

---

## Etude des forêts anciennes en Wallonie

**Auteur :** Paës, Cédric

**Promoteur(s) :** Dufrêne, Marc

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2022-2023

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/18097>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



# **ETUDE DES FORÊTS ANCIENNES EN WALLONIE**

**CEDRIC PAËS**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNEE ACADEMIQUE 2022-2023**

**PROMOTEUR : M. DUFRÊNE**

*© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.*

*Le présent document n'engage que son auteur.*



# **ETUDE DES FORÊTS ANCIENNES EN WALLONIE**

**CEDRIC PAËS**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNEE ACADEMIQUE 2022-2023**

**PROMOTEUR : M. DUFRÊNE**



# Remerciements

---

De nombreuses personnes m'ont aidé et conseillé dans la réalisation de ce mémoire. J'aimerais ici les en remercier.

J'aimerais tout d'abord remercier le Professeur Dufrêne Marc pour son sujet sur les forêts anciennes et pour m'avoir donné les moyens de réaliser ce travail. Je remercie également Lucas Contino pour ses conseils et son support technique essentiel lors du terrain.

Je remercie le Docteur Dincher Marie pour le partage de son expérience concernant les analyses de sol et pour son aide à l'interprétation des données pédologiques. Je gratifie le Professeur Colinet Gilles pour ses éclaircissements concernant l'inventaire forestier permanent wallon et pour m'avoir fourni les données pédologiques de cet inventaire.

Je ne peux également pas oublier le Professeur Claessens Hugues pour ses précieux conseils concernant le protocole et l'identification des diverses espèces. Je reconnais également Messieurs Lisein Jonathan pour ses explications concernant les bases de données, phytospy, et pour m'avoir fourni les données phytosociologiques à l'échelle de la région wallonne.

Je gratifie également le Professeur Fayolle Adeline pour son aide essentielle concernant les analyses phytosociologiques.

J'aimerais remercier les scientifiques reconnus qui ont tout de même pris de leur temps pour répondre à mes diverses requêtes : Hermy Martin, Verheyen Kris et Hans Jacquemyn.

D'une manière moins formelle, je remercie Séléna Parrinello pour la relecture de ce travail, et plus globalement, d'exister. Je remercie également Emilie Pignolet pour ses encouragements. Je remercie également les autres tffistes pour leur soutien.



# Résumé

---

L'Homme, en Europe, définit depuis des centaines d'années le paysage au gré de ses besoins. De nombreuses études se sont intéressées en profondeur à la dimension spatiale des forêts dans cette toile. Cependant, il n'est que depuis quelques décennies que nous nous penchons à la dimension temporelle avec le concept des forêts anciennes. Ces forêts, ont la particularité d'être restées forêts depuis un temps déterminé, elles possèdent une grande « connectivité » temporelle avec le passé. En conséquence, elles détiennent des particularités pédologiques, floristiques et archéologique uniques. En Wallonie (Belgique), un travail minutieux a permis récemment la cartographie des forêts anciennes de la région. Cependant, relativement peu d'études se sont penchées sur leur état.

Ce mémoire propose une comparaison de la flore, par le recensement des espèces définies pour la région comme anciennes, des forêts récentes et anciennes. Vingt-trois sites différents ont été prospectés aux alentours de Gembloux dans un rayon de trente kilomètres. La richesse des forêts anciennes et récentes a été évaluée de manière quantitative et ensuite de manière qualitative. Les forêts récentes échantillonnées ont révélé une richesse en ces espèces inattendue. La différence de composition floristique a été étudiée à l'aide d'analyses multivariées, une Analyse des Coordonnées Principales (PCoA) a été menée sur les données. Une classification K-means a ensuite été conduite et a eu pour conséquence de caractériser un sous-groupe de forêts anciennes défini par l'espèce *Hyacinthoides non-scripta*. Parallèlement, les données dendrologiques récoltées ont permis de contrôler l'impact de la structure forestière sur la richesse et de tester son lien avec l'ancienneté. Les corrélations entre les diverses variables mesurées ont été évaluées à l'aide d'une Analyse des Composantes Principales (PCA). Ces données ont confirmé la préférence des espèces des forêts anciennes pour les forêts sombres et denses. La réalisation d'une Analyse Canonique des coordonnées Principales (CAP) permis la mise en relation les données dendrologiques avec les données floristiques et de caractériser la structure forestière de ce sous-groupe.

A l'échelle wallonne les données pédologiques de l'Inventaire Permanent des Ressources Forestière de Wallonie (IPRF) ont été analysées pour les éléments identifiés par la littérature comme variant avec l'ancienneté. L'effet de la végétation (feuillue ou résineuse), a été discuté. Des variations significatives pour le Phosphore total et assimilable, l'Azote et l'acidité ont été notées.

Finalement, une brève analyse, du paysage, de l'impact de l'exploitation forestière sur les espèces des forêts anciennes, et une discussion plus en détail de la situation particulière de certaines forêts est donnée. Notre travail de nature prospective et exploratoire propose de nombreuses pistes à clarifier et à investiguer sur le sujet des forêts anciennes en Wallonie.



# Abstract

---

For centuries, humans in Europe have shaped the landscape according to their needs. Numerous studies have taken in depth the aspect of forests in this landscape. However, it's only been a few decades since we've started focusing on the temporal dimension with the concept of ancient forests. These forests have the unique characteristic of remaining forests for a determined period, thus, possessing a strong temporal connection to the past. As a result, they exhibit unique pedological, floristic and archaeological features. In Wallonia (Belgium), a meticulous work recently led to the mapping of ancient forests in this region. However relatively few studies have yet investigated their condition.

This study proposes a comparison of flora through the inventory of species defined as ancient for the region, in both recent and ancient forests. Twenty three different sites were surveyed in the surrounding of Gembloux in a thirty-kilometer radius. The richness of both ancient and recent forests was evaluated quantitatively and then qualitatively. The sampled recent forests revealed an unexpected richness in these species. The difference in floristic composition was studied using multivariate analysis, including Principal Coordinates Analysis (PCoA). A K-means classification was then conducted, resulting in the characterization of a subgroup of ancient forests defined by the species *Hyacinthoides non-scripta*. Simultaneously, the collected dendrological data were used to control the impact of forest structure on richness and to test its relationship with ancientness. Correlations among the various measured variables were assessed using Principal Component Analysis (PCA). These data confirmed the preference of species from ancient forests for dark and dense woods. Canonical Analysis of Principal coordinates (CAP) was performed to relate dendrological data to observed richness and to discuss the forest structure of this subgroup.

At the regional scale, pedological data from the Permanent Inventory of Forests Ressources of Wallonia (IPRF) were analyzed for elements identified in the literature as varying with ancientness. The effect of vegetation (deciduous or coniferous) was discussed. Significant variations for total and assimilable Phosphorus, Nitrogen, and acidity were noted.

Finally, a brief analysis of the landscape, of the impact of management on ancient forest species, and a more detailed discussion of the unique situation of certain forests are provided. Our prospective and exploratory work suggests numerous avenues to be clarified and investigated regarding the subject of ancient forests in Wallonia.





# Table des matières

---

<b>1. Les forêts anciennes, un état de l'art.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Définitions et concepts.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Histoire de la forêt Belge.....</b>	<b>3</b>
<b>III. Sources cartographiques Belges.....</b>	<b>6</b>
III.I. Cartographie wallonne du territoire.....	6
III.II. Cartographie qualitative et quantitative des forêts anciennes Wallonnes.....	6
<b>IV. Aspect paysager des forêts anciennes.....</b>	<b>8</b>
IV.I. Aire des taches.....	8
IV.II. Forme des taches.....	8
IV.III. Connectivité des taches.....	8
IV.IV. La dette, le crédit et le temps de relaxation.....	9
<b>V. Description des forêts anciennes et divergences avec les forêts récentes.....</b>	<b>10</b>
V.I. Ecosystème de référence.....	10
V.II. Aspect abiotique.....	10
<i>V.II.I. Propriétés chimiques.....</i>	<i>10</i>
<i>V.II.II. Propriétés physiques.....</i>	<i>11</i>
<b>VI. Impacts sur la flore ancienne.....</b>	<b>13</b>
VI.I. Aspect floristique.....	13
VI.II. Analyse des traits écologiques.....	13
VI.III. Analyse des traits biologiques.....	14
<b>VII. De la forêt récente à la forêt ancienne.....</b>	<b>16</b>
<b>VIII. Comment identifier une forêt ancienne ?.....</b>	<b>18</b>
<b>IX. Intérêt des forêts anciennes.....</b>	<b>19</b>
<b>X. Quelles sont les menaces sur les forêts anciennes ?.....</b>	<b>20</b>
<b>XI. Les forêts anciennes Wallonnes sont-elles protégées ?.....</b>	<b>20</b>
<b>XII. Comment conserver les forêts anciennes ?.....</b>	<b>21</b>
<b>2. Analyse prospective des forêts anciennes.....</b>	<b>23</b>
<b>I. Introduction :.....</b>	<b>23</b>
<b>II. Matériel et méthode :.....</b>	<b>24</b>
Sélection des sites :.....	24
Acquisition des données :.....	24
<i>Données floristiques locales :.....</i>	<i>24</i>
<i>Données dendrologiques et recouvrements :.....</i>	<i>26</i>
<i>Données pédologiques et floristiques à l'échelle Wallonne :.....</i>	<i>27</i>

<i>Données cartographiques</i> : .....	27
<b>III. Résultats</b> : .....	<b>29</b>
Données floristiques régionales : .....	29
<i>Analyse de la richesse <math>\alpha</math></i> : .....	29
<i>Analyse de la richesse <math>\gamma</math></i> : .....	29
Données dendrologiques et structurelles : .....	30
Analyse pédologique : .....	31
Analyse du paysage : .....	33
<b>IV. Discussion</b> : .....	<b>34</b>
Quel est l'impact de la structure forestière sur les EFA ? .....	34
Les forêts anciennes sont-elles plus riches en EFA que les forêts récentes ? .....	34
Le sol des forêts récentes est-il différent de celui des forêts anciennes ? .....	37
Quel est l'impact du paysage sur la richesse en EFA d'une forêt ? .....	38
Quel est l'effet de l'exploitation et des activités humaines sur la richesse en EFA ? .....	39
Le cas du bois du Sépulcre : Quel est le potentiel des forêts récentes pour les EFA ? .....	39
Limites de l'étude. ....	41
<b>V. Conclusion</b> : .....	<b>42</b>
<b>3. Bibliographie</b> .....	<b>43</b>
<b>4. Annexes</b> .....	<b>49</b>
<b>Annexe de l'état de l'art</b> .....	<b>49</b>
Annexe I : Description non exhaustive des diverses cartes pertinentes en Wallonie sur le sujet des forêts anciennes. ....	49
Annexe II : Description des termes « dette d'extinction », « crédit de colonisation » et « temps de relaxation ». ....	49
Annexe III : Mise en évidence de la diversité des listes disponibles pour quelques pays (Hermey, 2015).....	50
<b>Annexe de l'analyse prospective des forêts anciennes</b> .....	<b>51</b>
Annexe I : Exemple de la liste des espèces des forêts « peu perturbées », selon Claessens & Wibail (2022).....	51
Annexe II : Exemple illustré du protocole pour le bois de l'Hospital. ....	52
Annexe III : Etude d'impact du biais causé par le protocole.....	53
Annexe IV : Classes définies pour la mesure de l'abondance.....	53
Annexe V : Table reprenant l'ensemble des sites prospectés, leur identifiant, leur aire, les habitats qu'ils contiennent et le nombre de placettes qui y ont été réalisées. ....	54
Annexe VI : Jeux de données floristiques compilés à l'échelle de la Wallonie. ....	55
Annexe VII : Tableaux représentant la richesse spécifique à l'échelle du transect et à l'échelle du site. ....	55
Annexe VIII : Mise en évidence des diverses transformations réalisées sur les données pédologiques afin de se rapprocher de la condition de normalité de l'ANOVA. ....	56

Annexe IX : Réflexion sur la liste utilisée.....	56
Annexe X : Répartition des données pédologiques étudiées pour chaque classe d'ancienneté. ...	57
Annexe XI : Analyse du bois de Grand-Leez à l'aide des cartes LiDAR.....	58

## Liste des figures

---

<i>Figure 1</i> : Illustration de la production de charbon de bois au 18 <sup>e</sup> .....	3
<i>Figure 2</i> : Evolution qualitative et quantitative de la forêt wallonne.....	5
<i>Figure 3</i> : Répartition spatiales des classes d'ancienneté. ....	6
<i>Figure 4</i> : Probabilité d'occurrence de cinq plantes dans un fragment récent. ....	9
<i>Figure 5</i> : Pourcentage moyen en espèces myrmécochores et ornithocores dans une forêt récente en fonction de la distance avec la forêt ancienne considérée.....	14
<i>Figure 6</i> : Répartition des modes de dispersion de 132 espèces des forêts anciennes.....	15
<i>Figure 7</i> : Schéma conceptuel de la colonisation des espèces des forêts anciennes .....	16
<i>Figure 8</i> : Probabilité d'occurrence d'une espèce dans une tache forestière en fonction de la distance moyenne aux 5 populations source les plus proches en fonction de la fragmentation.....	17
<i>Figure 9</i> : Répartition spatiale des forêts étudiées.....	24
<i>Figure 10</i> : Représentation de quelques espèces de la liste utilisée.....	25
<i>Figure 11</i> : Situations innacceptables pour la réalisation des placettes dendrologiques.....	27
<i>Figure 12</i> : Répartition des observations dans l'espace de la PCoA.....	29
<i>Figure 13</i> : Répartition des observations dans l'espace de la CAP.....	30
<i>Figure 14</i> : Représentation des placettes dans l'espace de la PCA.....	31
<i>Figure 15</i> : Représentation des données pédologiques dans l'espace de la PCA.....	32
<i>Figure 16</i> : Représentation de la régression linéaire entre l'aire du site échantillonné (ha) et sa richesse en EFA.....	33
<i>Figure 17</i> : Impact de l'exploitation forestière sur les EFA.....	39
<i>Figure 18</i> : Bois du Sépulcre sur la carte de Ferraris (1777).....	40
<i>Figure 19</i> : Bois du Sépulcre sur la carte de Vandermaelen (1850).....	40

## Liste des graphes

---

<i>Graphe 1</i> : Evolution de la superficie forestière belge (ha) entre 1840 et 1960.....	4
<i>Graphe 2</i> : Evolution qualitative et quantitative de la surface forestière wallonne (ha) entre 1895 et 2008.....	5
<i>Graphe 3</i> : Courbe cumulative du nombre d'espèces en fonction de l'accumulation de l'aire, réalisée sur base des onze forêts qualifiées d'anciennes.....	33
<i>Graphe 4</i> : Différences en recouvrement des EFA pour les diverses classes d'ancienneté.....	35

## Liste des tableaux

---

<i>Tableau 1</i> : Date seuil d'ancienneté choisie pour plusieurs études dans divers pays.....	1
<i>Tableau 2</i> : Proportion des diverses classes d'ancienneté des forêts à l'échelle wallonne.....	7
<i>Tableau 3</i> : Tableau reprenant les analyses réalisées sur les diverses données et les résultats associés.....	31
<i>Tableau 4</i> : Tableau des résultats des analyses structurelles.....	32

# 1. Les forêts anciennes, un état de l'art

## I. Définitions et concepts

Il est dans ce travail plusieurs termes et qualificatifs qui sont importants à décrire afin d'éviter toute confusion. Cette partie est donc dévolue à cet effet.

Dans la dénomination de ce mémoire, le terme « **forêt ancienne** » apparaît. Une forêt ancienne (FA) est décrite par la littérature comme une forêt qui « *a existé de manière continue depuis une certaine date seuil* » (Dupouey *et al.*, 2002 ; Hermy *et al.*, 1999 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Honnay *et al.*, 2002 ; Peterken, 1977 ; Peterken, 1981).

Qu'est-il entendu par une existence « **continue** » de la forêt ? Hermy *et al.* (1999) nous éclairent sur cet adjectif en le décrivant comme la maintenance d'une utilisation forestière du sol. Cette définition ne tient donc nullement compte des perturbations que la forêt a pu subir, ni de l'exploitation à laquelle elle a été soumise (Jacquemin *et al.*, 2014 ; Peterken, 1981). La relation entre ces variables est réalisée par le concept de « *naturalité* » qui sera abordé plus loin. Une forêt ancienne peut donc tout à fait avoir été un jour mise à blanc, mais elle ne doit pas avoir été soumise à une phase agricole quelconque.

La seconde partie de la définition mérite aussi de s'y attarder. La **date seuil** est sélectionnée sur base des informations historiques disponibles dans la région pour l'étude en question (Honnay *et al.*, 2002). Les dates seuils diffèrent donc en fonction des pays et même des études (*tableau 1*).

*Tableau 1 : Date seuil d'ancienneté choisie pour plusieurs études dans divers pays (Hermy *et al.*, 1999).*

<b>Date seuil :</b>	<b>Pays :</b>	<b>Etude :</b>
<b>1600</b>	Grande-Bretagne	Peterken (1974)
<b>1700</b>	Grande-Bretagne	Rackham (1980)
<b>1746-1786</b>	Nouvelle Zélande / Allemagne	Zaccharias (1994)
<b>1770-1800</b>	Belgique / Danemark	(B) Hermy et Stieperaere (1981), Hermy (1985) ; (D) Petersen (1994)
<b>1789</b>	Danemark	Lawesson <i>et al.</i> (1998)
<b>1804-1805</b>	Allemagne	Härdtle (1994)
<b>1812-1820</b>	Suède	Brunet (1994)
<b>1850</b>	Pays-bas	Grashof-Bokdam (1997)

En pratique, la date est définie sur une base géographique à l'aide de cartes historiques (Cateau *et al.*, 2015). En Belgique, elle est communément prise comme l'année 1770. Toutes les forêts anciennes n'ont donc pas le même niveau d'ancienneté même si elles se retrouvent dans cette même catégorie. En réalité, des analyses LiDAR ont démontré que leurs âges étaient compris entre 400 et 2000 ans (Georges-Leroy *et al.*, 2013). Elles ne remontent donc toutes pas à la dernière glaciation qui concernait l'Europe il y a 11 000 années (Giardino & Houser, 2015).

Il ne faut pas confondre la notion d'ancienneté avec celle de **forêt primaire**. Ces dernières sont des forêts restées intactes de l'influence humaine depuis leurs apparition (Cateau *et al.*, 2015 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Peterken, 1981). En Europe, de telles forêts n'existent plus, la forêt de Białowieża a longtemps été considérée comme telle, mais des études ont démontré que l'Homme y a eu une influence significative (Bobiec, 2012). Les forêts anciennes peuvent donc avoir des âges très différents. Les termes de **forêts secondaires** et de **forêts subnaturelles** (Cateau *et al.*, 2015) figurent aussi dans la littérature. Les forêts secondaires rassemblent toutes les forêts non-primaires. Les forêts



Les forêts anciennes, un état de l'art.

subnaturelles, *sensus* Peterken (1977), sont définies comme des forêts composées majoritairement d'essences indigènes, qui n'ont visiblement pas été plantées. Ainsi toutes les forêts primaires, et les forêts secondaires créées avant la date seuil sont considérées comme des forêts anciennes (Peterken, 1977).

La définition des forêts anciennes s'accompagne de celle des **forêts récentes** dont elle est en réalité le revers de la pièce. Une forêt récente (FR) est une forêt résultant du boisement d'une terre agricole (Jacquemin *et al.*, 2014). C'est une forêt dont l'affectation a été changée depuis la date seuil choisie (Cateau *et al.*, 2015).

Aux forêts anciennes et récentes sont associées les espèces de forêts anciennes (EFA) et les espèces des forêts récentes (EFR). Il s'agit d'espèces ayant, en vertu de leurs caractéristiques, plus d'affinités d'un point de vue statistique pour un type ou l'autre de forêt (Hermy *et al.* 1999).

Les qualificatifs de « **vieilles forêts** » et « **jeunes forêts** » ne correspondent en aucun cas aux notions définies précédemment. Ils font référence à la position qu'occupe la forêt dans le cycle sylvigénétique, à la maturité de la forêt (Cateau *et al.*, 2015). Une vieille forêt qui se situe en fin de cycle est considérée comme « mature ». Il n'existe en Belgique que des vieilles forêts feuillues car les essences résineuses ont été plantées, pour la plupart, il y a moins de 150 ans (Jacquemin *et al.*, 2014 ; Tuilier, 2004). A l'opposé, une forêt jeune est en début de cycle.

La notion d'ancienneté et la qualification de vieille ou jeune forêt ne sont donc pas exclusives (Cateau *et al.*, 2015). Il existe ainsi de jeunes forêts anciennes et de vieilles forêts récentes. Ces deux notions sont liées par la notion de « *naturalité* ». La **naturalité** est définie par plusieurs attributs. La composition en essence des peuplements, leur structure d'âge, les dynamiques de sénescence et de régénération des arbres, sont autant de critères pertinents pour définir la naturalité d'une forêt (Jacquemin *et al.*, 2014).

Dans une revue de la littérature sur la définition du mot « *naturalité* », Guetté *et al.* (2018) la divise en trois composantes. L'**intégrité biophysique** est la plus couramment mise en avant, elle fait référence à la composition originelle et naturelle d'un écosystème et elle comprend notamment le niveau d'indigénat des espèces. La **spontanéité** est représentée par le niveau d'absence d'influence humaine sur l'environnement. Finalement, les **continuités spatio-temporelles** prennent en compte le niveau de fragmentation de l'habitat et sa continuité dans le temps (ancienneté). La naturalité résultante est située sur un gradient allant d'un état très peu naturel à un état hautement naturel. L'ancienneté et la maturité des peuplements sont donc deux composantes de la naturalité d'une forêt (Cateau *et al.*, 2015).

## II. Histoire de la forêt Belge

Au travers des siècles, l'Homme a influencé considérablement le cours naturel des forêts en Belgique. Son histoire, liée à celle des forêts, a entraîné des variations qualitatives et quantitatives majeures. La reconstitution de l'histoire des forêts est quelque peu malaisée par le manque de données précédant le 18<sup>e</sup> siècle. La contribution de plusieurs acteurs tel que des palynologues ou des historiens est souvent nécessaire (Bergès & Dupouey, 2021 ; Hermy & Verheyen, 2007). A ce titre, une source d'information récente et particulièrement pertinente est l'utilisation du LiDAR. Cette technologie permet de mettre en évidence des structures historiques pouvant être postérieures à l'époque gallo-romaine et ainsi d'estimer l'âge des forêts (Georges-Leroy *et al.*, 2011 ; Georges-Leroy *et al.*, 2013). Malgré tout, quelques grandes tendances peuvent être tracées. Dès le Néolithique, une partie significative des forêts du Nord-Ouest de la Belgique a été perdue (Dubois, 1995). Un premier minimum a été atteint à l'époque Romaine avant de réaugmenter jusqu'au début du Moyen-âge. Une période de déforestation a ensuite de nouveau eu lieu aux alentours de 1300. Les surfaces ont finalement réaugmenté pour atteindre un maximum vers la fin du 18<sup>e</sup>.

L'Histoire de la forêt belge est plus claire et précise sur ces deux derniers siècles grâce aux documents cadastraux et aux cartes disponibles.

Plusieurs facteurs ont significativement influencé la forêt. Tuilier (2004) cite : la proportion publique / privée des bois, la rentabilité de l'agriculture, l'industrialisation et les progrès technologiques, l'augmentation de la population. Il considère d'ailleurs ce dernier facteur comme le plus impactant. La population belge ayant été multipliée par un facteur cinq, passant de 2 millions en 1784 à 10.3 millions en 2002 (Tuilier, 2004). Cette augmentation s'est accompagnée d'une demande en ressources croissantes. En conséquence, les terres nécessaires à l'agriculture ont été augmentées, et de nombreuses forêts défrichées. La pression sur les forêts résulta également de la diminution des espaces ruraux due à l'urbanisation et au développement spatial de l'industrie (Tuilier, 2004).

L'impact a aussi été d'ordre qualitatif, des pratiques telles que la collecte de litière, l'essartage et le pacage, ont eu une influence considérable sur le fonctionnement des écosystèmes. Les pratiques de mise sous-taillis et de taillis-sous-futaie, régimes d'exploitation intensifs à courtes révolutions (20-25 ans), étaient très courantes. D'un point de vue énergétique, beaucoup de forêts ont été surexploitées afin de produire du charbon de bois (Jacquemin *et al.*, 2014).

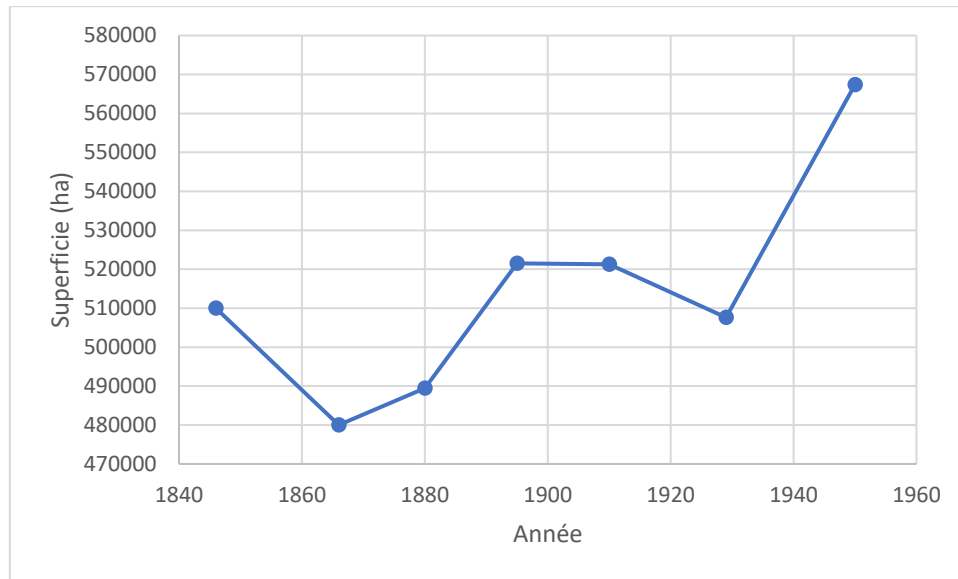
Les stigmates de ces pratiques sont aujourd'hui encore bien visibles en forêt, on retrouve des « **aires de faulde** » (*figure 1*) pour le charbon et des plages de Houlques molles (*Holcus mollis* L. (1759)) témoignant d'une mise sous-taillis (Claessens *et al.*, 2021) partout en Belgique. En conséquence de ces facteurs, la Belgique connut son minimum forestier au 19<sup>e</sup> siècle avec une surface de 480.000 ha.



Figure 1: La production du charbon de bois était une pratique courante au 18<sup>e</sup> siècle (Duhamel du Monceau, 1770).

## Les forêts anciennes, un état de l'art.

La superficie forestière a ainsi grandement fluctué quantitativement comme le montre la figure ci-dessous (*graphe 1*), basée sur les chiffres corrigés de Tuilier (2004).



