

---

## **Apport du diagnostic stationnel quant à la compréhension du dépérissement du chêne pédonculé(*Quercus robur* L.) en Ardenne**

**Auteur** : Lenz, Sébastien

**Promoteur(s)** : Claessens, Hugues

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

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

**Année académique** : 2016-2017

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/3034>

---

### *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.*

---

**APPORT DU DIAGNOSTIC STATIONNEL QUANT A  
LA COMPREHENSION DU DEPERISSEMENT DU  
CHENE PEDONCULE (*Quercus robur* L.) EN ARDENNE**

**SEBASTIEN LENZ**

**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 2016-2017**

**PROMOTEUR : CLAESSENS HUGUES**

©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.

**APPORT DU DIAGNOSTIC STATIONNEL  
QUANT A LA COMPREHENSION DU  
DEPERISSEMENT DU CHENE PEDONCULE  
(*Quercus robur* L.) EN ARDENNE**

**SEBASTIEN LENZ**

**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 2016-2017**

**PRPROMOTEUR : CLAESSENS HUGUES**

# Remerciements

Je souhaite ici remercier tous ceux et toutes celles qui ont contribué -directement ou indirectement- à l'élaboration de mon travail de fin d'études.

Premièrement, je tiens à remercier Monsieur Claessens, professeur à l'Unité de Gestion des Ressources forestières (ULg, Agro-Bio Tech), d'avoir accepté d'être mon promoteur pour cette longue épreuve qu'est le mémoire. Sa disponibilité, son avis critique et ses nombreux conseils m'ont été d'une grande aide tout au long de ce projet, que ce soit en me poussant à trouver de nouvelles solutions, en discutant avec moi ou en prenant le temps de relire ce travail.

Ensuite, je remercie Florent Wampach, ingénieur chargé de projet à l'Unité de Gestion des Ressources forestières (ULg Agro Bo Tech), pour sa collaboration ; les documents fournis et les réponses apportées à mes questions m'ont permis d'avoir matière à travailler et de murir ce travail.

Je souhaite également remercier Monsieur Lecomte et son équipe, pour les nombreux jeux de données qu'ils m'ont communiqués, ainsi que pour le temps qu'ils m'ont consacré en me montrant les méthodes d'échantillonnage spécifiques de l'IPRFW.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Julie Losseau, assistante de recherche à l'UCL, pour le temps qu'elle m'a accordé depuis le début de ce travail. L'entrevue que nous avons eue, ainsi que les nombreux échanges de mails m'ont permis d'avoir d'autres points de vue sur ma problématique et de l'envisager sous différents angles. Ses conseils et opinions m'ont grandement aidé lors de ma recherche documentaire.

Je remercie également Monsieur Leroy et Elodie Bay de l'observatoire Wallon de la Santé des Forêts d'avoir été mes points de contact au sein de cet organisme. Leurs conseils sur ma problématique ainsi que leurs réponses à mes nombreuses questions m'ont permis de diriger mon travail. Les techniciens de l'observatoire ont également ma gratitude pour la journée de formation Archi qu'ils m'ont prodiguée, ainsi que pour l'initiation à la méthode Depefeu.

Je souhaite aussi remercier Monsieur Brostaux, pour ses conseils judicieux quant à l'analyse statistique que j'ai dû réaliser sur mes données ; ceux-ci m'ont significativement aidé.

Je souhaiterai également remercier Marine Lognoul et toute sa famille pour leur soutien durant cette période difficile.

Je remercie également mes parents qui, par leur soutien moral et leurs encouragements, m'ont aidé à persévérer dans la direction que j'avais choisie.

J'adresse également un grand merci à Myriam et Pascal ainsi qu'à Christiane et Eric, qui m'ont hébergé lors de mes échantillonnages aux quatre coins de l'Ardenne dans ma quête ardue du chêne pédonculé.

Je tiens à remercier une nouvelle fois Florent Wampach, cette fois de m'avoir acheté au parrainage lorsque j'étais un lapin insouciant ainsi que pour le don d'une paire de chaussettes sèches lors de ma chute inopinée dans un ruisseau de la vallée de Rau de Pernelle.

Finalement, je souhaite remercier l'ensemble du master 2 de la section GFEN pour tous les bons moments passés ensemble et la bonne ambiance partagée ces trois dernières années.

## Résumé – Abstract

Lenz Sébastien (2017) -Apport du diagnostic stationnel quant à la compréhension du dépérissement du chêne pédonculé (*Quercus Robur* L.) en Ardenne. Travail de Fin d'Etudes. Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège 69 pages

### Résumé :

Ce travail a commencé par la compilation des différentes études portant sur le dépérissement du chêne pédonculé (*Quercus Robur* L.) en Ardenne belge en 2014. L'hypothèse émise était que l'inadéquation stationnelle serait le facteur déclenchant, mais le manque de données sur les chênaies en station ne permettait pas de la confirmer. L'objectif de notre recherche est d'étudier la relation entre le dépérissement et l'adéquation stationnelle des chênes pédonculés en Ardenne. Pour ce faire, des sites candidats ont été sélectionnés par cartographie afin de compléter le jeu de données provenant de l'Inventaire Permanent de la Ressource Forestière de Wallonie (IPRFW). En complément de l'étude réalisée conjointement avec l'IPRFW, des transects ont été établis à partir des sites identifiés. Ils ont été construits afin de regrouper différentes stations, et permettront une étude locale du dépérissement. Pour chaque placette analysée, les caractéristiques environnementales (sol, topographie, flore, ...) ont été collectées. En même temps, l'estimation de l'état sanitaire a été réalisée au moyen de la méthode Depefeu.

L'étude régionale n'a pas mis en évidence de différences entre l'adéquation stationnelle et le dépérissement. L'étude à l'échelle locale a démontré une différence de comportement par endroits. Sur certains sites, une différence apparaissait dans le diagnostic de l'état sanitaire ; les placettes en conditions stationnelles optimales présentaient un dépérissement moindre. Sur les autres sites, aucune différence n'apparaissait entre les stations. L'étude réalisée conjointement avec l'IPRFW, quant à elle, ne s'est pas révélée pertinente. Suite aux analyses, l'hypothèse est qu'en présence d'autres facteurs biotiques ou abiotiques, le dépérissement agit indépendamment de l'adéquation stationnelle. Il est nécessaire de caractériser le dépérissement à l'échelle locale si l'on désire étudier la relation entre l'adéquation stationnelle et l'état sanitaire

Mots clés : Dépérissement, chêne pédonculé, aptitude stationnelle, Ardenne, station

## **Abstract**

Title : contribution of the forest site analysis to the comprehension of the pedunculate oak (*Quercus Robur* L.) decline in the Ardenne.

This study began by compiling different studies of the pedunculate oak decline in the Belgian Ardennes in 2014. The hypothesis was that the incompatibility of forest sites would be the determining factor but the lack of data on oak stands of forest sites could not confirm it.

The aim of our research is to study the relationship between the tree decline and the pedunculate oak forest sites characteristics in the Ardennes. To do this, the sites have been selected by cartography to complement data from Inventaire Permanent de la Ressource Forestière de Wallonie (IPRFW). To complete this study made jointly with IPRFW, transect lines have been drawn starting from identified sites. They have been built to study different forest sites and will allow a local study of the dieback. For every analyzed plot, the environmental characteristics (soil, topography, flora,..) have been collected. At the same time, the sanitary state has been scrutinized according to the Depefeu method.

The regional study has not shown differences between forest sites characteristics and tree decline. The study at local scale has demonstrated different behaviours according to the localization. On certain sites, a difference appeared in the diagnosis of the sanitary state. The plots in good environmental conditions showed a lower degree of dieback. On the other sites no difference appeared between the forest sites. The study realized in conjunction with IPRFW has not been conclusive. According to the analysis, we might say that in the presence of other biotic or abiotic factors, the forest site characteristics are of no importance to dieback. It is necessary to work on a small scale if we are willing to study the relationship between the sanitary state and the forest site characteristics .

Key words : oak decline, dieback, pedunculate oak, forest site, Ardennes

# Table des matières

Remerciements.....	i
Résumé – Abstract.....	ii
Résumé :.....	ii
Abstract.....	iii
Liste des acronymes couramment utilisés.....	vi
Introduction .....	1
Etat de l’art.....	2
Le chêne en Wallonie .....	2
Aptitude stationnelle.....	3
Fichier Ecologique des Essences 2.0 .....	3
Dépérissement.....	7
Généralité .....	7
Situation en Europe .....	11
Situation en Wallonie.....	13
Matériel et Méthode.....	18
Méthode générale.....	18
Zone d’étude.....	19
Historique .....	19
Climatique.....	21
Géologie-Lithologie-pédologie.....	22
Surface forestière .....	23
Description des outils d’estimation du dépérissement.....	24
Données existantes et choix de notre méthode.....	26
Méthode phytosanitaire utilisée .....	27
Conclusions sur les données. ....	28
Plan d’échantillonnage .....	30
Données cartographiques .....	30
Recherche de sites candidats.....	31
Récolte de données sur le terrain .....	33
Procédure .....	33
Description de l’historique .....	33
Données écologiques .....	33
Conclusion des données écologiques .....	36

Description de la sylviculture .....	36
Diagnostic de l'état sanitaire .....	37
Description de la méthode Depefeu.....	37
Synthèse des données .....	41
Généralités.....	41
Données récoltées.....	41
Méthode d'analyse de la relation adéquation stationnelle-dépérissement.....	45
Généralité.....	45
Résultats .....	48
Analyse du dépérissement à une échelle régionale (inter-transect) .....	49
Analyse du dépérissement à une échelle locale (intra-transect) .....	54
Analyses du dépérissement conjointement avec les données de l'IPRFW.....	58
Discussion.....	59
Discussion sur le jeu de données .....	59
Discussion sur le dépérissement à une échelle régionale (inter-transect).....	59
Discussion sur le dépérissement à une échelle locale (intra-transect).....	60
Discussion générale sur les résultats issus de nos données.....	61
Discussion sur le dépérissement conjointement avec les données de l'IPRFW.....	62
Perspective.....	64
Avenir du chêne.....	64
Analyse du dépérissement .....	64
Téledétection.....	65
Conclusion.....	66
Bibliographie .....	68
Ressources littéraires.....	68
Ressources cartographiques.....	71
Liens internet .....	72
Annexes .....	73

## Liste des acronymes couramment utilisés

B-B	Braun-Blanquet
CNSW	Carte Numérique des Sols de Wallonie
COSW	Carte d'Occupation du Sol de Wallonie
CP	Chêne pédonculé
CS	Chêne sessile
DEpeFEU	DEpérissement FEUillus
DNF	Département de la Nature et des Forêts
IGN	Institut Géographique National
IPRFW	Inventaire Permanent des Ressources forestières de Wallonie
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NFFE	Nouveau Fichier Ecologique des Essences
OWSF	Observatoire Wallon de la Santé des Forêts
UNECE	Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe
UE	Unité Expérimentale
UGRF	Unité de Gestion des Ressources Forestières

# Introduction

Notre très emblématique chêne souffre, depuis l'année 2013, d'une importante vague de dépérissement qui atteint principalement le chêne pédonculé en région ardennaise (Delahaye et al. 2016). Devant le désarroi des propriétaires et gestionnaires forestiers, une étude, commanditée par l'OVSF à l'équipe de Gestion des Ressources Forestières (ULg-Gembloux Agro-Bio Tech), avait pour but de déterminer le niveau d'adéquation stationnelle des principales essences forestières de la forêt wallonne. Cette étude est basée les données de l'IPRFW (Inventaire Permanent de la Ressource Forestière de Wallonie), où une description complète de la station a été réalisée (cortège floristique, topographie) ainsi qu'une analyse détaillée du sol. Cette étude a révélé que, sur les 112 placettes où le chêne pédonculé est présent, seules deux se situent en conditions stationnelles optimales selon le nouveau fichier écologique des essences. Mais cette situation s'aggrave encore lorsque, pour les 46 placettes situées en Ardenne, aucune n'est présente dans de telles conditions (Cordier 2015). La nécessité de trouver de nouvelles chênaies pédonculées en adéquation avec leur environnement afin de comprendre au mieux ce phénomène a dès lors paru évidente.

L'objectif de l'étude développée au sein de ce travail de fin d'études est d'expliquer l'impact potentiel de l'adéquation stationnelle sur les niveaux de dépérissement du chêne pédonculé.

L'organisation générale de ce travail va être présentée dans les prochains paragraphes. Dans le premier chapitre, une mise en contexte générale de la place du chêne en Wallonie, tant en termes économique que culturel et écologique, sera réalisée. Celle-ci sera suivie par les aptitudes - aussi bien stationnelles que climatiques - du chêne pédonculé. Ensuite, les notions de dépérissement seront discutées, d'abord de façon générale, ensuite d'un point de vue axé sur le chêne pédonculé, et enfin, une présentation de la situation actuelle à l'échelle européenne et wallonne clôturera ce chapitre.

Le second chapitre portera sur la méthodologie générale utilisée tout au long de ce travail, et permettra au lecteur de visualiser la démarche utilisée afin de répondre à l'objectif fixé. Ensuite, la description des aspects historiques, climatiques, sylvicoles et géo-litho-pédologiques permettra de mieux comprendre la présence du chêne, notamment pédonculé, dans le contexte ardennais. Par après, les différents outils d'estimation de l'état sanitaire seront synthétisés et suivis par la description des différentes études menées en Wallonie. La conclusion sur les données existantes achèvera la première partie de ce chapitre.

Dans la seconde partie du chapitre portant sur la méthodologie, la démarche utilisée afin de trouver de nouveaux sites ainsi que les récoltes de données environnementales et sylvicoles seront présentées. Ces dernières seront suivies par une synthèse de notre jeu de données. L'analyse du dépérissement en relation avec l'adéquation stationnelle et l'interprétation qui en découle viendront clôturer ce travail.

# Etat de l'art

## Le chêne en Wallonie

Les chênaies (sans distinction entre *Quercus Robur* L., *Quercus petraea* (Matt.)) représentent 18 % (soit environ 82.600 ha) de la surface forestière productive wallonne, qui est d'environ 479.500 ha. Cette surface place ainsi les chênes à la première place des essences feuillues les plus représentées. De plus, les peuplements mélangés hêtres-chênes indigènes représentent également 4% de la forêt productive. Les chênaies se retrouvent en plus grande proportion dans les bois publics avec 58% de leur surface totale (Alderweireld et al. 2015). Il existe également une grande disparité entre la présence de chênes indigènes à travers les différentes régions géographiques de Wallonie. La Figure 1 présente la répartition de la surface des chênaies par régions géographiques de Wallonie (Alderweireld et al. 2015)

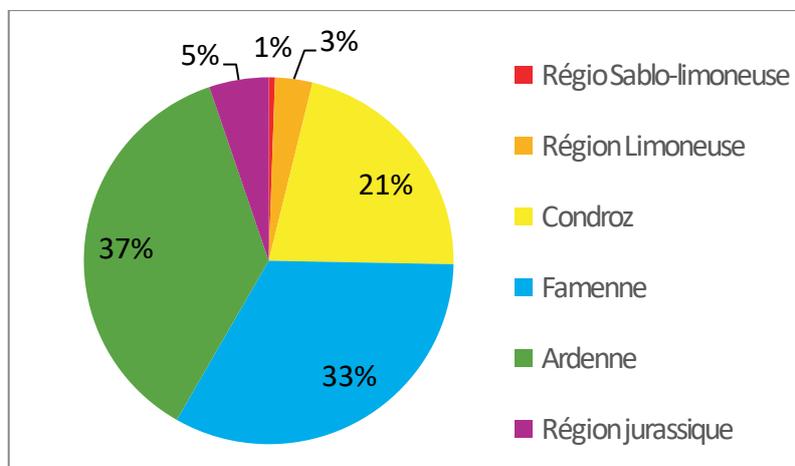


Figure 1 : Répartition de la surface des chênaies au travers des différentes régions géographiques de Wallonie (Alderweireld et al. 2015)

L'omniprésence des chênes se fait ressentir principalement en Ardenne, en Famenne et dans le Condroz, où la surface des chênaies est de respectivement 37%, 33% et 21%. A elles seules, ces trois régions constituent 91% de la surface des chênaies wallonnes.

Bien que les deux essences de chêne soient indigènes en Wallonie, elles occupent, en théorie, des régions différentes selon le climat et le type de sol. Ainsi, la Région limoneuse et le Condroz sont les milieux de prédilection du chêne pédonculé. De son côté, le chêne sessile domine la Famenne et est largement répandu en Ardenne. Toutefois, on peut retrouver les deux chênes en mélange dans beaucoup de régions et ce, à cause de l'activité humaine (Boudru 1986)(Bary-lenger & Nebout 1993).

Les chênaies sont une ressource économique importante et représentent  $23.6 \times 10^6 \text{ m}^3$  pour l'ensemble de la région wallonne. Avec un accroissement annuel d'environ  $3.8 \times 10^5 \text{ m}^3$  et un taux de récolte de 66%, la capitalisation de la forêt est amorcée.

Outre l'importance économique des chênaies pour l'homme, cette essence génère une multitude d'autres services à l'environnement. Le chêne, de par son port léger, permet à une partie de la lumière d'atteindre les strates végétatives inférieures. Cet apport de lumière favorise le développement d'autres essences ligneuses ou herbacées, et contribue par conséquent à l'augmentation la diversité biologique du milieu. Le chêne bénéficie d'une haute valeur biologique (Branquart & Liégeois 2010). Nos chênes indigènes sont de réels écosystèmes à l'intérieur de la forêt. Plusieurs centaines d'espèces (300-500), principalement l'entomofaune et l'avifaunes, sont fortement dépendantes des chênes d'Europe centrale (Bonfils et al. 2015).

Le chêne joue également un rôle sur le recyclage de la litière dans le cycle nutritif des arbres. En peuplement mélangé hêtre-chêne, la présence de fanes du chêne favorise la décomposition de la litière par rapport à une hêtraie pure (Ponette 2010).

## **Aptitude stationnelle**

### **Fichier Ecologique des Essences 2.0**

Le Nouveau Fichier Ecologique des Essences, fraîchement élaboré, est un réel outil à la prise de décision. En effet, il aide les forestiers à sélectionner au mieux les essences, afin que ces dernières soient en adéquation avec la station, ce qui permet par conséquent d'assurer la production de bois de qualité en tenant compte du rôle multifonctionnel de la forêt (Petit et al. 2017). Cet outil renseigne la compatibilité tant climatique que stationnelle pour une multitude d'essences. L'adéquation tant climatique que stationnelle sera détaillée ci-dessous.

#### *Compatibilité climatique*

Les 4 classes d'aptitudes climatiques sont définies dans l'ouvrage (Van der Perre et al. 2015) et sont citées ci-dessous :

**OPTIMUM** : Aucune contrainte climatique imposée à l'essence ; celle-ci peut par conséquent être cultivée comme essence principale ou d'accompagnement

**TOLÉRANCE** : Présence de plusieurs facteurs climatiques limitants. Toutefois si des facteurs de compensation existent, la culture destinée à produire des grumes de qualité peut être maintenue.

**TOLÉRANCE ÉLARGIE** : La présence de plusieurs facteurs climatiques limitants et l'absence de facteurs de compensation contraignent la production de grumes de qualité. Ces essences seront cultivées comme essences d'accompagnement.

**EXCLUSION** : Présence de facteurs climatiques limitants de façon telle que les essences ne peuvent se maintenir sur le long terme, et n'apportent aucun bénéfice à l'environnement.

Le NFEE tient également compte de l'influence climatique sur les essences. En ce qui concerne le chêne pédonculé, hormis les Hautes-Ardennes considérées comme en Tolérance, toute la région wallonne est considérée comme offrant des conditions climatiques favorables à la culture de cette espèce d'arbre. Le chêne pédonculé y est donc considéré comme étant en optimum. Le NFEE renseigne également que le chêne pédonculé est sensible aux températures hivernales trop basses pouvant provoquer des gélivures, et qu'il reste très sensible aux épisodes de sécheresses (SPW, 2017).

## Compatibilité stationnelle

Comme pour la compatibilité climatique, le NFEE définit 4 aptitudes différentes pour caractériser les conditions stationnelles obtenues à partir des niveaux hydriques et trophiques (Petit et al. 2017). Les 4 aptitudes sont détaillées ci-dessous. Pour chacune d'entre elles, un encadré de couleur sert de légende à la Figure 2

**OPTIMUM** : Ce niveau signifie que l'essence retrouve des conditions stationnelles (hydriques et trophiques) lui permettant d'être en adéquation avec ses exigences. Ces conditions donnent à cette essence stabilité, vitalité et productivité. D'un point de vue stationnel, l'essence peut être cultivée sans limite.

