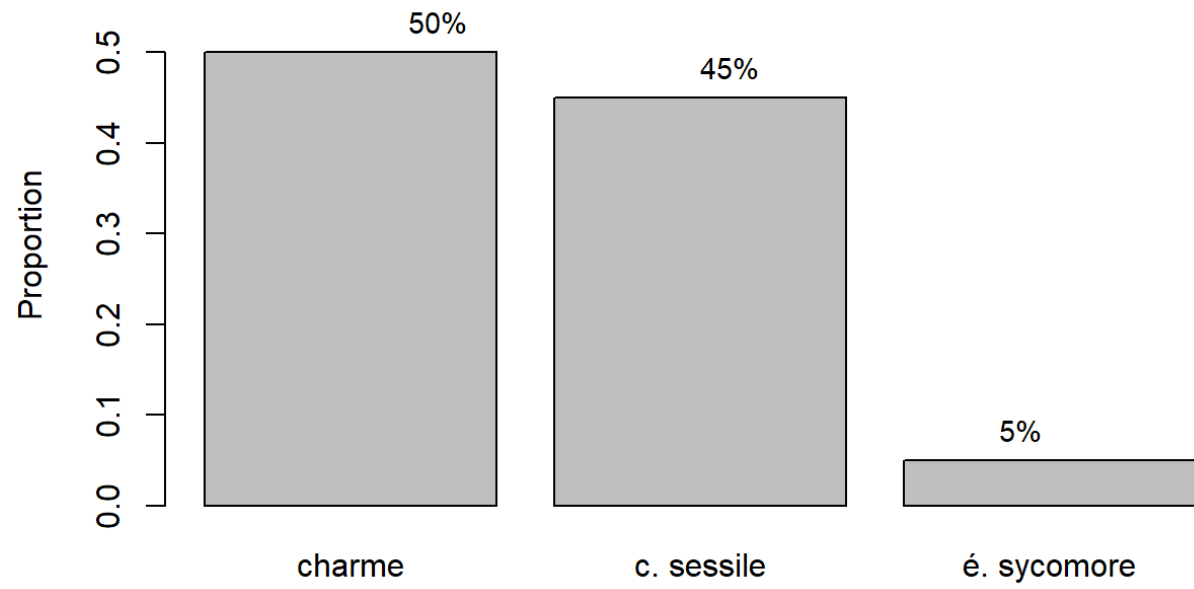
L1



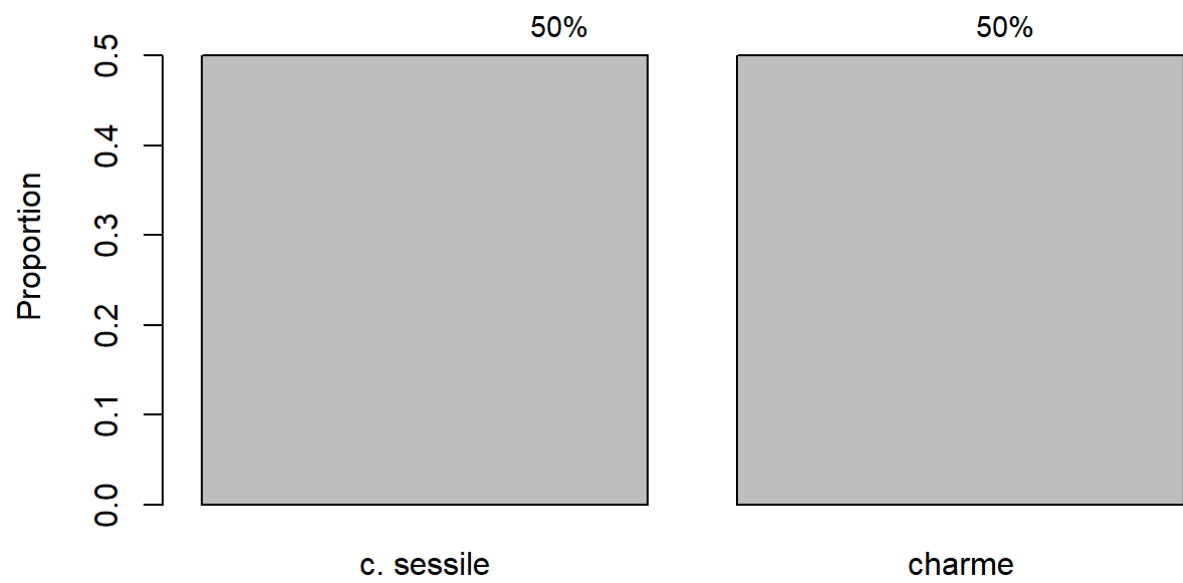
L2



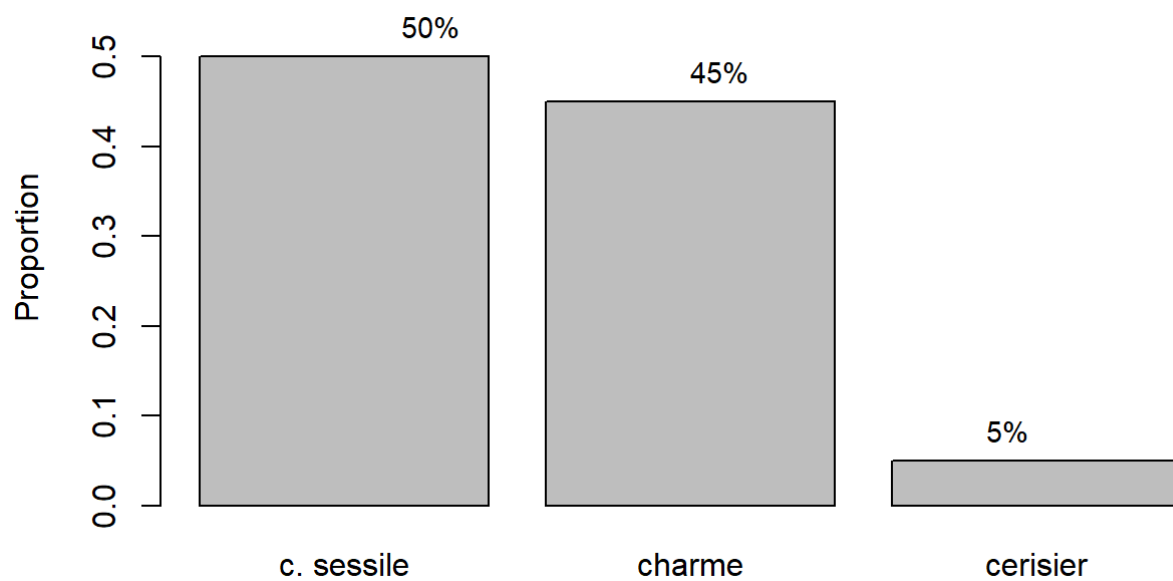
L3



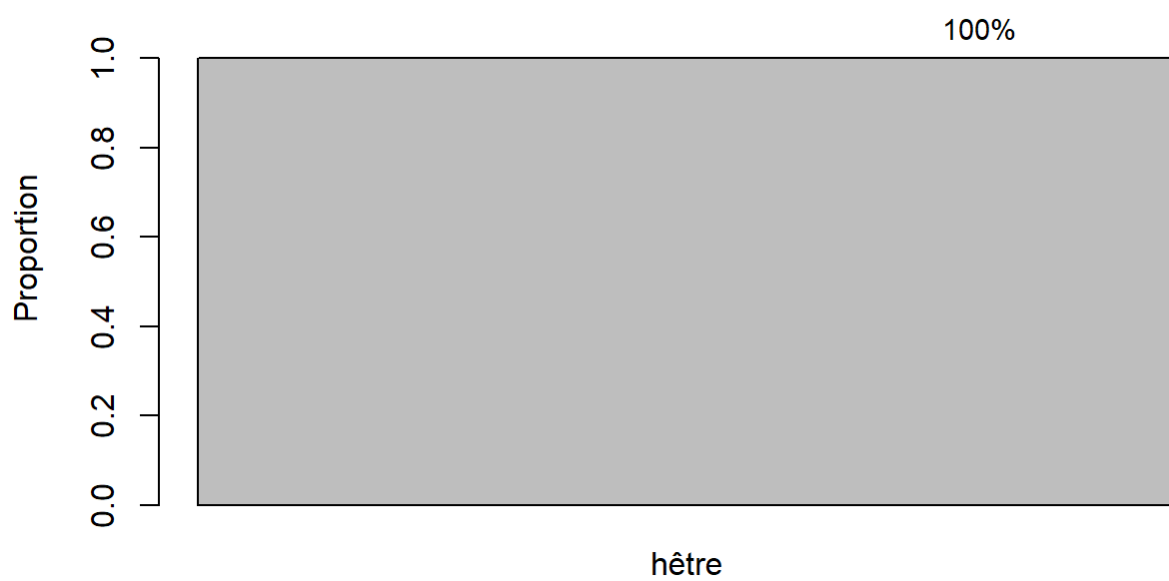
M1



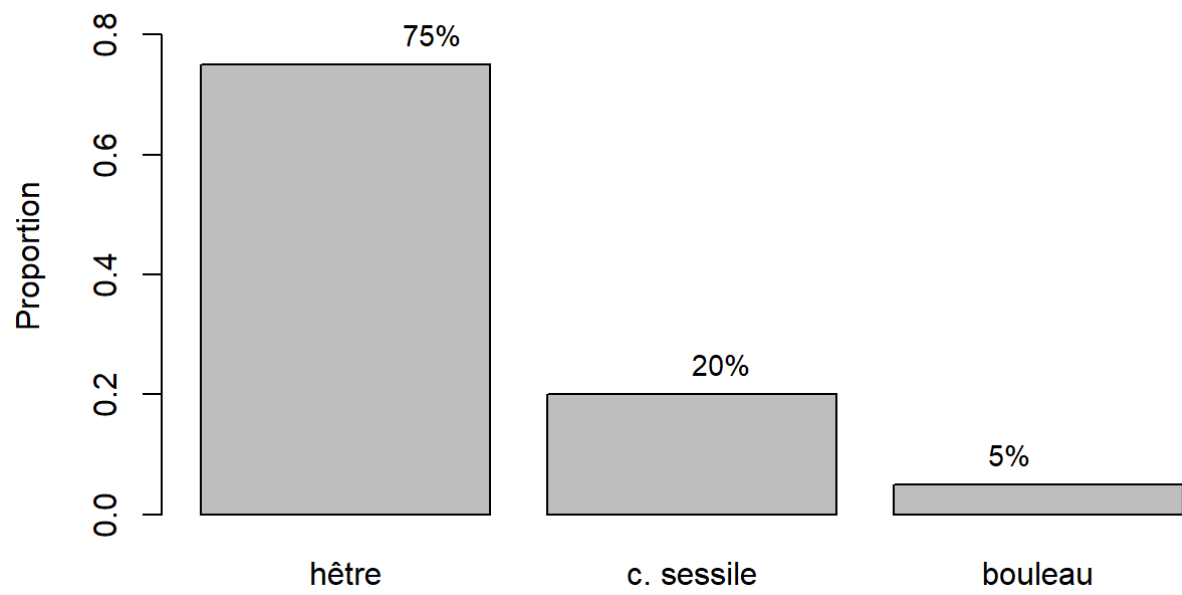
M2



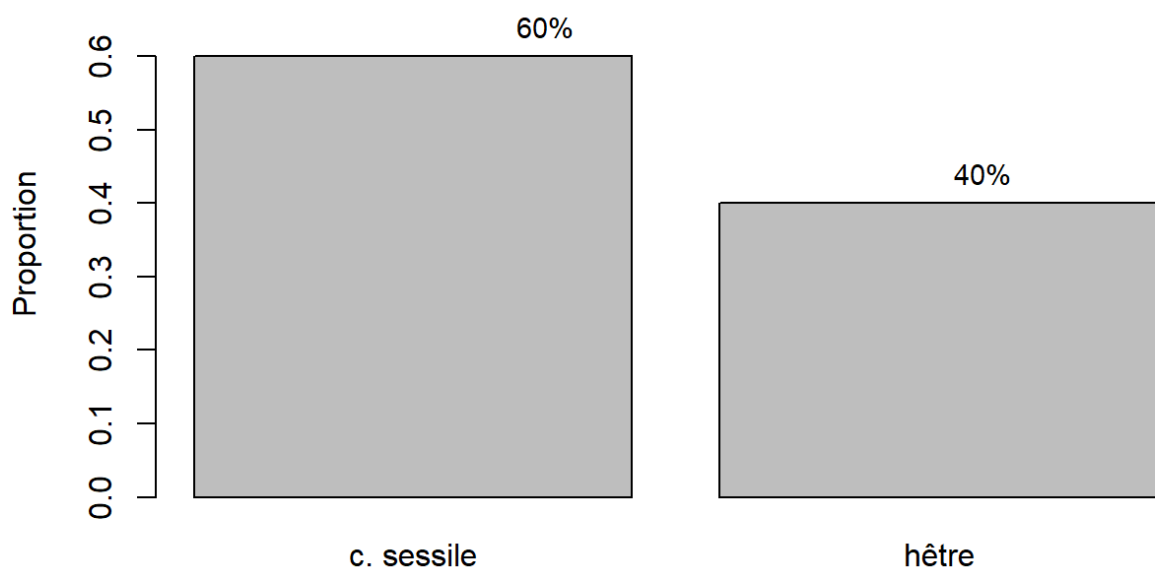
M3



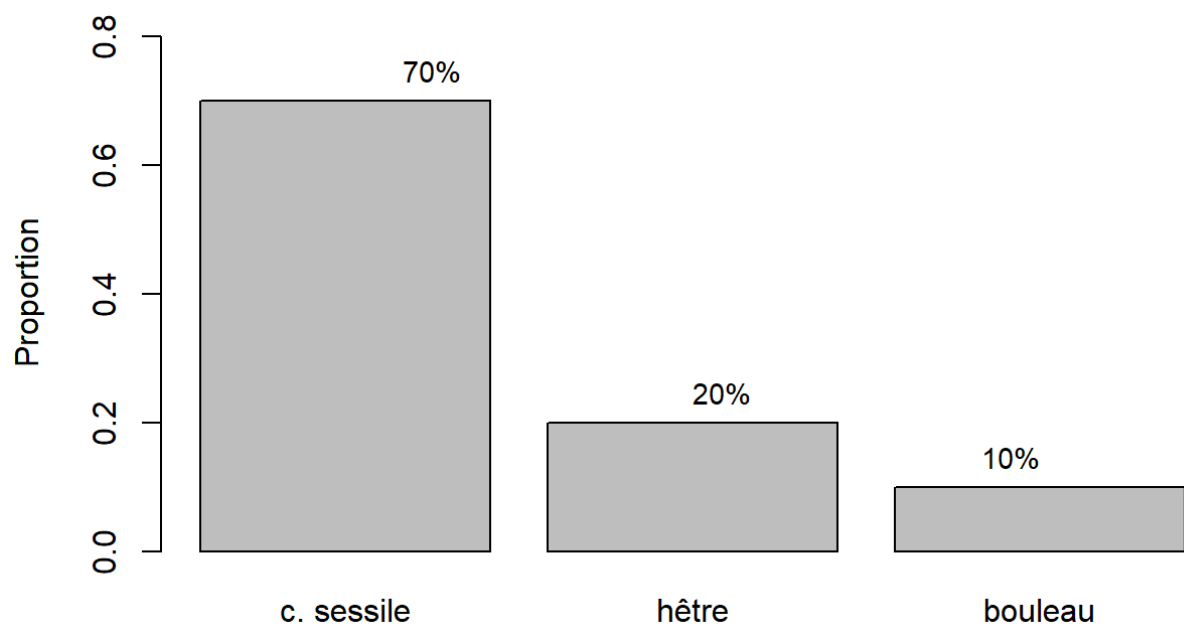
M4



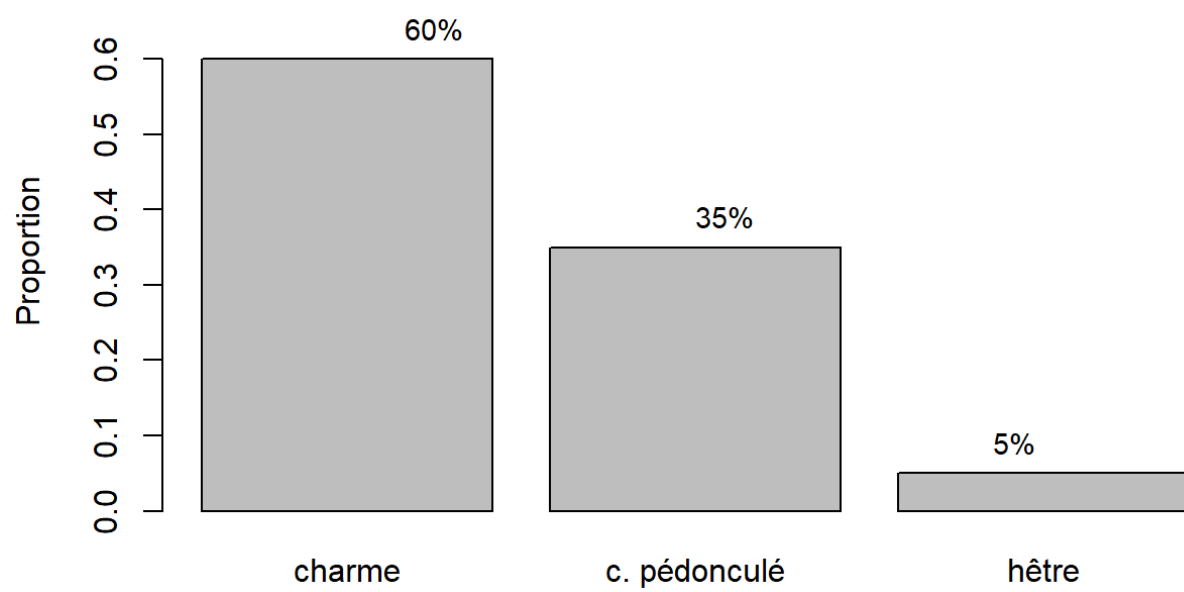
A1