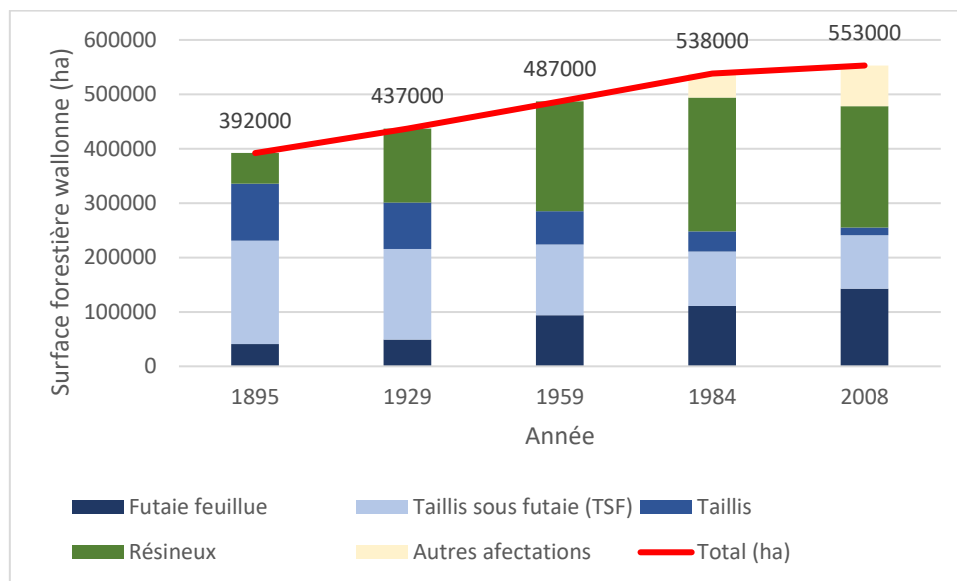
Grappe 1 : Evolution de la superficie forestière belge (ha) entre 1840 et 1960 selon Tuilier (2004).

Les quelques forêts existant lors du minimum forestier étaient pour la plupart des domaines de chasse ou des terres difficiles d'accès (Jacquemin *et al.*, 2014). Cette tendance à la déforestation sera néanmoins inversée vers la moitié du 19<sup>e</sup> siècle.

La loi du 25 mars 1847 sur les incultes jouera un rôle déterminant pour la forêt belge. Elle force les communes à mettre en valeur leurs incultes (généralement les landes pauvres qui étaient pâturées par des troupeaux communautaires) sous menace de devoir vendre leurs terres. L'augmentation des surfaces forestières est aussi la conséquence de la création du premier code forestier (1854) et de la première administration forestière belge (1888). Par ailleurs, l'apparition du charbon minéral et la demande en bois pour les mines raviva l'intérêt porté aux forêts (Jacquemin *et al.*, 2014). Pour satisfaire cet objectif, et en vue des conditions stationnelles souvent médiocres des terres disponibles, il fût décidé de planter en masse des résineux. Au début du 19<sup>e</sup> siècle c'est surtout le Pin Sylvestre (*Pinus sylvestris* L. (1753)) qui fût planté et à la fin de ce dernier, l'épicéa (*Picea abies* (L.) H. Karst (1881)). Parallèlement, les progrès technologiques de l'agriculture augmentant la rentabilité des terres et l'exode rural libérèrent de nombreuses parcelles laissées à l'abandon que la forêt pu coloniser. A l'international, les importations conséquentes en céréales américaines peu chères désorganisèrent le marché agricole européen (Kervyn *et al.*, 2017). En 1919, l'ajout des cantons rédimés suite à la première guerre mondiale procura 40.000 ha de forêt au pays (Alderweireld *et al.*, 2015). Ces facteurs entraînent une augmentation de la surface forestière jusqu'à aujourd'hui où cette dernière culmine aux alentours de 700.000 ha (OEWB, 2019).

## Les forêts anciennes, un état de l'art.

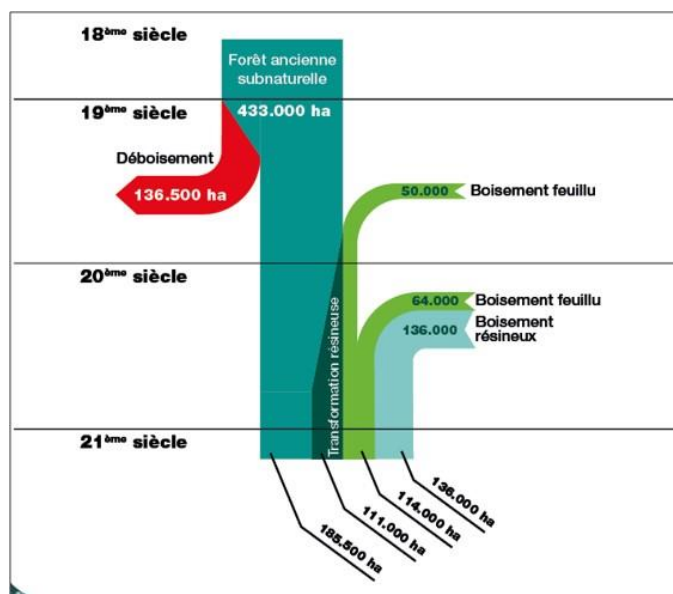
Pour la Wallonie, les données de l'Inventaire Permanent des Ressources Forestières de Wallonie (IPRF) donnent une idée de l'ampleur de ces changements sur ces deux derniers siècles (*graphe 2*) (Alderweireld *et al.*, 2015).



*Graphe 2 : Evolution qualitative et quantitative de la surface forestière wallonne (ha) entre 1895 et 2008 (Alderweireld *et al.*, 2015).*

Concernant les forêts décrites précédemment comme « anciennes », il ne reste actuellement que 40 % des forêts subnaturelles wallonnes du 18<sup>e</sup> siècle, soit 185.500 *ha* (Kervyn *et al.*, 2014 ; Kervyn *et al.*, 2017). La surface forestière globale a augmenté au cours de ces deux derniers siècles, mais les surfaces relatives et absolues des forêts anciennes n'ont fait que de décroître (*figure 2*).

Actuellement, la surface forestière est relativement stable, le plan de secteur définissant sa place. D'un point de vue qualitatif, la tendance observée sur les deux cycles de l'IPRF est à l'augmentation des forêts feuillues (+5%) et à la réduction des peuplements résineux (-7%) (Alderweireld *et al.*, 2015). Concernant les forêts anciennes, la reconnaissance de leur rôle patrimonial très singulier est de plus en plus valorisée aussi bien par la littérature que par les politiques, notamment dans le cadre de la stratégie européenne de la biodiversité pour 2030 (Commission Européenne, 2020).



*Figure 2 : Evolution qualitative et quantitative de la forêt wallonne, mise en évidence de l'évolution des forêts anciennes (SPW, n.d.).*

### III. Sources cartographiques Belges

#### III.I. Cartographie wallonne du territoire

Les sources cartographiques les plus fiables en Belgique ont été réalisées dans des buts militaires afin d'aider les troupes sur le terrain. Les forêts, étant des obstacles non négligeables, ont souvent été minutieusement référencées. La carte de Ferraris possède une précision remarquable pour l'époque (1770-1774), et couvre la majorité du territoire (Kervyn *et al.*, 2014). Il est aisé de comprendre que la date seuil communément choisie pour la Belgique se situe aux alentours de l'année 1770. D'autres cartes telles que la carte de Vandermaelen ou les cartes LiDAR se sont révélées pertinentes dans l'étude du problème. Une brève description de ces documents est disponible en annexe (*annexe I*).

#### III.II. Cartographie qualitative et quantitative des forêts anciennes Wallonnes

Ces diverses cartes ont permis l'élaboration en 2019 d'une cartographie couvrant l'ensemble de la Wallonie où les forêts anciennes ont pu être identifiées (*figure 3*).

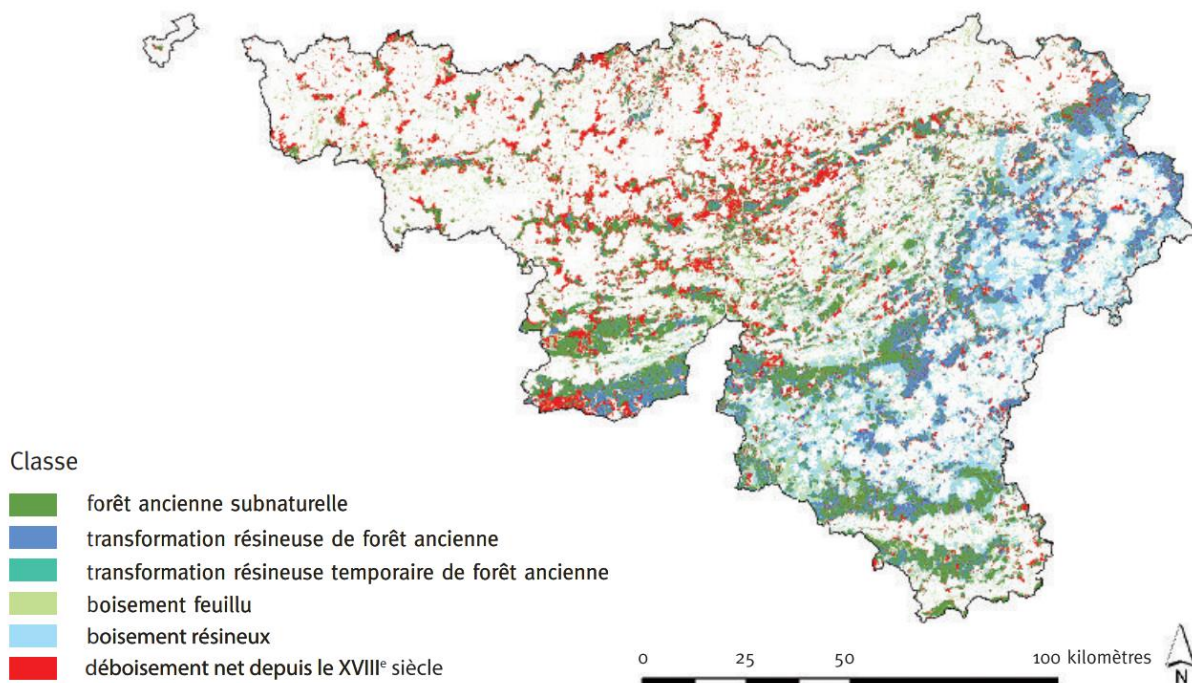


Figure 3 : Répartition spatiales des classes d'ancienneté selon Kervyn *et al.* (2017).

La carte montre la répartition de la forêt wallonne selon les classes définies par la carte d'ancienneté des forêts mise à disposition par le SPW sur WalOnMap. Cette cartographie subdivise les forêts anciennes en trois grandes classes (SPW, 2019) :

- les **forêts anciennes subnaturelles** sont restées feuillues et continues depuis le 18<sup>e</sup>.
- les **transformations résineuses** sont des forêts qui ont été enrésinées à une date supérieure à l'an 1770, et qui sont aujourd'hui encore enrésinées.
- les **transformations temporaires** signifient qu'entre la date seuil et aujourd'hui, il y eu une transformation résineuse, mais qu'aujourd'hui, la forêt est bel et bien feuillue.

La cartographie apporte une dimension spatiale à l'histoire de la forêt développée plus tôt. Il est remarquable d'observer que la majorité des déboisements ont eu lieu dans la région du Condroz et dans le nord du sillon Sambro-mosan. Cela s'explique par la fertilité importante de ces terres qui ont

## Les forêts anciennes, un état de l'art.

permis le développement de cultures intensives très rentables. Les transformations résineuses concernent majoritairement l'Ardenne, en raison de ses sols de moindre qualité (Kervyn *et al.*, 2017).

Tableau 2 : Proportion des diverses classes d'ancienneté des forêts à l'échelle wallonne (Kervyn *et al.*, 2017).

Niveau d'ancienneté des massifs forestiers	Surface occupée (ha)	Pourcentage de la superficie forestière du XVIII <sup>e</sup> siècle	Pourcentage de la superficie forestière actuelle
Forêt ancienne subnaturelle	181 000	44 %	33 %
Transformation résineuse de forêt ancienne	108 000	26 %	20 %
Transformation résineuse temporaire de forêt ancienne	800	0,2 %	0,1 %
Boisement feuillu	117 000		21 %
Boisement résineux	140 000		26 %
Déboisement net depuis le XVIII <sup>e</sup> siècle	124 000	30 %	

D'un point de vue quantitatif, les forêts feuillues subnaturelles, que l'on pourrait qualifier de forêt ancienne *sensus stricto*, ne constituent que 33% de la forêt actuelle (tableau 2). Si l'on ajoute les transformations résineuses, les forêts anciennes, *sensus lato*, représente 50 % des superficies actuelles. Ces données permettent de mettre en évidence l'urgence de conserver les restes de forêts subnaturelles feuillues et mettent en lumière le potentiel de restauration écologique des forêts peuplées par des résineux non-indigènes.

## IV. Aspect paysager des forêts anciennes

A la vue de la répartition des forêts anciennes dans le paysage wallon, il est crucial de discuter l'impact de cette disposition sur la diversité et la qualité des écosystèmes. Un paysage peut être décomposé selon trois composantes majeures, l'aire, la forme et la connectivité de ses taches (Bogaerts, 2021).

### IV.I. Aire des taches

L'aire des taches est une composante majeure en écologie lorsque l'on parle de diversité. La relation positive entre richesse et aire des taches est connue depuis 1921 grâce à Arrhenius. Des taches plus grandes couvrent une plus grande diversité d'habitat et permettent le développement de plus importantes populations, ce qui diminue leurs chances d'extinction (Honnay *et al.*, 2002).

Dans le cas des forêts anciennes, Honnay *et al.* (1999b) ont démontré que l'aire était une variable redondante lorsque l'effet de l'addition de nouveaux habitats et l'âge de la forêt étaient pris en compte. Jacquemyn *et al.* (2001) ont mis en évidence une relation forte entre l'effet produit par l'aire (toutes composantes comprises) et l'âge de la forêt. Les forêts plus anciennes voyant leur nombre d'espèces augmenter d'une manière plus importante avec l'aire que les forêts moins anciennes. Concernant l'hypothèse de l'effet de l'aire sur la taille des populations et sur leur survie, les études s'étant penchées sur le sujet n'ont pu le démontrer (Honnay *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1999b). Jacquemyn *et al.* (2001) a cependant révélé l'importance de l'aire dans la taille des populations pour l'espèce *Primula elatior* (L.) Hill (1765). Ils sont parvenus à lier une réduction du fitness individuel des individus avec la taille de la population dont ils provenaient. Il semblerait cependant que globalement l'extinction des espèces dans les taches fragmentées soit plutôt due à des variables liées à la qualité de l'habitat (Honnay *et al.*, 1999b).

### IV.II. Forme des taches

La forme des taches aura un impact sur la proportion de lisière que contient la forêt. Des études ont démontré, que la richesse spécifique d'une forêt augmentait avec l'irrégularité de son contour (Honnay *et al.*, 1999). Cette augmentation de la richesse est expliquée par la création d'un nombre croissant d'habitats pour les espèces de lisière, de clairière, les espèces de buissons et de lianes. Aucun effet n'a été recensé sur les espèces « strictement forestières » (Honnay *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1999b ; Honnay *et al.*, 2002).

### IV.III. Connectivité des taches

La connectivité du paysage a un effet varié sur les espèces des forêts anciennes. D'une part, il semblerait que l'isolement n'ait aucun impact sur les espèces forestières d'intérieur, aussi appelées « True Forest Species » ou « Core Species » (e.g. EFA) (Honnay *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.* 1999b). Cela s'explique par le fait que ni les espèces à très faible capacité de dispersion, ni les très bon disperseurs ne vont réagir avec l'isolement d'une tache (Honnay *et al.*, 2002). Il a cependant été démontré que la présence de forêts anciennes à une distance de 1.000 m d'une forêt récente avait un impact sur sa composition floristique (Jacquemyn *et al.*, 2000 cité dans Honnay *et al.*, 2002). Cette même étude montre que la probabilité de colonisation chute drastiquement lorsque l'isolation est supérieure à 200 m (figure 4). Cette probabilité est à mettre en relation aux capacités de dispersion de chaque espèce. Pour les espèces autochores ou myrmécochores, elle tombe à zéro si aucune forêt ancienne n'est adjacente (Jacquemyn *et al.*, 2000 cité dans Honnay *et al.*, 2002).



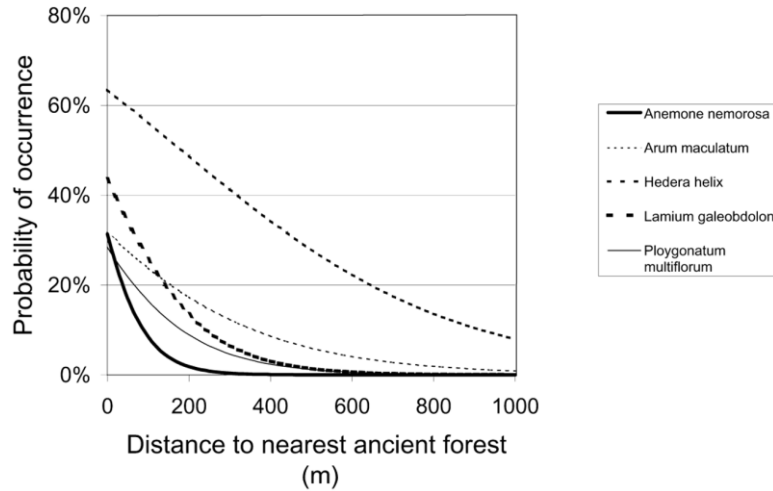


Figure 4 : Probabilité d'occurrence de cinq plantes dans un fragment récent (< 35 ans) en fonction de la distance au fragment ancien le plus proche où l'espèce est aussi présente (Jacquemyn *et al.*, 2000). Notés la sensibilité d'*Anemone nemorosa* (myrmécochore).

Il est également important de spécifier que la notion spatiale doit, dans le cas des forêts anciennes, toujours s'accompagner d'une dimension temporelle *per se*. Ainsi, dans certaines études, la connectivité passée du paysage peut expliquer la richesse spécifique actuellement observée là où la connectivité actuelle ne le peut. Ce phénomène peut être expliqué par plusieurs mécanismes tels que les caractéristiques intrinsèques des EFA ou par la présence, dans d'anciens champs, haies, pouvant agir comme des abris pour certaines espèces (Honnay *et al.*, 1999c ; Honnay *et al.*, 2002 ; Kolk & Naaf, 2015).

#### IV.IV. La dette, le crédit et le temps de relaxation

Une remarque qui doit être faite sur la littérature disponible est que l'hypothèse de l'équilibre entre les espèces et l'habitat est bien trop souvent acceptée *per se*. Comme il a été mis en évidence dans la première partie de ce travail, rares sont les forêts étant restées intactes depuis des milliers d'années. La majorité des modifications du paysage en Wallonie ont eu lieu en l'espace d'à peine 200 ans. Certaines études se sont donc penchées sur les concepts de **dette d'extinction**, de **crédit de colonisation**, et de **temps de relaxation** appliqué au sujet des forêts anciennes. Une brève description de ces concepts est disponible en annexe (*annexe II*).

Les résultats de ces investigations sont les suivants : il a été démontré que la dette d'extinction des espèces à faible capacité de dispersion (*e.g.* cas des EFA) mettait plus d'une centaine d'années à être payée (aux alentours de 210 à 225 ans dans Lalechere *et al.*, 2018 ; Vellend *et al.*, 2006). Cela est en partie expliqué par la stratégie de tolérance au stress et le faible « turnover » des EFA causé par leur longue longévité (Lalechère *et al.*, 2017). Par ailleurs, la dette dépend également du niveau de fragmentation du paysage, Kolk & Naaf (2015) ont démontré que dans un paysage hautement fragmenté (perte de 94% du couvert en 160 ans), la dette était payée bien plus rapidement.

La colonisation dépendant des capacités de dispersion des espèces et de la connectivité du paysage, les temps de relaxation sont plus importants pour les espèces des forêts anciennes qui se caractérise par un faible *turnover* (Lalechere *et al.*, 2018). Des simulations proposent un temps de relaxation compris entre 250 et 1.000 ans (Lalechere *et al.*, 2018). Ce temps relativement important s'explique par un crédit de colonisation, résultant des forêts nouvelles ajoutées au paysage, beaucoup plus lent à agir que la dette, conséquence, encore une fois, des caractéristiques intrinsèques des espèces de forêts anciennes (Lalechere *et al.*, 2018). Les gains obtenus par l'augmentation des surfaces forestières ne seront donc visibles qu'après un laps de temps plus important que la perte constatée par la réduction simultanée des surfaces anciennes.



## V. Description des forêts anciennes et divergences avec les forêts récentes

### V.I. Ecosystème de référence

Le meilleur exemple qu'il existe aujourd'hui d'une forêt ancienne à haut niveau de naturalité est la forêt de Białowieża. En raison de son importante richesse (sa richesse mycologique par exemple est estimée à 5.000 taxons), sa taille (1.500 km<sup>2</sup>), sa quantité de bois mort (159 m<sup>3</sup>/ha), sa structure d'âge, elle a été reconnue comme réserve de biosphère et « *world heritage* » par l'UNESCO (Jaroszewicz *et al.*, 2019). Grâce à son histoire, cette forêt a été relativement épargnée de la main de l'Homme (Bobieć, 2002). Cependant, il a été démontré que ce dernier a tout de même eu un impact significatif (Bobieć, 2012). Elle est aujourd'hui un sujet d'étude très important pour la compréhension des dynamiques naturelles et représente l'archétype d'une forêt européenne supposée « vierge » (Jaroszewicz *et al.*, 2019). Si la qualité des forêts récentes wallonnes devait être définie par rapport aux forêts anciennes, ces dernières devraient elles-mêmes avoir pour étalon des forêts plus grandes et à naturalité plus importante, comme la forêt de Białowieża *per se*.

### V.II. Aspect abiotique

La conversion des forêts en cultures s'est accompagnée de changements drastiques sur la composition et la structure du sol. Cela résulte des diverses pratiques culturales. La composition en nutriments a été modifiée au fil des années par la fertilisation, le pH par le chaulage et la structure par le labour (Jacquemin *et al.*, 2014). L'intensité et la forme de ces changements topologique sont fonctions de l'histoire que connu la parcelle. Les impacts sur le sol résultant d'une mise en culture, d'une mise en prairie ou en jardin ne seront pas égaux (Goovaerts *et al.*, 1990 ; Koerner *et al.*, 1997). Et en retour, l'impact sur la richesse sera également différent (Holmes & Matlack, 2018). Un clair lien entre le temps de mise en culture et plusieurs paramètres du sol tel que la texture, le contenu en cations, l'acidité, la concentration en phosphore, en carbone, en azote, et même la richesse en EFA a été démontré (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Richter *et al.*, 1994 ; Verheyen *et al.*, 1999). Il est judicieux de rappeler que les pratiques agricoles ont fortement varié au cours de ces deux siècles dans leur intensité. Notamment après la seconde Guerre mondiale avec l'utilisation massive de la fertilisation chimique (Verheyen *et al.*, 2003b). Ainsi il est crucial de garder à l'esprit la période à laquelle la forêt étudiée a été rétablie. La végétation actuelle interagit également sur les conditions du sol après perturbation. C'est le sujet sur lequel se sont penché Compton & Boone (2000), qui ont mesuré l'évolution de plusieurs paramètres du sol dans des forêts récentes feuillues et résineuses. Les tendances observées sont globalement semblables, mais la végétation semble jouer un rôle qui reste à éclaircir dans le rétablissement des conditions du sol.

#### V.II.I. Propriétés chimiques

##### *Acidité*

De nombreux articles ont démontré que les forêts récentes étaient significativement moins acides que les forêts anciennes (Bossuyt *et al.*, 1999b ; Goovaerts *et al.*, 1990 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Koerner *et al.*, 1999 ; Vanhellemont *et al.*, 2014 ; Verheyen *et al.*, 1999). L'acidité des forêts anciennes est grande, un pH entre 3 et 4 a été mesuré par Bossuyt *et al.* (1999b). En comparaison, les forêts récentes ont des valeurs ayant été observées entre 6 et 8 unités (Bossuyt *et al.*, 1999b ; Honnay *et al.*, 2002). Peu après l'abandon des terres, l'augmentation de l'acidité s'opère. Le rétablissement semble prendre plus de 100 ans après le retour de la forêt (Bossuyt *et al.*, 1999b ; Goovaerts *et al.*, 1990 ; Koerner *et al.*, 1997). Il est à noter que Bossuyt *et al.* (1999b), ne trouvent plus aucune différence dans le pH après 50 ans. L'acidité outre la dichotomie ancienne et récente dépend également de la composition en essences (Vanhellemont *et al.*, 2014). Elle ne semble cependant pas être un facteur limitant pour les espèces des forêts anciennes (Honnay *et al.*, 2002). Il a même été démontré pour certaines EFA, une augmentation

Les forêts anciennes, un état de l'art.

de la germination significative directement liée à une augmentation du pH (Falkengren-Grerup & Tyler, 1993).

#### *Phosphates et phosphore*

A l'instar du pH, l'augmentation de la concentration en phosphore dans les sols des forêts récentes n'est plus à prouver (Baeten *et al.*, 2009 ; Dupouey *et al.*, 2002b ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Koerner *et al.*, 1997 ; Verheyen *et al.*, 1999 ; Verheyen & Hermy, 2004). Dans Compton & Boone (2000), la concentration en phosphore est toujours 50% supérieure en forêt récente qu'en forêt ancienne même une centaine d'année après l'abandon agricole. Un ordre de grandeur est d'approximativement 2 mg/100g de sol pour les forêts anciennes (Honnay *et al.*, 2002 ; Verheyen & Hermy, 2004). Pour les forêts récentes, la concentration est plus variable en fonction des pratiques agricoles. A titre indicatif, des valeurs comprises entre 23mg/100g et 42mg/100g sont mentionnées (Honnay *et al.*, 1999c ; Verheyen & Hermy, 2004). L'existence d'un lien négatif entre la concentration en phosphates et la richesse en végétaux des forêts anciennes a été soulignée dans Honnay *et al.* (1999c). L'effet délétère du phosphate semble indirect et d'avantage du au gain supérieur retiré par les espèces rudérales et phosphophiles, qui en retour, excluent les espèces tolérantes au stress (*e.g.* EFA) (Baeten *et al.*, 2009 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Honnay *et al.*, 2002). C'est ce qui a été démontré par plusieurs auteurs, dont Hermy (1994) qui démontra un lien négatif entre le recouvrement de *Urtica dioica* L. (1753) et le recouvrement des EFA (Honnay *et al.*, 1998, Honnay *et al.*, 2002).

#### *Nitrates et azote*

L'azote est un élément relativement mobile dans le sol, de fait, il disparaît assez vite lorsque la mise en culture prend fin (Honnay *et al.* 1998). Par exemple, Honnay *et al.* (1999c) n'ont pas vu de différence entre forêt ancienne et récente. D'autres auteurs ont trouvé une augmentation de l'azote en forêt récente de 39% (Compton & Boone, 2000 ; Dupouey *et al.*, 2002b ; Dzwonko 2001 ; Koerner *et al.* 1997). Compton et Boone (2000) proposent une explication : il semblerait que la persistance ou non de l'azote dans les sols soient dû aux pratiques agricoles, et notamment aux amendements (organiques ou inorganiques).

Des analyses des valeurs d'Ellenberg montrent que la végétation des forêts récentes est significativement plus nitrophile (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Koerner *et al.*, 1997). L'augmentation en azote des sols pourrait donc, comme pour le phosphore, favoriser plus amplement les espèces rudérales que les espèces des forêts anciennes (Dupouey *et al.*, 2002 ; Honnay *et al.*, 2002).

#### *Carbone*

Compton & Boone (2000) notent une baisse de 13 à 16 % du carbone total dans le sol dans des sites ayant été cultivés il y a 90-120 ans. Ils ne sont pas les seuls à arriver à cette conclusion (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Goovaerts *et al.*, 1990 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Verheyen *et al.*, 1999). L'accumulation de matière organique, résulte d'un ralentissement des processus de décomposition, elle n'a lieu uniquement lorsque le pH est suffisamment bas. L'agriculture augmente la minéralisation du carbone par un apport plus grand en matière organique, un pH supérieur, une aération et une homogénéisation du sol (Honnay *et al.*, 2002 ; Bossuyt *et al.*, 1999). De fait, l'accumulation du carbone dans les sols ne commence que 30 ans après la reforestation, la totalité du carbone étant avant stocké dans la biomasse. Le rétablissement de l'équilibre forestier, concernant la matière organique, est estimé à plus de 200 ans (Hamburg, 1984 cité dans Compton & Boone, 2000)

#### *V.II.II. Propriétés physiques*

L'agriculture par, le passage d'engins lourds, la diminution de la matière organique du sol, la présence plus faible des racines, a eu un impact significatif sur la structure du sol (Honnay *et al.*, 2002). Cela a entraîné une modification de ses propriétés physiques. Une augmentation de la macroporosité, de la

densité apparente et de la conductivité hydraulique est constatée, ce qui engendre un effet négatif sur sa structure et sa stabilité (Holmes & Matlack, 2018 ; Messing *et al.*, 1997 cités dans Honnay *et al.*, 2002). Le rétablissement dépend majoritairement de la matière organique contenue dans le sol et pourrait donc prendre plus d'une centaine d'années (Honnay *et al.*, 2002).