**TOLERANCE** : Certaines variables environnementales (ex : légère hypoxie racinaire limitant l'enracinement) sont contraignantes en termes de stabilité ou de productivité. La production de bois de qualité peut être maintenue, mais pour y parvenir, la sylviculture doit être adaptée de sorte que les arbres soient le moins longtemps confrontés aux risques extérieurs (tempêtes, sécheresse, gels...).

**TOLERANCE ELARGIE** : Les conditions environnementales sont tellement contraignantes qu'elles ne permettent pas la production de bois de qualité. Cependant, si la station permet aux essences de survivre et de se reproduire, elles pourront être maintenues pour leurs attraits bénéfiques apportés à l'environnement. Ces essences seront désignées comme essences compagnes.

**EXCLUSION** : Les conditions stationnelles sont tellement contraignantes que les essences ne peuvent se reproduire à long terme sur ces stations. Les essences présentes disparaîtront de ces conditions suite aux attaques répétées des facteurs biotiques et abiotiques.

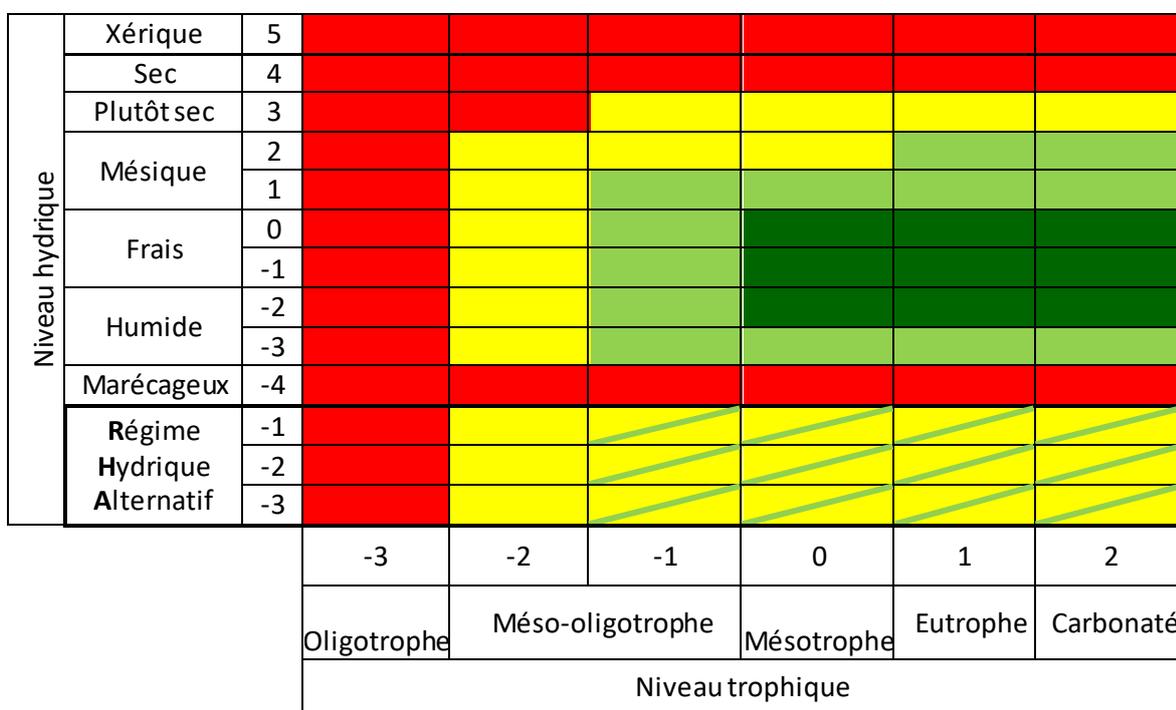


Figure 2 Ecogramme présentant l'aptitude stationnelle du chêne pédonculé

Comme le montre la figure 2 la combinaison des niveaux hydriques et trophiques offrant une aptitude stationnelle considérée comme optimale est assez restreinte. Il est également important de noter que les niveaux trophiques 1 et 2 ne sont jamais rencontrés en contexte ardennais, et correspondent aux régions où du calcaire est présent. Le niveau trophique 0 regroupe les sols dont le pH de l'horizon Ah est supérieur à 5, ainsi que les sols ne présentant pas de développement de profil tels que les sols alluviaux. Cependant, le pH en contexte ardennais est marqué par une acidité importante comme il le sera discuté au chapitre Géologie-Lithologie-pédologie.

Pour certains couples hydro-trophiques, il peut y avoir une certaine incertitude sur la désignation de l'aptitude stationnelle. Le cas présenté ici concerne le chêne pédonculé dans des conditions particulières de régime Hydrique Alternatif (-1RHA, -2RHA et -3RHA) avec un niveau trophique allant de -1 à 2 (les deux extrémités étant comprises). Les aptitudes « Tolérance » et « Tolérance élargie » peuvent être attribuées à la zone d'incertitude. Il est alors recommandé d'interpréter d'autres paramètres environnementaux (nature lithologique, occurrence de calcaire, profondeur de sol colonisable par les racines, ...)(Cordier 2015). Afin d'illustrer les deux désignations précédemment citées, deux cas concrets vont être décrits. Pour le cas du chêne pédonculé, si la nature du sol permet, à priori, aux arbres de développer leur système racinaire sans grande difficulté, les conditions seront jugées peu contraignantes, et l'aptitude « Tolérance » sera attribuée afin de décrire cette station. Par exemple, c'est le cas des stations étant sur des sols limoneux profonds caractérisés par le sigle Ada (selon la légende de la carte pédologique). A contrario, dans un milieu où la nature du sol empêche la prospection de ce dernier par les racines, résultant potentiellement en phases de stress hydriques marquées, les chênes sont plus soumis à des conditions environnementales stressantes. Le niveau « Tolérance élargie » sera par conséquent considéré pour décrire cette station. C'est notamment le cas des sols schisto-argileux présentant un horizon imperméable surplombant une dalle schisteuse à faible profondeur présent en Famenne.

A partir de la carte d'aptitude stationnelle que nous avons créée, une estimation de la surface de chaque aptitude pour l'ensemble de la zone d'étude est schématisée au sein de la Figure 3.

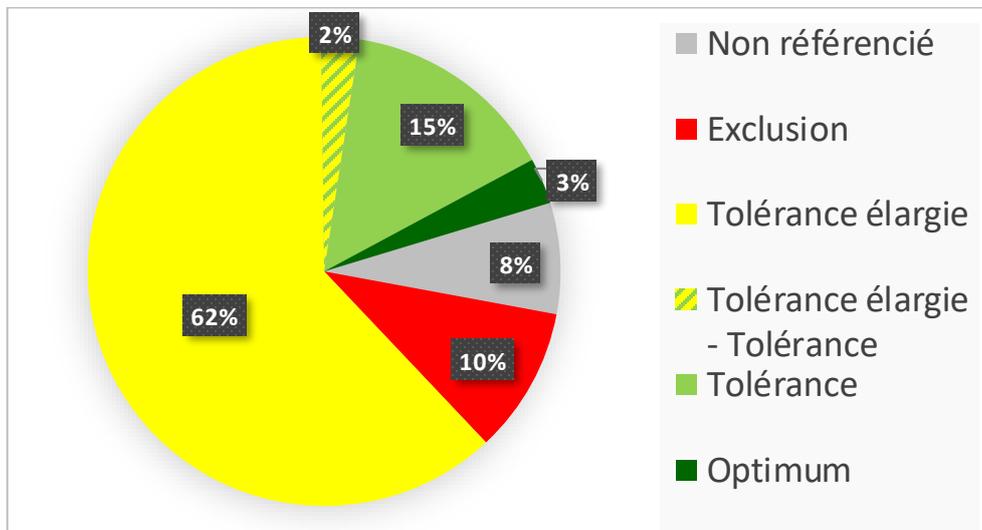


Figure 3 Estimation de la surface de chaque aptitude stationnelle (correspondant à l'écogramme du chêne pédonculé) pour l'Ardenne

L'aptitude optimale pour le chêne pédonculé ne représente que 3% de la superficie en Ardenne, dont 65% se situent en Basse et Moyenne Ardenne. A titre de comparaison la surface de la catégorie optimale a été estimée pour chaque région bio-climatique. Les 4 régions ayant les surfaces les plus importantes classées en optimum sont *Plaines et vallées scaldiennes*, *Condroz - Sambre et Meuse*, *Hesbino-brabançon* et la *Fagne - Famenne-Calestienne*, avec respectivement 468, 282, 221 et 185 km<sup>2</sup> (soit 14.40 %, 7.94%, 11.20% et 11.90% de leur superficie totale). Le tableau complet décrivant la répartition de chaque aptitude stationnelle pour chaque région bioclimatique est présent à l'annexe 1.

## Dépérissement

### Généralité

Tous les stress – qu'ils soient d'origines biotiques ou abiotiques - n'entraînent pas forcément l'apparition du phénomène de dépérissement, contrairement à ce que sous-entendent les forestiers lorsqu'ils perçoivent une baisse de vitalité de leur forêt (Nageleisen et al. 2010).

Nageleisen définit dans son ouvrage intitulé « La santé des Forêts »(Nageleisen et al. 2010), 4 aspects associés au phénomène de dépérissement :

- Diminution de l'état sanitaire des arbres ainsi qu'une perte de vigueur
- Mortalité des arbres ou surface affectée très importante
- Aspect multifactoriel ; la combinaison de facteurs biotiques et abiotiques agissant à des étapes différentes rend le phénomène complexe
- Evolution longue et lente

Outres ces aspects, il définit l'évolution que doit suivre une crise sanitaire afin que celle-ci puisse être qualifiée de dépérissement. Cette évolution se déroule en 3 phases (Nageleisen et al. 2010) :

1. Ce phénomène doit être initié par un ou plusieurs évènement(s) brutal(aux). L'importance du stress occasionné dépendra des conditions stationnelles et sylvicoles des arbres en place, qui pourront ou non atténuer le stress
2. L'arrivée de parasites de faiblesse sur les sujets déjà affaiblis
3. La phase de mortalité complexe faisant intervenir des facteurs abiotiques et biotiques arrive plusieurs années après l'apparition des premiers symptômes (point 1)

Après avoir donné une description générale du dépérissement, intéressons-nous plus en détails aux causes du dépérissement du chêne pédonculé.

Une des particularités du dépérissement du chêne pédonculé est la période relativement longue entre les moments où les arbres témoignent d'une baisse de vitalité, présentent des symptômes visibles et enfin où les arbres meurent. Cette longue descente vers la mort de l'arbre – qui peut durer plusieurs dizaines d'années - peut être définie comme étant le « déclin lent » auquel fait référence Manion (Manion 1981).

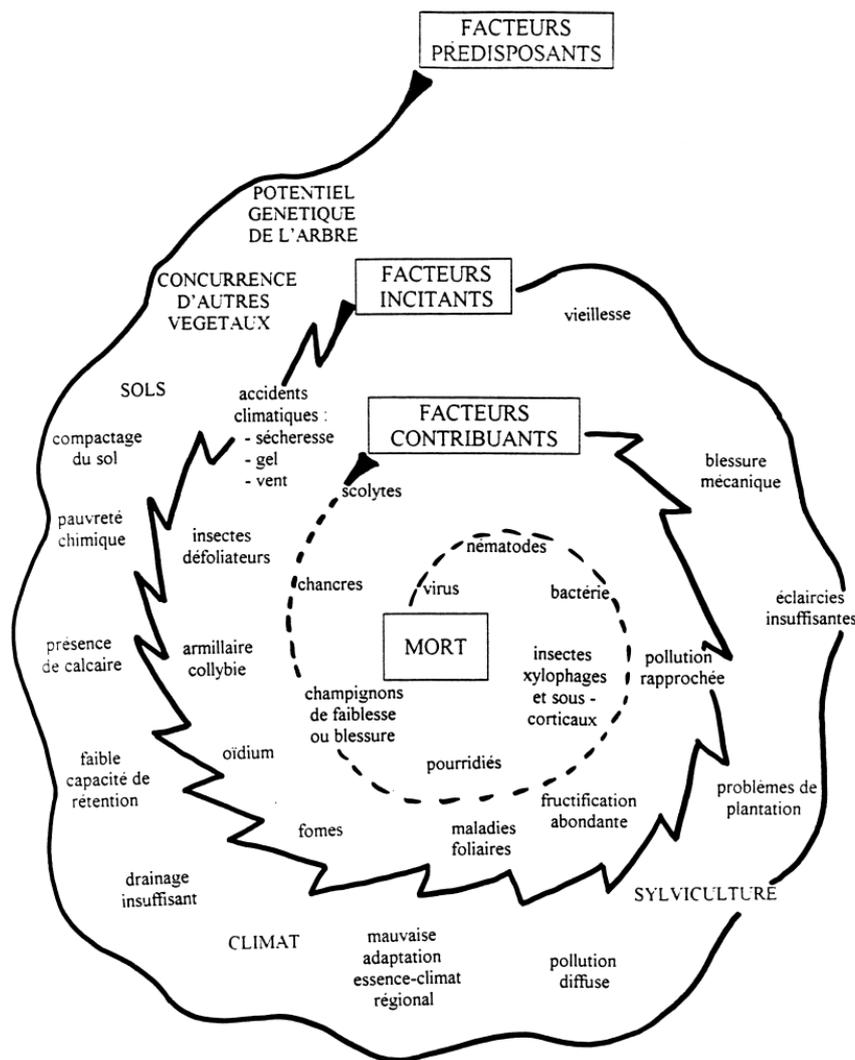


Figure 4 Spirale de Manion (Manion 1981) présentant les différentes étapes et les différentes catégories de facteurs durant la phase de déclin de l'arbre

Au travers de sa spirale du déclin Figure 4, Manion définit le dépérissement d'un arbre comme étant un phénomène graduel où une succession d'évènements (stress d'origines biotiques et abiotiques) s'étendant sur une période plus ou moins longue diminue sa vigueur et sa santé, le menant ensuite à sa mort.

Selon lui, trois grands facteurs influencent la santé d'un arbre : les facteurs **prédisposants**, les facteurs **incitants** ainsi que les facteurs **aggravants**. Les premiers sont des stress agissant en premier lieu et ils influencent l'arbre tout au long de sa vie. Ils sont de types stationnels, génétiques ou sylvicoles. Les seconds sont des stress plus intenses et ponctuels, et provoquent généralement le début du dépérissement. Ils peuvent être abiotiques (sécheresses, gelées) ou biotiques (champignons, insectes défoliateurs). Enfin, la dernière catégorie de facteurs apporte le coup de grâce aux arbres affaiblis en entraînant leur mort. Généralement, ce sont des agents biotiques opportunistes appelés parasites de faiblesse qui sont retrouvés dans cette catégorie. On y retrouve notamment des pourridiés racinaires (Amillaire) et des insectes cambioxyphages (Agrilles) (Nageleisen et al. 2010; Delahaye et al. 2016). Le Tableau 1 présente une liste non-exhaustive des différents facteurs : prédisposants, incitants et aggravants (Nageleisen et al. 2010; Delahaye et al. 2016).

Facteurs :	
Prédisposants	Altitude, Collybie à pied en fuseau, déficit hydrique, senescence, chêne à débourrement tardif, pratiques sylvicoles inadaptées, historique...
Déclenchants	Insectes défoliateurs, sécheresses printanières et estivales, gel hivernal, inondation, <i>Phytophthora</i> , Oïdium, ...
Aggravants	Agriles, scolytes, armillaires, pathogènes du tronc, ...

Tableau 1: Liste d'exemples de stress pour les trois types de facteurs définis par Manion. (Nageleisen et al. 2010; Delahaye et al. 2016)

Il paraît pertinent de préciser ce qui est sous-entendu par stress abiotiques et biotiques et de définir les différents agents qui jouent un rôle potentiel dans le dépérissement du chêne pédonculé.

Les risques abiotiques reprennent les stress climatiques, stationnels et biogéochimiques. Le stress hydrique, ou plus précisément le déficit hydrique, est celui qui a été le plus identifié comme étant à l'origine d'un grand nombre de dépérissements, et les prévisions futures à son sujet ne sont guère rassurantes dues au changement climatique.

Les risques biotiques, quant à eux, rassemblent des épisodes périodiques d'attaques d'organismes défoliateurs (chenilles, oïdium), qualifiés de facteurs incitants, pouvant mener à la destruction complète du feuillage au printemps. Les arbres dépourvus de leur appareil photosynthétique sont alors obligés de puiser dans leurs réserves carbonées, afin de reconstituer un nouveau houppier. La succession d'attaques de défoliateurs dans le temps affaiblit les arbres, les rendant plus vulnérables face aux autres facteurs de stress (Delahaye et al. 2016).

D'autres agents biotiques s'attaquent également au chêne, comme les espèces d'armillaires (*Armillaria spp.*) Ces basidiomycètes infectent les racines des arbres précédemment affaiblis par des stress hydriques ou par des épisodes de défoliation. Les espèces d'armillaires sont considérées comme des parasites de faiblesse (Delahaye et al. 2016).

La collybie (*Collybia fusipes*) est un autre basidiomycète s'attaquant au système racinaire des vieux chênes. Ce type de champignon est plus dommageable que l'armillaire, et est qualifié de facteur prédisposant. Il s'attaque aux racines des chênes pédonculés matures lorsque les conditions stationnelles ne sont pas adéquates pour cette essence. Il est cependant très difficile de quantifier les dégâts qu'il occasionne, car il possède une croissance limitée, et parce que les symptômes n'apparaissent que plusieurs années après l'infection (Delahaye et al. 2016).

Une troisième espèce de champignon, le Phytophthora (*Phytophthora cinnamomi*, *P. cambivora*), s'attaque dans un premier temps aux racelles et provoque par la suite des lésions à la région cambiale. La maladie qu'il cause peut être remarquée suite à l'exsudation d'un liquide noir. De par ce symptôme caractéristique, cette dernière est appelée communément maladie de l'encre. Le phytophthora est présent dans les sols hydromorphes, légèrement acides et présentant une texture fine.

Enfin, l'agrile (*Agrilus biguttatus*), dont la larve est généralement cambioophage, se nourrit dans la région sous corticale. Il est peu présent en Belgique, mais des récits témoignent tout de même de son passage (Vansteenkiste et al. 2004). Il est qualifié de facteur aggravant en s'attaquant à des arbres déjà affaiblis.

La majorité des chênaies que nous connaissons actuellement provient de la sélection d'anciens balivaux (Balleux 1990). Il est par conséquent légitime de penser que le système racinaire de l'arbre est plus ancien que l'appareil aérien (Delahaye et al. 2016).

Le chêne pédonculé a été introduit allégrement par l'homme en dehors de ses stations de prédilection et ce pour diverses raisons : proximité au village, pouvoir germinatif important, grand colonisateur, production de tan,...(Widar 2001)(Balleux 1990) (Delahaye et al. 2016). Pour toutes ces raisons, il est aujourd'hui possible de trouver du chêne pédonculé dans des milieux qui ne lui conviendraient normalement pas.

Le chêne pédonculé est une essence héliophile stricte, et nécessite par conséquent une sylviculture plus dynamique. Cependant, les chênaies actuelles sont cultivées avec une trop grande densité de tiges et une surface terrière trop importante. De fait, 21 % des chênaies ont une surface terrière supérieure à 25m<sup>2</sup>/ha, alors qu'elle devrait se situer entre 15 et 18 m<sup>2</sup>/ha (Claessens et al. 2010).

La compaction du sol engendrée par le passage d'engins motorisés, et notamment les véhicules d'exploitation forestiers, peut réellement être dommageable pour le sol et pour les arbres. Le passage de ces engins peut dégrader la structure du sol (Herbauts et al. 1998). Cette dégradation a principalement lieu au niveau de la macroporosité du sol, où une perte de 63% a été constatée dans des sols limoneux d'origine lœssique (Herbauts et al. 1998). Cette perte de porosité a de nombreux impacts sur l'arbre : diminution de l'activité racinaire, diminution de la réserve en eau utile du sol, saisonnalité plus prononcée où les sécheresses peuvent être plus marquées en période estivale et au contraire, des conditions anoxiques peuvent apparaître en période hivernale (Herbauts et al. 1998; Goutal 2012). La compaction du sol peut également favoriser les pathogènes racinaires comme le phytophthora cinnamomi, agent responsable de la « maladie de l'encre » chez le châtaignier ou chez le chêne rouge d'Amérique (De Paul & Bailly 2005).

Ainsi, le dépérissement n'est pas provoqué par l'action d'un seul facteur, mais bien par la synergie de différents facteurs combinés et la répétition dans le temps de ceux-ci. Cela provoque, dans un premier temps, l'affaiblissement des arbres et par la suite leur mort.

Il est cependant important de nuancer le dépérissement. En effet, celui-ci est souvent vu comme étant une tragédie mais en réalité, cette notion est fonction du point de vue adopté. Avec une vision anthropocentrique, il est normal de penser que le dépérissement est un phénomène gravissime auquel les forestiers souhaiteraient ne jamais être confrontés. D'autre part, du point de vue de l'écologie cette fois, les perturbations et les pullulations d'insectes ravageurs, bien qu'initiateurs de vague de dépérissement lorsqu'ils sont combinés, sont des processus naturels qui dynamisent le cycle des environnements, en recréant de nouveaux habitats et en maintenant une diversité importante (Frisson et al. 2011).