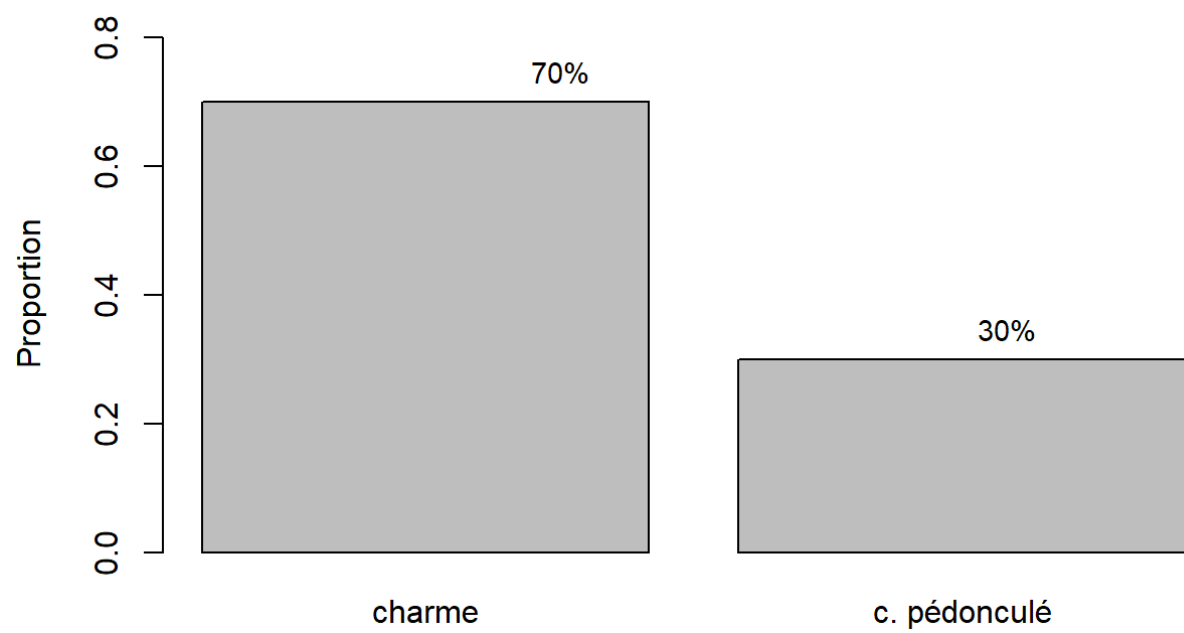
A2



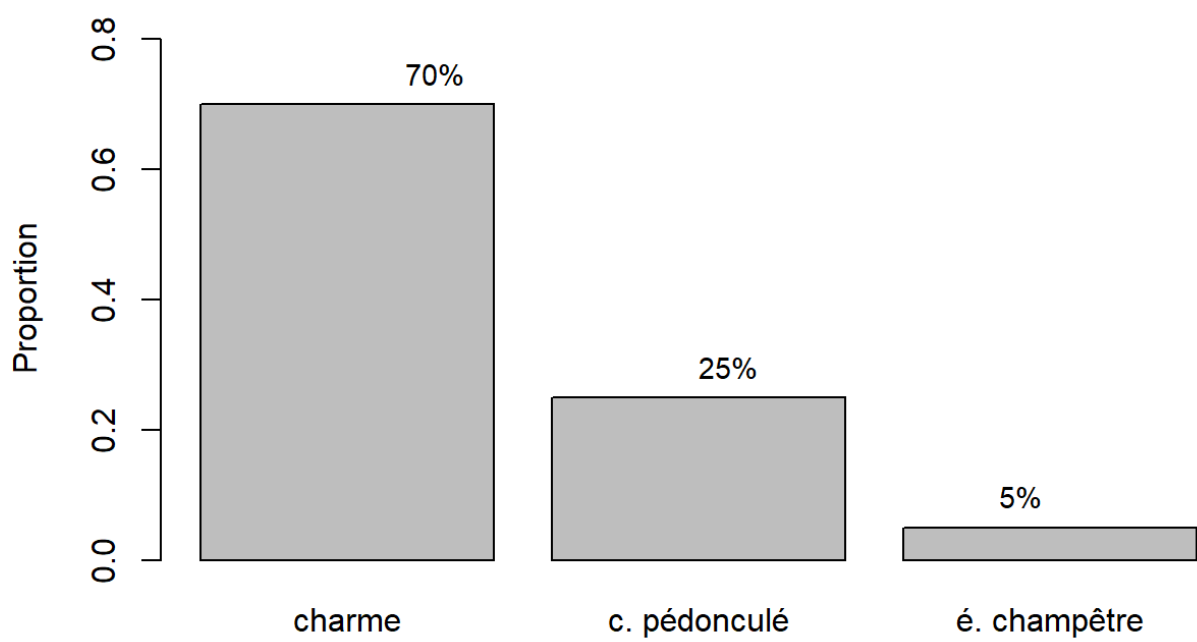
A3



A4



A5



Adapter un protocole d'évaluation de la naturalité forestière pour le rendre plus fonctionnel et applicable

Cédric de Tillesse

Les forêts fournissent des services essentiels aux humains et à la biodiversité, mais subissent des pressions anthropiques importantes. Pour les protéger, il est