Un horizon Ap d'une vingtaine de centimètre, résultant du labour, peut être trouvé dans certaines forêts récentes (Compton & Boone, 2000). Cet horizon avec l'absence de microtopographie sont des arguments pouvant être utilisés pour confirmer une utilisation agricole ancienne (Compton & Boone, 2000). L'absence de microtopographie est directement liée à l'utilisation agricole du sol (Holmes & Matlack, 2017 ; Holmes & Matlack, 2018). Un effet négatif de ces propriétés sur le rétablissement des espèces de forêts anciennes a été démontré (Holmes & Matlack, 2018). Il semblerait cependant que ces modifications ne soient pas irréversibles, et que les propriétés physiques convergent éventuellement vers l'état d'origine (Holmes & Matlack, 2017).

## VI. Impacts sur la flore ancienne

### VI.I. Aspect floristique

Lorsque l'on parle de botanique sur le sujet des forêts anciennes, la dichotomie des « espèces de forêts anciennes » et des « espèces de forêts récentes » est abordée dans presque chaque étude. A l'instar des concepts de forêts anciennes et récentes, cette notion n'est en réalité pas discrète. Les diverses espèces sont plutôt classées selon un gradient d'affinité pour l'un des deux type (Verheyen *et al.*, 2003). Cependant, leurs affinités pour une classe ou l'autre d'ancienneté n'est pas constante et varie grandement avec la zone géographique et l'espèce considérée (Hermy *et al.*, 1999 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Sciama *et al.*, 2009 ; Verheyen *et al.*, 2003). De la sorte, de nombreuses listes ont été proposées pour diverses régions (Bergès *et al.*, 2016 ; Claessens & Wibail, 2022 ; Dupouey *et al.*, 2002 ; Hermy *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Jabs-Sobocińska *et al.*, 2022 ; Jacquemin, 2014 ; Sciama *et al.*, 2009). Un tableau reprenant une partie des listes disponibles est proposé en annexe (*annexe III*). Hermy *et al.* (1999) dans une revue de la littérature à l'échelle européenne arrive à la conclusion suivante : de la flore *sensus stricto* forestière européenne (391 espèces), 34.5% appartiendrait à la classe des espèces des forêts anciennes. Ces espèces, dépendantes par définition des forêts anciennes, ne représentent donc pas une part négligeable de la flore.



*La jacinthe des bois (Hyacinthoides non-scripta) est reconnue dans de nombreuses listes comme une espèce indicatrice des forêts anciennes. ©Françoise de Pillot (Flickr).*

En termes de richesse spécifique, les forêts anciennes ne sont nullement plus riches que les forêts récentes (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Dupouey *et al.*, 2002 ; Hermy & Verheyen 2007 ; Sciama *et al.*, 2009). Mais si seule la richesse des EFA ou des espèces d'intérieur forestier est prise en compte, alors, elle est significativement plus importante en forêt anciennes. Cette richesse est positivement corrélée à l'âge de la forêt, négativement à la durée de l'agriculture et à la distance avec la forêt ancienne la plus proche (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Jacquemyn *et al.*, 2001 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Holmes & Matlack, 2018 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Verheyen *et al.*, 2003b). Les différences sont donc plutôt qualitatives en termes de végétation.

### VI.II. Analyse des traits écologiques

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux préférences écologiques des EFA par le prisme des valeurs d'Ellenberg. Sur ces données, un profil de réponse a pu être tracé. Les EFA sont sciaphiles ou semi-sciaphiles. Elles se situent dans des conditions modérées d'humidité en évitant les lieux secs et trop humides, il en est de même pour l'acidité et la disponibilité en azote (Hermy *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Stefańska-Krzaczek *et al.*, 2016). En comparaison avec les EFR, elles occupent des sols plus acides et des endroits plus sombres. Concernant l'azote, Dzwonko (2001) n'a pas trouvé de

corrélation entre les valeurs Ellenberg associées et l'azote réellement présent en forêt récente. De fait, il faut conclure que l'azote n'a pas un effet direct et important sur la richesse, mais qu'il s'agirait plutôt d'un effet dû à l'addition de phosphores et de nutriments (Honnay *et al.*, 1998 ; Dzwonko, 2001).

### VI.III. Analyse des traits biologiques

Par les termes de la classification de Raunkier, la proportion en géophytes et en hémicryptophytes est supérieure chez les EFA, lorsque toutes les plantes vasculaires sont prises en compte (Bergès *et al.*, 2016 ; Hermy *et al.*, 1999 ; Jabs-Sobocińska *et al.*, 2022). Cependant, si l'analyse est restreinte à la strate herbacée, alors aucune différence n'est notée par Sciama *et al.* (2009).

Elles ont également en moyenne une surface foliaire spécifique supérieure, une longévité des graines plus grande et un poids de ces dernières inférieur (Sciama *et al.*, 2009). Ce dernier point n'est cependant pas la règle, car Verheyen *et al.* (2003) sont arrivés à la conclusion inverse. Cela est sans doute dû aux listes de plantes divergentes utilisées et à la plus grande proportion de drupes chez les espèces récentes (Bergès & Dupouey, 2021). Leur durée de vie est longue, 64 ans selon une estimation de Ehrlén & Lethilä (2002) cité dans Hermy & Verheyen (2007), en comparaison des 22 ans proposé pour les espèces d'habitats ouverts. L'âge avant la première reproduction est plus grand, la division végétative plus répandue et la fertilité plus faible chez les EFA (Verheyen *et al.*, 2003). Dans ce dernier article, un lien a pu être fait entre ces traits et la colonisation constatée. Les traits précités sont synonymes d'une faible colonisation.

Toujours dans cet article, le mode de dispersion joue un rôle très hautement significatif dans la colonisation des espèces. C'est notamment ce qui est illustré par la figure ci-dessous extraite de Bossuyt *et al.* (1999) (*figure 5*). Il apparaît clairement qu'un mode de dispersion tel que la myrmécochorie engendre une colonisation plus restreinte des forêts récentes.

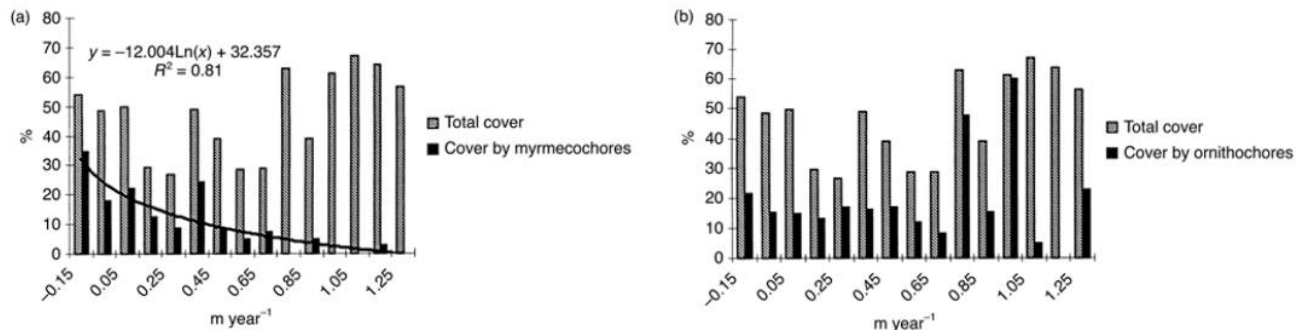


Figure 5 : Pourcentage moyen en espèces myrmécochores (a) et ornithocoques (b) dans une forêt récente exprimé en fonction de la distance avec la forêt ancienne considérée divisée par l'âge de la forêt récente (Bossuyt *et al.*, 1999).

Plusieurs auteurs proposent une répartition des modes de dispersion pour les EFA (Honnay *et al.*, 1998 ; Honnay *et al.*, 2002 ; Hermy *et al.*, 1999). Les proportions varient mais restent dans le même ordre de grandeur. Le graphique ci-dessous (*figure 6*) est extrait de Hermy *et al.* (1999) et concerne les plantes des forêts anciennes à l'échelle européenne.

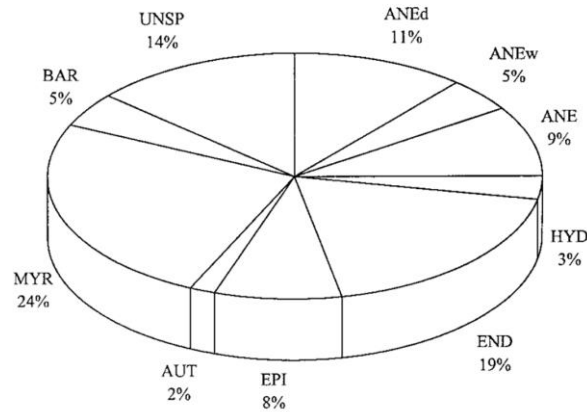


Figure 6 : Répartition des modes de dispersion basée sur une liste de 132 espèces dites des forêts anciennes à l'échelle européenne. ANEd : Anémochores avec peu de diaspores ; ANEw : Anémochores avec des diaspores plates ou ailées ; ANE : Anémochores ; HYD : Hydrochores ; END : Endozoochores ; EPI : Epizoochores ; AUT : Autochores ; MYR : Myrmécochores ; BAR : Barochores ; UNSP : Non spécifié ou incertain. (Hermy *et al.*, 1999).

Les espèces des forêts anciennes ont une proportion plus importante pour des modes de dispersion à courte distance que les espèces de forêts récentes, telle que la myrmécochorie (Berges *et al.*, 2016 ; Jabs-Sobocińska *et al.*, 2022 ; Sciama *et al.*, 2009). En parallèle, beaucoup se divisent végétativement par des stolons et par des rhizomes (Honnay *et al.*, 2002). Les espèces inféodées aux forêts récentes utilisent des modes de dispersion de plus longue distance telle que la zoochorie et l'anémochorie (Bergès *et al.*, 2016 ; Lalechère *et al.*, 2017 ; Sciama *et al.*, 2009). Cependant, le lien entre colonisation et mode de dispersion ne doit pas être automatiquement admis (Hermy & Verheyen 2007 ; Verheyen *et al.*, 2003b). Certaines espèces myrmécochores et barochores pouvant facilement coloniser des forêts secondaires (*e.g.* *Viola riviniana* Rchb. (1823)) tandis que des espèces anémochores sont fortement restreintes aux forêts anciennes (*e.g.* *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (1879)) (Hermy & Verheyen, 2007). La colonisation peut également être grandement affectée par des événements stochastiques (tornades, migration des grands herbivores) mettant en valeur la queue de la courbe de dispersion et permettant ainsi d'obtenir des taux très supérieurs (Honnay *et al.*, 2002).

Selon les stratégies définies par Grime *et al.* (1988), Hermy *et al.* (1999) classent 39% des EFA en stratégie de résistance au stress, les classes les moins représentées sont celles des rudérales et des compétiteurs. *A contrario*, les espèces des forêts récentes présentent surtout une stratégie de rudérales et de compétitrices. Ces stratégies sont corrélées aux traits biologiques et écologiques exposés précédemment (Hermy, 2015).

Les espèces forestières, en règle générale, ne forment pas de banque de graines (Honnay *et al.*, 2002). En conséquence, une perturbation même éclipse peu avoir un effet disproportionné sur la flore ancienne (Hermy & Verheyen, 2007 ; Hermy, 2015). Elles possèdent globalement des graines de plus grande taille, procurant suffisamment de ressources pour que la plantule survive aux conditions hostiles (Bossuyt & Hermy, 2001). Lorsqu'elles sont trouvées dans la banque de graines, elles ont une durée de vie très faible et sont présentes en faible densité (Bossuyt & Hermy, 2001). A l'opposé, les espèces héliophiles et typique des milieux perturbés, dont une grande partie des EFR font partie, forment des banques de graines en grande densité. Elles sont retrouvées dans la banque jusqu'à 50 années après la fermeture du couvert (Bossuyt & Hermy, 2001).

## VII. De la forêt récente à la forêt ancienne

Malgré des conditions abiotiques différentes, il a été démontré que les EFA pouvaient vivre sous les conditions nouvellement créées (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Hermy & Verheyen 2007 ; Verheyen & Hermy, 2004). Le problème de recolonisation des EFA est résumer dans la littérature par deux effets. Le premier concerne la dispersion et le second le recrutement. Baeten *et al.* (2010) proposent une figure très illustrative du problème (*figure 7*).

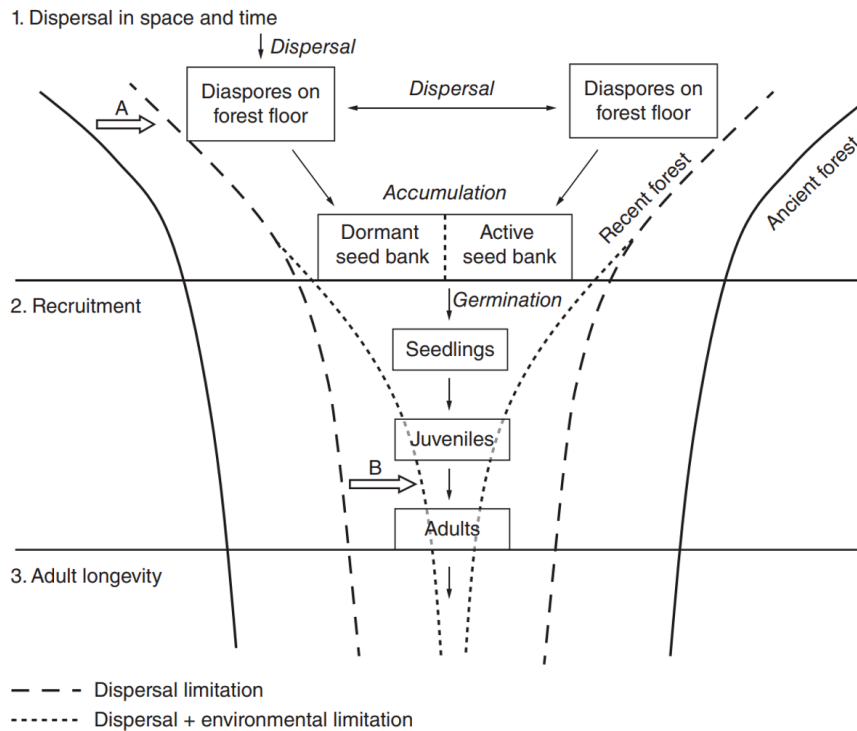


Figure 7 : Les lignes pointillées représentent la diminution du nombre d'individus suite à la mortalité et la prédation. Les limitations de la dispersion ont pour conséquence une plus faible occurrence des graines sur le sol des forêts récentes (plus isolées des populations sources) (flèche A). Les limitations environnementales ont ensuite un impact sur les différentes formes de vie des espèces (flèche B). (Baeten *et al.*, 2009, adapté de Hermy et Verheyen, 2007).

En premier temps à lieu la dispersion, c'est selon plusieurs auteurs le facteur le plus limitant (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Verheyen & Hermy, 2004 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Honnay *et al.*, 2002 ; Honnay *et al.*, 2002b ; Jabs-Sobocinska *et al.*, 2022 ; Verheyen *et al.*, 2003 ; Verheyen *et al.*, 2003b). Elle peut elle-même être divisée en deux composantes, la dispersion spatiale et temporelle (Hermy, 2015).

Les traits exposés plus hauts relatifs aux EFA résultent en une dispersion spatiale et temporelle très faible. De fait, la connectivité du paysage va jouer un rôle majeur dans leur colonisation (Dupouey *et al.*, 2002 ; Hermy *et al.*, 1999). Ainsi, le succès de colonisation de 85% des espèces forestières diminue grandement avec l'isolation (Honnay *et al.*, 2002). La probabilité de retrouver une espèce forestière décroît rapidement lorsque la distance à une forêt ancienne est supérieure à 200 mètres, pour les espèces myrmécochores elle est même nulle si la forêt n'est pas adjacente (*figure 8*) (Jacquemyn *et al.*, 2000 cité dans Honnay *et al.*, 2002).



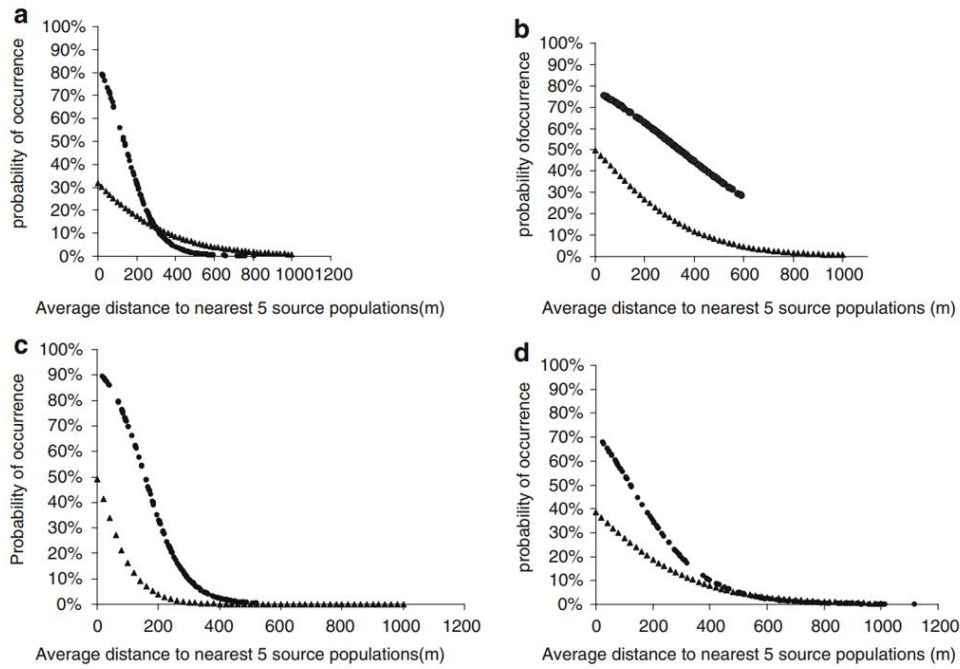


Figure 8 : Probabilité d'occurrence d'une espèce dans une tache forestière en fonction de la distance moyenne aux 5 populations source les plus proches pour deux paysages. Les triangles représentent le paysage le plus fragmenté, les ronds, le plus connecté. (a) *Arum maculatum* ; (b) *Geum urbanum* ; (c) *Adoxa moschatellina* ; (d) *Primula elatior*. (Honnay *et al.*, 2002b).

Une fois que la dispersion a eu lieu, le recrutement s'exprime au travers des différents filtres environnementaux (Hermý & Verheyen, 2007 ; Verheyen *et al.*, 2003b). Aucun paramètre abiotique ne semble avoir d'effet direct sur les EFA. Les filtres sont donc biologiques et résultent d'une compétition déséquilibrée en faveur des espèces rudérales qui tirent amplement avantage des nouvelles conditions (Baeten *et al.*, 2009 ; Bergès *et al.*, 2016 ; Bossuyt *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Honnay *et al.*, 2002).

D'un point de vue cinétique, la plupart des études donnent des vitesses de colonisation de 20 à 100 mètres par siècle (Hermý, 2015 ; Hermý & Verheyen 2007 ; Bossuyt *et al.*, 1999 ; Dupouey *et al.*, 2002 ; Honnay *et al.*, 1999c). La colonisation des forêts récentes, même adjacentes aux forêts anciennes est donc très lente.

Des recherches ont montré une transition progressive de la végétation des forêts récentes vers celle des forêts anciennes avec le temps. Passant d'une végétation héliophile et rudérale à une végétation plus adaptée à l'ombre et aux conditions hostiles (Holmes & Matlack, 2018 ; Bossuyt *et al.*, 1999). D'autres auteurs pensent que la convergence est asymptotique, ou demande des temps très longs se comptant en milliers d'années (Bergès & Dupouey, 2021 ; Dupouey *et al.*, 2002c ; Hermý, 2015). La majorité spécifie un temps supérieur au siècle (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Holmes & Matlack, 2018 ; Honnay *et al.*, 2002).



## VIII. Comment identifier une forêt ancienne ?

Sur base des nombreuses différences floristiques, abiotiques et historiques entre les forêts anciennes et récentes, plusieurs paramètres ont été proposés pour catégoriser les forêts.

La cartographie est selon Bossuyt & Hermy (1999), le seul moyen objectif d'identifier une forêt comme ancienne. Cet outil est utilisé dans presque toutes les études traitant du sujet.

Cependant, l'information cartographique ou historique n'est pas toujours disponible ou de qualité suffisante. Pour y remédier, d'autres indicateurs sont alors utilisés.

En raison de sa faible mobilité dans le sol, le phosphore a été identifié comme un indicateur fiable d'une utilisation agricole antérieure de la forêt (Honnay *et al.*, 1998 ; Honnay *et al.*, 2002).

Un autre paramètre abiotique est l'isotope 15 de l'azote qui a d'abord été proposé dans Koerner *et al.* (1997) comme indicateur du passé agricole des forêts (Dupouey *et al.*, 2002). Il a ensuite été utilisé avec succès dans plusieurs études (Compton & Boone, 2000 ; Dupouey *et al.*, 2002b ; Koerner *et al.*, 1999 ; Sciamia *et al.*, 2009). Dans Sciamia *et al.* (2009), les auteurs n'ont d'ailleurs trouvé aucune différence chimique entre une forêt récente et ancienne, même pour le phosphore, à l'exception de la concentration en azote 15 plus élevée en forêt récente. La différence des concentrations s'explique en partie car le rapport  $N^{15}/N^{14}$  trouvé dans les intrants animaux organique est très supérieur au rapport naturellement présent dans les sols (Dupouey *et al.*, 2002 ; Koerner *et al.*, 1999). Etant lié aux apports organiques, il peut également servir comme mesure de l'intensité de l'utilisation agricole passée (Koerner *et al.*, 1999).

Les analyses chimiques du sol peuvent s'avérer onéreuses. De fait, Bossuyt & Hermy (1999) ont proposé un « indice de naturalité » se basant sur la morphologie du sol. Toujours sur base d'un profil, Compton & Boone (2000) reconnaissent la présence d'un horizon Ap comme un indicateur. L'absence de microtopographie est également un critère pouvant être pris en compte (Compton & Boone, 2000 ; Holmes & Matlack, 2017 ; Holmes & Matlack, 2018).

La flore peut être utilisée comme indicateur de l'ancienneté des forêts par l'intermédiaire de relevés se basant sur des listes locales. La question se pose cependant de savoir combien d'espèces sont nécessaire avant de pouvoir conclure d'une manière sûre au caractère ancien de la forêt. Dans Honnay *et al.* (1998) le nombre d'espèces nécessaire pour avoir un niveau de sureté de 75 % est compris entre 25 et 27. Cependant pour Stefańska-Krzaczek *et al.* (2016), l'occurrence singulière ou aléatoire d'espèces des forêts anciennes ne devrait pas être prise comme indicateur de naturalité. Elle peut être le résultat de perturbations spécifiques facilitant l'installation d'EFA. Ils recommandent plutôt une approche basée sur la présence de groupes « Coexisting Ancient Forest Species ». Cependant, ils ne renseignent pas un nombre de groupes minimal permettant de classifier la forêt dans la dichotomie énoncée.

## IX. Intérêt des forêts anciennes

La conservation des forêts anciennes est justifiée par plusieurs arguments. Un premier est leur intérêt scientifique. Le sol, s'est développé selon des processus naturels depuis des milliers d'années et a été très peu perturbé par les activités humaines. Il possède donc une valeur biologique, pédologique et archéologique majeure (Kervyn *et al.*, 2017). En l'absence de travail du sol, les forêts sont des écosystèmes conservant particulièrement bien les traces du passé, d'où l'importance historique de ces sites (Bergès & Dupouey, 2021 ; Georges-Leroy *et al.*, 2011 ; Georges-Leroy *et al.*, 2013 ; Jacquemin *et al.*, 2014). Elles sont un laboratoire à ciel ouvert permettant l'étude de processus naturels complexes (Bergès & Dupouey, 2021 ; Jacquemin *et al.*, 2014). Leur naturalité pouvant être élevée offre *ipso facto* une base de comparaison pour mesurer l'impact que l'Homme peut avoir sur l'écosystème forestier (Bergès & Dupouey, 2021 ; Jacquemin *et al.*, 2014).

Les forêts anciennes sont également le lieu de résidence des EFA qui, constituent 30 % de la flore d'intérieur forestier (Hermy *et al.*, 1999). En raison de leurs caractéristiques évoquées, la conservation de ces espèces passe par la conservation de leur habitat (Hermy & Verheyen 2007 ; Holmes & Matlack, 2018 ; Kervyn *et al.*, 2017). En conséquence de la fragmentation rapide du paysage, elles ont été qualifiées comme à risque d'extinction par Peterken (1977). En raison des différences de qualité environnementale et de la dépendance des EFA aux forêts anciennes, elles s'inscrivent dans une dynamique source / puits, où les forêts anciennes sont les dernières sources de diaspores présentes (Bergès & Dupouey, 2021 ; Hermy *et al.*, 1999).

Le pouvoir indicateur de la flore, par les valeurs d'Ellenberg est beaucoup plus important et fiable en forêt ancienne qu'en forêt récente (Dzwonko, 2001). En plus de servir d'indicateur abiotique, elle peut également servir d'indicateur biologique. Certains auteurs ont démontré un lien entre la richesse floristique globale de la forêt et la présence des EFA (Stefańska-Krzaczek *et al.*, 2016). D'autres sont même parvenu à montrer une corrélation positive entre leur occurrence et la richesse taxonomique, d'autres groupes (macrofungi, bryophytes, lichens, ...) et d'espèces rares (Hofmeister *et al.*, 2019). Elles sont donc un outil simple et pragmatique pour l'identification des « hotspots » de biodiversité sous nos latitudes.

La conservation des forêts anciennes est d'autant plus importante que de nombreux auteurs pensent que leur restauration est impossible ou prendrait trop de temps, ce qui est perdu sera donc perdu à jamais (Bergès & Dupouey, 2021 ; Dupouey *et al.*, 2002b ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Hermy *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Peterken, 1977). Il a de plus été démontré qu'elles abritaient une quantité supérieure d'espèces menacées (Flensted *et al.*, 2016).

Finalement, dans « *Pour la protection de la nature en Belgique* » (1912), Jean Massart ouvre son œuvre par l'idée suivante :

*« Toutes les nations civilisées ont appris à respecter les œuvres du passé ; elles considèrent qu'elles n'en sont que les dépositaires et jugent qu'elles ont l'impérieux devoir de les transmettre intactes aux générations futures, comme part importante du patrimoine général, commun à tous les citoyens. »*

Elles sont donc un cadeau du passé que nous nous devrions de profiter et de céder aux générations suivantes *per se*.

## X. Quelles sont les menaces sur les forêts anciennes ?

L'utilisation intensive des intrants dans la matrice génère un effet de lisière toujours plus important et menace la flore ancienne par l'eutrophisation de l'environnement (Honnay *et al.*, 1999 ; Rackham, 2008).