## Situation en Europe

### Généralité

Le programme international concerté sur les forêts *ICP forests* (pour *International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests*) a été lancé en 1985 par la Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE), afin de suivre l'état sanitaire des principales essences forestières en Europe. Les deux chênes indigènes en Belgique (*Quercus Robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl et leurs hybrides) sont regroupés dans la même catégorie sous la dénomination « Deciduous temperates oaks ».

La Figure 5 présente l'évolution de la défoliation des chênes indigènes entre 1992 et 2015. Ces chênes montrent une tendance généralisée à la défoliation. Cependant, cela n'a pas toujours été le cas. De fait, c'est entre 1992 et 1997 que la moyenne du dépérissement fut la plus forte. Par la suite, cette tendance a continué dans une moindre mesure jusqu'en 2009, année à partir de laquelle le taux de défoliation semble s'être maintenu constant. Outre ces tendances globales, différents pics de défoliation peuvent être observés, notamment en 1997 et entre 2003 et 2005. Cependant, une stagnation du taux de défoliation est observée depuis 2009 ; seule l'année 2012 présente un pic soudain (Michel & Seidling 2016).

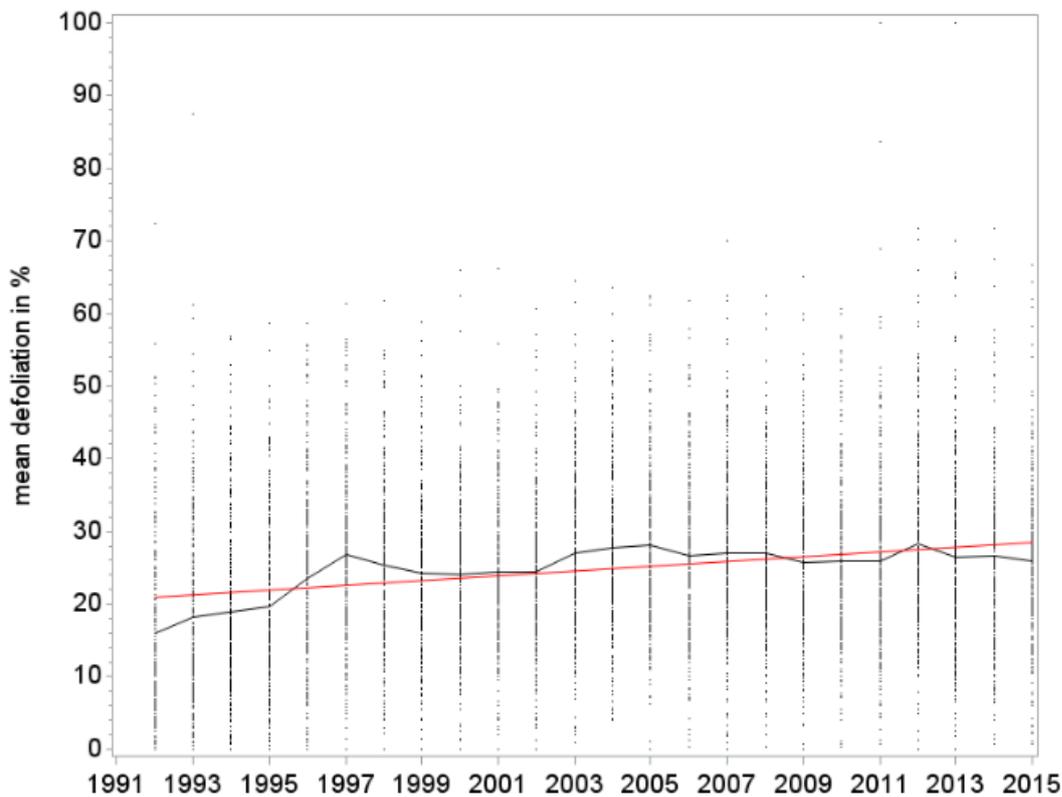


Figure 5 Evolution du taux de défoliation des chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* (Matt.) Liebl) mesuré entre 1992 et 2015 lors du suivi européen ICP Forest (Michel & Seidling 2016)

### *Acute Oak Decline*

Le dépérissement du chêne n'est pas un phénomène nouveau : il a été brièvement évoqué précédemment. Cependant, une variante appelée « Acute Oak Decline (AOD) » a été recensée en Angleterre. Contrairement au dépérissement « traditionnel » (aussi appelé « Chronic Oak Decline » en Angleterre) caractérisé par un long déclin suite à la répétition de stress d'origines biotiques et abiotiques conduisant à la mort de l'arbre, cette variante est marquée par le déclin fulgurant des arbres. Seulement 4 à 5 années après l'apparition des symptômes suffisent à provoquer la mort de l'arbre. (Denman et al. 2010)

Cette nouvelle vague de dépérissement affecte principalement des arbres de plus de 50 ans de deux espèces indigènes de chênes en Angleterre, à savoir *Quercus Robur* L. et *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. (Denman et al. 2010). La Figure 6 montre les zones où ce type de dépérissement fut initialement repéré, ainsi que l'expansion de l'AOD entre 2006 et 2016 Angleterre (Forest Research N.D.).

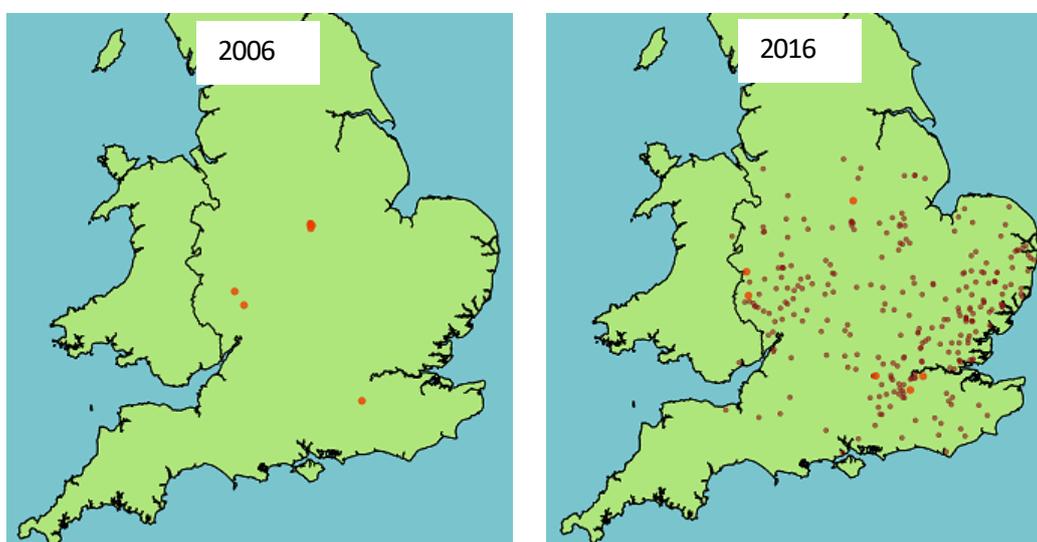


Figure 6 Expansion du recensement du dépérissement de type Acute Oak Decline entre 2006 et 2016 en Angleterre (Forest Research N.D.).

Afin d'identifier ce déclin rapide, 4 symptômes clés ont été constatés et décrits (Denman et al. 2014) :

1. Zones de suintements présentes sur l'écorce (généralement entre 1,5 – 5 m). Il peut y avoir une vingtaine de plaques sur un même tronc.
2. Présence d'un exsudat translucide noirâtre et visqueux s'échappant à partir de longues fissures. L'écoulement a plutôt lieu au printemps ou en automne.
3. Lésions de forme ovoïde ou oblongue au niveau de l'écorce interne.
4. Présence de galeries larvaires (dans plus de 90 % des cas) de l'Agrille (*Agrilus biguttatus* Fabricius) à proximité de la zone de lésions.

Il se peut également que la cime subisse une baisse de vitalité et s'éclaircisse.

Des recherches ont été menées sur cette problématique, mais actuellement, il n'est pas encore possible de déterminer avec certitude les causes de l'AOD. Bien que les facteurs prédisposants (fertilité, génétique, stations, ...) aient certainement un rôle à jouer dans cette crise, les scientifiques recherchent toujours les causes provoquant la mort rapide des arbres atteints.

La présence quasi-systématique de l’Agrille-qui serait un parasite secondaire- dans les arbres souffrant de l’AOD interpelle le monde scientifique. Les symptômes clés (mentionnés ci-dessus) n’apparaîtraient qu’après avoir été infectés par cet insecte (Vansteenkiste et al. 2004)(Brady et al. 2017). Une hypothèse de ce déclin rapide serait l’action combinée de l’Agrille et d’agents pathogènes bactériologiques (Brown et al. 2014) (Brady et al. 2017). Une recherche génomique a permis d’isoler de nouvelles souches bactériennes qui étaient systématiquement présentes dans les arbres dépérissants. Cependant, les chercheurs restent prudents et préconisent la réalisation d’autres recherches afin de mieux comprendre le comportement de sélection des arbres par l’Agrille (Brown et al. 2014) ainsi que le comportement des nouvelles bactéries identifiées (Brady et al. 2017).

La présence de l’Agrille en Belgique a déjà été constatée dans le passé (Vansteenkiste et al. 2004) et pourrait alors réapparaître dans notre pays. Il est alors normal de suivre avec attention l’évolution de l’AOD en Angleterre et de surveiller attentivement la situation en Belgique. L’arrivée de ce parasite en Wallonie pourrait affaiblir une nouvelle fois nos chênaies déjà mal en point.

### Situation en Wallonie

#### Origine

Une succession d’événements potentiellement stressants pour le chêne pédonculé s’est déroulée ces dernières années. Tout d’abord, en 2003, une sécheresse d’une rare intensité accompagnée d’une vague de chaleur a eu lieu. Ensuite, deux autres sécheresses - une au printemps 2011 et la seconde durant l’année 2015 - se sont également abattues sur la Wallonie. En plus de ces stress climatiques, plusieurs épisodes de défoliation se sont déroulés. En effet, en 2011 et 201, des défoliations très importantes ont eu lieu par des chenilles défoliatrices. Ces années ont également été marquées par une attaque importante de l’oïdium sur les chêne (OWSF 2014; Delahaye et al. 2016; Piraux et al. 2016). La Figure 7 illustre les zones principalement touchées durant ces années. Sur les trois années comprises entre 2011 et 2013 incluses, les taux de défoliation sur les chênes, provoqué indifféremment par les chenilles défoliatrices ou par l’oïdium, étaient respectivement de 42%, 55% et 35% (OWSF 2014). En 2016, ce taux est suffisamment redescendu pour être qualifié de faible (OWSF 2017).

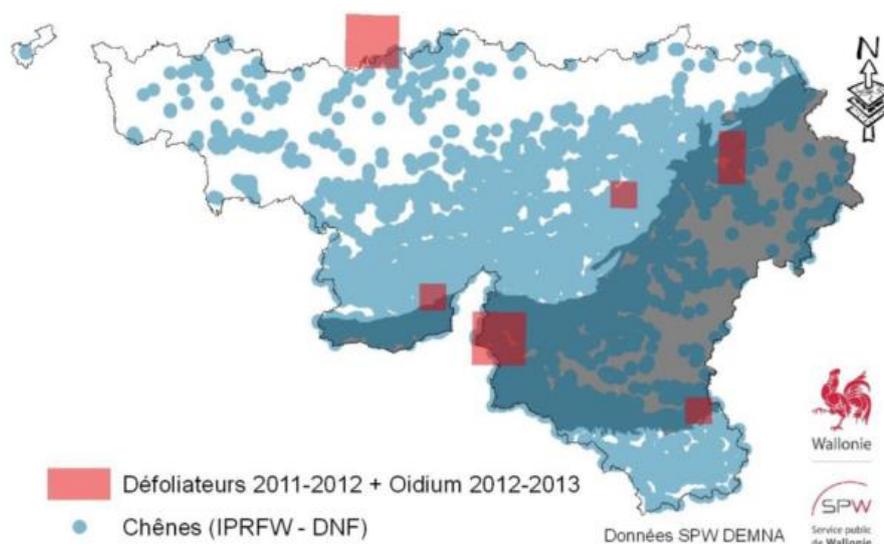


Figure 7 « Quadras touchés par des attaques de défoliateurs en 2011 et 2012 et par l’oïdium en 2012 et 2013 (80% des arbres touchés avec plus de 50% des feuilles recouvertes d’oïdium) en Wallonie et à Bruxelles. En bleu, les données de l’IPRFW où on retrouve du chêne dans le peuplement. En bleu foncé, la région naturelle d’Ardenne »(OWSF 2014).

### Evolution de l'état sanitaire des chênaies

L'état sanitaire des chênaies a été suivi durant plusieurs années et cette brusque détérioration lui a valu la parution d'un article dans la revue *Forêt nature* (Delahaye et al. 2016). La Figure 8 révèle l'évolution du pourcentage de chênes (sessile et pédonculé) selon 4 intensités de dépérissement (mort, dépérissement très prononcé, dépérissement confirmé et début de dépérissement) situé en Ardenne ou non. Cette étude se base sur les données de l'IPRFW.

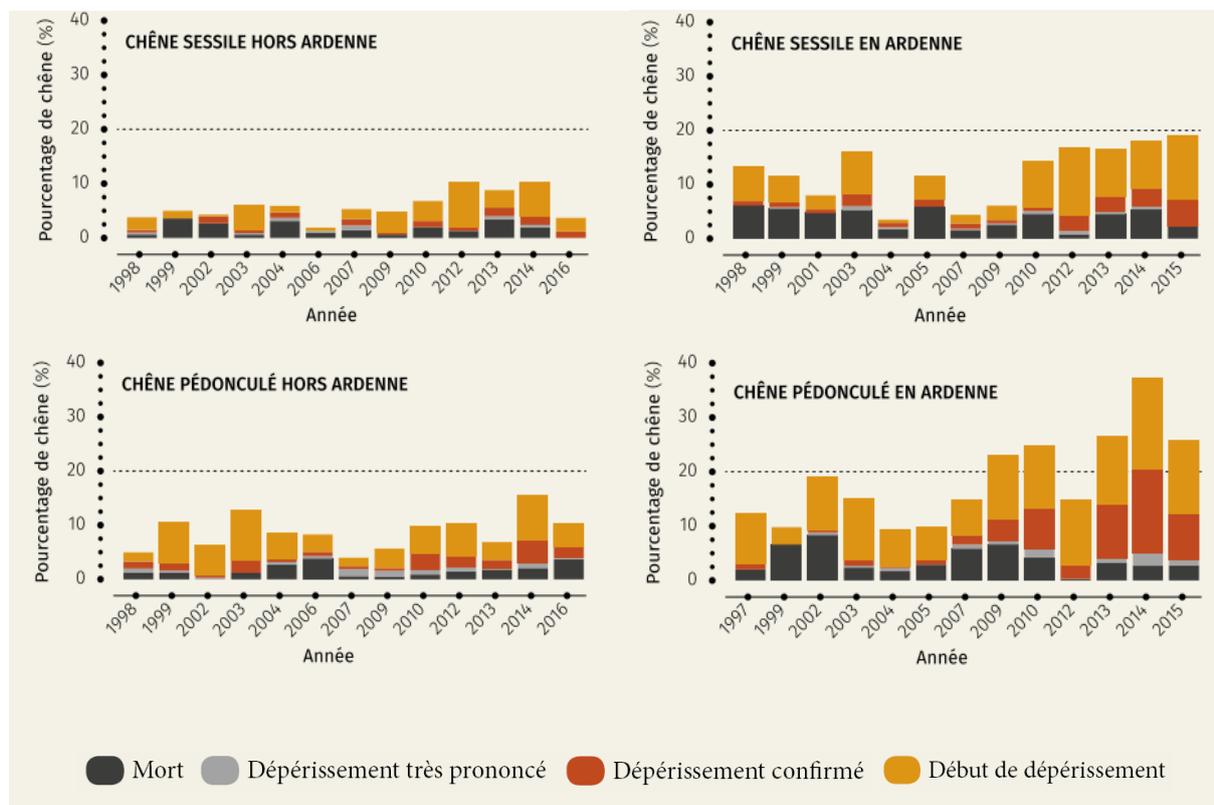


Figure 8 Evolution du taux de chênes indigènes dépérissants selon la zone biogéographique (Ardenne ou hors Ardenne) entre les années '90 et 2015-2016 (Delahaye et al. 2016).

Pour les 4 modalités, le taux de chênes dépérissants était relativement faible et constant depuis la fin des années '90, mais entre 2010 et 2014 le phénomène s'est accentué, touchant principalement le chêne pédonculé en région ardennaise, où au moins 40% des peuplements sont affectés par le dépérissement. Cette essence est d'ailleurs la seule à dépasser le seuil de 20% de tiges dépérissantes. Cette vague de dépérissement marque par son ampleur et par l'intensité avec laquelle les arbres sont affectés.

## Enquête de l'OWSF

Le début de la vague de dépérissement en 2013 a effrayé les gestionnaires forestiers. Pour comprendre le problème et estimer son ampleur, l'OWSF a décidé, en 2014 et en 2016, d'organiser une enquête auprès des différents cantonnements du DNF (OWSF 2014; OWSF 2017). La Figure 9 spatialise les lieux signalés comme dépérissant et le tableau 2 résume les résultats de ces deux enquêtes.

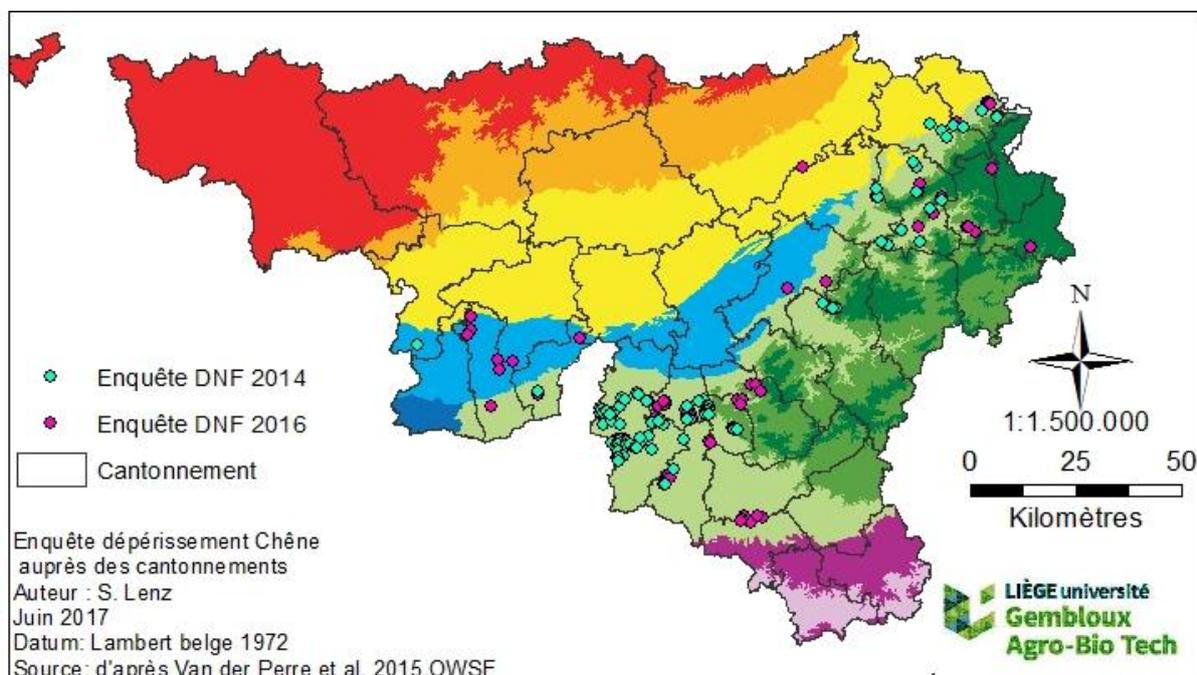


Figure 9 Localisation des sites renseignés comme étant dépérissants lors des enquêtes de 2014 et 2016 de l'OWSF auprès des cantonnements du DNF (OWSF 2014)

Année	Nombre de sites	Surface (ha)	Distinction entre les chênes	Altitude
2014	116 : 1 Bruxelles 2 Condroz 1 Fagnes 112 Ardennes	1215		95% entre 300-430m
2016	86 : 1 Condroz 9 Fagnes 76 Ardennes	1000		90% entre 300-400 m

CP  
 CS  
 CP-CS  
 Non-communicé

Tableau 2 Présentation des résultats des deux enquêtes (2014-2016) sur le dépérissement des chênaies menées par l'OWSF auprès des cantonnements du DNF (OWSF 2014; OWSF 2017)

Premièrement, il semble nécessaire de rappeler les critères utilisés par l'OWSF afin de décider si un peuplement est jugé dépérissant ou non. Pour qu'un peuplement soit considéré comme dépérissant, il faut qu'au moins 20% des arbres le composant aient perdu au moins 50% de leur houppier et qu'ils présentent également des branches mortes (OWSF 2015).