nécessaire de mesurer ces dégradations. La naturalité, c'est-à-dire le degré de proximité d'un écosystème par rapport à son état naturel, est une métrique pertinente pour cet objectif. Les méthodes existantes pour l'évaluer sont cependant lourdes à mobiliser pour un gestionnaire de terrain. Les bioindicateurs, notamment les lichens épiphytes, constituent une solution adaptée : ils délivrent un signal intégré, sensible et opérationnel. Sur ce principe, l'UCLouvain, l'ULiège et Epiphytia ont développé ÉPIFOR, un protocole pour la gestion courante, basé sur l'identification de lichens et de bryophytes épiphytes afin d'estimer un indice de naturalité dans les chênaies et hêtraies wallonnes. N'ayant pas encore fait l'objet d'un retour critique formalisé, ce mémoire évalue ÉPIFOR par un questionnaire et des relevés de terrain pour proposer des recommandations d'amélioration. Le questionnaire, adressé aux utilisateurs du protocole, a recueilli des avis sur son applicabilité et mis en évidence des enjeux relatifs notamment à l'identification des épiphytes, à la formation et à la durée de mise en œuvre du protocole sur le terrain. Les relevés de terrain ont porté sur 12 placettes réparties sur trois zones en Wallonie : le bois de Lauzelle, le cantonnement de Marche-en-Famenne et le cantonnement d'Anlier/Habay. Ils ont permis de formuler des recommandations pratiques, telles que n'utiliser que les lichens ou réduire le nombre d'arbres ou de sous-placettes à inventorier, en vue d'améliorer la fonctionnalité et l'applicabilité d'ÉPIFOR.