Les dépôts d'azote atmosphérique ont une influence sur la composition du sous-bois au-dessus d'un certain seuil (10-15 kg/ha/an). La Belgique en est bien au-delà (Bobbink *et al.*, 2010). Ces dépôts vont changer les communautés végétales en profitant aux espèces compétitrices et rudérales au détriment des espèces plus spécialistes, adaptées à des conditions hostiles telles que les EFA (Vanhellemont *et al.*, 2014). La tendance observée est de plus à l'augmentation de ces dépôts (Bobbink *et al.*, 2010).

A une échelle mondiale, les changements globaux pourraient avoir un effet déterminant sur les EFA. Il est possible qu'ils résultent en une extinction progressive des espèces, en regard de leurs faibles dispersions et de la cinétique rapide de ces changements (Honnay *et al.*, 2002).

Les travaux forestiers, peuvent avoir des effets significatifs sur les forêts anciennes. La compaction des sols par les engins forestiers peut altérer grandement leur fonctionnement (Jacquemin *et al.*, 2014 ; Kervyn *et al.*, 2017). Il en est de même pour les activités de broyage qui déstructurent les horizons superficiels et détruisent les géophytes (Kervyn *et al.*, 2017). Elles peuvent de plus modifier significativement le micro-relief du sol et donc altérer grandement le potentiel archéologique (Kervyn *et al.*, 2017). L'enrésinement est une menace, les plantations dégradant peu à peu les conditions de l'écosystème originel (Thompson & Hope, 2005). L'exploitation forestière, par la perturbation du couvert forestier, favorise les espèces rudérales et héliophiles aux détriments des EFA (Jacquemin *et al.*, 2014 ; Paillet & Bergès 2010).

Aux effets actuels des activités sylvicoles s'ajoutent celui des activités passées (récolte de litière, pacage, ...) (Bergès & Dupouey, 2021 ; Jacquemin *et al.*, 2014). Les régimes de taillis et de taillis sous-futaie ont favorisés certaines espèces au cours du temps. Les grands tapis d'espèces vernalles sont typiques des forêts où il y eu autrefois ces régimes (Hermy & Verheyen, 2007).

La prédation exercée par les ongulés pourrait être un problème en cas de forte densité (Hermy, 2015 ; Rackham, 2008). Ce qui est le cas en Belgique où les populations d'ongulés ont doublé entre 1980 et 2005 (Bertouille *et al.*, 2015).

## XI. Les forêts anciennes Wallonnes sont-elles protégées ?

En Belgique, seul le label PEFC prend en considération le caractère ancien des forêts dans sa gestion. Il se contente cependant de citer l'existence des forêts anciennes et de délivrer certains conseils (Kervyn *et al.*, 2017).

En Wallonie, les forêts publiques représentent 49% de la forêt totale et 63 % des forêts anciennes subnaturelles (Kervyn *et al.*, 2017 ; OEWB, 2019). Le code forestier en Wallonie, depuis 2008, par l'article 57, impose de notifier le caractère ancien dans le plan parcellaire forestier. En conséquence, il est reconnu comme un critère valide dans un plan d'aménagement (Kervyn *et al.*, 2017). Cependant, le qualificatif de forêt ancienne n'est mentionné nulle part dans le code *per se*. Par ailleurs, actuellement, 48 % des forêts anciennes subnaturelles bénéficient du statut Natura 2000.

A plus large échelle, l'Europe dans sa stratégie biodiversité pour 2030, implique la cartographie, l'identification complète et la protection totale des forêts anciennes (Commission Européenne, 2020).

## XII. Comment conserver les forêts anciennes ?

La conservation des forêts anciennes et de leur flore peut être assurée par plusieurs leviers. Afin de les présenter, la structure ERC (Eviter-Réduire-Compenser), parue pour la première fois dans le code Français de l'environnement en 1976, a été adoptée.

Eviter :

Si une surface forestière doit être perdue pour quelle raison que ce soit, il convient de sacrifier en premier les forêts récentes, et en second les forêts anciennes résineuses, dont le sol malgré, leur faible richesse, a conservé ses propriétés uniques. Il faudrait à tout prix éviter la conversion des dernières forêts anciennes feuillues (Kervyn *et al.*, 2017). Des pratiques trop agressives telles que les mises à blanc ou le gyrobroyage devraient tout simplement être bannies (Kervyn *et al.*, 2017 ; Mikusiński *et al.*, 2018). L'ancienneté des forêts devrait être un trait apparaissant dans toute pré-étude (Dupouey *et al.*, 2002).

La matrice paysagère a un impact non négligeable par l'apport de nutriments. Il serait judicieux de réduire l'intensité des intrants des cultures adjacentes (Hermy *et al.*, 1999).

Réduire :

La question du débat SLOSS (Single Large Or Several Small) dans le cas des forêts anciennes a été amplement résolue. En raison de la plus grande diversité d'habitats couverte par plusieurs forêts, la faible capacité dispersive des EFA, de la richesse spécifique supérieure de plusieurs petites taches, et de la connectivité du paysage, il est bien plus intéressant de conserver plusieurs taches de petites tailles plutôt qu'une de grande (Honnay *et al.*, 1999b ; Honnay *et al.*, 2002 ; Jacquemyn *et al.*, 2001).

La préservation des forêts anciennes n'implique pas l'arrêt de la production ligneuse (Jacquemyn *et al.*, 2014 ; Kervyn *et al.*, 2017). Elle doit cependant s'opérer dans le respect. Il est par exemple conseillé de mettre en place des cloisonnements afin de préserver le sol du tassement (Kervyn *et al.*, 2017).

Compenser :

Comme mentionné précédemment, la création d'une forêt ancienne nécessite un temps très long. Plusieurs méthodes sont cependant recommandées afin de faciliter le retour des conditions initiales.

Avant la régénération de la forêt, il convient de diminuer le niveau en nutriments des terres en retirant les horizons supérieurs ou en exportant du matériel végétal (Honnay *et al.*, 1998 ; Honnay *et al.*, 2002). La fermeture rapide du couvert par l'établissement d'une dense strate arbustive afin d'éviter l'arrivée des espèces rudérales est aussi conseillée (Honnay *et al.*, 2002 ; Verheyen & Hermy, 2004). Plusieurs auteurs, afin de lever le problème lié à la dispersion et donc du long crédit de colonisation, proposent dans les forêts nouvellement établies, de réaliser des transplantations ou de semer des graines une fois le couvert fermé (Bossuyt & Hermy, 2001 ; Honnay *et al.*, 2002 ; Kolk & Naaf, 2015 ; Verheyen & Hermy, 2004). La régénération naturelle devrait être favorisée, et les plantations résineuses à tout prix évitées (Kervyn *et al.*, 2018).

Si de nouvelles forêts doivent être recrées, il convient de les créer à proximité de forêts anciennes déjà existantes et d'incorporer autant que faire se peut des « reliques » (Hermy *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Verheyen & Hermy, 2004). Si cela n'est pas possible, les forêts devraient couvrir la plus grande diversité d'habitats, et être placées de sorte à augmenter globalement la connectivité du paysage (Honnay *et al.*, 2002 ; Lalechèère *et al.*, 2018).

Les perturbations devraient ensuite être évitées, et le couvert fermé, pendant au moins 50 ans, le temps que la banque de graine soit purgée des plantes rudérales, héliophiles et compétitrices *per se* (Baeten *et al.*, 2009).

Les forêts anciennes, un état de l'art.

Une restauration écologique des sites anciens enrésinés (20 % de la superficie forestière wallonne actuelle (Kervyn *et al.*, 2017)) est également possible. Ces derniers ayant conservé un sol et des reliques anciennes ne demandant qu'à être exprimées. Une restauration active est cependant nécessaire dans ces sites (Thompson & Hope, 2005 ; Woodland Trust, 2020).

## 2. Analyse prospective des forêts anciennes

### I. Introduction :

En Belgique, la forêt a connu des changements majeurs au cours de ces deux derniers siècles. Aussi bien qualitativement que quantitativement. Sa surface au début du 18<sup>e</sup> siècle est tout d'abord estimée à 580 000 hectares, après être passée par un minimum de 480 000 hectares au milieu du 19<sup>e</sup>, elle est aujourd'hui estimée à 706 530 hectares (Kervyn *et al.*, 2014 ; OEWB, 2021 ; Tuillier, 2004). Les forêts anciennes, en Belgique, sont communément définies comme les forêts existantes depuis la fin du 18<sup>e</sup> (Honnay *et al.*, 2002 ; Kervyn *et al.*, 2014). En conséquence des variations historiques, il ne reste aujourd'hui, en Wallonie, plus que 40 % des forêts subnaturelles initiales, soit 33% de la superficie forestière actuelle (Kervyn *et al.*, 2017).

Les forêts anciennes ont été reconnues pour leur singularité. Celle-ci s'exprime par leur intérêt pédologique, botanique, archéologique et patrimonial (Bergès & Dupouey, 2021 ; Georges-Leroy *et al.*, 2011 ; Georges-Leroy *et al.*, 2013 ; Hermy *et al.*, 1999 ; Jacquemin *et al.*, 2014 ; Kervyn *et al.*, 2017). D'un point de vue végétal, elles sont le lieu de résidence des « espèces des forêts anciennes » (EFA) (Bergès & Dupouey, 2021 ; Hermy *et al.*, 1999). Ces espèces, représentent à l'échelle Européenne 30 % de la flore forestière d'intérieur (Hermy *et al.*, 1999). En raison de leur faible capacité de dispersion, des conditions hostiles des forêts récentes à leur égard, du fait qu'elles ne constituent pas de banque de graines et de leur sensibilité à la fragmentation, ces dernières sont fortement restreintes aux forêts anciennes. En conséquence de leurs caractéristiques et en raison de la rapidité des changements paysagers elle ont été qualifiées d'espèces sensibles d'extinction par Peterken (1977). Malgré la grande valeur de ces forêts, il n'est aujourd'hui en Wallonie aucune législation réellement contraignante qui assure leur protection.

Très peu d'études ont été réalisées en Wallonie à l'opposé de la Flandre où des auteurs tels que Hermy M., Honnay O. et Verheyen K. se sont abondamment penchés sur le sujet durant ces vingt dernières années. Il est donc proposé dans ce travail de s'intéresser à l'état de quelques forêts anciennes wallonnes, et en particulier, à leur richesse floristique en « EFA ».

Par une approche combinant des données cartographiques, pédologiques et botaniques, nous proposons une analyse exploratoire de leur état. Plusieurs points communément admis par la littérature sont testés et discutés : Quel est l'impact de la structure forestière sur la richesse en EFA ? Les forêts anciennes sont-elles plus riches en EFA que les forêts récentes ? Le sol des forêts récentes est-il différent de celui des forêts anciennes ? Quel est l'impact du paysage sur la richesse ? En complément, une réflexion sur l'impact de l'exploitation forestière est proposée sur base d'observations terrain et de réflexions personnelle. Le potentiel d'accueil de la flore ancienne des forêts récentes est également discuté par une analyse d'un cas particulier, le bois du Sépulcre.

## II. Matériel et méthode :

### Sélection des sites :

Au total, 18 forêts différentes et 23 sites ont été prospectés, dans un rayon de 30 kilomètres aux alentours de Gembloux (Belgique) (*figure 9*), entre le 6 Avril et le 15 Mai 2023. Les zones échantillonnées étaient comprises entre 9 et 111 *ha*. Une partie des sites ont été repris car ils étaient déjà soumis à une étude entomologique simultanée réalisée par Loann Panozzo (Panozzo *et al.*, *in prep.*) pour son mémoire. Les 12 autres sites, ont été choisis de sorte à pouvoir représenter les trois classes de la carte des forêts anciennes de Wallonie qui semblaient pertinentes, à savoir les forêts anciennes résineuses (FAR), les forêts récentes feuillues (FRf) et les forêts anciennes feuillues (FAf). C'est au final 13 sites en forêt ancienne feuillue, 3 en forêt ancienne résineuse et 7 en forêt récente feuillue qui ont été retenus.

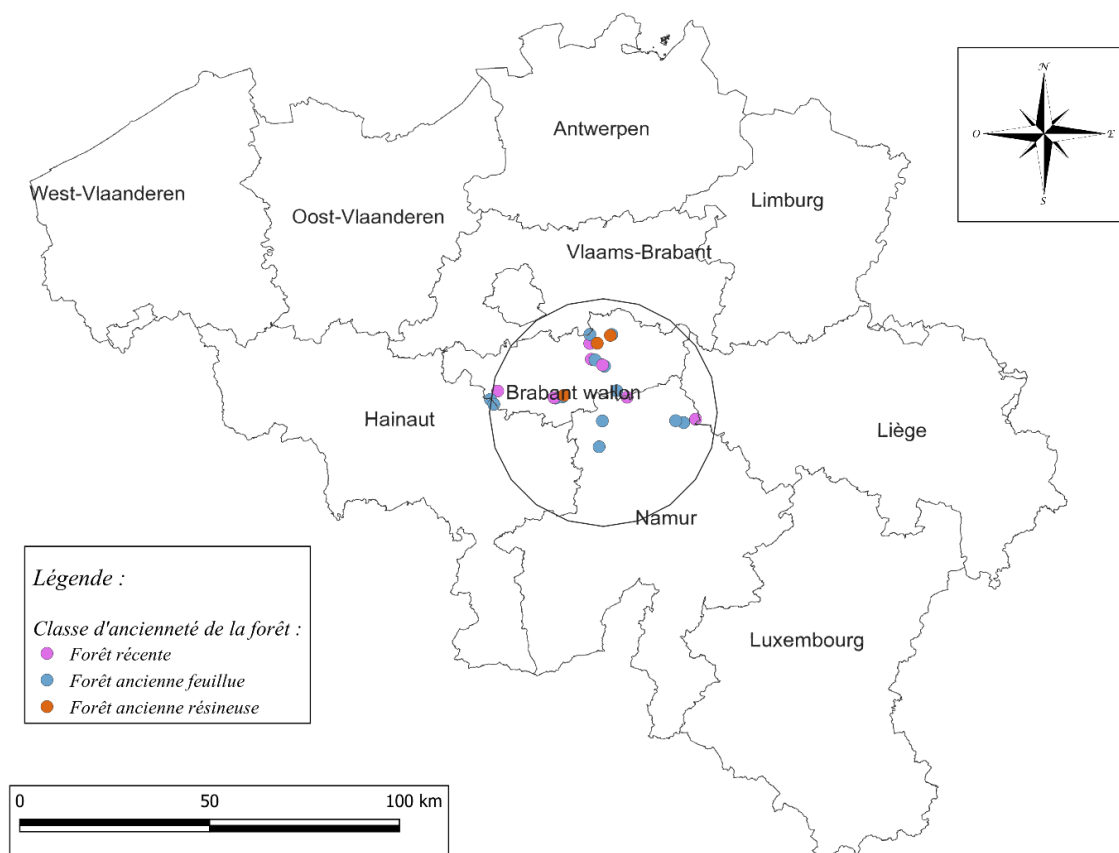


Figure 9 : Carte mettant en évidence la dispersion des forêts étudiées, le cercle est centré sur la ville de Gembloux et est d'un rayon de 30 km.

### Acquisition des données :

#### Données floristiques locales :

Parmi les listes d'espèces des forêts anciennes proposées en Belgique (Claessens & Wibail, 2022 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Jacquemin *et al.*, 2014), et en raison de l'importance d'utiliser des listes locales, il a été décidé d'adopter celle proposée par Claessens & Wibail (2022) (*figure 10*). Cette liste, réalisée à l'échelle de la Wallonie se base sur d'autres publications construites par application statistique et empirique, à savoir, Hermy *et al.* (1999), Jacquemin *et al.* (2014), Tanghe (2011). C'est aussi la liste la plus récente produite sur le sujet. Elle a de plus la subtilité d'être divisée en fonction des habitats Natura 2000 prospectés. Ce dernier point permet de ne pas conclure qu'une espèce est absente en

Analyse prospective des forêts anciennes.

raison du statut récent d'une forêt, alors que son habitat n'est simplement pas présent. Un exemplaire de la liste est disposé en annexe (*annexe I*).

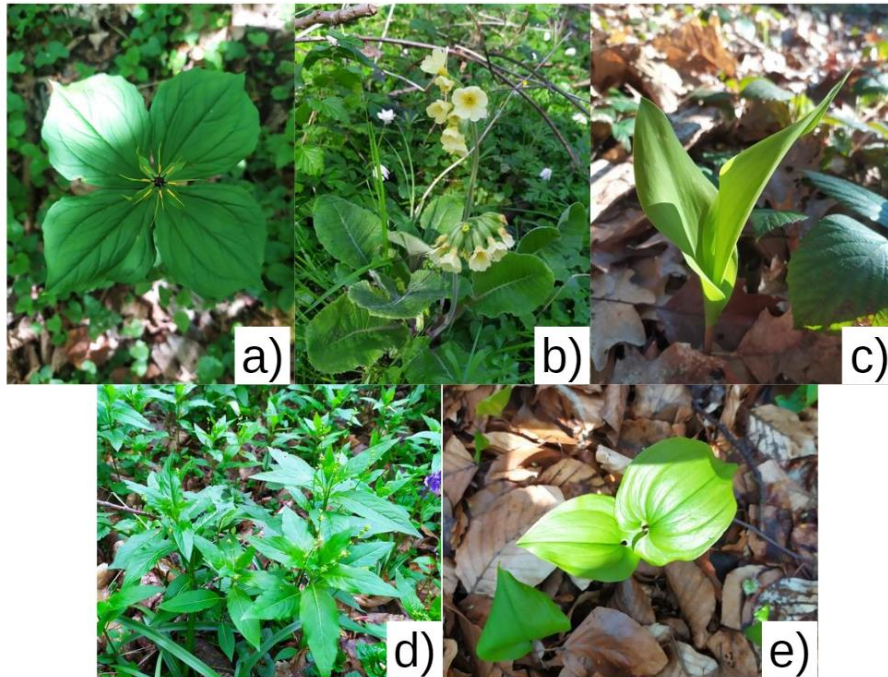


Figure 10 : La liste définie par Claessens & Wibail (2022) compte plusieurs espèces dont : a) la parisette (*Paris quadrifolia*) b) la primevère élevée (*Primula eliator*) c) le muguet (*Convalaria majalis*) d) la mercuriale vivace (*Mercurialis perennis*) e) la maianthème à deux feuilles (*Maianthemum bifolium*).

Les habitats Natura 2000 ont été identifiés pour chaque forêt sur le terrain. En conséquence, une richesse potentielle en EFA a pu être déterminée. La richesse réelle en EFA a été recensée sur le terrain, le long de transects. Les transects réalisés sont d'approximativement 750 m de long et de 5 m de large de part et d'autre. Ils sont placés de manière aléatoire sur base d'une grille de points dont la maille est de 150 m. Un exemple pour le bois de l'Hospital est disponible en annexe (*annexe II*). L'implication de recenser l'habitat à l'échelle de la forêt et la richesse à l'échelle du transect inclus inévitablement un biais dans les données. L'amplitude de cette erreur est discutée en annexe (*annexe III*).

Le nombre de transects a été choisi de sorte à couvrir approximativement 5 % de la surface de la forêt sélectionnée. Le seuil initial de 5 % résulte d'une discussion et du partage d'expérience du Professeur Claessens Hugues. Il a par la suite été testé si ce seuil était suffisant pour capter la richesse de la flore à l'aide de courbes de raréfaction lors de pré-test dans le bois de Grand-Leez.

Pour définir la zone parcourue, un tampon de 25 mètres a été appliqué aux sites là où une occupation autre que forestière bordait le site. Bien que la littérature renseigne un effet de la matrice pouvant aller jusqu'à 50 mètres à l'intérieur de la forêt (Honnay *et al.*, 2002), la plupart des forêts étaient de taille trop faible pour appliquer un tel tampon.

L'abondance des EFA a été recensée sur base de classes prédéfinies dont le tableau est disponible en annexe (*annexe IV*).

D'un point de vue statistique la méthode proposée par Anderson & Willis (2003) a été adoptée. Leur article propose une analyse des données écologiques multivariées en quatre temps.

- Premièrement, une méthode d'analyse multivariée non contrainte devrait être utilisée afin de laisser les données « parler par elles-mêmes ».



Analyse prospective des forêts anciennes.

- Ensuite une méthode d'analyse multivariée contraignante liée à une ou plusieurs hypothèses pré-définies devrait être menée.
- En parallèle, des test statistiques devrait être conduits afin de tester les hypothèses.
- Finalement, il est nécessaire d'identifier les espèces responsables des patrons et des effets constatés.

L'analyse multivariée non-contrainte qui a été choisie est la PCoA (Principal Coordinates Analysis) cette technique permet de visualiser des observations dans un espace de dimension réduit. Ainsi, il est possible de visualiser  $n$  observations définies par  $m$  variables dans un espace à  $p$  dimensions (où  $p$  à l'avantage d'être inférieur à  $m$ ). Les observations sont placées grâce à une matrice de dissimilarité calculée sur base d'un indice  $d$  (Legendre & Legendre, 2012). L'indice de Bray-Curtis a été choisi car il convient aux données d'abondances, c'est également l'un des indices les plus utilisé dans ce genre d'étude.

Une CAP (Canonical Analysis of Principal coordinates), méthode d'analyse contraignante, a également été réalisée. Cette méthode, contrairement aux autres ordinations contraintes, permet d'utiliser n'importe quelle mesure de distance ou de dissimilarité (Anderson & Willis, 2003). Elle est utilisée pour évaluer une ou plusieurs hypothèses sur les données. Dans ce cas-ci, elle va permettre de quantifier l'effet des données dendrologiques, des recouvrements et de la classe d'ancienneté sur la composition floristique des sites.

La pertinence des axes retenus pour la CAP, et de l'effet marginal des variables entrées dans le modèle, ont été testé à l'aide d'ANOVA.

Une classification de Ward a été conduite sur les données. Il s'agit d'une méthode de classification hiérarchique ascendante qui vise à minimiser les variances intragroupes (Legendre & Legendre, 2012). Parallèlement, une classification K-means, qui a l'avantage de ne pas être hiérarchique a été testée. Le nombre de groupe à considérer pour chaque analyse a été basé sur une étude de l'évolution de l'inertie des classifications. Afin d'identifier si certaines EFA possédaient un lien avec ces groupes, la procédure IndVal a été conduite. La méthode IndVal va chercher les espèces satisfaisant au plus, pour chaque groupe, deux critères : la spécificité, l'espèce est limitée à ce groupe et la fidélité, tous les échantillons de ce groupe possèdent l'espèce (Dufrêne & Legendre, 1997).

#### *Données dendrologiques et recouvrements :*

Des placettes ont été disposées d'une manière aléatoire sur la grille utilisée pour le traçage des transects. La surface terrière y a été mesurée à l'aide d'un prisme relascopique de facteur 2. Les recouvrements des strates arborées, arbustives, et herbacées ont été évalués sur chaque placette avec l'utilisation des coefficients de Braun-Blanquet, dans un rayon de 12 mètres autour du centre, conformément à la manière de faire de l'inventaire permanent (Alderweireld *et al.*, 2015). La strate herbacée a été redivisée en recouvrement des EFA, recouvrement de la ronce et recouvrement des autres espèces. Le nombre de placettes se base sur une analyse de la variance sur la surface terrière réalisée lors de pré-test au bois de Grand-Leez. Il en résulte un taux de sondage de 0,16 placettes par *ha*, ce taux (7,2 %) est bien plus élevé que celui de l'inventaire permanent qui est de 2 % (Alderweireld *et al.*, 2015). Une table reprenant le nombre de placettes réalisées par site, l'aire totale, et le nombre d'habitats rencontrés est renseigné en annexe (*annexe V*).

Les placettes ont été déplacées au point suivant lorsqu'elles étaient situées en pente, en raison des conditions d'utilisation du prisme, lorsque des chemins tombaient dans leur rayon, lorsqu'il s'agissait de plantations artificielles, lorsqu'il n'y avait pas de strate arborée, et lorsqu'une exploitation forestière récente avait eue lieu (*figure 11*). Il en résulte que des données ont été récoltées sur 129 placettes dont 94 en forêt ancienne et 35 en forêt récente.

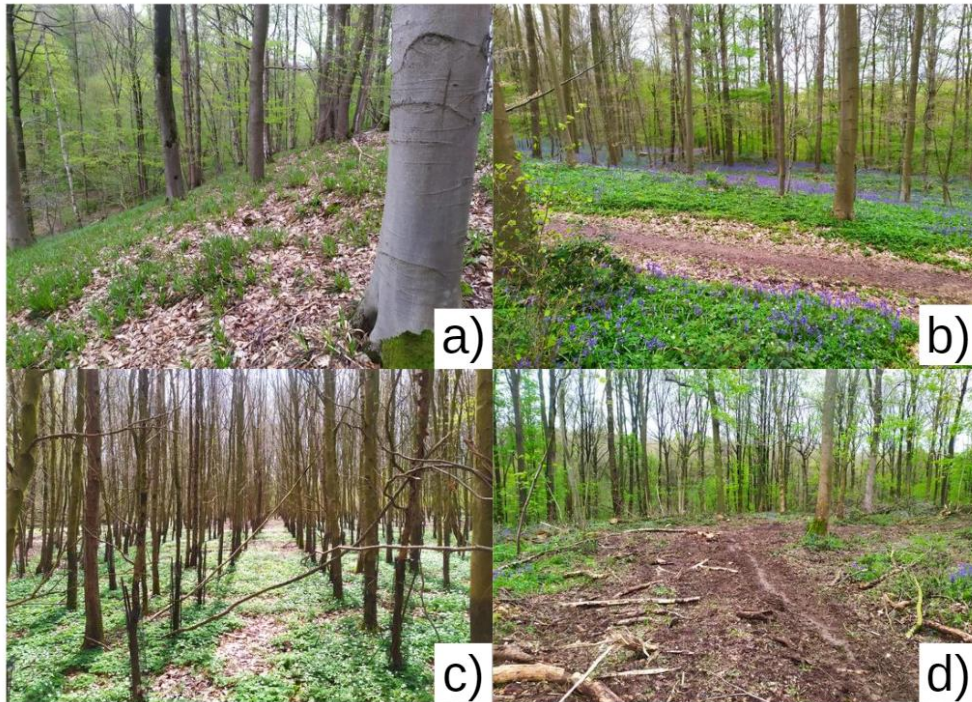


Figure 11 : Les points gps ont menés aux situations inacceptables suivantes : a) terrain possédant une pente trop importante b) chemin faussant les recouvrements dans le rayon de la placette c) jeune plantation artificielle de Hêtre (*Fagus sylvatica*) d) conséquences de l'exploitation forestière, biaisant les recouvrements.

La navigation le long des transects et entre les placettes a été assurée par un GPSMAP® 64.

L'analyse des données a été réalisée à l'aide d'une PCA (Principal Component Analysis). Cette méthode d'analyse multivariée a été utilisée pour ses propriétés : elle permet entre autres d'observer dans un espace réduit l'effet de plusieurs variables. Le but de cette méthode est de pouvoir extraire les informations importantes d'un jeu de données contenant plusieurs variables en créant de nouvelles (composantes principales). Ces composantes sont en réalité des combinaisons linéaires de ces variables qui maximisent la variance qu'elles expliquent (Abdi & Williams, 2010 ; Kent, 2012). Une représentation graphique peut ensuite être dérivée en calculant les corrélations des variables initiales avec les variables nouvellement créées qui constituent alors les « axes principaux » (Kent, 2012). Il est finalement possible de projeter les données dans cet espace et d'interpréter visuellement leur répartition et affinités.

#### *Données pédologiques et floristiques à l'échelle Wallonne :*

Les données pédologiques ont été empruntées à l'inventaire permanent réalisé en 2003. Ces dernières portent sur l'ensemble de la Wallonie. Les données ont été analysées avec une PCA, pour les mêmes raisons que les données dendrologiques. Il a été décidé de n'analyser dans le cadre de ce travail uniquement les éléments qui ont largement été recensés par la littérature comme pouvant varier significativement entre les forêts anciennes et récentes. Il s'agit donc de la concentration en Phosphore total, en Phosphore assimilable, en Azote et de l'acidité du sol (pH KCl et pH eau).