Une fois encore, c'est le chêne pédonculé qui est le plus touché par le dépérissement avec 60% pour les peuplements purs et 35% des peuplements en mélange avec le chêne sessile pour l'année 2016 (OWSF 2017), confirmant les chiffres de 2014 (OWSF 2015). Les deux enquêtes révèlent également que le dépérissement est plus important en Ardennes que dans les autres régions. En ce sens, 3 blocs fortement touchés ont été identifiés. Ainsi, les cantonnements de Bièvre, Beauraing et Libin forment le premier bloc (« Bloc Beauraing »), le second bloc se situe à La-Roche-en-Ardenne (« Bloc La Roche ») et le dernier s'étend sur Verviers, Spa et Eupen (« Bloc de Spa »).

En ce qui concerne les études, il est important de nuancer ces résultats. Tout d'abord, certains cantonnements n'ont pas répondu à une des enquêtes, voire même aux deux dans certains cas. De plus, les réponses de l'enquête de 2014 ont été récoltées directement auprès des gardes-forestiers. Ceux-ci ont pu être influencés par un désarroi et une absence de formation à la réalisation de diagnostics sanitaires, leur donnant une image biaisée du dépérissement. Il serait dès lors tout à fait légitime de penser que les superficies touchées et le taux de dépérissement aient pu être surestimés. En ce qui concerne l'enquête de 2016, la surface de chênaies dépérissantes a diminué par rapport à 2014. Une explication vraisemblable à ce phénomène serait l'exploitation des chênes lors de passage en éclaircie. De plus, pour l'année 2016, ce sont les correspondants-observateurs au sein du DNF qui ont répondu à cette enquête. Ces études permettent donc d'avoir une bonne connaissance de la localisation des peuplements dépérissants, et suggèrent au travers de la Figure 9 que la région ardennaise est la plus touchée.

#### Travaux de l'UCL Accord-Cadre

Sur les 4 peuplements suivis par Julie Losseau, assistante de recherche de l'UCL, 30 arbres dominants ont été sélectionnés dans chaque peuplement, et un carottage a été réalisé afin de mesurer l'évolution de la croissance radiale. Chaque arbre s'est vu attribuer une des 3 catégories (sain, dépérissant et mort). La croissance radiale a été mesurée depuis 1960, et la dimension de chaque cerne a été évaluée et comparée avec les autres catégories. La nouvelle vague de dépérissement observée en 2013-2014 a débuté en 2010-2011, où il a été constaté que la largeur des cernes a commencé à chuter drastiquement (Losseau 2017). Cependant, le dépérissement de ces arbres est bien antérieur à ces deux années. En effet, l'analyse des cernes (montre qu'une rupture de croissance entre les différentes catégories désignées a eu lieu suite à une répétition de stress hydriques en 1976 et 1986 (Losseau 2017), déclenchant ainsi le processus de dépérissement auquel se sont ajoutées des attaques biotiques en 2012-2013.

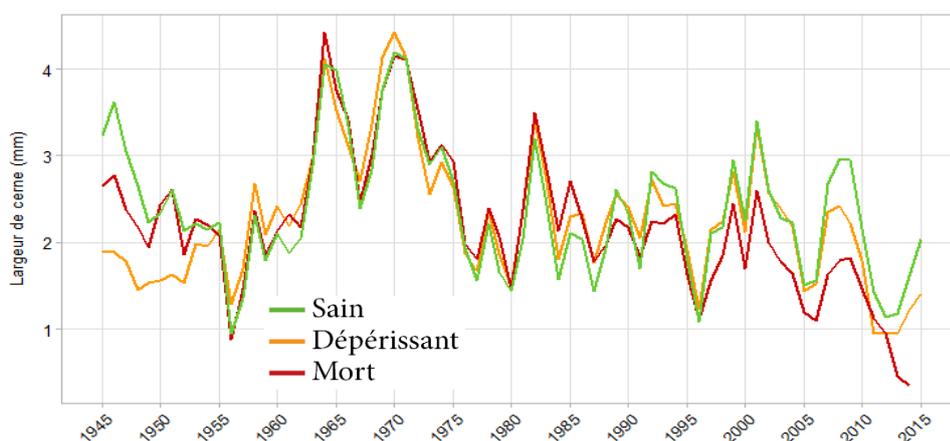


Figure 10 mesure au cours du temps de la largeur de cerne pour trois états sanitaires des chênes pédonculés (sain, dépérissant et mort) (OWSF 2017)

### *Adéquation dépérissement analyse stationnelle*

Une première étude entre le dépérissement et l'aptitude stationnelle a été menée afin de comparer l'influence de l'adéquation stationnelle sur l'état sanitaire des arbres. Ces données sont issues de l'IPRFW, qui a également pratiqué une analyse de sol en laboratoire sur des échantillons de chaque placette (Cordier 2017).

Pour les classes d'aptitude Exclusion, Tolérance élargie et Tolérance, le pourcentage moyen d'arbres dépérissants (dépérissants confirmés à mort) décroît avec l'amélioration des conditions stationnelles. La classe Optimum quant à elle ne permet pas de tirer de conclusion, étant donné le faible nombre de placettes utilisées. Des études complémentaires devraient permettre d'obtenir des informations supplémentaires très importantes (Cordier 2017).

Aptitude	NB de placettes observées	% moyen d'arbres dépérissants
Exclusion	62	6,78
Tolérance élargie	75	6,48
Tolérance	66	4,57
Optimum	3	0,00

*Tableau 3 : Résultats de l'étude sur le % de chêne pédonculé dépérissant en fonction de l'aptitude stationnelle. Données issues de l'IPRFW (Cordier 2017).*

# Matériel et Méthode

## Méthode générale

L'illustration suivant révèle la méthodologie qui a été mise en place tout au long de notre étude.

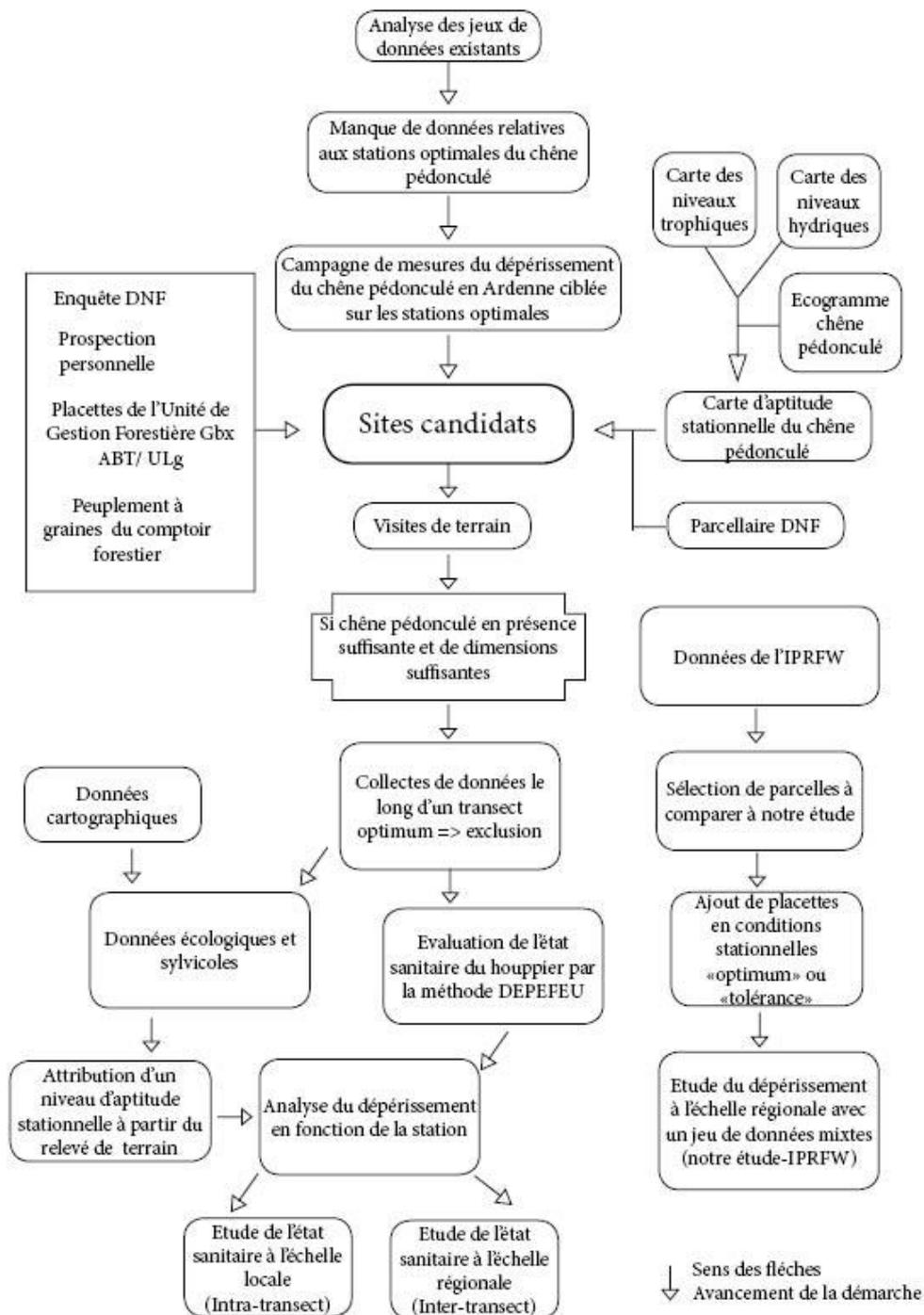


Figure 11: Méthodologie générale de notre recherche

## Zone d'étude

L'étude présentée (Figure 10) dans ce rapport portera uniquement sur la région ardennaise, excepté la Thiérache. Cette dernière n'a pas été intégrée dans l'étude car les données climatiques et lithologiques diffèrent fortement avec le reste du contexte ardennais. Une explication pour ces deux paramètres sera donnée dans les chapitres respectifs.

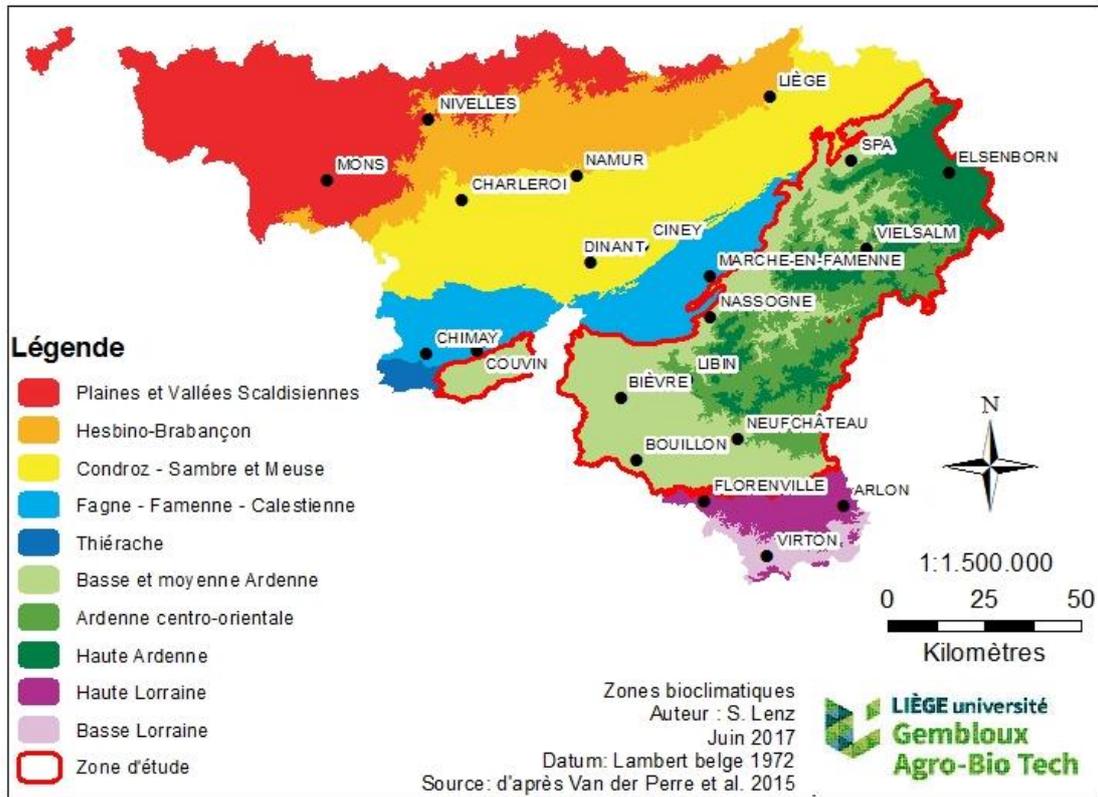


Figure 12 Délimitation de la zone d'étude (périmètre rouge). En arrière-plan : illustration des différentes zones bioclimatiques

La zone d'étude de ce travail s'étend dans les trois régions bioclimatiques constituant l'Ardenne en Wallonie : la Basse et moyenne Ardenne, l'Ardenne centro-orientale et la Haute Ardenne. La surface totale équivaut à environ 5.967 km<sup>2</sup>, et l'altitude varie entre 200 et 692mètres. La zone d'étude sera détaillée au sein des paragraphes suivants.

### Historique

Comme l'a si bien écrit Jean Lemaire « *Mieux connaître le passé pour bien comprendre le présent et mieux prévoir l'avenir.* » (Lemaire 2001)

Les chênes indigènes ont un accroissement annuel relativement faible, ce qui nécessite, lorsqu'ils sont destinés à produire du bois d'œuvre, une révolution plus ou moins longue avant de pouvoir être exploités. (150-200 ans). Il est alors légitime d'admettre que les arbres que nous récoltons actuellement sont le fruit d'une sylviculture passée adaptée à des usages dépassés (charbon de bois, tannerie, construction navale). Les chênes centenaires qui composent aujourd'hui nos forêts sont l'héritage socio-économique légué par nos ancêtres.

Les chênes indigènes ont été favorisés et maintenus par l'homme au détriment d'autres essences feuillues comme le hêtre, principale essence climacique d'Ardenne. De plus, les exigences écologiques des deux chênes indigènes permettent de coloniser une gamme de milieux importante. (Claessens et al. 2010). Une partie de nos chênaies d'aujourd'hui a pour principale origine les régimes utilisés aux XIX<sup>e</sup> et début du XX<sup>e</sup> : le Taillis (T) et le Taillis Sous Futaie (TSF). D'autres sont originaires de plantations du début du XX<sup>e</sup> ou accompagnent le hêtre en Ardennes ou en Gaume (Claessens et al. 2010).

Une brève description du passé historique va être énoncée à la suite de ce chapitre afin d'expliquer au mieux comment les forêts ont évolué au cours du temps, avant de devenir ce qu'elles sont actuellement ainsi que les conséquences entraînées par des choix passés.

A l'époque féodale, la pression sur la forêt par des pratiques sylvicoles (production de bois d'œuvre, bois de feu) ou agro-sylvo-pastorales (essartage, soutrage, étrépage,...), était si sévère que la surface forestière a diminué. Il existait à l'époque deux régimes : le taillis et la futaie. (Balleux 1990)

Au cours du Moyen Age, dès 1200, la sidérurgie et la tannerie se sont fortement développées, engendrant une pression féroce sur les chênaies. Pour répondre à la demande croissante en bois, le régime du taillis de chêne eut une expansion spectaculaire. De plus, fait inimaginable aujourd'hui, le chêne pédonculé a été largement implanté, malgré des conditions stationnelles défavorables par endroits, au détriment du chêne sessile, car le premier donnait un tan de qualité supérieure (Balleux 1990) (Claessens et al. 2010). De plus, le chêne pédonculé est une essence colonisatrice et ce caractère lui a permis d'être répandu très facilement par l'homme. En effet, c'est une essence possédant une fructification précoce et importante, puisque ses glands sont plus gros et possèdent un pouvoir germinatif plus élevé que le chêne sessile. Son tempérament, plus héliophile que le chêne sessile, lui permet d'être plus adapté au régime intensif qu'est le taillis (Widar 2001).

L'arrivée de Colbert et de sa célèbre ordonnance de 1669 a permis de soulager la pression faite aux chênaies, en imposant la conservation d'un certain nombre de balivaux à l'hectare. Cette opération avait pour but d'engendrer une conversion, certes lente, d'une partie de la forêt de Taillis en Taillis sous futaie. Plusieurs rotations ont eu lieu jusqu'à la période pré-industrielle, où la demande en bois a une nouvelle fois explosé, engendrant une nouvelle pression sur la forêt (Balleux 1990).

Au début du XIX<sup>e</sup>, avec l'arrivée du charbon minéral, la métallurgie au bois et toute la filière de production de charbons de bois périclitèrent. La demande en bois avait changé, passant de la fourniture de bois de petites dimensions afin de produire du charbon ou du bois de feu à la fourniture de bois de plus grosses dimensions, pouvant être utilisés en structures (bois de mines, traverses de chemins de fer). Les forestiers ont dû s'adapter et produire des bois de plus grosses dimensions afin de répondre aux nouvelles demandes. A cette époque, la forêt belge souffre et est clairsemée suite à des modes de gestion trop intensifs ne lui permettant pas de se reconstituer. Sa superficie totale a alors atteint son minimum (Balleux 1990).

Avec l'arrivée en Belgique du premier code forestier en 1854, les forêts ont pu se régénérer. En effet, ce code a pour but de limiter les pratiques agro-sylvo-pastorales accordées aux populations et de replanter les terres dites incultes (Balleux 1990). Cependant, il fallut attendre 1884 et le rattachement de l'Administration des Eaux et Forêts au Ministère de l'agriculture, fraîchement créé, pour avoir une vraie politique forestière et une dynamisation de la sylviculture (Lemaire 2001).

L'arrêt de la sidérurgie au bois avait déjà perturbé la gestion des forêts au XIX<sup>e</sup>, mais la diminution de la demande en tan au début du XX<sup>e</sup>, la fin de l'industrie minière à la moitié du XX<sup>e</sup> ainsi que l'augmentation de la demande en bois d'œuvre sonnèrent la fin de l'ère du Taillis et du Taillis-Sous-Futaie (Lemaire 2001). De ce fait, il fallut changer de régime afin de répondre aux nouvelles exigences du marché du bois. Le recrutement de jeunes baliveaux a permis la conversion des taillis en futaie-sur-souches, tout en éliminant systématiquement les semis d'autres essences, afin de ne conserver que des chênaies pures (Balleux 1990; Lemaire 2001).

L'historique des chênaies met en lumière deux facteurs qui pourraient expliquer le dépérissement actuel des chênes pédonculés. Premièrement, le chêne pédonculé a été introduit artificiellement par l'homme en dehors de ses stations de prédilection : fertiles, profondes et constamment pourvues en eau (Poskin 1934). Deuxièmement, le système racinaire des chênaies présent actuellement est très certainement beaucoup plus âgé que l'appareil aérien (anciens baliveaux) dans les forêts issues de TSF. Cela pose plusieurs questions. Le système racinaire, étant au même endroit depuis plusieurs siècles, aurait-il pu appauvrir le sol de façon telle que cela lui soit préjudiciable ? Ensuite, ce même système racinaire ne serait-il pas simplement en fin de vie ?

### Climatique

Le Tableau 1 Tableau 4 renseigne une série de paramètres climatiques valables à l'échelle régionale. Afin d'établir une description locale, il est nécessaire d'y ajouter d'autres observations de terrain permettant de nuancer la valeur renseignée dans le tableau ci-dessus. La topographie et l'exposition sont des paramètres facilement interprétables sur le terrain, permettant d'affiner les données notamment en ce qui concerne les gelées tardives, les températures et d'autres paramètres climatiques, etc. (Van der Perre et al. 2015) L'Ardenne est caractérisée par un hiver long. Les précipitations et la rudesse de l'hiver augmentent avec l'élévation d'altitude (Poskin 1934).

	Thiérarche		Basse et moyenne Ardenne		Ardenne centro-orientale		Haute Ardenne	
	Moy	E-T	Moy	E-T	Moy	E-T	Moy	E-T
Longueur de la saison de végétation (jours)	170	2	163	4	156	2	151	2
Précipitations annuelles (mm)	1145	27	1170	118	1136	70	1219	79
Températures moyennes annuelle (°C)	9.2	0.1	8.7	0.3	8.1	0.2	7.7	0.2
Indice de Lang (Xéricité) (mm.°C <sup>-1</sup> )	126.1	4.5	136.8	17	141.8	9.2	161.4	13.1
Précipitations durant la saison de végétation (mm)	505	9	509	26	502	27	537	35
Bilan hydrique climatique estival (mm)	31.8	10.2	37.3	25.5	37.3	25.5	78.6	34.6

Tableau 4 : Présentation des moyennes (Moy) et de l'écart-type (E-T) associé des différentes variables climatiques des 4 régions bioclimatiques (Thiérarche, Basse et moyenne Ardenne, Ardenne centro-orientale et Haute Ardenne) (Van der Perre et al. 2015).

La Thiérarche, comme mentionné précédemment, n'a pas été prise en compte au sein de l'Ardenne car cette région est caractérisée par un climat humide et chaud, ce qui diffère du climat plus froid typique du reste de l'Ardenne (Van der Perre et al. 2015). La Basse et moyenne Ardenne sont considérées comme faisant partie de l'Ardenne dite « chaude » tandis que l'Ardenne centro-orientale et la Haute Ardenne sont comprises dans l'Ardenne qualifiée de « froide ».

## Géologie-Lithologie-pédologie

Le massif ardennais est majoritairement issu du Dévonien inférieur avec par endroits apparition de couches cambriennes, siluriennes et ordoviciennes (Boulvain et Pingot 2017). Ainsi, ces formations géologiques, principalement d'origine sédimentaire, sont essentiellement composées de schistes, grès, quartzites et phyllades (Jamagne 2011).

La Thiérarchie est, quant à elle, composée de plusieurs couches géologiques formées à différents moments (Jurassique, Crétacé, ..). Cependant, ce qui rend cette région si particulière est le fait qu'elle soit recouverte de dépôts d'origines tertiaires et quaternaires. Ces dépôts de limon, de sable ou d'argile peuvent être importants et confèrent par conséquent des propriétés pédologiques différentes du reste des Ardennes (Chantriot 1901).

Les produits d'altération issus des roches du massif ardennais sont fonction de la nature de celles-ci. Ils seront de type argileux lorsque la roche mère est composée de schistes, et de type sablonneux lorsque la roche-mère est gréseuse ou quartzitique (Jamagne 2011). Ainsi, les sols ardennais, qualifiés de sols bruns acides (Duchaufour 1997), sont de texture principalement limoneuse en mélange avec les produits d'altération cités ci-dessus. Ces sols peuvent également posséder ou non une charge caillouteuse issue de ces mêmes roches, avec une gradation continue de la teneur en la roche-mère. La Figure 13 illustre les principaux types de sols à l'échelle régionale. Le pH des sols a été mesuré en laboratoire à partir d'échantillons collectés par l'IPRFW, qui a également réalisé une analyse de sol. Les valeurs obtenues sont respectivement de 4,2, 4,1 et 4,0 pour la Basse et moyenne Ardenne, l'Ardenne centro-Orientale et la Haute Ardenne et de 4.1 pour la Thiérarchie (Cordier 2015).

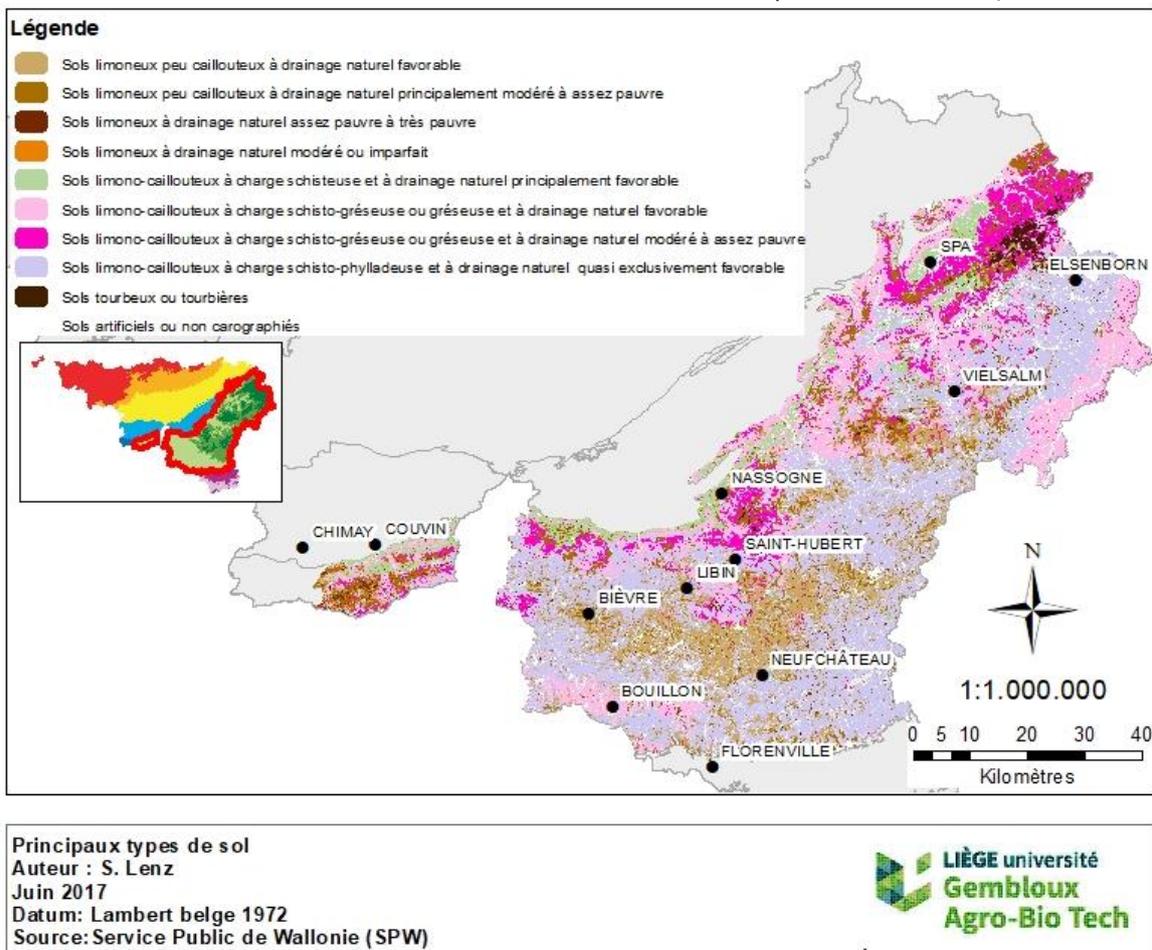


Figure 13 : Principaux types de sol de la zone d'étude

## Surface forestière

Avant tout, il est important d'apporter quelques précisions sur les données qui vont être énoncées ci-dessous. Comme mentionné précédemment, l'étude développée dans ce rapport se base sur trois régions biogéographiques ardennaises, à savoir la Basse et la moyenne Ardenne, l'Ardenne centro-orientale et la haute Ardenne. Les données renseignées par l'IPRFW (Alderweireld et al. 2015) regroupent à la fois les 3 régions biogéographiques citées ci-dessus et la Thiérarchie. Il peut y avoir une certaine approximation sur les données renseignées, mais celle-ci devrait être négligeable étant donné la faible différence de superficie entre l'Ardenne, au sens de la définition *zone-biogéographique* et celle donnée par l'IPRFW. La Thiérarchie représente 111 km<sup>2</sup>, tandis que l'ensemble de l'Ardenne et de la Thiérarchie a une superficie de 6078 km<sup>2</sup>.

L'Ardenne est la région la plus boisée de Wallonie, avec 58% de sa surface recouverte de forêts (Alderweireld et al. 2015). Comme l'indique la Figure 14, les pessières sont le type de peuplements le plus souvent rencontré dans cette région, et représentent environ 50% de la surface forestière productive. De leur côté, les feuillus – dont l'ensemble représente 36% de la surface forestière ardennaise (Alderweireld et al. 2015) – sont majoritairement représentés par les chênaies, les hêtraies et le mélange des deux, avec respectivement 11%, 10% et 4,5%. Cependant, cette répartition n'est pas égale tout au long du gradient altitudinal. Les chênaies règnent sur la forêt entre 100 et 300 m d'altitude, avec 67% de leur surface comprise dans cet intervalle (Alderweireld et al. 2015). Avec l'augmentation de l'altitude, ce sont les pessières et les hêtraies qui deviennent de plus en plus courantes, pour devenir majoritaires sur le plateau ardennais où 63% des pessières sont présentes au-delà de 400 m d'altitude. Ainsi, la forêt en Ardenne évolue selon la topographie, les hêtraies et pessières occupent les plateaux, dans les versants, milieux souvent plus pauvres et plus secs, c'est le chêne sessile qui est présent et enfin, le chêne pédonculé se retrouve dans les fonds de vallées où les conditions lui sont plus propices : frais et fertile (Alderweireld et al. 2010).

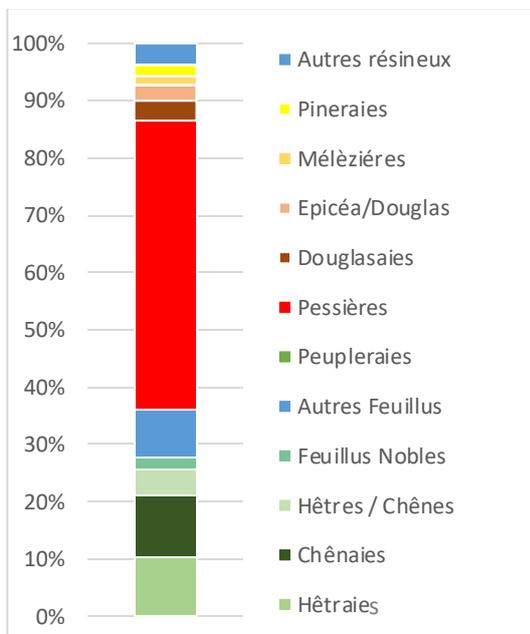


Figure 14 Répartition de la surface forestière productive des différents types de peuplements en Ardennes (Alderweireld et al. 2015)

La Figure 15 présente le pourcentage de forêt recouverte par des chênaies (*Quercus Robur* L. et *Quercus petraea* (Matt.) Liebl sans distinction) pour la région ardennaise et ce, pour chaque cantonnement. Les données utilisées pour créer cette carte proviennent de l'IPRFW.

Cette carte exprime également le ratio des deux chênes indigènes pour chaque cantonnement. Pour construire cette carte, nous avons utilisés les relevés floristiques de l'IPRFW.

Pour cette opération, les cantonnements de Malmédy, Bullange, Elsenborn et Eupen ont été rassemblés afin d'avoir un nombre de placettes plus significatif. Malgré ce regroupement, le ratio présente une proportion anormalement élevée de CP en Haute Ardenne. La proportion de CP a tendance à diminuer avec l'altitude.

Ainsi, ce sont les parties ardennaises des cantonnements de Chimay, Couvin et Viroinval qui possèdent le taux de chênaies le plus important. En règle générale, la proportion de chênes sessiles est plus importante que celle des chênes pédonculés.

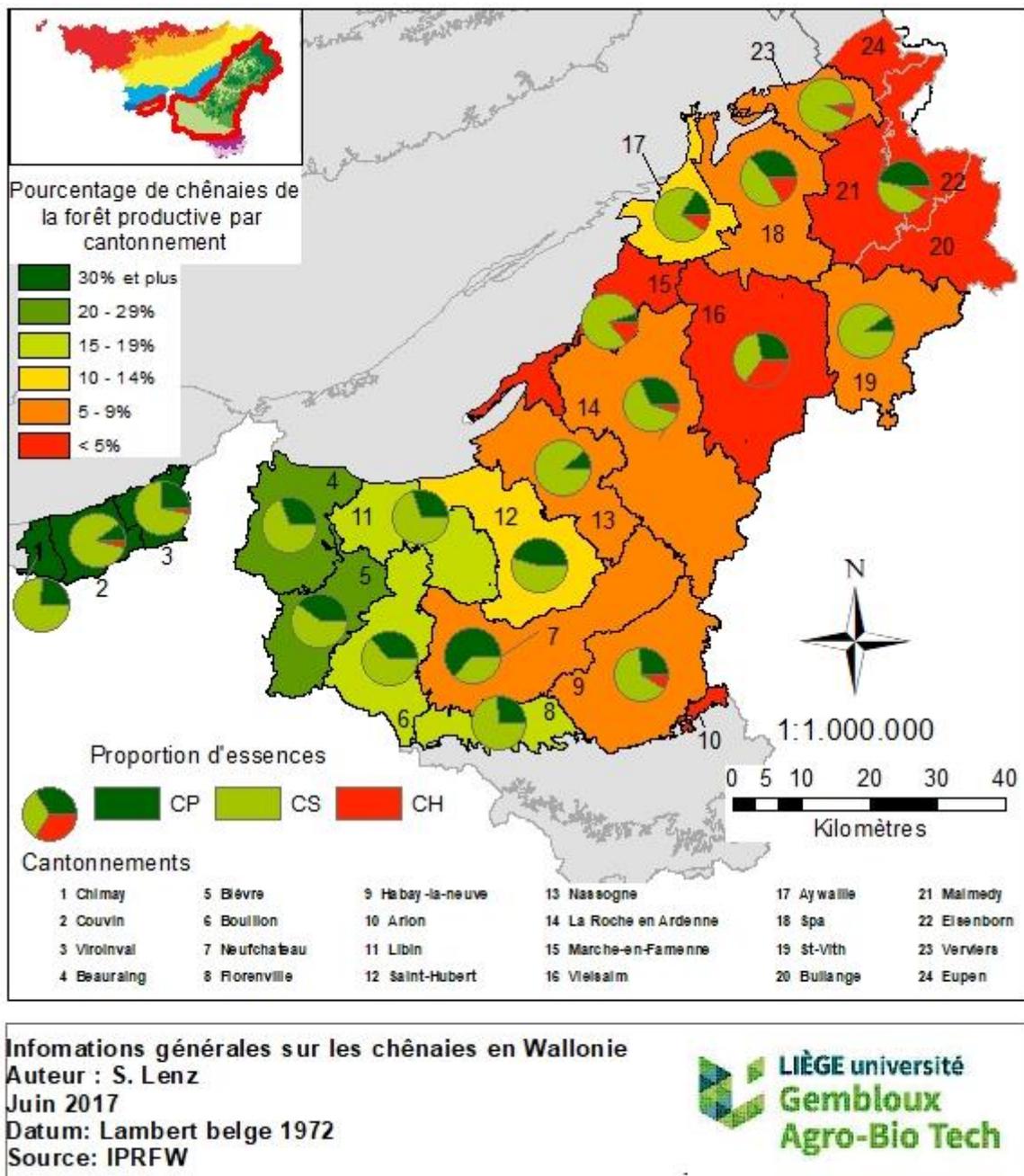


Figure 15: proportion de chênaies indigènes par cantonnement (fond unis). Les camemberts renseignent sur la proportion de chêne pédonculé (CP), Chêne sessile (CS) et où une distinction n'a pas été possible (CH) (Alderweireld et al. 2015)

### Description des outils d'estimation du dépérissement

L'estimation de l'état sanitaire des peuplements peut se réaliser à partir de différentes techniques couramment utilisées, notamment à l'aide des méthodes Depefeu, Archi ou encore ICP. Cependant, chacune d'entre elles utilise des critères d'estimation de l'état sanitaire des arbres qui leur sont propres. De plus, des conditions particulières d'application doivent être respectées pour chacune d'elles. Le Tableau 5 synthétise les différentes méthodes.

Méthode	Type de critères	Essences	Période de Notation	Restrictions/limites	Domaine préférentiel d'utilisation
<b>Mortalité des branches</b>	Critère unique : distinction entre les grosses branches ( $\varnothing > 3\text{cm}$ ) et brindilles ( $\varnothing < 3\text{cm}$ ).	Toutes	Toutes saisons	Disparition des branches mortes par les intempéries	Lorsque la période de mesure se réalise sur toute l'année
<b>Depefeu synthétique</b>	2 critères : Mortalité des branches Perte de ramification Note qualitative de 0 (absence) à 4 (total)	Toutes	/	/	/
<b>Depefeu</b>	9 critères répartis dans 3 catégories : - <b>Transparence</b> : Fenêtre, Echancre, Globale - Mortalité des organes pérennes : Rameaux Branches, globale - <b>Répartition de la masse foliaire</b> : Fouets, Paquets et Perte Rameaux fins Note qualitative de 0 (absence) à 4 (total) attribuée à chaque critère permettant de calculer un indice de dépérissement.	Feuillus ayant atteint le stade adulte afin de présenter un houppier développé	Eté ou Hiver	Uniquement les essences feuillues	Peuplements adultes de chênes indigènes (CP et CS) et de hêtres
<b>Déficit foliaire</b>	Déficit foliaire par rapport à un arbre de référence	Toutes	Eté, en pleine période de végétation	Définir un arbre de référence situé dans des conditions stationnelles, climatiques et sylvicoles similaires	Résineux
<b>ICP</b>	Collecte de données sur la floraison, la fructification et les causes probables du dépérissement				/
<b>Archi</b>	5 descripteurs dont 2 concernant les branches sommitales (mortalité et ramification), et 3 relatifs aux gourmands (direction, ramification et hiérarchie)	chêne pédonculé, chêne sessile, Chêne pubescent, châtaignier, douglas et sapin pectiné	Hiver	Uniquement certaines essences, Avec distinction des différents gourmands	Aide à la décision du forestier avant intervention dans le peuplement. Informe sur la réversibilité ou non du dépérissement

Tableau 5 Tableau synthétique sur les différentes méthodes d'estimations de l'état sanitaire des arbres (Nageleisen 2008; Inconnu 2010; Gauquelin 2011; Drénou et al. 2011)

## Données existantes et choix de notre méthode

En Wallonie, différents organismes réalisent déjà des suivis du dépérissement des forêts. Le Tableau 6 liste les différents jeux de données existants, ainsi que la méthode utilisée, le nombre d'observations et une brève description pose le contexte de ces études. Seules les données portant sur le chêne pédonculé ont été compilées. Ainsi, ce sont les jeux de données en provenance de l'IPRFW qui nous intéressent afin de pouvoir réaliser une étude du dépérissement à l'échelle régionale.

Origine	Méthode	Nombre de sites En Ardenne (Wallonie)	Remarques
OVSF (OVSF 2017)	Depefeu Défoliation ICP	6 (7)	Des sites témoins ont été sélectionnés durant l'été 2014 afin de suivre l'évolution du dépérissement du chêne pédonculé.
UCL-OVSF (Laurent et al. 2011)	ICP	8 (16)	Ces données font partie d'un sous-ensemble à l'échelle Européenne du suivi de l'état sanitaire des houppiers. Ces mesures sont réalisées sur des placettes de l'IPRFW, où une analyse de sol a été réalisée.
UCL-OVSF (Losseau 2017)	ICP	4 (4)	Etude réalisée au sein de « Accord Cadre de Recherche et de Vulgarisation forestière 2014-2019 » menée par l'UCL et en partenariat avec l'OVSF. Cette étude a pour vocation de comprendre le processus complexe de dépérissement du chêne pédonculé. Les sites ont été sélectionnés suite à l'enquête de l'OVSF menée en 2014.
IPRFW Chênaies (Alderweireld et al. 2015)	Etat général du peuplement	96 (307)	Sélection de parcelles issues d'un inventaire systématique réalisé à l'échelle régionale. Seules les parcelles dont la surface terrière des chênes indigènes (CP et CS) représente au minimum 2/3 de la surface terrière totale du peuplement ont été sélectionnées (Alderweireld et al. 2015). Ces données proviennent du deuxième cycle d'inventaire (de 2008 à 2015).
IPRFW Autres peuplements (Alderweireld et al. 2015)		99 (315)	Sélection de parcelles issues d'un inventaire systématique réalisé à l'échelle régionale qui regroupe tous les autres types de peuplements où le CP est présent. Ces données proviennent du deuxième cycle (de 2008 à 2015)
IPRFW analyse de sol (Cordier 2015)		46 (112)	En plus des données sur l'état sanitaire, cette catégorie regroupe les données de l'IPRFW ( <i>Chênaies et Autres peuplements</i> ) du premier cycle (1994 à 2008) et du second cycle (de 2008 à 2015), où une analyse détaillée du sol a été réalisée en laboratoire.

Tableau 6 Synthèses des données sur l'estimation de l'état sanitaire des chênaies pédonculées en Ardenne

Il est important de préciser que le jeu de données obtenu auprès de l'IPRFW rassemble les informations collectées entre 2008 et mi-mars 2015 et que toute l'Ardenne a bien été échantillonnée (Lecomte, communication personnelle).