Les données floristiques utilisées viennent elles, de la compilation de plusieurs jeux de données (annexe VI).

#### *Données cartographiques :*

La carte ayant permis la classification de l'ancienneté des forêts étudiées est la carte « Ancienneté des forêts actuelles » développées par la région wallonne et publiée en 2019. Elle est aujourd'hui disponible en ligne sur le Géoportail de la Wallonie (WalOnmap).

## Analyse prospective des forêts anciennes.

Afin d'évaluer l'effet de l'aire et son interaction avec la classe d'ancienneté, sur la richesse, une régression linéaire multiple a été réalisée. Parallèlement, il a été décidé de produire des courbes cumulatives aire / nombre d'espèces avec les forêts anciennes comme proposé dans Honnay *et al.* (1999b). Le but de l'analyse étant de voir si, comme suggéré par la littérature, pour une aire semblable, plusieurs petites forêts contiendraient un nombre supérieur d'espèces à quelques larges forêts anciennes. Les forêts résineuses, en raison de leur pauvreté constatée ont été occultées de ces analyses.

### III. Résultats :

#### Données floristiques régionales :

##### Analyse de la richesse $\alpha$ :

La richesse totale en espèces a été calculée pour chaque classe d'ancienneté ainsi que les indices de richesses de Simpson et de Shannon. Des boxplots sont disponibles en annexe afin de visualiser la répartition des données (*annexe VII*). Au total, 25 espèces ont été observées dans les forêts anciennes feuillues, 3 dans les forêts anciennes résineuses et 20 dans les forêts récentes feuillues. Les différences de richesse entre les forêts feuillues anciennes et récentes se sont révélées non-significatives suite à divers tests non paramétriques ; le test de Kruskal-Wallis, le test de Wilcoxon et le test de Dunn. A l'opposé, les différences avec les forêts anciennes résineuses étaient hautement significatives. L'aire des forêts a été prise en compte dans les analyses.

##### Analyse de la richesse $\gamma$ :

Les données floristiques des forêts anciennes résineuses, en raison de leur dissimilarité très importante avec les forêts feuillues ont été retirée de l'analyse de la diversité  $\beta$ . Elles tiraient de toute évidence les axes des ordinations, atténuant ainsi les différences entre les forêts feuillues.

La procédure IndVal a été réalisée sur les forêts anciennes et récentes, cependant aucun groupe n'a pu être formé. La distribution des transects dans l'espace défini par la PCoA est visualisable à la figure ci-dessous (*figure 12*). Les deux premiers axes expliquant respectivement 17,92 % et 15,47 % de la variance totale ont été retenus. L'évolution de l'inertie pour les classifications ont menées à conserver deux groupes pour la classification de Ward et quatre pour la classification K-means. Il s'avère que le second groupe discriminé par la méthode Ward regroupe exactement deux groupes produit par K-means (groupe 1 et 4). Le résultat de la classification K-means est visualisable sur la PCoA (*figure 12*).

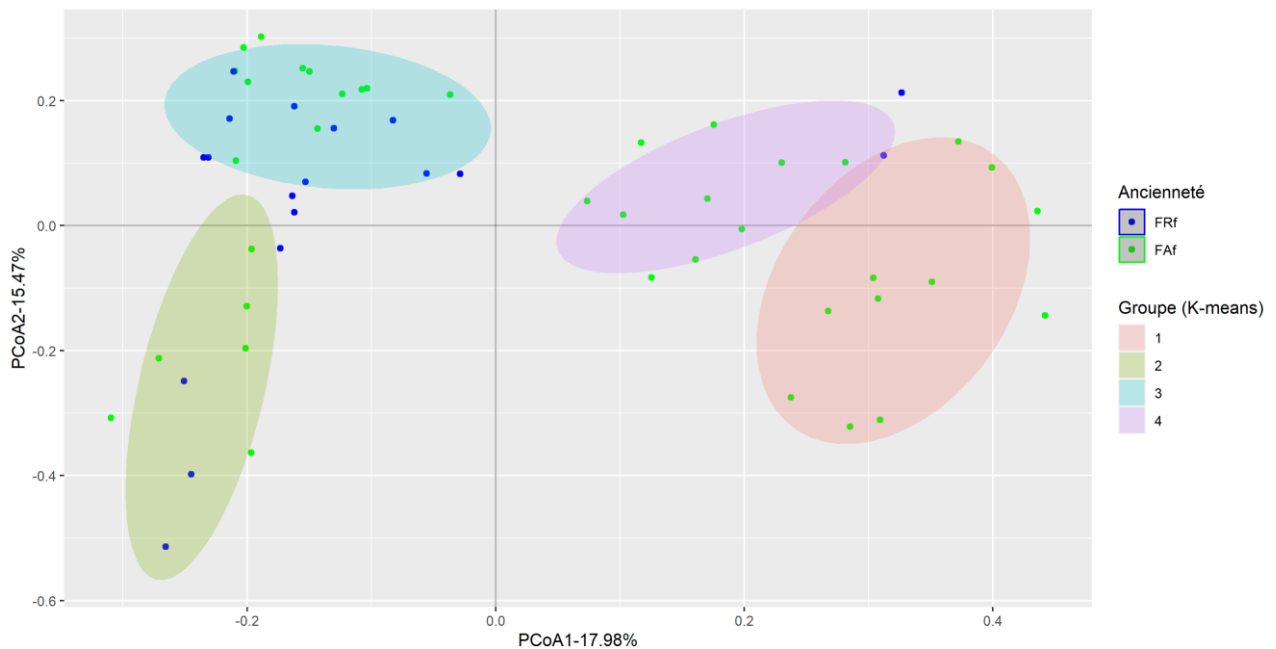
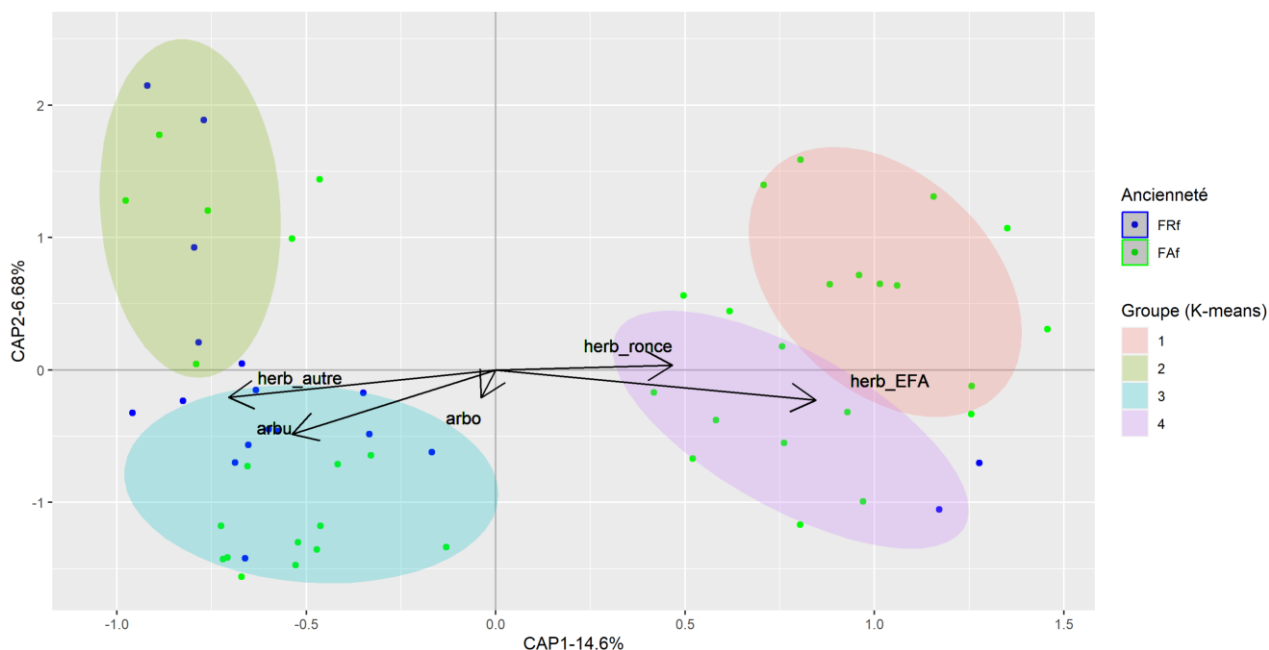


Figure 12 : Répartition des observations dans l'espace de la PCoA, pour les deux premiers axes, avec le résultat de la classification K-means (ellipses pour un niveau de confiance de 66%).

La procédure IndVal a été reconduite sur ces groupes. Elle caractérise le groupe 1 par *Oxalis acetosella* L. (1753), le groupe 4 par *Chrysosplenium oppositifolium* L. (1753), et ces deux groupes par *Hyacinthoides non-scripta* (L.) Chouard ex Rothm. (1944).

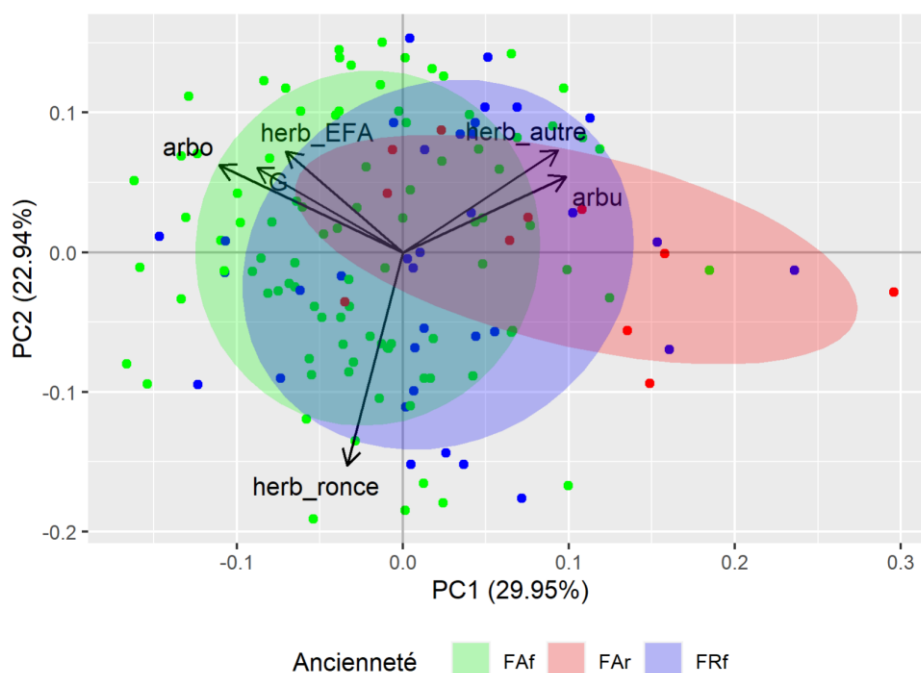
## Analyse prospective des forêts anciennes.

Les résultats obtenus par la CAP sont donnés à la *figure 13*. Grâce à cette analyse, 31.23 % de la variance totale observée a pu être expliquée par les données du modèle. L'effet marginal des variables a été testé, les variables étaient toutes significatives à l'exception de l'ancienneté, du recouvrement de la ronce et de la surface terrière. Seuls les quatre premiers axes se sont révélés significatifs.



## Données dendrologiques et structurelles :

Les trois premiers axes de la PCA expliquant respectivement 29.9, 22.9 et 18.8 pourcents de la variabilité totale ont été retenus. La projection des données récoltées sur ces axes est visualisable à la *figure 14*.



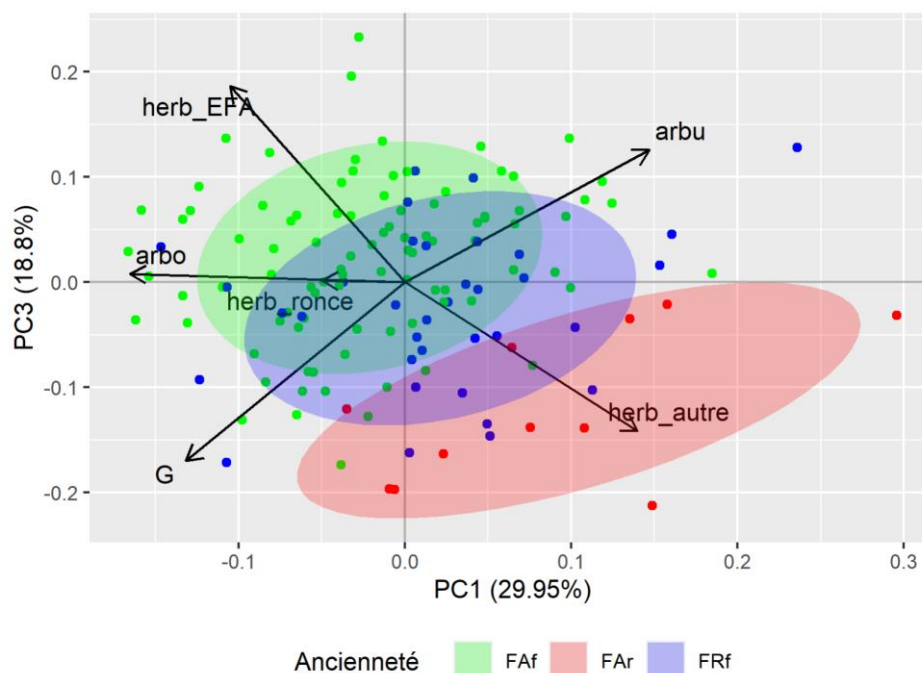


Figure 14 : En haut, représentation dans l'espace bidimensionnel de la PCA. Le premier et le second axe sont représentés. En bas, c'est le premier et le troisième axe qui définissent l'espace. « arbo » représente le recouvrement de strate arborée, « arbu » celle de la strate arbustive et « herb\_EFA », « herb\_autre », « herb\_ronce » les recouvrements de la strate herbacée pour, les EFA, les autres espèces et la ronce. « G » représente la surface terrière. Les ellipses sont tracées pour un niveau de confiance de 66%.

Des tests du chi carré ont ensuite été réalisés sur les variables de recouvrement pour tester la significativité des différences. La surface terrière, après validation de la normalité et de l'homogénéité des variances entre groupes, a été évaluée à l'aide d'une ANOVA. Lorsque nécessaire, des tests t de Student ont été réalisés afin d'identifier les groupes différents. Les divers résultats sont présentés ci-dessous (tableau 3).

Tableau 3 : Tableau reprenant les analyses réalisées sur les diverses données et les résultats associés.

Variable :	Analyse :	P-valeur :	Complément (t-Student) :
<b>Recouvrement EFA</b>	Chi carré	p<0.001***	FAf>FR>FAR
<b>Recouvrement autres</b>	Chi carré	p<0.001***	FAR>FR>FAf
<b>Recouvrement ronce</b>	Chi carré	NS	/
<b>Recouvrement strate arbustive</b>	Chi carré	NS	/
<b>Recouvrement strate arborée</b>	Chi carré	p<0.001***	FAf=FR>FAR
<b>Surface terrière (G)</b>	ANOVA	NS	/

### Analyse pédologique :

Le résultat de la PCA menée sur les données est visible à la figure 15, seuls les deux premiers axes ont été retenus. Le premier est majoritairement défini par les variables trophiques dont la somme des contributions est de 80%, le second est visiblement un axe d'acidité.



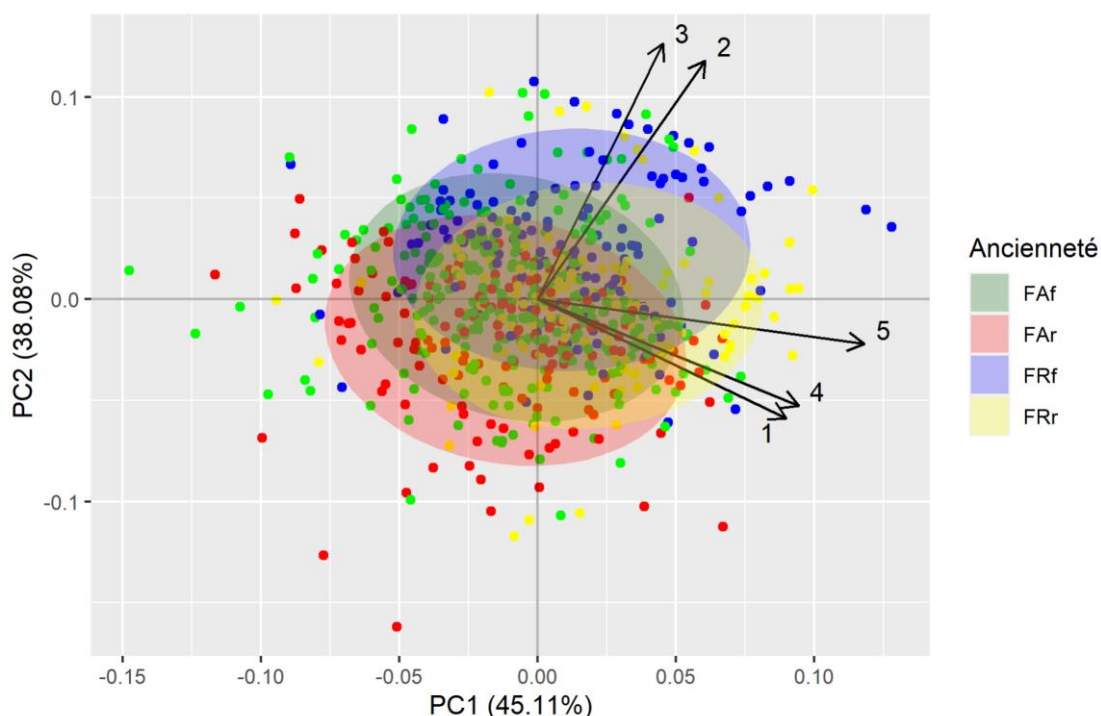


Figure 15 : Répartition dans l'espace défini par les deux premiers axes de la PCA des diverses variables chimiques mesurées : 1) azote ; 2) pH KCl ; 3) pH eau ; 4) phosphore assimilable ; 5) phosphore total. Les ellipses sont tracées pour un intervalle de confiance de 80%.

Des ANOVA ont ensuite été réalisées afin de tester la significativité des variables. Cependant, la condition de normalité des données n'a pas été acceptée pour toutes les variables. Des transformations ont permis de se rapprocher au plus d'une distribution normale, et de l'atteindre dans le cas de l'azote. Un tableau de ces transformations est disponible en annexe (*annexe VIII*). L'homoscédasticité a été testée et validée pour toutes les variables exceptées pour le phosphore assimilable. Le nombre de données par groupe étant relativement important, et l'ANOVA étant une méthode d'analyse assez robuste, il a été décidé d'occulter ces écarts. Néanmoins, divers tests non-paramétriques ont été réalisés afin de confronter cette hypothèse tel que le test de Kruskal-Wallis, les tests de Wilcoxon et de Dunn. Les résultats menaient aux mêmes conclusions. Des tests t de Student ont été pratiqués en complément lorsque nécessaire. Les résultats pour les diverses variables sont présentés ci-dessous (*tableau 4*).

Tableau 4 : Résultats des analyses menées sur les composantes chimiques du sol pour les diverses classes d'ancienneté deux à deux. Toutes les ANOVA se sont révélées significatives, les résultats du t-test par paire sont représentés. Le sens de l'inégalité est également noté.

	Phosphore total	Phosphore assimilable	pH eau	pH KCl	Azote total
<b>FAr/FAf</b>	NS	NS	< (***)	< (***)	NS
<b>FRf/FAf</b>	> (***)	NS	> (***)	> (***)	NS
<b>FRf/FAr</b>	> (***)	NS	> (***)	> (***)	NS
<b>FRr/FAf</b>	> (***)	> (***)	NS	> (***)	> (***)
<b>FRr/FAr</b>	> (***)	> (**)	> (***)	> (***)	> (***)
<b>FRr/FRf</b>	NS	NS	< (***)	< (***)	> (***)

### Analyse du paysage :

L'effet du facteur « classe d'ancienneté » s'est révélé non-significatif. De fait, une régression simple a été réalisée sur les données (figure 16). Un coefficient de détermination (R2) de 45.9 % a été obtenu.

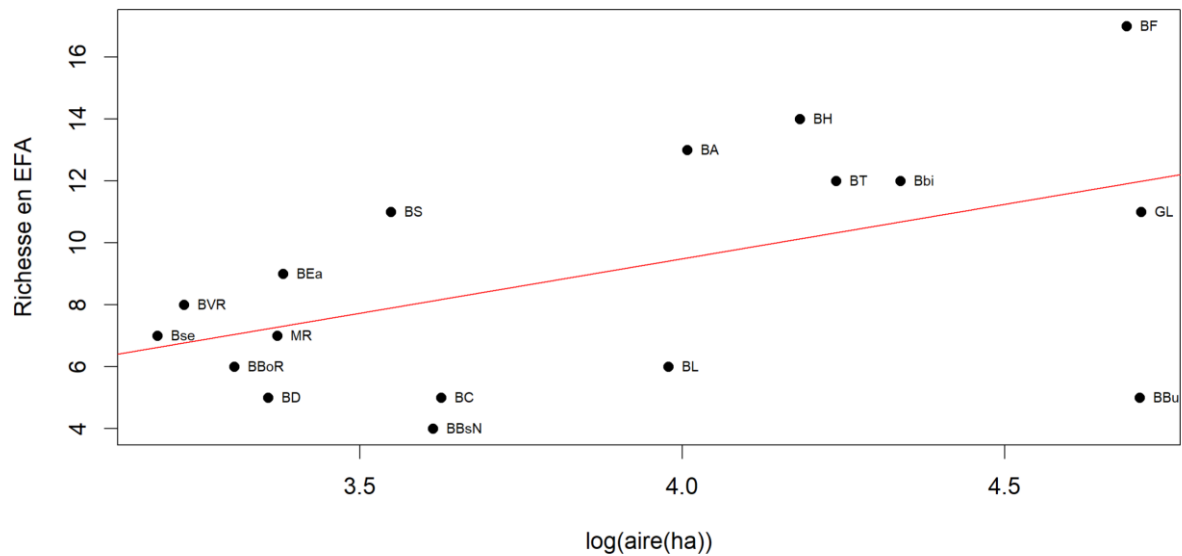
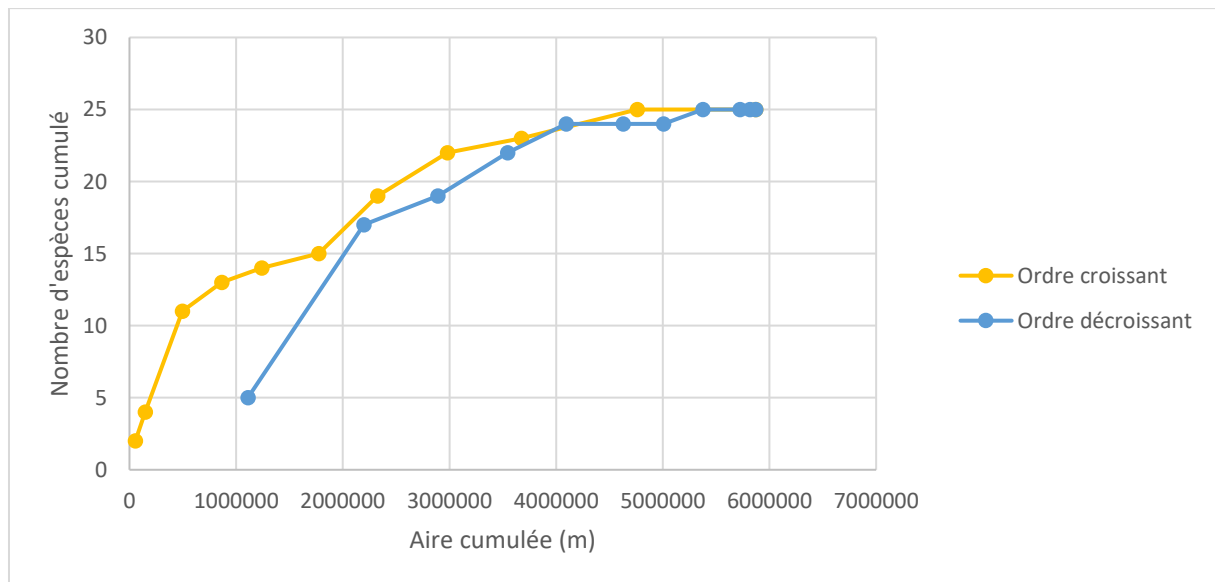


Figure 16 : Représentation de la régression linéaire entre l'aire du site échantillonné (ha) et sa richesse en EFA. L'équation de la droite est : Richesse EFA = 3.512 . log(Aire(ha)) -4.56.

Afin d'appréhender les différences de richesse des petites taches et des taches de plus grande taille, des courbes cumulatives aire / espèces ont été réalisées en introduisant les forêts anciennes feuillues par ordre croissant et ensuite par ordre décroissant (graphe 3).



Grappe 3 : Courbe cumulative du nombre d'espèces en fonction de l'accumulation de l'aire réalisée sur base des onze forêts qualifiées d'anciennes.



## IV. Discussion :

### Quel est l'impact de la structure forestière sur les EFA ?

L'analyse des données structurelles à l'échelle de la placette montre clairement un recouvrement plus important des EFA dans les sites anciens (*figure 14*). Par ailleurs, la corrélation visible entre la surface terrière, le recouvrement de la strate arborée et les EFA a déjà été souligné par la littérature. Les peuplements au couvert fermé, sombres et denses sont plus sensibles d'abriter des EFA (Hermy *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Stefańska-Krzaczek *et al.*, 2016). La non-significativité des autres variables démontre que cette différence, de recouvrement des espèces anciennes, ne peut pas être expliquée uniquement par la structure forestière. La continuité du couvert et l'histoire de la forêt jouent donc un rôle très significatif dans leur abondance.

Il est par ailleurs à noter l'effet de la végétation, les parcelles résineuses ont un recouvrement en « herbacées autres » plus important, comme le montre l'axe 3 de la PCA (*figure 14*), et ce, en raison du développement abondant de la fougère aigle (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (1879)). Le couvert très dense et l'épaisse litière des résineux joue également un rôle sur la présence des EFA (Geudens *et al.*, 2006). En forêts récentes feuillues, la situation est moins claire et les recouvrements autres correspondaient à une plus grande variété d'espèces. Cela ne pouvant pas être dû à des perturbations plus grandes, la structure étant semblable, cette opposition sur l'axe 3 avec les EFA pourrait suggérer une compétition entre les espèces des forêts anciennes et rudérales dans ces forêts, comme l'on observés plusieurs auteurs (Baeten *et al.*, 2009 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Honnay *et al.*, 2002).



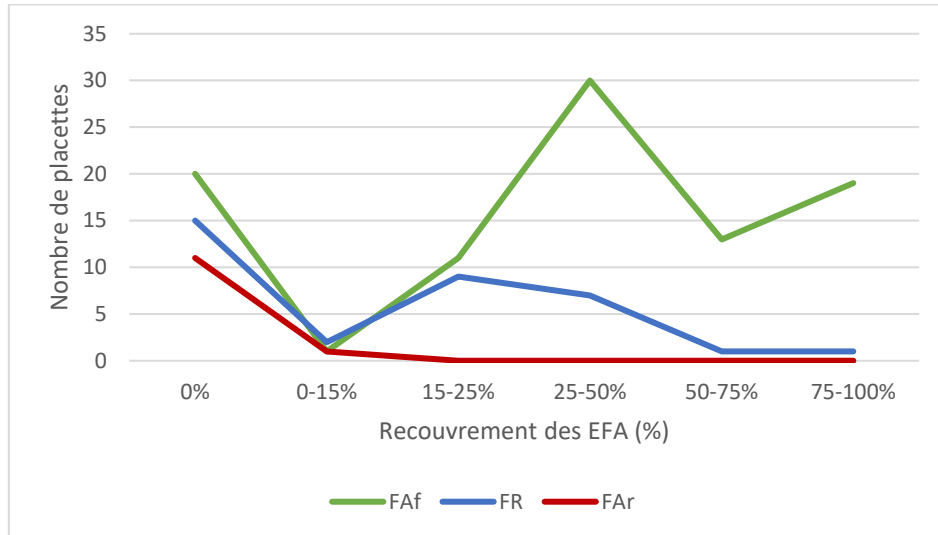
Dans la partie résineuse du Bois de L'Ermitage, la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*) domine la strate herbacée.