En ce qui concerne les données « IPRFW *Chênaies* » et « IPRFW *Autres peuplements* », deux évaluations de l'état sanitaire sont réalisées systématiquement :

- L'approche **PEUPEMENT** est mise en place sur un rayon de 36m autour du centre de la placette et donne un stade de développement du dépérissement pour le peuplement (initial, intermédiaire, mort et tous stades) de même que le pourcentage d'arbres présentant un état sanitaire déficient (<5%, 5-25%, 25-50%, 50-75% et > 75%). Cette approche donne un état sanitaire global du peuplement.
- L'approche **ARBRE** est quant à elle mise en place sur un rayon de 18m autour du centre de la placette, et attribue une note de 0 à 4 inspirée de la méthode Depefeu par avis d'expert à chaque arbre mesuré.

Outre l'estimation de l'état sanitaire des chênes pédonculés, les trois jeux de données provenant de l'IPRFW disposent également d'une multitude d'autres informations, décrivant notamment la ressource en bois et détaillant précisément l'environnement. En effet, un sondage du sol à la tarière a été réalisé pour chaque placette et le profil a été décrit. La méthode Braun-Blanquet a été pratiquée afin de décrire le cortège floristique en place sur chacune d'entre elles. Il est important de rappeler que le rôle premier de l'IPRFW est de quantifier la ressource en bois en région wallonne, les autres paramètres étant qualifiés de secondaire.

### **Méthode phytosanitaire utilisée**

Avant de choisir la méthode à utiliser, un certain nombre de contraintes se sont imposées ; elles sont notifiées ci-dessous :

- Le travail sur le terrain a été planifié sur 8 semaines (du 20 mars au 14 mai) ce qui représente potentiellement 48 jours (samedi compris)
- L'estimation de l'état sanitaire des houppiers sera par conséquent effectuée sans feuilles
- Le nombre d'arbres échantillonnés quotidiennement est relativement faible. Selon Elodie Bay, de l'OWSF (**communication personnelle**), une cinquantaine d'arbres peuvent être mesurés journalièrement. Dans la littérature, selon le protocole utilisé, le temps nécessaire est de 2h pour l'estimation du déficit foliaire d'une vingtaine d'arbres et de plus de 3h pour la méthode Depefeu sur 50 arbres (Gauquelin 2011).
- La méthode employée devra être compatible avec les mesures sanitaires réalisées par l'IPRFW.

Les deux méthodes pouvant être utilisées hors-feuilles et qui donnent les résultats les plus intéressants sont Archi et Depefeu. Cependant, la méthode Archi n'est pas encore bien répandue en Wallonie ; des séances de formation auprès du DNF sont réalisées annuellement afin d'initier les agents à son utilisation. Seul le cantonnement d'Habay-la-Neuve l'utilise couramment (OEW 2016) Référence à modifier. La méthode Archi apporte une information dynamique sur les capacités de résilience des arbres face à un stress, et permet ainsi aux forestiers de discerner les arbres ayant un réel avenir de ceux étant irréversiblement dépérissants. La méthode est sujette à une nouvelle campagne de validation en France. De plus, pour l'utiliser, il est nécessaire d'attendre 2 à 3 ans après une éclaircie afin que les arbres aient le temps de réagir au stress occasionné par celle-ci (mise en

lumière, passage des engins d'exploitation,...). La réaction sera fonction de la vitalité de l'arbre, puisque celui-ci produira ou non certains types de gourmands, informant ainsi sur le devenir de l'arbre.

Par conséquent, après la lecture des différentes contraintes imposées et la discussion entre les méthodes Depefeu et Archi, c'est le diagnostic Depefeu qui a été retenu afin d'estimer l'état sanitaire pour l'étude développée dans ce rapport. La méthode Depefeu, acronyme pour DEPERissement d'essences FEUillues, permettra d'intégrer les données collectées sur le terrain par nos soins au sein du jeu de données issu de l'approche *Arbre* IPRFW.

### Conclusions sur les données.

Dans les données fournies par l'IPRFW, bien que le nombre de points d'échantillonnage soit important (195 si les jeux de données *Chênaies* et *Autres peuplements* sont rassemblés), seuls 2 sites ont été identifiés comme présentant des conditions stationnelles optimales. Ces résultats ont été obtenus à partir du croisement des cartes de localisation des placettes d'échantillonnage et d'aptitude stationnelle, présentées précédemment. Le Tableau 7 permet de visualiser le nombre de placettes par catégories d'aptitude.

Nom du jeu de données (nbr de données)	Exclusion	Tolérance élargie	Tolérance élargie – Tolérance	Tolérance	Optimum	Non - référencées
IPRFW Chênaies (96)	13	61	5	14	1	2
IPRFW Autres peuplements (99)	9	68	5	12	1	4
Total (185)	22	129	10	26	2	6

Tableau 7 Résumé des données de l'IPRFW pour l'approche *Arbre*. Le nombre de placette est ventilé par aptitude stationnelle (Al derweireld et al. 2015)

Ces résultats issus de la cartographie sont certes théoriques et nécessiteront une analyse stationnelle plus approfondie, afin de pouvoir leur attribuer un niveau d'aptitude stationnelle réel issu de l'analyse de variables environnementales. Néanmoins, la grande disparité entre le nombre d'occurrence par niveau stationnel ne permet pas de réaliser une analyse statistique rigoureuse entre l'adéquation stationnelle et le dépérissement.

L'attribution d'une classe d'aptitude stationnelle aux UEs est seulement la première étape. La seconde est de regarder si chacune d'entre elles répond bien aux conditions d'applications de la méthode d'estimation de l'état sanitaire utilisée. Pour ce qu'il en est de la méthode Depefeu, comme nous le verrons plus tard, les deux conditions principales sont : un nombre suffisant d'arbres mesurés (>20) et ceux-ci doivent avoir atteint l'âge adulte afin que leur houppier soit correctement développé (Nageleisen 2008). Le Tableau 8 renseigne pour chaque condition appliquée, le nombre de placettes présentes dans chaque aptitude stationnelle. L'adéquation stationnelle a été déterminée à partir des relevés écologiques (cortège floristique, sondage pédologique et topographie) consignés par les agents de l'IPRFW sur le terrain.

Origine	Conditions	Nombre de placettes sélectionnées (sur un total de <b>195</b> placettes en Ardenne)
IPRFW <b>Arbre</b>	≥ 10 arbres de C150 ≥ 130	Optimum : 0 Tolérance : 4 Tolérance élargie : 14 Exclusion : 7
	≥ 15 arbres de C150 ≥ 130	Optimum : 0 Tolérance : 2 Tolérance élargie : 0 Exclusion : 0

*Tableau 8 Nombres totales de placettes de l'IPRFW selon les conditions établies et ventilées par aptitude stationnelle*

La première sélection sera utilisée au sein de notre travail malgré le peu d'arbres présents par placette. Des précautions seront à prendre lors de l'interprétation des résultats.

Il a donc été décidé de construire un jeu de données propre, basé sur la recherche de chênaies pédonculées en conditions stationnelles optimales et d'y mesurer l'état sanitaire. Si l'occasion se présente, des chênaies pédonculées en conditions stationnelles tolérantes seront également inventoriées afin de compléter le jeu de données de l'IPRFW. En complément à cette recherche, des transects seront matérialisés sur le terrain à partir des chênaies pédonculées en conditions stationnelles optimales. Ainsi, une analyse à l'échelle locale permettra de diminuer l'influence de l'opérateur, de la sylviculture et du climat sur les résultats. De cette manière, la relation entre la station et le dépérissement sera, à priori, meilleure. Dès lors, une grande partie de cette recherche consistera à construire un jeu de données équilibré.

# Plan d'échantillonnage

## Données cartographiques

Afin de localiser des sites candidats pouvant s'avérer intéressants pour l'étude ci-présente, une liste compilant les données cartographiques employées a été construite et est présentée au Tableau 9.

Couche Numérique	Description
Carte hydrique du NFEE (Sevrin 2008)	Carte en format raster parcourant l'entièreté de la Wallonie où chaque pixel se voit attribuer un niveau hydrique. La résolution est de 10m.
Carte trophique du NFEE (Ridremont 2015)	Carte en format raster parcourant l'entièreté de la Wallonie où chaque pixel se voit attribuer un niveau trophique. La résolution est de 25m.
MNT (SPW <sup>1</sup> 2005)	Carte en format raster possédant une résolution de 10 et parcourant l'entièreté de la Wallonie, où une valeur d'altitude est attribuée à chaque pixel. Ces données sont à la base d'une multitude d'autres cartes liées à la topographie.
Parcellaire du DNF (Inconnu 2013)	Carte renseignant et décrivant les différentes entités de gestions des forêts soumises. Elle renseigne ainsi la ou les essence(s) présente(s), la surface occupée par chaque espèce et la date de plantation si elle est connue.
Carte topographique (IGN 2012)	Carte à l'échelle 1/20 000 où, outre les aspects topographiques fournis par cette carte, des informations concernant la couverture du sol sont détaillées.
Carte de discrimination des essences forestières (Bolyn 2017)	Carte en format raster possédant une résolution de 10m et parcourant la majorité de la Wallonie. Faite à partir d'images satellitaires, cette carte permet de discriminer les différents types de peuplements (chênaies, hêtraies, pessières,...) entre eux. Bien que cette carte soit toujours en phase de développement, les informations qu'elle contenait étaient suffisantes pour cette étude.
Orthophotoplan (SPW 2015)	Image aérienne de l'année 2015
CNSW (SPW <sup>2</sup> 2005)	Carte vectorielle donnant différentes informations sur le sol. Chaque polygone est caractérisé par une série de 4 lettres principales le décrivant. Dans l'ordre, ce symbole décrit la texture, le drainage, le développement de profil et la charge en éléments grossiers. Une série secondaire composée de préfixes et suffixes peut compléter l'information en renseignant sur la nature du substrat ou la teneur et la profondeur d'apparition des éventuels éléments grossiers.

Tableau 9 Ensemble des données cartographiques utilisées afin de trouver des sites candidats

## Recherche de sites candidats

Maintenant que les différentes données cartographiques ont été brièvement décrites, la procédure de recherche de sites candidats peut être entamée. Premièrement, les cartes des niveaux hydriques et trophiques, issues du NFEE, ont été combinées afin de créer une carte d'aptitude stationnelle pour le chêne pédonculé en accord avec son écoگرامme. Cette carte a été la première étape de la recherche de sites potentiels. Elle a ensuite été croisée avec le parcellaire du DNF, où seuls les peuplements de chênes pédonculés étaient sélectionnés et, à défaut de distinction entre les deux espèces de chênes, les peuplements mélangés -chêne pédonculé et chêne sessile- ont également été pris en compte. Après cette première sélection, une seconde a eu lieu afin de retirer tous les peuplements issus de plantation, ainsi que les surfaces de moins de 0,5 ha. Malheureusement, le parcellaire est incomplet et pour certains cantonnements, des zones plus ou moins étendues étaient manquantes. Pour contrer ce problème, une seconde approche a été utilisée : la carte d'aptitude stationnelle a été croisée manuellement avec les cartes IGN et l'orthophotoplan. La carte de discrimination des espèces a été employée dans les deux méthodes afin d'identifier les tendances (peuplements purs, mélangés, coupe à blanc, ...).

Seules les chênaies pédonculées, chênaies mélangées le cas échéant, se trouvant en conditions stationnelles optimales ont été répertoriées dans un premier temps. Conjointement à la recherche de points candidats réalisée à partir de données cartographiques, une recherche sur le terrain, par enquête auprès des forestiers ou par recherche personnelle, a été menée à proximité des points candidats afin d'augmenter la possibilité de trouver de nouveaux sites.

Les peuplements à graines de chêne pédonculé renseignés par le comptoir forestier de Marche-en-Famenne ont également été pris en compte. Les conditions environnementales de ces peuplements sont connues, et il est par conséquent aisé d'établir un niveau d'aptitude stationnelle détaillé. Les parcelles où l'unité de Gestion des Ressources Forestières (Gembloux Agro-Bio Tech/ULg) a réalisé une étude stationnelle détaillée ont également été ajoutées à notre recherche. Néanmoins, seuls les sites présentant un nombre suffisant d'arbres d'une certaine dimension ( $C_{150} > 130\text{cm}$ ) furent sélectionnés. Une enquête auprès des cantonnements a également été réalisée afin de trouver de nouveaux sites candidats.

La recherche de sites candidats a principalement été conduite sur des forêts a priori publiques, afin de pouvoir y obtenir une autorisation de circulation plus facilement. Si toutefois un site candidat se trouvait dans un bois privé, une démarche visant à contacter le propriétaire serait prise afin de pouvoir y accéder.

Le Tableau 10 présente le nombre de sites présélectionnés ainsi que leur provenance et la Figure 16 permet de visualiser la répartition géographique des différents sites candidats. Presque l'entièreté des sites se situe en Basse et moyenne Ardenne.

Origines	Sites	Remarques
Notre étude	86	Sites potentiels obtenus par croisement de la carte d'aptitude stationnelle, du parcellaire du DNF, de la carte de discrimination, de l'orthophotoplan et de la carte IGN 1/20000.
Comptoir forestier	2	Peuplements à graines de chêne pédonculé. Ces données ont été renseignées par le comptoir forestier
Unité de Gestion des Ressources Forestières	7	Placettes où une analyse stationnelle a été réalisée par l'unité de Gestion des Ressources Forestières de Gembloux Agro-Bio Tech et où des chênes pédonculés d'une certaine dimension (C150>150cm) ont été répertoriés.

Tableau 10 Résumé des sites candidats présélectionnés

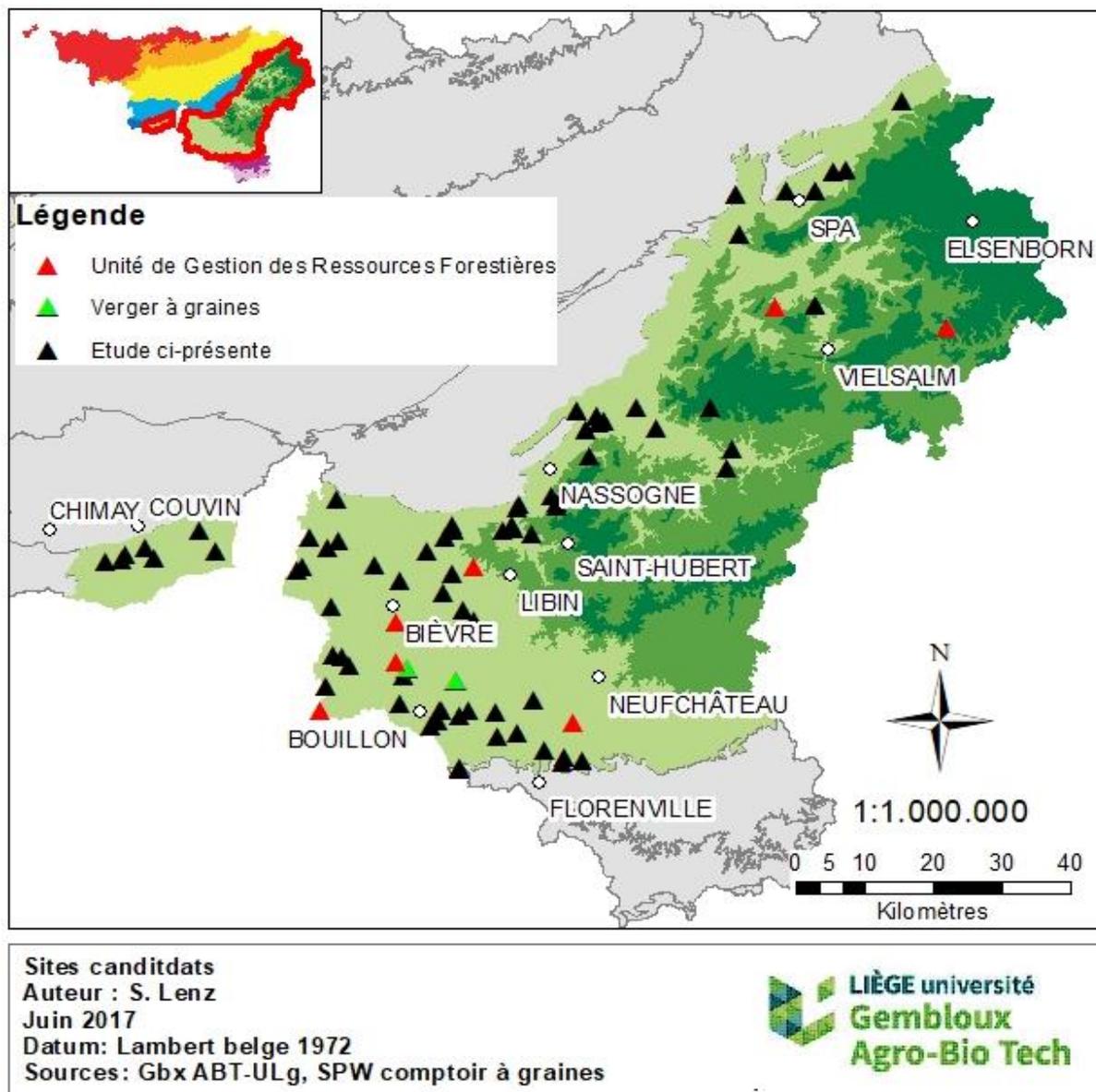


Figure 16: Localisation des sites candidats présélectionnés

## Récolte de données sur le terrain

### Procédure

La position des 86 sites potentiellement intéressants identifiés lors de notre recherche et les placettes présentes dans les transects matérialisés ont été encodés dans un Gps de terrain Garmin Série GPSMAP®62. Des cartes d'aptitudes stationnelles ainsi que des cartes topographiques IGN à l'échelle 1/20000 ont été chargées dans un smartphone afin de faciliter la localisation des UEs sur le terrain. L'annexe 2 présente la fiche terrain utilisée durant notre recherche.

Pour chaque transect, les sites candidats ont été parcourus en premier. Lorsque sur ceux-ci, le chêne pédonculé était, pour diverses raisons, absent—rendant ainsi impossible toute prise de mesure—, le transect était alors retiré de l'analyse et n'a pas été parcouru. Les coordonnées cartographiques du lieu de la collecte de données pouvaient différer des coordonnées encodées dans le GPS et ce pour diverses raisons : trop peu ou pas de chêne pédonculé à cet endroit, milieu hétérogène, voiries, ... La carte d'aptitude stationnelle a permis de localiser un nouveau site à proximité immédiate tout en restant dans la classe d'aptitudes stationnelles recherchées.

La distinction entre les deux chênes s'est basée sur la différence de traits morphologiques des deux espèces (*Quercus Robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl)) à partir d'informations trouvée dans la littérature (Focant 2000; Lemaire 2010) . L'analyse des feuilles au niveau du sol donne une première vue sur la composition du peuplement.

Sur chaque UE, un ensemble de paramètres a été mesuré. Dans le chapitre suivant, la méthodologie appliquée sur le terrain va être expliquée.

### Description de l'historique

Comme mentionné dans le chapitre portant sur l'historique de la forêt wallonne, l'antécédent d'un peuplement peut toujours influencer les peuplements actuels. Dans l'optique d'acquérir un ensemble de données pouvant justifier la situation actuelle, l'historique a également toute son importance. Pour ce faire, une tentative d'obtention d'informations portant à la fois sur l'origine du peuplement (plantation, ancien taillis,...) et sur les dernières coupes sylvicoles (causes, intensité,...) sera réalisée auprès de chaque cantonnement.

### Données écologiques

#### *Description topographique*

Dans cette catégorie, seule la position de la placette dans la toposéquence a été interprétée sur le terrain. Les autres paramètres (Altitude, Pente, Exposition) ont été estimés à partir d'une couche MNT sur le logiciel Arcmap. Cette décision a été prise afin de réduire le temps nécessaire à la collecte de données sur le terrain. De plus, Brusten (2009) renseigne qu'il est possible de les obtenir à partir d'une MNT de façon fiable. La position de la placette sur le terrain a pour but de donner une information sur les apports d'eau. Les différentes positions topographiques ont été regroupées en trois catégories.

Plateau	A = Pas d'apport d'eau latéral
Haut de pente	
Bas de pente	B = Apport d'eau latéral variable
Replat ou axe drainant	
Plaine alluviale	C = Apport d'eau quasi-permanent
Fond de vallée	

Tableau 11 Interprétation de la topographie

A côté des données cartographiques énoncées au Tableau 11 afin de permettre la localisation des sites, un ensemble d'autres cartes a été utilisé afin de caractériser les placettes en termes de conditions stationnelles. Elles permettront également de déterminer s'il existe une variation de l'état sanitaire des arbres en fonction des paramètres environnementaux.

À partir du MNT	
Pente	Création d'une carte exprimant la pente en degrés à partir de l'outil <i>Slope</i> (pente) dans Arcgis.
Exposition	Création d'une carte exprimant l'exposition en degrés (0° à 360°) à partir de l'outil <i>Aspect</i> (exposition) dans Arcgis.
Sous-secteurs (Delvaux et Galoux, 1962)	A partir des données topographiques création d'une carte définissant 3 catégories en fonction de l'énergie thermique et de l'exposition. sous-secteur froid : versants fortement inclinés n'interceptant pas de rayon solaire direct. Ces conditions sont considérées comme ombragées. sous-secteur chaud : versant fortement incliné interceptant une grande quantité de rayons solaires. sous-secteur neutre : Conditions géomorphologiques peu ou pas inclinées.
A partir de la CNSW	
Réservoir Utilisable Maximal (Ridremont et al. 2012)	Détermination à partir des principaux types de sol de la réserve utile du sol exprimée en millimètre d'eau (mm <sup>3</sup> ). Une unité de RUM (Réserve Utilisable Maximale) est la quantité d'eau maximale contenue et est attribuée pour chaque classe texturale. Les autres paramètres utilisés sont la profondeur de sol ainsi que la teneur en charge grossière.  $RU_{sol\ ou\ horizon} = RUM \times Ep \times (1 - Tc)$ Ep : Epaisseur Tc : Charge en éléments grossiers
Autre	
COSW (SPW <sup>4</sup> 2010)	Carte détaillant l'occupation du sol (Surfaces agricoles, surfaces urbanisées, forêts feuillues, ...) à travers la Wallonie. La version utilisée est V1_06 et date du 08/06/2010.

Tableau 12 Données cartographiques utilisées afin de caractériser la station

### Description pédologique

Un sondage pédologique à la tarière a été réalisé à chaque placette d'échantillonnage. Différents paramètres ont été interprétés : la texture, la nature et l'abondance de la charge caillouteuse, la profondeur du pseudogley ou gley s'ils sont présents, le développement de profil ainsi que la profondeur du sondage et les causes probables de l'arrêt de ce sondage. En complément à ces informations, la détermination du type d'humus (Jabiol et al. 1995) ainsi qu'une analyse au pH colorimétrique dans l'horizon Ah ont été effectuées. Afin de rendre la détermination de l'humus pertinente pour évaluer le niveau trophique, une correspondance type d'humus – pH estimé a été établie (Tableau 13) conjointement avec Monsieur Claessens et sur base d'une recherche antérieure (Gillet 2005).

Type d'humus	pH estimé
Mull	≥ 5
Hémimoder	< 5
Moder	≤ 4,2
Mor	≤ 3.8

Tableau 13 Correspondance entre le type d'humus et le pH

Le sondage pédologique a pour but de confronter les données de terrain avec les données théoriques issues de la cartographie. L'ensemble de ces données permettra de déterminer un niveau hydrique et trophique.

#### Description floristique

Un relevé phytologique a été réalisé au sein de chaque UE. La collecte de données s'est déroulée de fin mars à début mai. Cette période se situe donc juste avant la reprise de la végétation et par conséquent, de nombreuses espèces n'étaient pas présentes ou ont dû être identifiées à partir de leur appareil végétatif seulement, ce qui n'est pas chose aisée pour certaines familles telles que les Cyperaceae.

La méthode Braun-Blanquet a été mise en place sur un rayon de 12 mètres (environ 450 m<sup>2</sup>) en hiérarchisant les observations par strates (Tableau 14) et en y attribuant un indice de recouvrement (Tableau 15) ainsi qu'un indice de sociabilité (Tableau 15).

Strates	Définitions
Strate herbacée et muscinale	Ensemble des espèces muscinales, herbacées et ligneuses atteignant une hauteur inférieure à 1m
Strate arbustive	Ensemble des espèces ligneuses atteignant une hauteur comprise entre 1 et 7m
Strate arborée	Ensemble des espèces ligneuses atteignant une hauteur supérieure à 7 m

Tableau 14 Définitions des différentes strates

Abondance-Dominance		
Indices	Définitions	% de recouvrement
<b>i</b>	Individu unique	Insignifiant
<b>+</b>	Individus rares	< 5%
<b>1</b>	Individus nombreux	< 5%
<b>2</b>	Nombre quelconque	5-25%
<b>3</b>	Nombre quelconque	26-50%
<b>4</b>	Nombre quelconque	50-75%
<b>5</b>	Nombre quelconque	> 75%

Tableau 154 Abondance-dominance selon la méthode B-B

Sociabilité	
Indices	Définitions
<b>0</b>	Plantation (lignes visibles)
<b>1</b>	Distribués au hasard
<b>2</b>	Touffes, coussinets, cépées
<b>3</b>	Plages, groupes
<b>4</b>	Tapis ou peuplement interrompu
<b>5</b>	Tapis ou peuplement continu

Tableau 15 Sociabilité selon B-B

La figure 17 présente la méthodologie utilisée afin d’attribuer pour chaque placette un niveau trophique à partir du cortège floristique présent. Afin de nuancer ou renforcer le niveau trophique, l’interprétation du type d’humus ainsi que le pH de l’horizon Ah ont également été pris en compte. La démarche utilisée (Figure 17) a été construite sur base de l’avis de Monsieur Claessens. Seules les espèces présentes dans les strates arbustives et herbacées ont été utilisées afin d’estimer le niveau trophique.

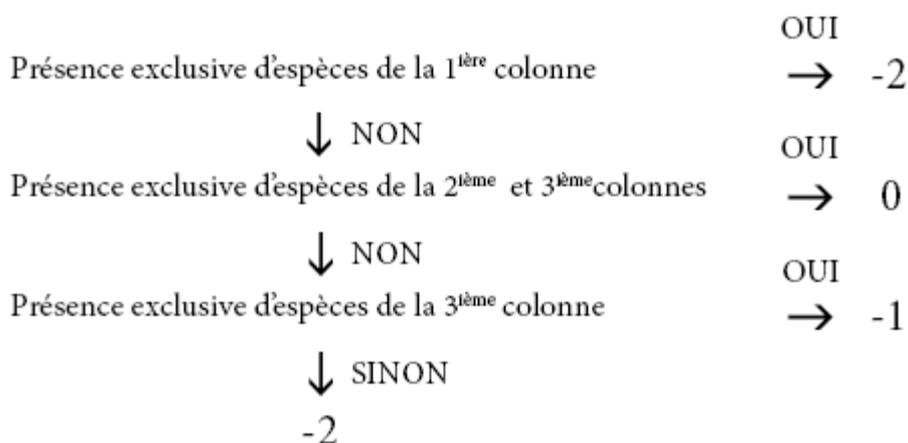


Figure 17 Procédure utilisée afin de déterminer le niveau trophique à partir de la flore présente sur la placette : 1<sup>ère</sup> colonne = espèces acidophiles, 2<sup>ème</sup> colonne = espèces acidoclines, 3<sup>ème</sup> colonne = espèce neutro-acidoclines. Les chiffres -2, -1 et 0 correspondent aux différents niveaux trophiques (Claessens 2003).

### Conclusion des données écologiques

Après avoir collectés les données écologiques, les niveaux hydriques et trophiques ont été établis à partir des clés présentes dans le NFEE (Voir Annexes 3 et 4)

### Description de la sylviculture

La structure des peuplements a été répertoriée et comprend 4 catégories : Futaie irrégulière, Futaie régulière, Taillis sous futaie et Taillis. La typologie a également été mesurée et 5 classes ont été distinguées et sont représentées dans Tableau 16.

Dénomination	D150
Petit Bois	D150 < 25cm
Moyen Bois	25cm ≤ D150 < 50cm
Gros Bois	50cm ≤ D150
Très Gros Bois	70cm ≤ D150
Très Très Gros Bois	90cm ≤ D150

Tableau 16 Typologie forestière

La surface terrière a été estimée au moyen d’un relascope à jauge, et est exprimée en m<sup>2</sup>/ha. Si possible, des informations sur l’historique seront collectées (ancien TSF, exploitation,..).

Toutes ces données ont été prises séparément en fonction des essences. Elles ont pour vocation unique de nuancer les résultats obtenus.

## Diagnostic de l'état sanitaire

### *Déroulement*

L'étude de l'état sanitaire des houppiers peut sembler aisée à première vue, mais les méthodologies utilisées se basent sur des critères qu'il est important de pouvoir reconnaître et quantifier objectivement. Pour ce faire, une période de calibration est nécessaire. Avant de commencer la collecte de données, deux demi-journées de formation sur le terrain ont été programmées. La première s'est déroulée le 7 mars à Libin, et était une formation sur la méthodologie ARCHI présentée par l'OWSF à destination du DNF. Bien que cette méthode ne soit pas celle utilisée dans ce travail, cette formation nous a permis de discerner les différentes organisations du houppier, et d'analyser les conditions d'observation. La deuxième demi-journée s'est déroulée à Couvin le 22 mars en présence de Monsieur Goose de l'OWSF, où la méthode Depefeu a pu être pratiquée. Cette journée marque le début de la campagne de prélèvements sur le terrain. Pour être en accord avec la méthodologie adoptée par l'IPRFW caractérisant l'état sanitaire des arbres, une troisième demi-journée de terrain s'est déroulée le jeudi 13 avril dans les bois de Rochefort.

### **Description de la méthode Depefeu**

Depefeu (d'après (Nageleisen 2005; Nageleisen 2008; Gauquelin 2011)) :

Afin d'identifier au mieux les différents termes utilisés, ceux-ci vont être définis ci-dessous :

**Fenêtre** : Discontinuité à l'intérieur de la cime marquée par l'absence de toute ramification.

**Echancrure** : Discontinuité partant de l'extérieur vers l'intérieur de la cime marquée par l'absence de toute ramification.

**Pousse** : Axe de plus petite dimension ne possédant pas de ramification.

**Rameau** : Axe dont le diamètre est inférieur à 3 cm de diamètre.

**Branche** : Axe dont le diamètre est supérieur à 3 cm de diamètre.

**Ramification fine** : Catégorie regroupant les pousses et les rameaux. Ce sont ces organes qui portent les feuilles durant la saison de végétation.

**Linéaire** : Longue pousse ne portant qu'un seul bourgeon à son extrémité. Attention à ne pas confondre avec un gourmand orthotrope. Ce dernier possède des bourgeons latéraux sur l'ensemble de la longueur.

**Fouet** : Ramification étalée le long des rameaux.

**Grappe** : Ramification concentrée à l'extrémité des rameaux.

Les termes « Fenêtre », « Echancrure », « Fouet » et « Grappes » sont illustrés à l'Figure 18.

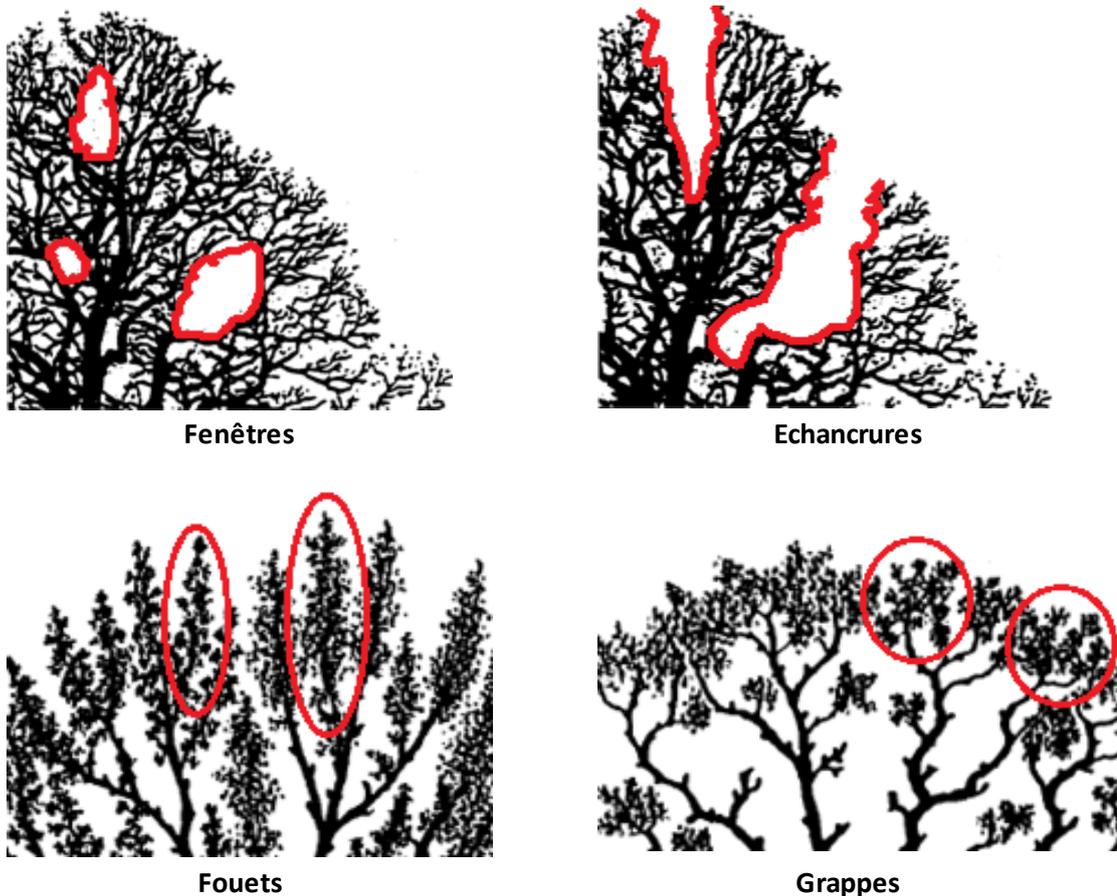


Figure 18 Représentations des différents critères de notation (a) Fenêtre, (b) Echancrures, (c) Fouets et (d) Grappes (Nageleisen 2008)

### *Les conditions de notation*

L'estimation de l'état sanitaire de la cime doit se réaliser entre la chute totale des feuilles et le débourrement au printemps. Cette période s'étale donc théoriquement de décembre à fin mars. Cependant, pour l'étude présentée ici, la période de mesure s'écoule de fin mars à début mai (avant le débourrement). Elle a été choisie en fonction de différents facteurs, notamment la préparation du travail de terrain et la disponibilité du technicien de l'OWSF chargé de la formation à cette notation.

Dans l'idéal, les auteurs de cette méthode préconisent de mesurer une trentaine d'arbres par placette. Cependant, les conditions stationnelles optimales sont peu représentées en Ardenne, et afin de limiter le temps octroyé à la mise en place complète des placettes, un nombre de 20 arbres a été préconisé. Ainsi, chaque arbre aura une influence de 5% sur la note globale donnée à la placette. Toutefois, dans des conditions particulières (faible surface de la station, hétérogénéité du peuplement, ...) un nombre légèrement inférieur sera accepté.

Contrairement à l'analyse floristique, l'estimation de l'état sanitaire des houppiers de chênes pédonculés nécessite l'échantillonnage sur des surfaces étendues. Afin de rester dans des conditions stationnelles similaires, seuls les arbres situés dans un faciès similaire, c'est-à-dire présents sur une station similaire à la placette d'analyse floristique (cortège floristique, topographie, exposition) ont été pris en compte dans cette étude. Dans le même ordre d'idée, la taille des placettes pouvait varier de formes afin d'obtenir un nombre d'arbres équivalent dans des conditions stationnelles similaires.

La visualisation du houppier à partir du sol doit également répondre à différents critères (Nageleisen 2005; Nageleisen 2008) :

- Vision latérale à une distance similaire à la hauteur de l'arbre
- Observation aux jumelles
- Observation réalisée à partir de plusieurs endroits (minimum deux)
- Observation uniquement sur le houppier hors concurrence et celui-ci devra être dégagé
- Si la placette se trouve dans une pente, l'arbre devra être observé en amont ou sur la même courbe de niveau

La méthode Depefeu hivernale intègre huit paramètres (Tableau 17) différents afin de caractériser l'état sanitaire du houppier. L'ensemble de ces huit paramètres permet d'avoir une vue globale de l'état sanitaire de la cime, et réduit ainsi le risque d'attribution subjective d'une note. Pour chacun de ces critères, une note qualitative de 0 à 4 est attribuée selon la gravité du dépérissement. Le Tableau 18 résume les cotations.

Critères décrivant l'abondance de la ramification fine		
Transparence	Fenêtre	TF
	Echancrure	TE
	Perte rameaux fins	PR
Critères décrivant la vitalité de la ramification		
Mortalité des organes pérennes	Rameaux	MR
	Branches	MB
	M Globale	MG
Critères décrivant le type de ramification fine		
Répartition de la masse foliaire	Fouets	F
	Grappes	P
	Griffe	
	Linéaire	

Tableau 17 Critères de notation de la méthode Depefeu (Nageleisen 2008)

Note	Intensité	Fréquence	Nombre	% indicatif
0	Absence ou trace	Nulle à très faible	0 à quelques rares	0 à 5
1	Légère	Faible	Quelques à peu nombreux	6 à 25
2	Assez forte	Modérée	Assez nombreux	26 à 50
3	Forte	Importante	Nombreux	51 à 75
3+	Très forte	Très importante	Très nombreux	76 à 95
4	Totale	Toute la partie notée concernée	Total	96 à 100

Tableau 18 Cotations utilisées pour la méthode Depefeu (Nageleisen 2008)

Après avoir attribué une cotation à chaque paramètre, diverses formules (présentes dans le tableau UIP) ont été utilisées afin de déterminer la cotation Depefeu finale.

Équation 1 Indice de Transparence

$$IT = \frac{TF + 2 \times TE}{3}$$

Équation 2 Indice de Mortalité

$$IM = \frac{MR + 2 \times MB}{6} + \frac{MG}{2}$$

Équation 3 Indice de Masse foliaire

$$IF = \frac{F + 2 \times P}{6} + \frac{PR}{2}$$

Équation 4 Indice de dépérissement

$$DEPEFEU = \left( \frac{4 - IM}{4} \times \frac{IT + IF}{2} \right) + IM$$

Tableau 19 Formules permettant d'établir la note Depefeu (Nageleisen 2008)

La note Depefeu ainsi obtenue décrit la situation sanitaire du houppier de l'arbre. La note allant de 0 à 4, il est nécessaire de connaître les critères descriptifs de chaque classe. Le Tableau 20 présente les différents critères tout au long de l'échelle. Le tableau 19 présente les différentes classes, et l'Annexe 5 permet une visualisation du houppier

Classe	Dénomination globale	Critères descriptifs
<b>0</b>	Sain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de symptôme</li> <li>- Ramifications fines très abondantes</li> <li>- Houppier à l'état feuillé ne laissant quasiment pas voir le ciel à travers</li> </ul>
<b>1</b>	Légèrement dépérisant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rameaux fins desséchés dans la périphérie du houppier <ul style="list-style-type: none"> <li>• et/ou quelques branches mortes</li> <li>• et/ou transparence légère à modérée, liée à une perte de ramifications fines légère</li> <li>• et/ou présence de fenêtres disjointes et/ou rameaux en fouet</li> </ul> </li> <li>- Squelette de l'arbre invisible à l'état feuillé</li> </ul>
<b>2</b>	Modérément dépérisant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Branches desséchées dans la moitié supérieure du houppier mais moins de 50% <ul style="list-style-type: none"> <li>• et/ou transparence moyenne à forte liée à une perte assez forte de ramification fines (&lt;50%)</li> <li>• et/ou échancrures nettes dans le houppier et/ou feuilles apparaissant réparties en paquet</li> </ul> </li> <li>- Visualisation partielle du squelette de l'arbre à l'état feuillé</li> </ul>
<b>3</b>	Fortement dépérisant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Branches mortes composant plus de 50% du houppier <ul style="list-style-type: none"> <li>• et/ou disparition de plus de 50% de la ramification</li> </ul> </li> <li>- Visualisation totale du squelette de l'arbre</li> </ul>
<b>3+</b>	Très fortement dépérisant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Branches mortes composant plus de 75% du houppier <ul style="list-style-type: none"> <li>• et/ou disparition de plus de 75% de la ramification</li> </ul> </li> <li>- Visualisation totale du squelette de l'arbre</li> </ul>
<b>4</b>	Mort	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Houppier mort</li> <li>- Arbre mort ou moribond</li> </ul>

Tableau 20 Description de chaque classe de dépérissement Depefeu (Nageleisen 2008)

## Synthèse des données

### Généralités

Avant de détailler la partie concernant les analyses statistiques, il nous a paru préférable de détailler les jeux de données dont nous disposons afin que le chapitre suivant ne soit uniquement basé sur les jeux de données réellement utilisées. Ce choix a été fait de sorte à ne pas perturber le lecteur. Ce présent chapitre portera sur les données issues de notre recherche.

### Données récoltées

Le Tableau 21 révèle le nombre total de placettes échantillonnées. Chaque placette possède une aptitude stationnelle théorique (obtenue à partir des données cartographiques) et une aptitude stationnelle réelle (déterminée à partir des données récoltées sur le terrain : sondage du sol, étude du cortège floristique, détermination de l'humus et appréciation du pH de l'horizon Ah). Les zones foncées correspondent aux placettes n'ayant pas subi de correction de leur aptitude situationnelle entre les valeurs théoriques et les valeurs mesurées sur le terrain. Pour les analyses statistiques, ce sera l'aptitude stationnelle réelle qui sera utilisée.