### Les forêts anciennes sont-elles plus riches en EFA que les forêts récentes ?

Les résultats de l'analyse de la richesse  $\alpha$  à l'échelle du transect démontrent étonnamment une richesse égale entre les forêts anciennes feuillues et les forêts récentes feuillues en EFA. Cela va à l'encontre d'une majeure partie de la littérature disponible sur le sujet (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Jacquemyn *et al.*, 2001 ; Hermy & Verheyen, 2007 ; Holmes & Matlack, 2018 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Verheyen *et al.*, 2003b). La liste utilisée ayant conditionnée les résultats, une réflexion sur cette dernière et sur la richesse observée a été portée (*annexe IX*). Il est cependant important de mettre cela en perspective des résultats obtenus lors des analyses structurelles précédemment énoncées. Comme souligné, les recouvrements sont moins importants en forêt récente. Malgré les différents efforts d'échantillonnage, on constate que la plupart des relevés qui y contiennent des EFA possèdent un recouvrement de 15 à

## Analyse prospective des forêts anciennes.

25 %. Et une grande partie des placettes y n'ont tout simplement aucun recouvrement en EFA .... A l'instar des forêts anciennes où la majorité se trouvent entre 25 et 50% (graphe 4). Les forêts anciennes possèdent donc de plus grandes populations et pourraient être considérées comme des habitats de bonne qualité, des sources de diaspores importantes à préserver (Bergès & Dupouey, 2021 ; Hermy *et al.*, 1999).



Grappe 4 : Mise en évidence des différences en termes de recouvrement en espèces des forêts anciennes (EFA) entre les différentes classes d'ancienneté prospectées.

Les EFA sont donc, selon ces analyses autant diversifiées dans les forêts récentes et anciennes prospectées, mais elles sont présentes en moindre quantités dans les premières. Cela pourrait être expliqué par un début de recolonisation des forêts récentes, dont les géophytes pouvant former des plages, n'auraient eu le temps de créer de grands tapis par division végétative notamment. Mais cela pourrait également résulter du traitement en taillis et taillis-sous-futaie, commun en Belgique, dans les bois anciens qui aurait augmenté l'abondance de certaines espèces dont *Anemone nemorosa* L. (1753) pour exemple (Ash & Barkham, 1976 ; Hermy & Verheyen, 2007).



Dans la forêt ancienne feuillue du bois de l'Hospital, les jacinthes (*Hyacinthoides non-scripta*) y forment d'abondantes plages.

La PCoA réalisée sur les données montre à première vue que l'axe 1 intègre une composante liée à l'ancienneté (figure 12). L'axe 2 semble lié à d'autres variables non-prises en compte et ne discrimine pas selon le caractère ancien des forêts. Ce qui est confirmé par le résultat de la classification. Les groupes 1 et 4 de la classification K-means ne contiennent que des transects réalisés en forêt ancienne, à l'exception de deux observations qui correspondent au bois du Sépulcre dont le statut sera discuté plus loin (voir : « *Le cas du bois du Sépulcre : Quel est le potentiel des forêts récentes pour les EFA ?* »).

Pour ce qui est des espèces qui caractérisent ces groupes, le caractère indicateur de *Chrysosplenium oppositifolium* devrait être attribué au hasard du au nombre restreint d'échantillons. Il semblerait que cette plante, aux exigences écologiques très étroites, n'est été échantillonnées que dans certaines forêts, en raison de la présence de microhabitats lui convenant. Elle ne sera donc pas considérée pour la suite de l'analyse. La présence particulière d'*Oxalis acetosella* dans certains transects est également difficilement interprétable. Elle peut varier considérablement selon plusieurs paramètres, le régime de taillis favorise sa reproduction, elle tire également particulièrement profit des micro-habitats, ... Sa capacité à survivre dans les tapis sombres et monospécifiques de *Hyacinthoide non-scripta* a également été notée.

Pour la suite de la réflexion il a été décidé de rassembler ces deux groupes afin de former un groupe qui se différencie des autres uniquement par son ancienneté. L'espèce indicatrice de ce nouveau groupe étant *H. non-scripta*.

La présence particulière de cette espèce dans certaines forêts anciennes pourrait poser la question de la qualité de ces dernières. Il semblerait, pour la jacinthe qu'elle ne forme d'abondantes plages que dans certaines forêts. Les bois du Sépulcre, de l'Hospital et d'Arpes montrent une proximité géographique indéniables, les populations présentent résultent sans doute d'une population mère ancestrale qui a été fragmentée. Mais ce n'est pas le cas des autres bois. Il a été formulé l'hypothèse par Hermy *et al.* (1999), que les espèces en bord de leur aire de répartition étaient plus sensibles à la qualité des forêts, et donc à leur ancienneté. Le lieu de l'étude se situe justement à la limite entre l'influence océanique et médio-européenne, dans une zone de transition pour la jacinthe.

Cette hypothèse suggère alors indirectement une différence dans la qualité des forêts anciennes prospectées. Plusieurs facteurs pourraient expliquer une différence de l'habitat. La gestion actuelle a bien évidemment un rôle déterminant à jouer. Il a été démontré dans Van der Veken *et al.* (2007) que la première cause de déclin des populations de jacinthes étudiées était l'exploitation forestière. La gestion passée a également un effet significatif sur l'observation actuelle des EFA. Il a été prouvé que les régimes de taillis ont eu pour effet de favoriser certaines plantes pérennes (Ash & Barkham, 1976). Il faut également rappeler, qu'en dépit d'informations suffisantes, on considère comme ancienne toute forêt datant de la carte de Ferraris. Les forêts anciennes n'ont cependant pas toutes le même « niveau d'ancienneté » (Georges-Leroy *et al.*, 2013). A ce titre, la technologie LiDAR a déjà prouvé son utilité (Georges-Leroy *et al.*, 2011 ; Georges-Leroy *et al.*, 2013). Certaines ont été mises sous-culture bien avant 1777, et il a été recensé des conséquences significatives sur les conditions abiotiques et biotiques des forêts.

La CAP nous aide quelque peu à caractériser ces forêts. Trois variables ségrègent ce groupe selon l'axe 1. Il apparaît clairement qu'il possède globalement des recouvrements en EFA bien supérieur, à l'opposé, les recouvrements en espèces autres et en espèces arbustives y sont plus faibles. Cela ne semble pas être lié à l'obscurité du couvert forestier car la surface terrière n'est pas significative dans le modèle et que le recouvrement arboré est presque perpendiculaire au premier axe. Peut-être ces forêts ont-elles été soumises à une exploitation agricole avant Ferraris dont les conséquences seraient encore visibles dans la végétation actuelle ? De plus amples recherches sont nécessaires. Les ordinations ne devraient à ce titre pas être considérées comme des conclusions, mais comme des pistes à explorer plus en profondeur (Kent, 2012).

## **Le sol des forêts récentes est-il différent de celui des forêts anciennes ?**

A l'échelle de la Wallonie, des différences chimiques notables ont été observées entre les différentes classes d'ancienneté. Le phosphore total montre une claire différence entre les forêts anciennes et récentes peu importe la végétation. La p-valeur est d'autant plus significative entre les forêts anciennes feuillues et les forêts récentes résineuses qu'entre les forêts anciennes feuillues et récentes feuillues.

Au regard des p-valeur, il semblerait, concernant le phosphate et l'azote, que les sols des forêts récentes feuillues tendent plus rapidement à retourner aux conditions initiales des forêts anciennes feuillues que les forêts récentes résineuses. Compton et Boone (2000), avaient également noté pour plusieurs éléments une interaction significative entre l'utilisation antérieure des sols et la végétation. Cela pourrait expliquer les différences recensées pour le phosphore assimilable. Ce dernier, ne montrant pas de différence intra forêts anciennes, montre une différence avec les forêts récentes résineuses, mais pas avec leurs homologues feuillus. La végétation pourrait impacter la résilience des sols. Cette différence ne s'explique pas par des acidités dissemblables, car elle ne suit pas le même patron. Il ne faut cependant pas tirer la conclusion hâtive suivante qui serait de dire que deux siècles (ou moins) seraient suffisants pour effacer les effets d'une période agricole sur le phosphore assimilable des FRf, mais insuffisant pour les FRr en raison d'une résilience différente. Effectivement, de plus amples analyses sont nécessaires où l'âge des forêts serait contrôlé, la plupart des forêts résineuses récentes ayant été plantées il y a moins de 150 ans (Jacquemin *et al.*, 2014 ; Kervyn *et al.*, 2017 ; Tuilier, 2004). Il a de plus été démontré que ces paramètres pouvaient grandement varier en fonction de l'intensité et de la durée de la phase agricole, ce qui ajoute de la variance aux données (Bossuyt *et al.*, 1999 ; Goovaerts *et al.*, 1990 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Koerner *et al.*, 1997 ; Verheyen *et al.*, 1999).

Les phosphates ont été communément reconnu comme indicateur des forêts anciennes par la littérature (Baeten *et al.*, 2009 ; Dupouey *et al.*, 2002b ; Hermy et Verheyen, 2007 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Koerner *et al.*, 1997 ; Verheyen *et al.*, 1999 ; Verheyen & Hermy, 2004). Son application à une échelle locale est sans doute pertinente, mes nos résultats ne permettent pas à l'échelle wallonne de le retenir comme indicateur contrairement au taux de phosphore total dont le lien avec l'ancienneté est clairement marqué.

Le pH eau et KCl montrent globalement une même tendance. L'acidité semble suivre un gradient logique mêlant l'effet de la continuité du couvert, et donc des processus d'acidification naturel des forêts, et de la végétation. L'effet de la continuité semble supérieur au second. Les forêts les plus basiques sont les forêts récentes feuillues. Ce dernier point est en total adéquation avec la littérature (Bossuyt *et al.*, 1999b ; Goovaerts *et al.*, 1990 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Koerner *et al.*, 1999 ; Vanhellefont *et al.*, 2014 ; Verheyen *et al.*, 1999). Elles sont suivies par les forêts récentes résineuses et ensuite par les forêts anciennes feuillues. A la vue des p-valeur, l'acidité des forêts anciennes feuillues est assez proche de celle des forêts résineuses récentes. Les forêts les plus acides sont les forêts anciennes résineuses qui associent les deux effets précédemment décrits. Les moyennes sont assez peu différentes entre les classes, cependant, la répartition des données est très différentes (*voir annexe X « répartition des données pédologiques étudiées pour chaque classe d'ancienneté »*), les forêts anciennes ayant des valeurs moins dispersées. La grande variation observée dans les forêts récentes feuillues devrait être interprétée comme par la grande diversité d'histoires et de traitements auxquels elles ont été soumises.

Concernant l'azote total, son lien avec la continuité forestière ne semble pas clair. Nous nous contenterons de commenter que des peuplements résineux peuvent augmenter significativement la déposition atmosphérique de l'azote (Geudens *et al.*, 2006). Des analyses plus complètes sont nécessaires.



Un lien pourrait être fait entre ces conclusions et l'opposition soulignée pour les recouvrements « autres » avec les recouvrements des EFA sur la PCoA (*figure 14*). La littérature montre que les EFA peuvent souffrir d'une compétition déséquilibrée par des changements abiotiques en faveur des espèces rudérales (Baeten *et al.*, 2009 ; Honnay *et al.*, 1998 ; Honnay *et al.*, 1999c ; Honnay *et al.*, 2002.), sans doute ce fait contribue aux recouvrements plus faibles des EFA observés dans les forêts récentes.

Cela n'explique cependant pas la richesse observée, qui ne serait donc, pour les forêts prospectées, pas expliquée, ni par des caractéristiques chimiques, ni par la structure des forêts. Il semblerait que la promiscuité entre les forêts récentes et anciennes du paysage étudié ait permis de retrouver une flore somme toute semblable en l'espace d'approximativement 200 ans malgré les différences abiotiques. Cela semble confirmé par une analyse plus approfondie menée sur le bois du Sépulcre (*voir* : « *Le cas du bois du Sépulcre : Quel est le potentiel des forêts récentes pour les EFA ?* »

### **Quel est l'impact du paysage sur la richesse en EFA d'une forêt ?**

Sur les 7 forêts récentes prospectées 5 étaient adjacentes à au minimum une forêt ancienne feuillue. L'importance de la proximité des nouveaux sites pour leur colonisation par les EFA a été démontrée à maintes reprises (Dupouey *et al.*, 2002 ; Hermy *et al.*, 1999 ; Jacquemyn *et al.*, 2000 cité dans Honnay *et al.*, 2002 ; Verheyen & Hermy, 2004). Cependant, ce facteur ne semble pas expliquer la totalité des résultats. Des forêts particulièrement isolées, pour exemple le bois de Grand-Leez, où aucune forêt ancienne feuillue n'est présente dans un rayon de 1800 mètres, la plus proche étant le bois du Buis, peuvent être particulièrement riches en EFA. Les antécédents agricoles pourraient expliquer cette richesse, il a été suggéré que certaines EFA pouvaient survivre cette période, dans des éléments reliques (Hermy *et al.*, 1999 ; Honnay *et al.*, 1999c). A ce titre, une brève analyse cartographique du bois de Grand-Leez est proposée en annexe (*annexe XI*), l'aide fournie par les cartes LiDAR y est soulignée.

L'impact de l'aire sur la richesse en plantes forestières a été noté dans la littérature, cependant, un effet de classe a été recensé dans Jacquemyn *et al.* (2001) et dans Honnay *et al.* (1999b). La classe n'a eu aucun effet sur le modèle, cela semble logique au vu de la richesse des forêts récentes. Cependant ce résultat permet de mettre en lumière le fait que les forêts récentes ne sont pas plus riches en raison de leur taille. Sans doute l'échantillonnage d'un plus grand nombre de forêt aurait pu mettre en évidence l'effet du facteur « classe » sur la pente.

Par ailleurs le débat « SLOSS » (Several Small Or Single Large) a été abordé grandement dans la littérature (Honnay *et al.*, 1999b ; Honnay *et al.*, 2002 ; Jacquemyn *et al.*, 2001). Il en ressort l'intérêt de conserver en priorité plusieurs petites taches au profit de quelques grande afin d'obtenir une richesse totale plus grande. Nos humbles résultats portant sur 11 forêts anciennes ont été suffisants pour marquer cette tendance (*graphe 3*).

### Quel est l'effet de l'exploitation et des activités humaines sur la richesse en EFA ?

L'exploitation forestière semble avoir un impact durable sur la présence des EFA (Van der Veken *et al.*, 2007). Sur le terrain, il a été constaté de nombreuses reprises leur sensibilité à la compaction des sols. Cela appuie comme proposé l'importance des cloisonnements d'exploitation (Kervyn *et al.*, 2017). Par ailleurs, la perturbation du couvert par le prélèvement d'arbres favorise les espèces héliophiles en modifiant les conditions hostiles auxquels les EFA sont adaptées (Jacquemin *et al.*, 2014 ; Paillet & Bergès 2010). Les coupes à blanc devraient ainsi tout simplement être proscrites, ou fortement restreintes, car elles produisent une déstabilisation trop importante de l'environnement forestier en plus d'infliger une altération physique conséquente du sol (*figure 17*). Comme souligné précédemment, les plantations résineuses monospécifiques ou la régénération naturelle des résineux semble restreindre fortement la richesse en EFA (Geudens *et al.*, 2006). Cela ne semble pas être uniquement la conséquence des travaux forestiers associés. Leur présence en forêt ancienne devrait être limitée au mélange.

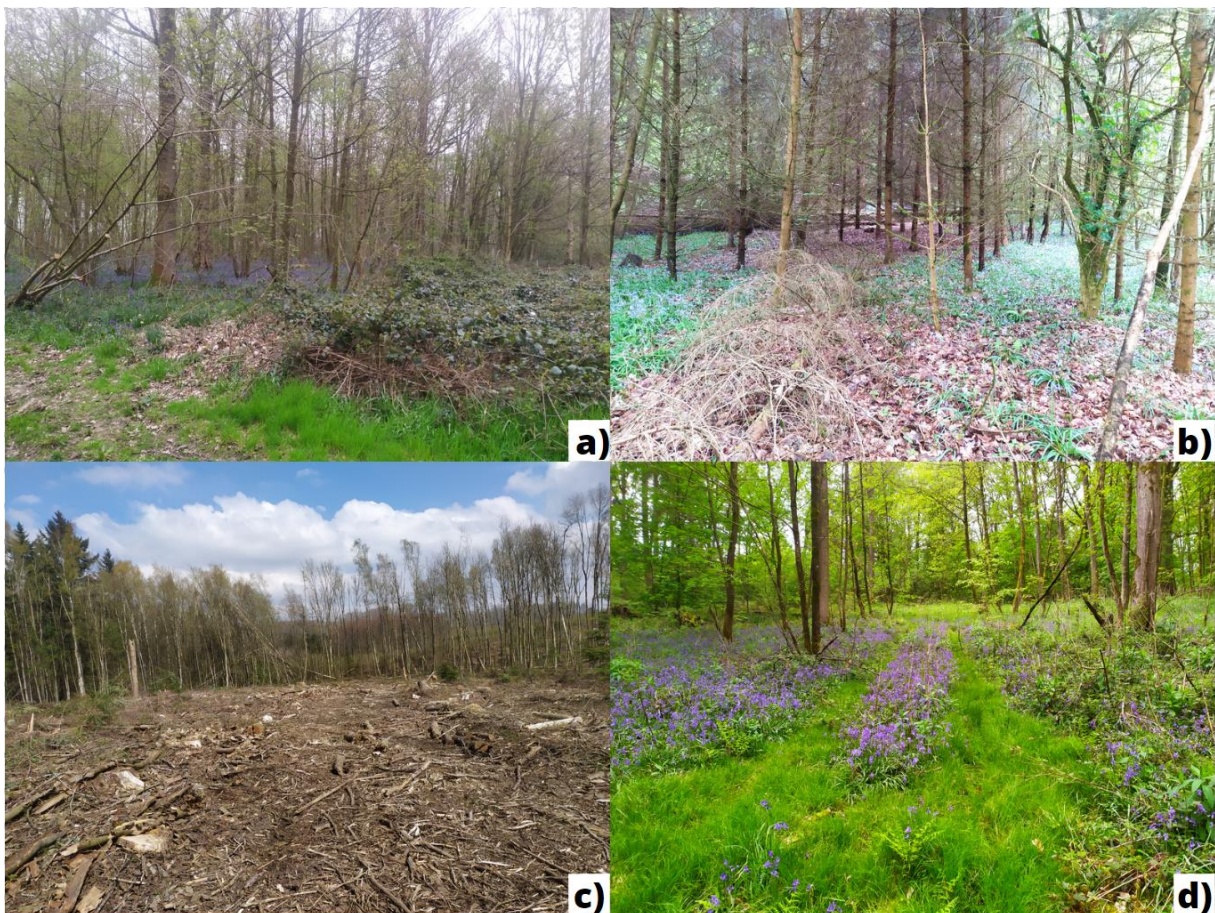


Figure 17 : L'Homme est un facteur déterminant pour la répartition des EFA. a) A droite de l'image, la végétation résultant d'une coupe à blanc feuillues, à gauche son homologue non coupé avec son tapis de jacinthes (Bois du Buis). b) Plantations de résineux, coupant une plage de jacinthes, sur une surface d'à peine 20 m<sup>2</sup>. Ce « cas d'école » semble parfaitement illustrer l'effet des résineux monospécifiques sur les EFA (Bois de L'Ermitage). c) La mise à blanc est une pratique violente pour le sous-bois. d) Le passage d'engins lourds semble détruire les géophytes par écrasement et compliquer leur retour par un changement permanent des conditions physiques du sol (Bois de L'Ermitage).

### Le cas du bois du Sépulcre : Quel est le potentiel des forêts récentes pour les EFA ?

Il est étonnant d'observer sur la *figure 12* de la PCoA, pour le groupe qui englobe le groupe 1 et 4, deux points bleus correspondant à une forêt récente. Il a donc été décidé de se pencher plus en détail sur cette forêt. Grâce à l'outil « Voyager dans le temps » de WalOnMap, les diverses cartes d'ancienneté ont été analysées.



## Analyse prospective des forêts anciennes.

Sur la carte de Ferraris (1777), on peut voir que le bois du Sépulcre n'existe pas encore et qu'à la place, il s'agit de terres agricoles, plus au nord, des vergers et des pâtures sont présents

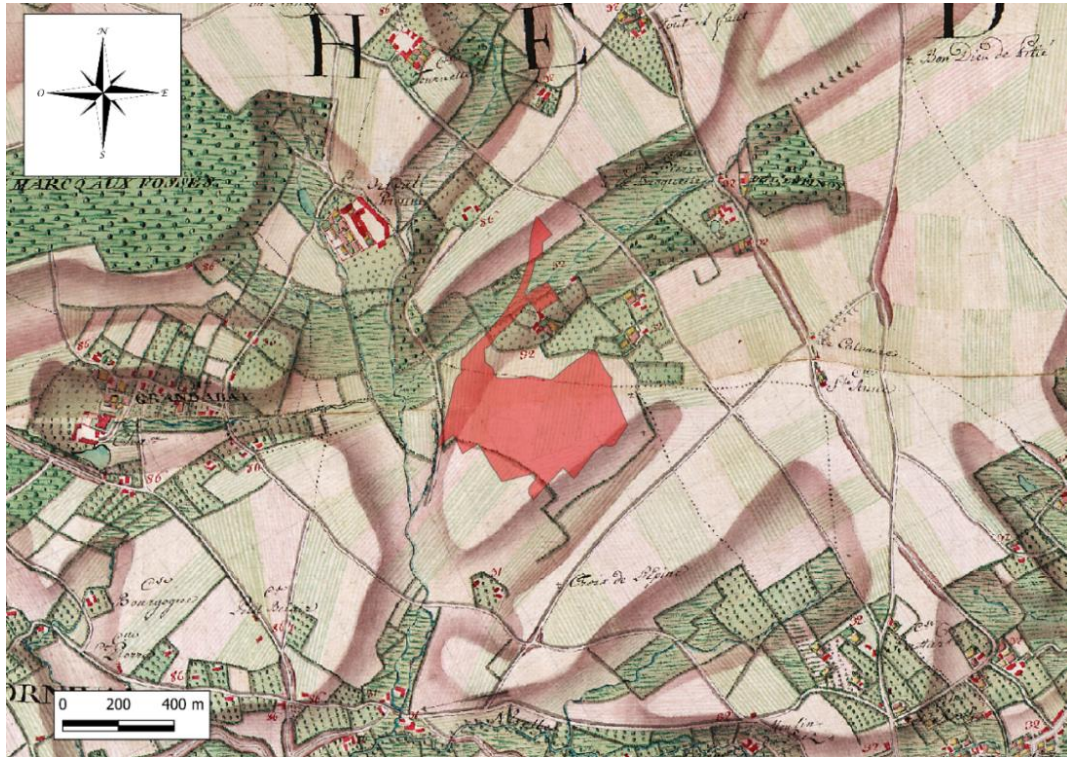


Figure 18 : Bois du Sépulcre sur la carte de Ferraris (1777).

Le bois apparaît en tant que telle sur la carte de Vandermaelen (1846-1854). Sa surface a ensuite varié sur les diverses cartes qui suivent, mais il semblerait que la partie prospectée soit restée forestière depuis cette période. Soit depuis plus de 170 ans.

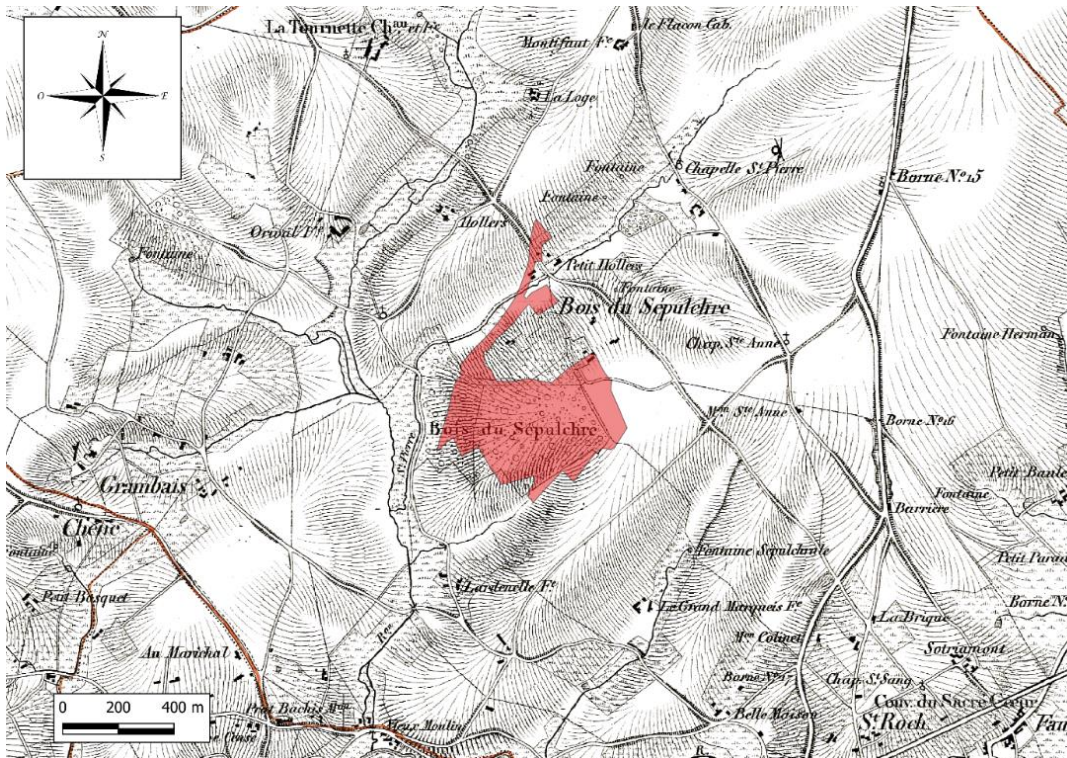
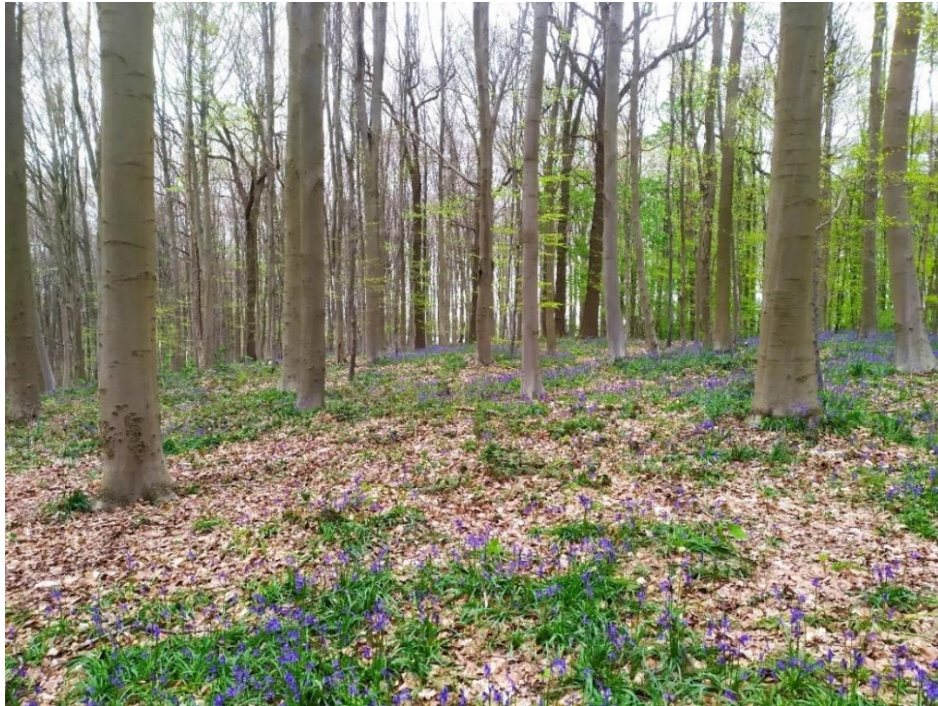


Figure 19 : Bois du Sépulcre sur la carte de Vandermaelen (1854).



## Analyse prospective des forêts anciennes.

Cette hêtraie possède des arbres dont les dimensions semblent varier entre 250 et 280 *cm* de circonférence, le plus gros Hêtre a même été observé à une valeur de 415 *cm*. Si l'on prend la valeur d'accroissement par an de 1.3 *cm* (Rondeux *et al.*, 2002). Une estimation de l'âge de la forêt sur base de cette croissance mène à un résultat semblable à celui proposé par la cartographie. Cette partie du bois ne semble pas avoir connue d'exploitation forestière significative depuis cette période. Il semblerait donc que la fermeture continue du couvert, mêlée à un apport de propagules, par des reliques (haies, survie dans les vergers et prairies), ou par dissémination des bois environnant ait permis de régénérer une flore semblable aux forêts anciennes proches (bois de l'Hospital, bois de Arpes) en l'espace de 170 années. Cependant, la densité de *H. non-scripta* y paraît tout de même plus faible que dans ces dernières. Cette forêt souligne le potentiel des forêts récentes pour les EFA, sous certaines conditions.



*Le bois du Sépulcre, en comparaison des bois de Arpes et de l'Ermitage, les jacinthes se font timides.*

### **Limites de l'étude.**

Nous sommes conscients que nous nous basons sur un échantillonnage relativement restreint de forêts, dans un contexte lui aussi très spécifique. Nous avons recensé l'effet de la classe d'ancienneté en se basant sur une liste de plantes qui constitue un sous-échantillonnage relativement faible de la flore. Cela a considérablement limité l'interprétation des différents axes des analyses multidimensionnelles. Cependant, l'utilisation de telles listes permet, selon nous, de concentrer les ressources et les moyens sur une partie de la flore dont le lien avec l'ancienneté a clairement été établi. La taille des transects, relativement importante apporte également une grande homogénéisation de la flore, rendant les données particulièrement « rustres ». La gestion est un paramètre qui n'a pas été pris en compte dans l'analyse. Des analyses plus précises seraient nécessaires afin de confirmer les tendances soulevées par cette étude exploratoire...



## V. Conclusion :

Notre analyse prospective de quelques forêts wallonnes a permis de dresser une image très générale de ces forêts. Nous avons pu confirmer le lien entre la structure forestière et les EFA et souligner qu'il ne s'agit en rien d'une condition suffisante. La continuité joue un rôle important dans leur abondance. La particularité de leur sol, par une brève analyse des données de l'inventaire permanent, a été définie et comparée avec la littérature. Il y est effectivement plus pauvre et plus acide que celui des forêts récentes. La richesse des forêts récentes en EFA s'est révélée contre toute attente particulièrement haute, au point de ne pas être significativement différente de celle des forêts anciennes. De fait, nos résultats soulignent l'importance de ces forêts dans la conservation des EFA, sans pour autant dénigrer leur lien particulier avec les forêts anciennes. Cette étude appelle à sortir de la vision manichéenne « forêts récentes pauvres / anciennes riches ».

Par ailleurs, ce travail pose plus de questions qu'il n'en répond. Nous proposons donc plusieurs pistes de réflexions à explorer. Il conviendrait d'analyser les données de l'inventaire permanent qui n'ont pas été prises en compte (Cations, CEC, ...), de réaliser une sous-stratification en fonction de la morphologie des sols afin d'affiner les résultats. Au vu des conclusions obtenues concernant la richesse  $\alpha$ , il est nécessaire d'étudier plus en détail la richesse et la recolonisation des forêts récentes en Wallonie. L'analyse de la richesse  $\gamma$  note des différences significatives entre les forêts anciennes. Il serait intéressant de proposer une évaluation de la qualité de ces forêts en fonction de plusieurs critères ; la végétation, l'entropie (comme une fonction inverse de l'influence humaine passée et actuelle), la structure forestière, leur connectivité, ... Les forêts anciennes sont aujourd'hui considérées à tort comme une catégorie uniforme. Par ailleurs les résultats actuels devraient être discutés en regard des analyses entomologiques fournies par le mémoire de Loann Pannozo (Pannozo *et al.*, *in prep.*). Finalement, dans le but de conserver au mieux ces forêts et leurs diverses fonctions, et d'ainsi répondre à l'article 1 du code forestier, il serait judicieux d'identifier les pratiques sylvicoles à éviter / bannir en forêt ancienne et de renforcer leur statut. Il ne reste déjà plus que 40 % de ces forêts subnaturelles. Il ne revient qu'à nous de décider si nous souhaitons conserver ce précieux héritage du passé, ou s'en désintéresser à l'insu des générations que nous précédon

### 3. Bibliographie

- Alderweireld, M., Burnay, F., Pitchugin, M., Lecomte, H., 2015. INVENTAIRE FORESTIER WALLON.
- Ash, J.E., Barkham, J.P., 1976. Changes and Variability in the Field Layer of a Coppiced Woodland in Norfolk, England. *The Journal of Ecology* 64, 697.  
<https://doi.org/10.2307/2258779>
- Baeten, L., Hermy, M., Van Daele, S., Verheyen, K., 2010. Unexpected understorey community development after 30 years in ancient and post-agricultural forests: Land use and 30-year forest development. *Journal of Ecology* 98, 1447–1453.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01711.x>
- Baeten, L., Hermy, M., Verheyen, K., 2009. Environmental limitation contributes to the differential colonization capacity of two forest herbs: Environmental limitation in forest herbs. *Journal of Vegetation Science* 20, 209–223.  
<https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.05595.x>
- Bergès, L., Avon, C., Arnaudet, L., Archaux, F., Chauchard, S., Dupouey, J.-L., 2016. Past landscape explains forest periphery-to-core gradient of understorey plant communities in a reforestation context. *Diversity Distrib.* 22, 3–16.  
<https://doi.org/10.1111/ddi.12384>
- Bergès, L., Dupouey, J., 2021. Historical ecology and ancient forests: Progress, conservation issues and scientific prospects, with some examples from the French case. *J Veg Sci* 32. <https://doi.org/10.1111/jvs.12846>
- Bertouille, S., Duran, V., Fichet, V., Flamand, M.-C., Licoppe, A., Lievens, J., Linden, A., Malengreaux, C., Manet, B., Petit, F., Villers, M. 2015. Rapport Cerf 2014-2015. SPW / DGO3 / DEMNA et DNF, Gembloux. 76 p.
- Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., Bustamante, M., Cinderby, S., Davidson, E., Dentener, F., Emmett, B., Erisman, J.-W., Fenn, M., Gilliam, F., Nordin, A., Pardo, L., De Vries, W., 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications* 20, 30–59. <https://doi.org/10.1890/08-1140.1>
- Bobiec, A., 2012. Białowieża Primeval Forest as a remnant of culturally modified ancient forest. *Eur J Forest Res* 131, 1269–1285. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0597-6>
- Bobiec, A., 2002. Białowieża Primeval Forest, the largest area of natural deciduous lowland forest in Europe. *International Journal of Wilderness* 8.
- Bogaert, J., 2021. Cours de concepts d'écologie du paysage, Gembloux, Belgique.
- Bossuyt, B., Deckers, J., Hermy, M., 1999b. A field methodology for assessing man-made disturbance in forest soils developed in loess. *Soil Use and Management* 15, 14–20.  
<https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1999.tb00056.x>
- Bossuyt, B., Hermy, M., 2001. Influence of land use history on seed banks in European temperate forest ecosystems: a review. *Ecography* 24, 225–238.  
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2001.240213.x>
- Bossuyt, B., Hermy, M., Deckers, J., 1999. Migration of herbaceous plant species across ancient and recent forest ecotones in central Belgium. *Journal of Ecology* 87, 628–638.
- Cateau, E., Larrieu, L., Vallauri, D., Savoie, J.-M., Touroult, J., Brustel, H., 2015. Ancienneté et maturité : deux qualités complémentaires d'un écosystème forestier. *Comptes Rendus Biologies* 338, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2014.10.004>
- Claessens, H., Prévot, C., Lisein, J., 2021. Guide d'interprétation de la flore indicatrice en forêt. *Forêt Nature*, 384 p.

## Références bibliographiques.

- Claessens, H., Wibail, L., 2022. Les habitats forestiers. Dans : *Les Habitats d'Intérêt Communautaire de Wallonie. Publication du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (SPW ARNE)*. Série « Faune – Flore – Habitats » n° 11, Gembloux : 296 p
- Compton, J.E., Boone, R.D., 2000. LONG-TERM IMPACTS OF AGRICULTURE ON SOIL CARBON AND NITROGEN IN NEW ENGLAND FORESTS. *Ecology* 81, 2314–2330. <https://doi.org/10.1890/0012-9658>
- Corvol, A. (Ed.), 2004. Les forêts d'Occident: Du Moyen Âge à nos jours. Presses universitaires du Midi. <https://doi.org/10.4000/books.pumi.24831>
- Dubois, J.J., Tack, G., Van Den Brecht, P., Hermy, M., 1993. Bossen van Viaanderen. *Een historische ecologie*. Dans: *Hommes et Terres du Nord*, 1995/3. La France du Nord dans l'Europe du Nord-Ouest : les nouvelles données et les infrastructures de transport. p.167-168.
- Dumonceau, D., 1770. De l'Exploitation des Bois, ou Moyens de tirer un Parti avantageux des Taillis, Demi-Futaies et Hautes-Futaies, et d'en faire une juste Estimation: Avec la Description des Arts qui se pratiquent dans les Forêts.
- Dupouey *et al.*, J. L., 2002. La végétation des forêts anciennes. *Revue forestière française* LIV, 521–532.
- Dupouey, J L, Dambrine, E., Laffite, J.D., Moares, C., 2002b. Irreversible Impact of past Land Use on Forest Soils and Biodiversity.
- Dzwonko, Z., 2001. Assessment of light and soil conditions in ancient and recent woodlands by Ellenberg indicator values: *Using Ellenberg indicator values in woodlands*. *Journal of Applied Ecology* 38, 942–951. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00649.x>
- Ehrlén, J., Lehtilä, K., 2002. How perennial are perennial plants? *Oikos* 98, 308–322. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980212.x>
- Falkengren-Grerup, U., Tyler, G., 1993. Experimental evidence for the relative sensitivity of deciduous forest plants to high soil acidity. *Forest Ecology and Management* 60, 311–326. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90086-3](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90086-3)
- Flensted, K.K., Bruun, H.H., Ejrnæs, R., Eskildsen, A., Thomsen, P.F., Heilmann-Clausen, J., 2016. Red-listed species and forest continuity – A multi-taxon approach to conservation in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 378, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.029>
- Georges-Leroy, M., Bock, J., Dambrine, É., Dupouey, J.-L., 2011. Apport du lidar à la connaissance de l'histoire de l'occupation du sol en forêt de Haye. *archeosciences* 117–129. <https://doi.org/10.4000/archeosciences.3015>
- Georges-Leroy, M., Bock, J., Dambrine, É., Dupouey, J.-L., Etienne, D., 2013. LIDAR HELPS TO DECIPHER LAND-USE HISTORY IN LORRAIN, FRANCE.
- Giardino, J.R., Houser, C., 2015. Principles and dynamics of the critical zone, *Developments in earth surface processes*. Elsevier, Amsterdam Boston.
- Goovaerts, P., Frankart, R., Gerard, G., 1990. Effet de la succession de différentes affectations sur les propriétés chimiques de pedons en Fagne de Chimay (Belgique). *Pedologie* XL-2, 179-194
- Grime, J.P., Hodgson, J.G., Hunt, R., 1988. Comparative plant ecology: a functional approach to common British species. Unwin Hyman, London ; Boston.
- Guetté, A., Carruthers-Jones, J., Godet, L., Robin, M., 2018. « Naturalité » : concepts et méthodes appliqués à la conservation de la nature. *cybergeo*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.29140>
- Geudens, G., Verheyen, K., Degraeve, F., Carnol, M., 2006. FEASIBILITY OF FOREST CONVERSION : Can conversion of secondary coniferous into deciduous forest enhance biodiversity ? Dans : *A meta-analysis of forest type effects on element deposition and leaching*. Belgian Science Policy. p. 37-43.

Références bibliographiques.

- Hamburg, S. P., 1984. Effects of forest growth on soil nitrogen and organic matter pools following release from subsistence agriculture. Dans : E. L. Stone. *Forest soils and treatment impacts. Proceedings of the Sixth North American Forest Soils Conference (June 1983)*. p. 145-158.
- Hermý, M., 1994. Effects of former land use on plant species diversity and pattern in European deciduous woodlands, in: Boyle, T.J.B., Boyle, C.E.B. (Eds.), *Biodiversity, Temperate Ecosystems, and Global Change*, NATO ASI Series. Springer Berlin Heidelberg, p. 123–144.
- Hermý, M., 2015. Evolution and changes in the understorey of deciduous forests : lagging behind drivers of change. Dans : Kirby, K J., Watkins, C., dir. *Europe's changing woods and forests : from wildwood to managed landscapes*. Wallingford : CABI. p. 174-186. doi : 10.1079/9781780643373.0000
- Hermý, M., Honnay, O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., Lawesson, J.E., 1999. An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological conservation* 91, 9–22.
- Hermý, M., Verheyen, K., 2007. Legacies of the past in the present-day forest biodiversity: a review of past land-use effects on forest plant species composition and diversity, in: Nakashizuka, T. (Ed.), *Sustainability and Diversity of Forest Ecosystems*. Springer Japan, pp. 361–371.
- Hofmeister, J., Hošek, J., Brabec, M., Hermý, M., Dvořák, D., Fellner, R., Malíček, J., Palice, Z., Tenčík, A., Holá, E., Novozámská, E., Kuras, T., Trnka, F., Zedek, M., Kašák, J., Gabriš, R., Sedláček, O., Tajovský, K., Kadlec, T., 2019. Shared affinity of various forest-dwelling taxa point to the continuity of temperate forests. *Ecological Indicators* 101, 904–912. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.018>
- Holmes, M.A., Matlack, G.R., 2018. Assembling the forest herb community after abandonment from agriculture: Long-term successional dynamics differ with land-use history. *J Ecol* 106, 2121–2131. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12970>
- Holmes, M.A., Matlack, G.R., 2017. Forest micro-environment develops through time: Changes in physical and structural heterogeneity follow abandonment from two forms of agriculture. *Forest Ecology and Management* 404, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.034>
- Honnay, O., Bossuyt, B., Verheyen, K., Butaye, J., Jacquemyn, H., Hermý, M., 2002. Ecological perspectives for the restoration of plant communities in European temperate forests.
- Honnay, O., DEGROOTE, B., HERMY, M., 1998. Ancient-forest plant species in western Belgium: a species list and possible ecological mechanisms. *Belgian Journal of Botany* 130, 139–154.
- Honnay, O., Endels, P., Vereecken, H., Hermý, M., 1999. The role of patch area and habitat diversity in explaining native plant species richness in disturbed suburban forest patches in northern Belgium. *Diversity and Distributions*.
- Honnay, O., Hermý, M., Coppin, P., 1999c. Impact of habitat quality on forest plant species colonization. *Forest Ecology and Management* 115, 157–170. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00396-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00396-X)
- Honnay, Olivier, Hermý, M., Coppin, P., 1999b. Effects of area, age and diversity of forest patches in Belgium on plant species richness, and implications for conservation and reforestation. *Biological conservation* 87, 73–84.
- Honnay, Olivier, Verheyen, K., Butaye, J., Jacquemyn, H., Bossuyt, B., Hermý, M., 2002b. Possible effects of habitat fragmentation and climate change on the range of forest plant species. *Ecol Letters* 5, 525–530. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00346.x>

## Références bibliographiques.

- Jabs-Sobocińska, Z., Affek, A.N., Matuszkiewicz, J.M., 2022. The list of ancient-forest plant species revisited – Field verification in the Carpathian ancient and recent forests. *Forest Ecology and Management* 512, 120152. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120152>
- Jacquemin, F., Kervyn, T., Branquart, E., Delahaye, L., Dufrière, M., Claessens, H., 2014. Les forêts anciennes en Wallonie. 1ère partie : Concepts généraux.
- Jacquemyn, H., Butaye, J., Dumortier, M., Hermy, M., Lust, N., 2001. Effects of age and distance on the composition of mixed deciduous forest fragments in an agricultural landscape. *Journal of Vegetation Science* 12, 635–642. <https://doi.org/10.2307/3236903>
- Jacquemyn, H., Butaye, J., Hermy, M., 2000. Kolonisatie van jonge bosfragmenten – de rol van ruimtelijke isolatie en implicaties voor bosuitbreiding. *Landschap* 17, 165–176
- Jaroszewicz, B., Cholewińska, O., Gutowski, J.M., Samojlik, T., Zimny, M., Latałowa, M., 2019. Białowieża Forest—A Relic of the High Naturalness of European Forests. *Forests* 10, 849. <https://doi.org/10.3390/f10100849>
- Kervyn, T., Jacquemin, F., Branquart, É., Delahaye, L., Dufrière, M., Claessens, H., 2014. LES FORÊTS ANCIENNES EN WALLONIE 2ÈME PARTIE : CARTOGRAPHIE.
- Kervyn, T., Scohy, J.-P., Marchal, D., Collette, O., Hardy, B., Delahaye, L., Wibail, L., Jacquemin, F., Dufrière, M., Claessens, H., 2017. La gestion patrimoniale des forêts anciennes de Wallonie (Belgique). *Rev. For. Fr.* 545. <https://doi.org/10.4267/2042/67878>
- Kervyn, T., Scohy, J.P., Marchal, D., Collette, O., Hardy, B., Delahaye, L., Wibail, L., Jacquemin, F., Dufrière, M., Claessens, H., 2018. Managing wallonian ancient woodlands as heritage. Dans : *Into the woods*. Éditions Quae, Versailles Cedex.
- Koerner, W., Dambrine, E., Dupouey, J.L., Benoît, M., 1999. δ 15 N of forest soil and understorey vegetation reflect the former agricultural land use. *Oecologia* 121, 421–425. <https://doi.org/10.1007/s004420050947>
- Koerner, W., Dupouey, J.L., Dambrine, E., Benoît, M., 1997. Influence of Past Land Use on the Vegetation and Soils of Present Day Forest in the Vosges Mountains, France. *The Journal of Ecology* 85, 351. <https://doi.org/10.2307/2960507>
- Kolk, J., Naaf, T., 2015. Herb layer extinction debt in highly fragmented temperate forests – Completely paid after 160 years? *Biological Conservation* 182, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.12.004>
- Lalechère, E., Jabot, F., Archaux, F., Deffuant, G., 2018. Projected regional forest plant community dynamics evidence centuries-long effects of habitat turnover. *J Veg Sci* 29, 480–490. <https://doi.org/10.1111/jvs.12631>
- Lalechère, E., Jabot, F., Archaux, F., Deffuant, G., 2017. Non-equilibrium plant metapopulation dynamics challenge the concept of ancient/recent forest species. *Ecological Modelling* 366, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.10.008>
- Massart, J., 1912. *Pour la protection de la nature en Belgique*. Bruxelles : H. Lamertin.
- Messing, I., Alriksson, A., Johansson, W., 1997. Soil physical properties of afforested and arable land. *Soil Use and Management* 13, 209–217
- Mikusiński, G., Bubnicki, J.W., Churski, M., Czeszczewik, D., Walankiewicz, W., Kuijper, D.P.J., 2018. Is the impact of loggings in the last primeval lowland forest in Europe underestimated? The conservation issues of Białowieża Forest. *Biological Conservation* 227, 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.09.001>
- OEWB, 2019. *Panorabois*. Office Economique Wallon du Bois.
- Paillet, Y., Bergès, L., 2010. Naturalité des forêts et biodiversité : une comparaison par méta-analyse de la richesse spécifique des forêts exploitées et des forêts non exploitées en Europe.

- Peterken, G.F., 1981. Woodland Conservation and Management. Springer US, Boston, MA.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2857-3>
- Peterken, G.F., 1977. Habitat conservation priorities in British and European woodlands. *Biological Conservation* 11, 223–236. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(77\)90006-4](https://doi.org/10.1016/0006-3207(77)90006-4)
- Rackham, O., 2008. Ancient woodlands: modern threats. *New Phytologist* 180, 571–586.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02579.x>
- Richter, D.D., Markewitz, D., Wells, C.G., Allen, H.L., April, R., Heine, P.R., Urrego, B., 1994. Soil Chemical Change during Three Decades in an Old-Field Loblolly Pine (*Pinus Taeda* L.) Ecosystem. *Ecology* 75, 1463–1473.  
<https://doi.org/10.2307/1937469>
- Sciama, D., Augusto, L., Dupouey, J.-L., Gonzalez, M., Moares Domínguez, C., 2009. Floristic and ecological differences between recent and ancient forests growing on non-acidic soils. *Forest Ecology and Management* 258, 600–608.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.04.027>
- Stefańska-Krzaczek, E., Kaćki, Z., Szypuła, B., 2016. Coexistence of ancient forest species as an indicator of high species richness. *Forest Ecology and Management* 365, 12–21.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.012>
- Thompson, R.N., Hope, J.C.E., 2005. Restoring planted ancient woodland sites — Assessment, silviculture and monitoring. *Botanical Journal of Scotland* 57, 211–227.  
<https://doi.org/10.1080/03746600508685099>
- Tuilier, P., 2004. Entre déboisement, boisement et reboisement, deux siècles d’histoire des forêts belges (1750-1950). Dans : Corvol, A., dir. *Les forêts d’Occident : Du Moyen Âge à nos jours*. Presses universitaires du Midi. p. 279-298. doi : 10.4000/books.pumi.24831
- Van Der Veken, S., Rogister, J., Verheyen, K., Hermy, M., Nathan, R., 2007. Over the (range) edge: a 45-year transplant experiment with the perennial forest herb *Hyacinthoides non-scripta*. *Journal of Ecology* 95, 343–351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01208.x>
- Vanhellemont, M., Verheyen, K., Baeten, L., 2014. Relating changes in understorey diversity to environmental drivers in an ancient forest in northern Belgium. *Plecevo* 147, 22–32.  
<https://doi.org/10.5091/plecevo.2014.921>
- Vellend, M., Verheyen, K., Jacquemyn, H., Kolb, A., Van Calster, H., Peterken, G., Hermy, M., 2006. EXTINCTION DEBT OF FOREST PLANTS PERSISTS FOR MORE THAN A CENTURY FOLLOWING HABITAT FRAGMENTATION. *Ecology* 87, 542–548. <https://doi.org/10.1890/05-1182>
- Verheyen, K., Bossuyt, B., Hermy, M., Tack, G., 1999. The land use history (1278-1990) of a mixed hardwood forest in western Belgium and its relationship with chemical soil characteristics. *Journal of Biogeography* 26, 1115–1128.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1999.00340.x>
- Verheyen, K., Guntenspergen, G.R., Biesbrouck, B., Hermy, M., 2003b. An integrated analysis of the effects of past land use on forest herb colonization at the landscape scale: *Land use and forest herb colonization*. *Journal of Ecology* 91, 731–742.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00807.x>
- Verheyen, K., Hermy, M., 2004. Recruitment and growth of herb-layer species with different colonizing capacities in ancient and recent forests. *Journal of Vegetation Science* 15, 125–134. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02245.x>
- Verheyen, K., Honnay, O., Motzkin, G., Hermy, M., Foster, D.R., 2003. Response of forest plant species to land-use change: a life-history trait-based approach. *J Ecology* 91, 563–577. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00789.x>

Références bibliographiques.

Woodland Trust, 2020. Ancient woodland restoration : Introduction to the principles of restoration Management.

Sites consultés :

SPW, n.d. :

<https://geoportail.wallonie.be/home/ressources/autour-du-geoportail/foret-wallonne-anciennete-histoire.html>

SPW, 2019. Ancienneté des forêts actuelles. Géoportail de la Wallonie :

<https://geoportail.wallonie.be/catalogue/cf140ebb-797e-44fb-bab0-c240f165e1e9.html>

## 4. Annexes

### Annexe de l'état de l'art

#### **Annexe I : Description non exhaustive des diverses cartes pertinentes en Wallonie sur le sujet des forêts anciennes.**

##### 1. Cartes d'occupation du sol :

La **carte de Ferraris** tracée entre 1771 et 1774 couvre à elle seule 96,5 % de la wallonie avec une précision de 100 *m*. Les lacunes de cette cartographie sont complétées par la carte de Cassini et de l'Allemagne de la guerre de sept ans. Il est sur base de ces affirmations, aisé de comprendre que la date seuil choisie pour la Belgique est 1770 (Kervyn *et al.*, 2014).

La **carte de Vandermaelen**, réalisée entre 1846 et 1854 englobe une grande partie de la Wallonie (94 %). Cette carte à la précision remarquable de 20 mètres est particulièrement intéressante tant elle correspond à la période du minimum forestier. En parallèle, la carte du **dépôt de la Guerre et de la Topographie** couvre la même surface, cette dernière carte plus précise est la première à faire la différenciation entre feuillus et résineux (Kervyn *et al.*, 2014).

Entre 1878 et 1945 l'**Institut de Cartographie Militaire** produisit plusieurs cartes qui permettent aujourd'hui de discuter l'occupation des terres de cette période. Du 20<sup>e</sup> siècle à aujourd'hui, des cartes sont produites par l'**Institut Géographique National**. Ces cartes très précises (1 à 2 mètres) couvrent l'ensemble de la Belgique et apportent des informations essentielles sur l'utilisation du sol (Kervyn *et al.*, 2014).

L'ensemble de ces documents aujourd'hui numérisés par le Service Public de Wallonie peuvent être consultés en ligne à l'aide d'un géoportail tel que WalOnMap. Ils permettent de retracer rapidement l'histoire d'un massif forestier sur ces deux derniers siècles.

##### 2. Cartes annexes :

D'autres cartes disponibles à l'échelle wallonne sont également très intéressantes à considérer. La présence des aires de Faulde permet d'affirmer que la forêt étudiée était présente il y a au moins 250 ans (période phare de l'utilisation du charbon de bois) et que le relief de son sol n'a donc pas été modifié (Kervyn *et al.*, 2018).

Le LiDAR a déjà été utilisée en archéologie forestière afin de mettre en évidence les activités humaines passées (Georges-Leroy *et al.*, 2013 ; Georges-Leroy *et al.*, 2011). L'interprétation correcte de ces données nécessite cependant parfois des connaissances avancées.

#### **Annexe II : Description des termes « dette d'extinction », « crédit de colonisation » et « temps de relaxation ».**

La **dette d'extinction** d'un écosystème résulte d'un changement dans les conditions de ce dernier. Suite à une fragmentation du paysage, les taches forestières sont censées voir leur nombre d'espèces diminuer. Mais ce processus n'est pas instantané. L'écosystème a donc une richesse « apparente » qui n'est pas en adéquation avec sa capacité réelle. Le phénomène inverse est appelé « **crédit de colonisation** » lorsque la richesse apparente est plus faible. Le temps nécessaire pour atteindre un équilibre entre ces deux *pools* est appelé « **temps de relaxation** ».

Ce paragraphe est écrit sur base du sens donné à ces termes dans Kolk & Naaf (2015), Lalechère *et al.* (2018), Vellend *et al.* (2006).



**Annexe III : Mise en évidence de la diversité des listes disponibles pour quelques pays (Hermy, 2015).**

Country/region	Reference(s)
Belgium	Honnay <i>et al.</i> , 1998
Denmark	Petersen, 1994; Graae, 2000; Graae <i>et al.</i> , 2003
France	Sciama <i>et al.</i> , 2009
Germany	Wulf, 1997
Great Britain	Rackham, 1980; Peterken and Game, 1984
Hungary	Kelemen <i>et al.</i> , 2014
Ireland	Perrin and Daly, 2010
Italy	De Sanctis <i>et al.</i> , 2010
Japan	Ito <i>et al.</i> , 2004
Poland	Dzwonko and Loster, 1989; Jakubowska-Gabara and Mitka, 2007; Orczewska, 2010
Sweden	Brunet and Von Oheimb, 1998
USA	Matlack, 1994b
Europe and/or NE USA	Hermy <i>et al.</i> , 1999; Verheyen <i>et al.</i> , 2003; Hermy and Verheyen, 2007

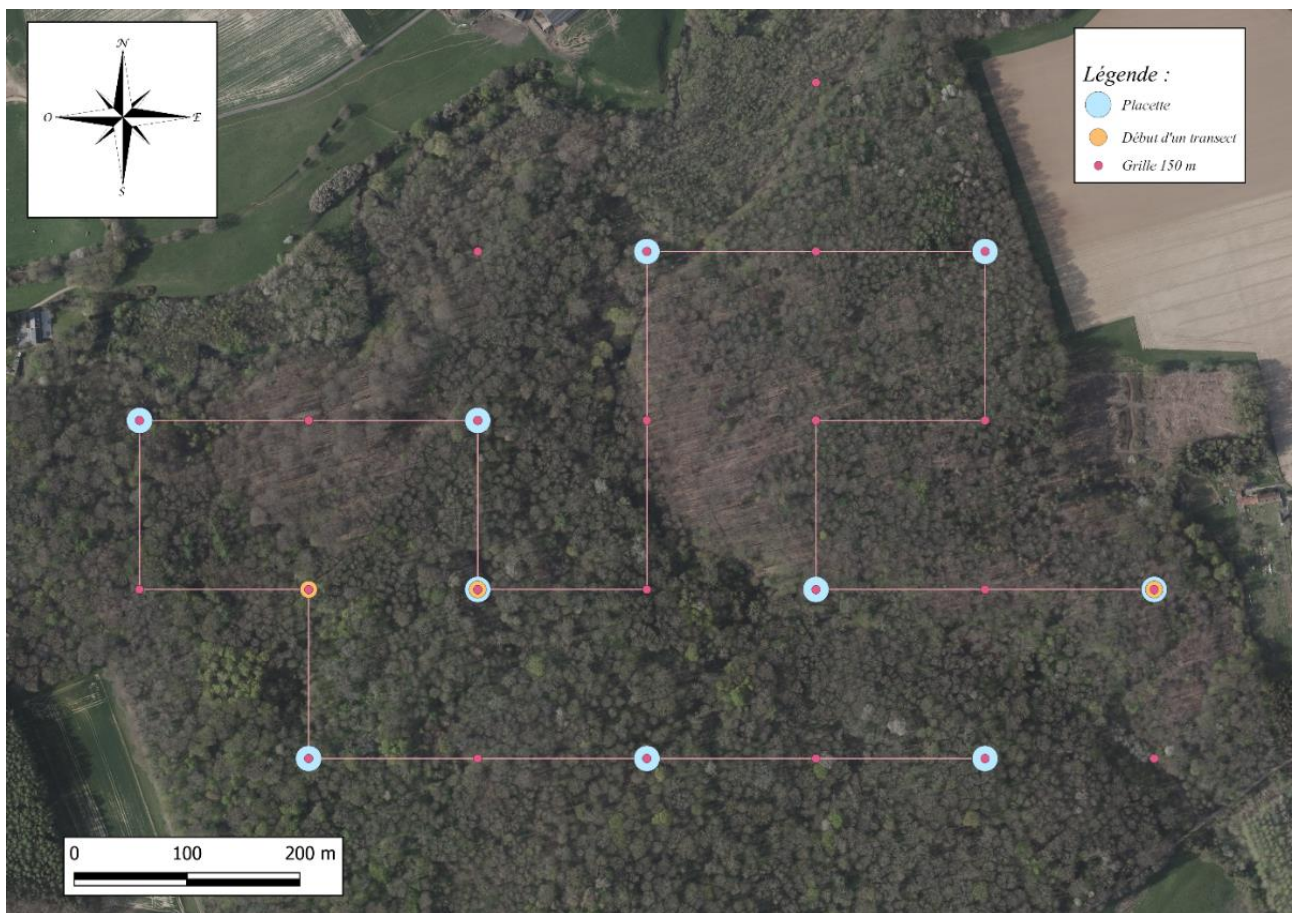
## Annexe de l'analyse prospective des forêts anciennes

### Annexe I : Exemplaire de la liste des espèces des forêts « peu perturbées », selon Claessens & Wibail (2022).

Habitat Natura 2000	9110	9120	9130	9150	9160	9180	9190	91D0	91E0_91F0
<i>Actaea spicata</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Allium ursinum</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	1
<i>Anemone nemorosa</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	1
<i>Anemone ranunculoides</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	1
<i>Blechnum spicant</i>	1	1	0	0	1	0	1	1	0
<i>Campanula trachelium</i>	0	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>Carex digitata</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Carex remota</i>	1	1	0	0	1	0	0	0	1
<i>Carex strigosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Chrysosplenium alternifolium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Chrysosplenium oppositifolium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Convallaria majalis</i>	1	1	1	1	1	0	0	0	0
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	1
<i>Festuca altissima</i>	1	0	1	0	0	1	0	0	0
<i>Galium odoratum</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>Geum rivale</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Helleborus viridis</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	1
<i>Hordelymus europaeus</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Hyacinthoides non-scripta</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Hypericum hirsutum</i>	0	0	1	1	1	0	0	0	0
<i>Lamium galeobdolon</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>Lathraea squamaria</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Luzula luzuloides</i>	1	0	1	0	1	1	1	0	0
<i>Luzula pilosa</i>	1	1	1	0	1	1	0	0	1
<i>Luzula sylvatica</i>	1	1	0	0	1	1	1	1	1
<i>Maianthemum bifolium</i>	1	1	1	0	0	0	1	0	0
<i>Melica nutans</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Melica uniflora</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>Mercurialis perennis</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1

<i>Milium effusum</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	1
<i>Neottia nidus-avis</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Oxalis acetosella</i>	1	1	1	0	1	1	1	0	1
<i>Paris quadrifolia</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>Phyteuma spicatum</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>Polygonatum multiflorum</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	1
<i>Polystichum aculeatum</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Primula elatior</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	1
<i>Pulmonaria obscura</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Ranunculus auricomus</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>Ranunculus platanifolius</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Sanicula europaea</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Viola reichenbachiana</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1

## Annexe II : Exemple illustré du protocole pour le bois de l'Hospital.



### Annexe III : Etude d'impact du biais causé par le protocole.

La comparaison de transects ne révélant pas d'un même habitat est une erreur non négligeable, surtout sur un si petit jeu de donnée. Nous proposons donc une analyse de l'amplitude de cette erreur.

L'habitat ayant été en majorité rencontré sont les chênaies-charmaies et chênaies-frênaies subatlantiques climaciques (9160). Le second habitat qui a le plus été recensé est la hêtraie neutrophile (9130). La variante des chênaies qui a été la plus traversée est la variante neutrophile dont la flore est somme toute assez proche de celle observable dans l'habitat 9130 (Claessens & Wibail, 2022). Une rapide comparaison de la liste utilisée pour ces deux habitats, et en prenant uniquement en considération les espèces qui ont été observées sur le terrain plus de une fois, montre que seulement deux espèces pourraient être absentes des transects réalisés en hêtraie neutrophile pour une raison impliquant l'habitat (*Carex remota* et *Luzula sylvatica*).

Ensuite, les forêts alluviales (91E0 et 91F0) et les hêtraies acidophiles (9120) étaient présentes minoritairement et toujours en mélange avec l'habitat 9160. Les transects étant de très grande taille, on peut minorer leur impact sur l'analyse.

Afin de vérifier ces hypothèses, il a été décidé de retirer les transects dont il était certain qu'ils ne relevaient pas de l'habitat 9160. Une filtration a été réalisée grâce aux nombreuses photos et notes prises sur le terrain et aux placettes où la végétation était décrite de manière qualitative. Sur les 45 transects réalisés en forêt ancienne, 29 ont été identifiés comme « pur » (35%), les 16 autres s'agissaient pour la plupart d'autres habitats très souvent mélangés avec le 9160. Pour les forêts récentes 14 transects ont été extraits comme « purs », seul 4 appartiennent à l'habitat 9130. De fait la proportion de transects appartenant à d'autres habitats que le 9160 est relativement semblable entre les forêts récentes et anciennes. Il est donc attendu que la variation introduite soit équivalente

Les analyses décrites dans le matériel et méthode ont été réalisées sur ce jeux de données. Les conclusions se sont avérées assez semblables. La richesse n'est toujours pas différente entre les forêts anciennes et récentes. Un groupe contenant uniquement des forêts anciennes et caractérisé par la jacinthe a pu être isolé.

Pour ces raisons et pour cause de la taille initiale du jeu de donnée, il a été décidé de baser les analyses sur la table des abondances non filtrée. Il est bien évident qu'une attention toute particulière a été portée tout au long de ce travail afin de confirmer qu'aucun axe ou qu'aucune conclusion ne soit le résultat d'une différence d'habitats.

### Annexe IV : Classes définies pour la mesure de l'abondance.

Numéro de la classe :	Description de la classe :
1	Un ou très peu d'individus isolés
2	Plusieurs individus ne formant pas une plage
3	Plage inférieure à 1 mètre
4	Plage s'étalant sur plusieurs mètres
5	Plage s'étalant sur de nombreux mètres, créant un effet "à perte de vue"

Il pourrait être reproché que les classes définies ne sont pas adaptées à la végétation recensée et que cela pourrait inclure des conclusions biaisées. Effectivement, des espèces ne formant naturellement pas de plages ne pourront en toutes logique jamais atteindre une classe plus haute que la troisième.

L'analyse a donc été conduite dans un premier temps sur des simples données de présence / absence. Les indices de « simple concordance » et de « Jaccard » ont été alors utilisé pour convenir à ce type de données. Les conclusions se sont révélées semblables aux analyses réalisées avec l'abondance.

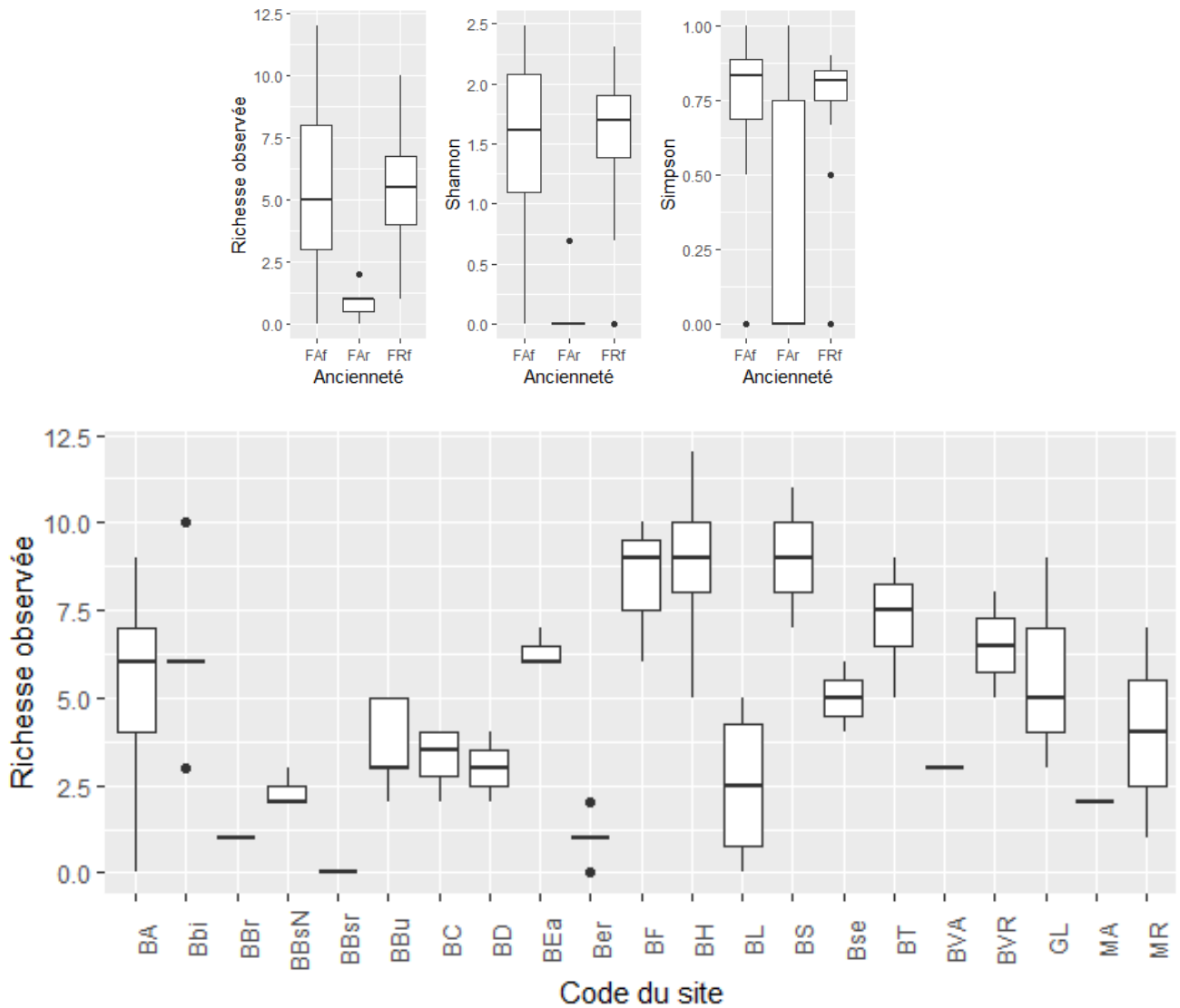
**Annexe V : Table reprenant l'ensemble des sites prospectés, leur identifiant, leur aire, les habitats qu'ils contiennent et le nombre de placettes qui y ont été réalisées.**

<b>Forêt :</b>	<b>Statut :</b>	<b>Code :</b>	<b>Habitats rencontrés :</b>	<b>Aire considérée (ha) :</b>	<b>Nombre de placettes réalisées :</b>
<b>Bois de Grand-Leez</b>	FRf	GL	9160	111.2278	9
<b>Bois de Fernelmont</b>	FAf	BF	9160 et (91E0 et 91F0)	108.7323	13
<b>Bois de Beusart partie Nord</b>	FAf	BBsN	9120 et 9160	37.0792	4
<b>Bois du Vieusart récent</b>	FRf	BVR	9160 et (91E0 et 91F0) et 9130	25.199	4
<b>Bois du Vieusart ancien</b>	FAf	BVA	9130	9.1882	2
<b>Manipre récent</b>	FRf	MR	9160	29.1293	1
<b>Manipre ancien</b>	FAf	MA	9130	5.4992	4
<b>Bois de l'Ermitage</b>	FAf	BEa	9160 et 9130	29.3802	5
<b>Bois du Buis</b>	FAf	BBu	9160	110.9681	17
<b>Bois de Dion</b>	FRf	BD	9160	28.7067	5
<b>Bois de Laurensart</b>	FAf	BL	9120 et 9160	53.4137	9
<b>Bois de Chénemont</b>	FAf	BC	9160	37.5614	6
<b>Bois de Spy</b>	FAf	BS	9160	34.7427	4
<b>Bois de Tronquoy</b>	FAf	BT	9160	69.3024	11
<b>Bois de Bierwart</b>	FRf	Bbi	9160	76.5784	8
<b>Bois du Sépulcre</b>	FRf	Bse	9130	24.1805	4
<b>Bois de l'Hopital</b>	FAf	BH	9160 et (91E0 et 91F0) et 9130	65.4944	10
<b>Bois d'Arpe</b>	FAf	BA	9130 et 9160	54.9862	9
<b>Bois de Beusart résineux</b>	FAr	BBsr	G3.F (Code eunis)	18.6346	2
<b>Bois de Bercuit-résineux</b>	FAr	BBr	G3.F (Code eunis)	12.2464	2
<b>Bois de la Bovrée récent</b>	FRf	BBoR	9160	27.2461	4
<b>Bois de l'Ermitage-résineux</b>	FAr	BEr	G3.F (Code eunis)	53.2148	9

## Annexe VI : Jeux de données floristiques compilés à l'échelle de la Wallonie.

- Inventaire Permanent des Ressources Forestières wallonnes (IPRF).
- Centre de cartographie phytosociologique.
- Natura 2000
- Unité de Gestion des Ressources Forestières et des Milieux Naturels (Gembloux Agro-Bio Tech).

## Annexe VII : Tableaux représentant la richesse spécifique à l'échelle du transect et à l'échelle du site.



**Annexe VIII : Mise en évidence des diverses transformations réalisées sur les données pédologiques afin de se rapprocher de la condition de normalité de l'ANOVA.**

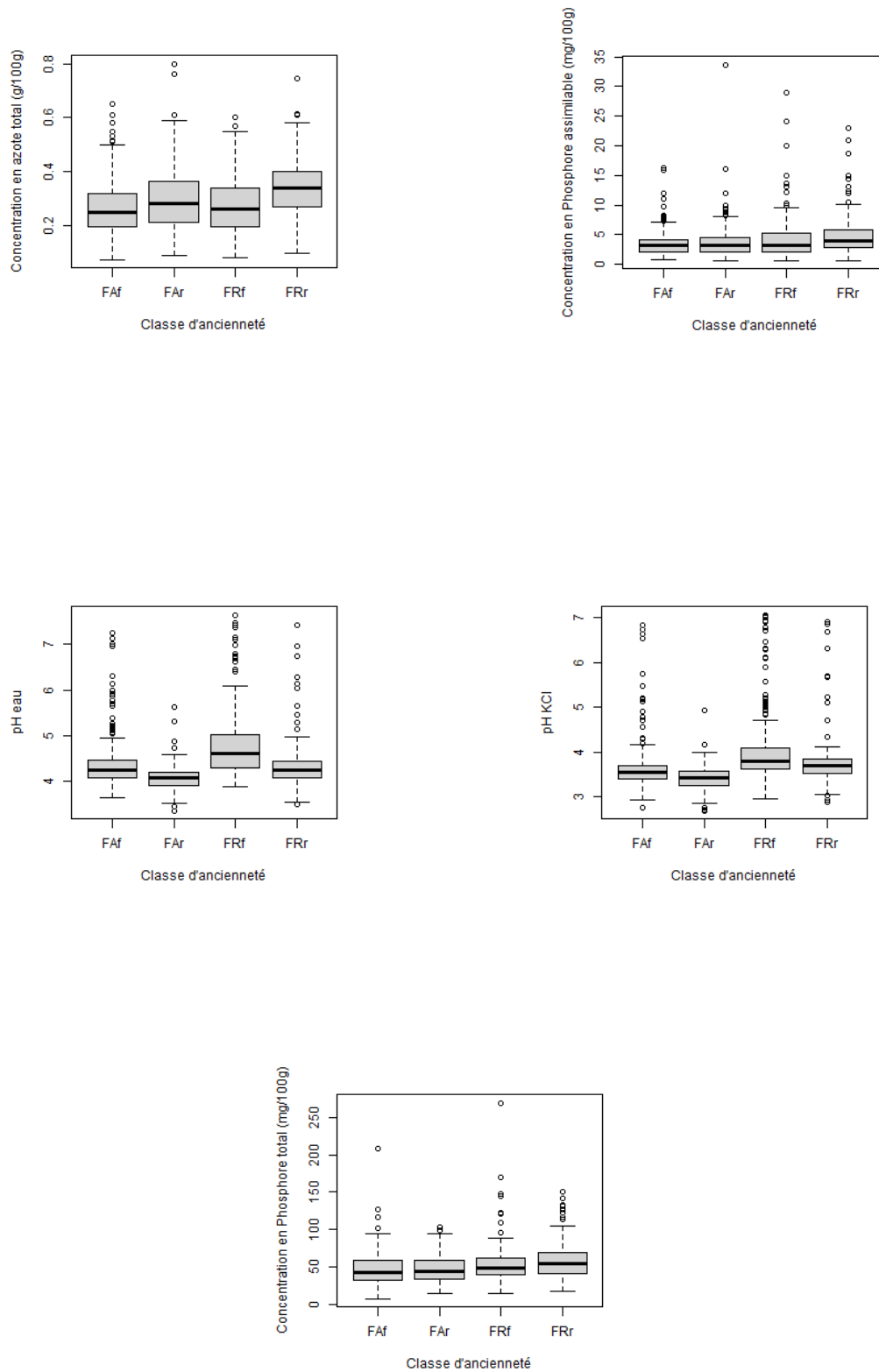
Variable :	Shapiro Wilk avant transformation :	Transformation :	Shapiro Wilk après transformation :
<b>P total</b>	< 2.2E-16	Logarithmique	1.20E-09
<b>P assimilable</b>	< 2.2E-16	Logarithmique	4.73E-06
<b>N</b>	4.03E-12	Box Cox ( $\lambda = -4.016$ )	5.69E-01
<b>pH eau</b>	< 2.2E-16	Box Cox ( $\lambda = 0.338$ )	2.82E-05
<b>pH KCL</b>	< 2.2 <sup>E</sup> -16	Box Cox ( $\lambda = -3.195$ )	1.68E-12

**Annexe IX : Réflexion sur la liste utilisée**

Les résultats de cette étude sont bien évidemment conditionnés par la liste d'espèces des forêts anciennes utilisées. L'utilisation d'une liste différente aurait mené à des conclusions différentes. La liste utilisée reprend de nombreuses espèces définies communément par d'autres listes comme anciennes. Son application à l'échelle de la Wallonie sur les données floristique de l'inventaire permet de plus une ségrégation correcte des forêts anciennes et récentes. Sa pertinence n'est donc pas à remettre en cause.

Par ailleurs seul 25 espèces différentes ont été observées dans la liste des 43 espèces proposées. Ce fait s'explique par diverses raisons. Cinq n'ont pas été rencontrées car leur habitat n'était pas présent dans les forêts prospectées. Deux n'ont sans doute pas été détectées à cause de difficultés d'identifications (*Festuca altissima*, *Galium odoratum*). Pour les 11 autres, une analyse a été menée sur base des données floristiques récoltées par l'inventaire wallon forestier permanent. Leur présence / absence a été recensé dans moins de 0,2 % des relevés réalisés. Cela ne concerne que 2 espèces des 25 observées (*Carex strigosa* et *Sanicula europaea*). Il en revient qu'elles n'ont pas été observées en raison de leur rareté. De fait, la majorité des espèces présentes dans la liste, pour les habitats rencontrés, dans un ordre de rareté raisonnable pour le nombre de sites considérés, ont, selon nous, été observées.

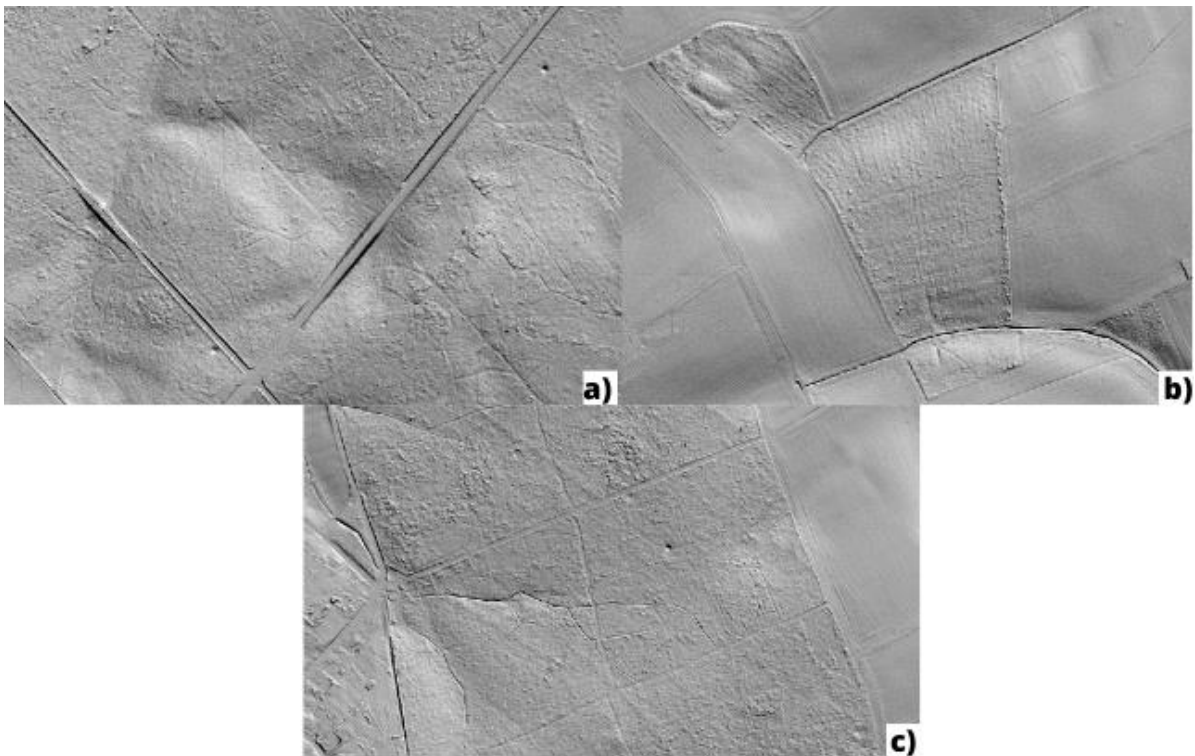
## Annexe X : Répartition des données pédologiques étudiées pour chaque classe d'ancienneté.





## Annexe XI : Analyse du bois de Grand-Leez à l'aide des cartes LiDAR.

Le bois de Grand-Leez est visible sur la carte de Vandermaelen (1850), mais disparaît 15 ans après sur la carte du Dépôt de la Guerre et de la Topographie. Il semblerait qu'il soit redevenu boisé vers le début du vingtième siècle. Ce bois est tout particulièrement isolé dans une matrice agricole, le massif ancien le plus proche est le bois de Buis à approximativement deux kilomètres. Malgré son jeune âge, de nombreuses espèces des forêts anciennes y ont été recensées. En raison de son isolement, il est peu probable que l'apparition des EFA résulte d'une dispersion naturelle, la période agricole a selon plusieurs sources été relativement brève en raison de l'humidité de la zone et des coûts trop importants qu'auraient entraînés son drainage. Il a été décidé de se pencher sur la carte LiDAR en utilisant le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Le relief du bois de Grand-Leez a été comparé avec celui d'une forêt récente proche (non prospectée) et celui du bois de Buis.



a) Bois du Buis, b) Bois récent proche de Grand-Leez c) Bois de Grand-Leez.

Le relief du sol est à première vue plus proche de celui du bois du Buis que de celui de la forêt récente considérée. Des aires de Faulde sont également toujours visibles, cela signifie donc qu'il n'y a, du moins pas partout, eu un travail du sol ! Cela soutiendrait l'hypothèse de la survie des EFA à la période agricole...

Il est de toute évidence intéressant de constater que *Hyacinthoides non-scripta* y est relativement rare alors qu'à peine quelques kilomètres plus loin (bois du Buis) elle forme d'abondantes plages continues. L'espèce *Anemone nemorosa* semble en contre partie s'être particulièrement bien développée dans certaines parties du bois où elle forme des plages consistantes particulièrement visibles grâce à sa phénologie printanière (Mars - Mai) (Lambinon & Verloove, 2012).