Sur les 86 sites potentiels, seuls 14 présentaient, à partir des données cartographiques, des conditions stationnelles optimales. Les autres, après visite sur le terrain, ont été exclus du jeu de données pour diverses raisons (trop peu ou pas de chêne pédonculé, chênes pédonculés présents mais de dimensions trop petites, ...). Les placettes du comptoir forestier ainsi que celle de l'unité se trouvaient en conditions stationnelles tolérantes (établies à partir de données cartographiques). Elles ont été retirées du jeu de données. Les 14 placettes localisées et inventoriées sont les points de départ des transects.

Sur ces 14 placettes, 9 présentaient réellement des conditions stationnelles favorables au chêne pédonculé après interprétation des conditions stationnelles (description du sondage du sol, cortège floristique, topographie) obtenues à partir des données relevées sur le terrain. Enfin, dans le Tableau 22, chacune des 44 placettes mesurées dans le cadre de notre recherche est replacée dans l'écogramme en fonction des couples hydro-trophiques attribués à la suite des relevés de terrain. Ainsi, 9 placettes se situent en conditions stationnelles optimales, 14 en Tolérance, 20 en Tolérance élargie et une seule en Exclusion. Malgré une volonté de construire un jeu de données équilibré, nous ne pouvons que constater une situation mitigée.

Nom	N° Transect	Aptitude stationnelle théorique	Aptitude stationnelle terrain	Niveau Hydrique	Niveau Trophique
Cou_1_2	1	Tolérance élargie	Tolérance élargie	2	-2
Cou_1_4	1	Optimale	Tolérance	-1	-1
Cou_1_5	1	Tolérance- Tolérance élargie	Tolérance élargie	-1 RHA	-2
Cou_2_2	2	Tolérance élargie	Tolérance élargie	2	-2
Cou_2_4	2	Optimale	Optimale	-2	0
Cou_3_2	3	Tolérance élargie	Tolérance élargie	1	-2
Cou_3_3	3	Tolérance	Tolérance	1	-1
Cou_3_4	3	Optimale	Optimale	-1	0
Boui_1_2	4	Tolérance élargie	Tolérance élargie	2	-2
Boui_1_4	4	Optimale	Tolérance élargie	0	-2
Boui_6_3	5	Tolérance	Tolérance	-1	-1
Boui_7_2	6	Tolérance élargie	Tolérance élargie	0	-2
Boui_7_3	6	Tolérance	Tolérance élargie	1	-2
Boui_7_4	6	Optimale	Optimale	0	0
Biev_1_2	7	Tolérance élargie	Tolérance élargie	1	-2
Biev_1_3	7	Tolérance	Tolérance	1	-1
Biev_1_4	7	Optimale	Tolérance élargie	0	-2
Biev_2_2	8	Tolérance élargie	Tolérance élargie	2	-2
Biev_2_3	8	Tolérance	Tolérance élargie	0	-2
Biev_2_4	8	Optimale	Tolérance élargie	0	-2
Lib_2_2	9	Tolérance élargie	Tolérance	1	-1
Lib_2_4	9	Optimale	Optimale	0	0
Lib_4_2	10	Tolérance élargie	Tolérance	1	-1
Lib_4_2b	10	Tolérance élargie	Tolérance élargie	2	-2
Lib_4_4	10	Optimale	Optimale	-1	0
Lib_5_2	11	Tolérance élargie	Tolérance élargie	1	-2
Lib_5_4	11	Optimale	Optimale	-1	0
Lib_10_2	12	Tolérance élargie	Tolérance élargie	-3	-2
Lib_10_3	12	Tolérance	Tolérance	-3	-1
Lib_10_4	12	Optimale	Optimale	0	0
Beau_1_2	13	Tolérance élargie	Tolérance élargie	0	-2
Beau_1_3	13	Tolérance	Tolérance élargie	1	-2
Beau_1_4	13	Optimale	Tolérance	0	-1
Beau_5_2	14	Tolérance élargie	Tolérance	-1	-1
Beau_5_3	14	Tolérance	Tolérance	1	-1
Flo_1_2	15	Tolérance élargie	Exclusion	3	-2
Flo_1_3	15	Tolérance	Tolérance	1	-1
Flo_1_5	15	Tolérance – Tolérance élargie	Tolérance	-1	-1
Flo_2_3	16	Tolérance	Tolérance	0	-1
Flo_2_4	16	Optimale	Tolérance	0	-1
Flo_2_5	16	Tolérance – Tolérance élargie	Tolérance élargie	2	-2
Mar_1_2	17	Tolérance élargie	Tolérance élargie	2	-2
Mar_1_4	17	Optimale	Optimale	0	0
Ver_1_4	18	Optimale	Optimale	0	0

Tableau 21 Résumé des placettes mesurées dans notre étude

Niveau hydrique	Xérique	5						
	Sec	4						
	Plutôt sec	3		1				
	Mésique	2		7				
		1		5	8			
	Frais	0		6	3	5		
		-1			2	3		
	Humide	-2				1		
		-3		1	1			
	Marécageux	-4						
Régime Hydrique Alternatif	-1							
	-2		1					
	-3							
			-3	-2	-1	0	1	2
			Oligotrophe	Méso-oligotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Carbonaté	
Niveau trophique								

Tableau 22 Positionnement des 44 placettes échantillonnées au sein de l'écogramme du chêne pédonculé

Le tableau ci-dessous (Tableau 23) permet de nuancer la (Figure 3) en ventilant les différentes aptitudes selon l'occupation du sol renseignée par la COSW (SPW,2005). Le tableau a été construit de façon à centraliser directement l'information intéressante pour l'étude développée dans ce document. La catégorie « Forêts et milieux semi-naturels » a été divisée en 4 sous-catégories, la catégorie Autres regroupant les occupations Landes et broussailles, Pelouses et pâturages naturels et Terres vaines et vagues.

(En %)	No data	Exclusion	Tolérance élargie	Tolérance Élargie - Tolérance	Tolérance	Optimale	
<b>1. Forêts et milieux semi-naturels</b>	2,37	6,22	36,03	1,67	7,32	<b>0,70</b>	54,31
1.1. Forêts	0,86	2,47	14,65	0,74	3,09	0,28	22,09
1.2. Forêts de conifères	0,89	2,32	13,55	0,60	2,80	0,24	20,41
1.3. Forêts de feuillus	0,23	1,06	6,41	0,23	1,02	0,10	9,06
1.4. Autres	0,39	0,37	1,42	0,10	0,41	0,07	2,76
<b>2. Territoires agricoles</b>	2,08	3,14	22,23	0,75	6,45	<b>2,18</b>	36,83
<b>3. Territoires artificialisés</b>	1,65	0,26	1,45	0,07	0,35	0,11	3,90
<b>4. Zones humides</b>	0,34	0,15	0,16	0,02	0,02	0,00	0,69
<b>5. Non-classé, non-cadastré</b>	1,21	0,31	1,91	0,09	0,58	0,18	4,28
	7,65	10,07	61,79	2,60	14,72	3,17	100,00

Tableau 23 Ventilation de l'aptitude stationnelle selon l'occupation du sol

Le tableau permet d'identifier l'aptitude stationnelle selon la couverture du sol ( Tableau 23). En ce qui concerne l'aptitude *Optimale*, plus de 2/3 de la superficie est occupée par des surfaces agricoles ne laissant que moins d'un pourcent pour les forêts. Pour cette catégorie, la surface théorique occupée par les conifères est supérieure à la surface de feuillus, bien que la catégorie *Forêts* ne distingue pas si ce sont des conifères ou des feuillus. De plus, la catégorie *forêts* regroupe évidemment plusieurs essences forestières feuillues dont plusieurs peuvent croître dans des conditions stationnelles optimales semblables (Frêne, Erable Sycomore,...). De plus, la possibilité que certains peuplements contiennent des chênes pédonculés de trop faibles dimensions pour être mesurés ou en trop faible nombre explique pourquoi il est difficile de trouver cette essence en conditions stationnelles optimales. C'est pour cela qu'il a été aussi difficile de trouver des sites candidats pour notre étude.

## Méthode d'analyse de la relation adéquation stationnelle-dépérissement

### Généralité

Afin d'analyser la relation adéquation stationnelle-dépérissement, l'étude a été divisée en trois étapes. La première sera réalisée en comparant les données issues de chaque transect entre eux, ce qui permettra d'avoir une vision globale de la problématique. De même, plusieurs paramètres environnementaux seront utilisés afin d'identifier ceux qui influenceraient le plus le dépérissement. La deuxième étude comparera le dépérissement et l'adéquation stationnelle au sein de chaque transect afin d'avoir une vision locale du dépérissement. Et pour terminer, une troisième analyse à l'échelle globale sera menée avec les données issues de l'IPRFW et une partie de nos données. Les données Historiques et sylvicoles, bien qu'elles aient été collectées ne seront pas analysées afin de nuancer le dépérissement et ce pour diverses raisons. Premièrement, trop peu de données ont été obtenues auprès des propriétaires/gestionnaires tant publics que privés. Ensuite, une majorité de placettes, ne permettait pas de collecter la surface terrière de façon rigoureuse (effet lisière, peuplement exploité, ...). Les analyses statistiques ont été mises en place avec l'aide de Monsieur Brostaux (Chargé de cours au sein du laboratoire Sima, Gembloux Agro-Bio Tech/ULg)

### *Analyse du dépérissement à une échelle régionale (inter-transect)*

La première étape de cette analyse portera sur l'adéquation stationnelle et l'état sanitaire des arbres, estimés au moyen de la méthode Depefeu. Contrairement à l'analyse précédente, ce seront les moyennes de la cote Depefeu des placettes qui seront comparées. L'analyse développée dans ce paragraphe sera une AV2, où le transect sera un facteur aléatoire ( $N = 18$ ), le niveau d'aptitude stationnelle sera un facteur fixe qualitatif et la variable Depefeu sera une valeur quantitative continue (0 à 4). Le nombre d'occurrences dans chaque catégorie d'aptitude stationnelle diffère, comme le témoigne le tableau 21. Par conséquent, la méthode devant être utilisée dans ce cas-ci est une AV2 croisée de type « *en bloc aléatoire incomplet* ». L'analyse de la variance sera également réalisée au moyen d'un Modèle Linéaire Général.

La seconde étape de l'analyse statistique décrite dans ce chapitre sera de décomposer l'aptitude stationnelle en différents facteurs. Ceux-ci peuvent être de deux types : quantitatifs ou qualitatifs. Pour les premiers, une courbe de régression linéaire et un graphique de nuage de points seront réalisés. Pour les derniers, la même procédure que pour le facteur *aptitudes stationnelles* sera utilisée. Le Tableau 24 permet de visualiser les différents facteurs mesurés. Seuls les graphiques présentant des informations se révélant intéressantes seront présentés.

A l'issue de ces analyses, si des paramètres ressortent comme étant explicatifs du dépérissement, une régression linéaire multiple sera entreprise afin de déterminer les facteurs contribuant au dépérissement. Pour réaliser cette étape, certaines variables devront être modifiées afin de pouvoir être utilisées. C'est notamment le cas du « *Niveau hydrique* ».

Ce type de traitement possède 2 caractéristiques. Tout d'abord, la faible répétition de même catégorie d'aptitudes stationnelles par transect empêche la vérification des conditions d'applications (populations normales et de même variance). Il est toutefois possible de réaliser un test à posteriori où la normalité et l'homogénéité des résidus seront analysés graphiquement (Brostaux Communication personnelle). La seconde caractéristique est l'impossibilité de mesurer l'interaction entre les deux facteurs (transects et aptitude stationnelle). Nous supposons qu'il n'existe pas d'interaction entre eux

Types de facteurs	
Qualitatifs	Niveaux hydriques (4 à -3RHA) Niveaux trophiques (2 à -3) Apport d'eau (pas d'apport, apport d'eau variable, apport quasi permanent) Sous-secteur (froid, chaud, neutre)
Quantitatifs continus	Réserve en eau utile du sol Altitude Une remarque est cependant faite pour ce facteur. Afin d'éviter une mauvaise interprétation de la relation altitude - état sanitaire, seules les altitudes des placettes situées en conditions stationnelles optimales vont être comparées, car elles se trouvent généralement le long de cours d'eau. En effet, si l'altitude des 44 placettes avait été prise en compte, une relation se serait peut-être marquée entre l'altitude et le dépérissement. Cependant, les raisons de cette augmentation seraient peut-être liées aux placettes se trouvant sur des versants où les conditions stationnelles seraient moins favorables. Cela aurait certainement perturbé l'interprétation des résultats.

Tableau 24 Description des différents facteurs utilisés pour cette étude

#### *Analyse du dépérissement à une échelle locale (intra-transect)*

Comme énoncé précédemment, cette étape consiste à étudier la relation entre le dépérissement et l'adéquation stationnelle au niveau du transect. Cette étude peut être qualifiée de locale. Ce choix a été privilégié afin de nuancer l'étude inter-transect (échelle globale) qui sera détaillée au prochain chapitre. Ainsi, si des modifications entre les transects apparaissent, elles pourront être perçues, contrairement à l'étude régionale où les variations locales seraient complètement noyées dans l'ensemble du jeu de données.

Avant d'expliquer la procédure mise en place, une description des données utilisées va être réalisée. L'analyse sera de type AV1, où la note Depefeu est une variable continue sur une échelle de 0 à 4 (0 : l'arbre est sain et 4 l'arbre est mort) extrémités comprises, et le niveau d'aptitude stationnelle est un facteur fixe qualitatif comportant au maximum 4 catégories différentes (Optimum, Tolérance, Tolérance élargie et Exclusion). En ce qui concerne l'analyse statistique, elle va utiliser les données brutes de la cote Depefeu, ce qui signifie que la valeur attribuée à chaque arbre va être utilisée dans l'analyse.

Avant de réaliser l'étude proprement dite, la vérification des conditions d'application sera réalisée au moyen du Test Ryan- Joiner - pour le test de normalité - et le test d'égalité de Variance, pour comme son nom l'indique, vérifier que les variances des populations sont égales.

Les placettes comprises dans un même transect seront regroupées par niveau d'aptitude stationnelle lorsque l'analyse de comparaison de moyennes, par la méthode de la plus petite différence significative (ppds) au moyen du test de Fisher, révélera que la moyenne de ces placettes est semblable. Lorsque les moyennes seront jugées différentes, cela signifiera que des conditions extérieures, autres que stationnelles, interfèrent et par conséquent, les placettes ne seront pas rassemblées. Une discussion pourra dès lors avoir lieu, afin d'envisager une explication à ces variations. Le nombre d'arbres par catégories d'aptitude stationnelle risque de différer, cela est notamment dû au regroupement de placettes de même aptitude stationnelle, au sein d'un même transect. Il est alors préconisé d'utiliser le Modèle Linéaire Général afin de réaliser l'analyse de la variance.

### *Analyse du dépérissement en complément des données de IPRFW*

L'IPRFW utilise une codification du dépérissement qui lui est propre. Par conséquent, pour que ce jeu de données puisse être regroupé avec celui développé dans notre recherche, une relation entre les deux méthodes doit être prise. Le Tableau 25 montre la correspondance entre les deux études.

IPRFW		DEPEFEU	
Code	Signification	Code	Signification
1	Bon	0	Sain
2	Début de dépérissement	1	Légèrement dépérissant
3	Dépérissement confirmé	2	Modérément dépérissant
4	Dépérissement très prononcé	3/3+	Fortement dépérissant/ très fortement dépérissant
5	Mort	4	Mort

*Tableau 25 Correspondance entre la dénomination utilisée par l'IPRFW et la méthode Depefeu*

Le nouveau jeu de données (*Forêt* IPRFW et les placettes en conditions stationnelles en optimum ou tolérance) va être traité via une analyse de la variance de type AV1.

## Résultats

Avant de commencer les traitements statistiques, une carte (Figure 19) permettant de visualiser les deux jeux de données a été construite. Une nouvelle fois, la majorité des placettes se localisent en basse et moyenne Ardenne.

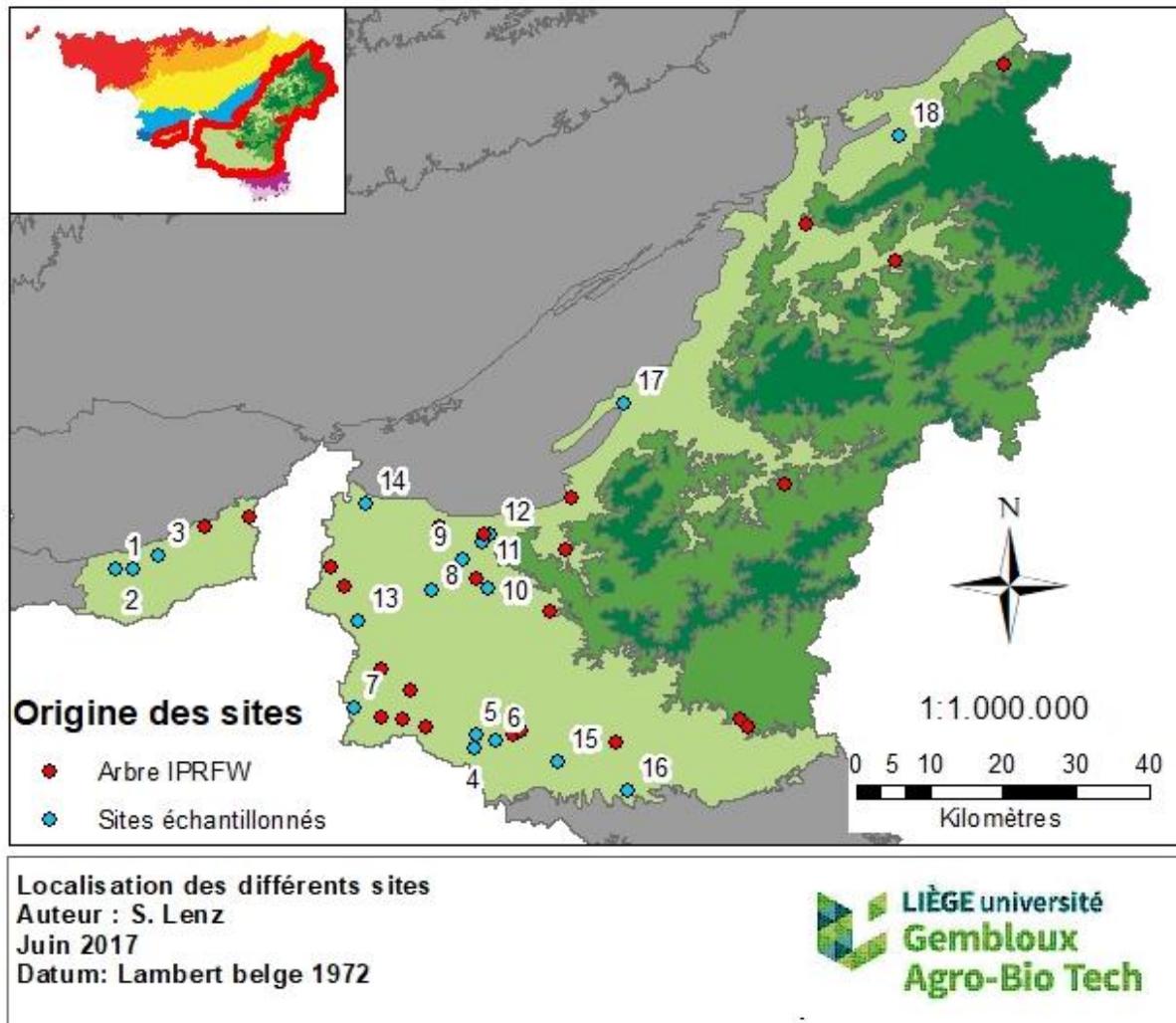


Figure 19 Localisation des sites échantillés et des placettes de l'IPRFW sélectionnés

## Analyse du dépérissement à une échelle régionale (inter-transect)

Ce chapitre va présenter l'analyse de l'état sanitaire des arbres selon l'aptitude stationnelle et ensuite une analyse en fonction des données écologiques. Les conditions d'applications (normalité et égalité de variances des résidus) pour les analyses de ce chapitre ont toutes été testées et se sont révélées acceptées.

### Adéquation stationnelle

Aptitude stationnelle	N	Note Depefeu		
		Moyenne	Ecart-type	Médiane
Exclusion	1	2.33	/	2.33
Tolérance élargie	20	2.20	0.37	2.20
Tolérance	14	2.23	0.39	2.21
Optimum	9	1.93	0.38	1.98
	44			

Tableau 26 résultats du dépérissement à l'échelle globale entre le dépérissement et l'adéquation stationnelle

L'illustration (figurer 19) présente pour chaque catégorie d'aptitude stationnelle, la répartition des différentes cotes Depefeu sous la forme d'une boîte à moustache.

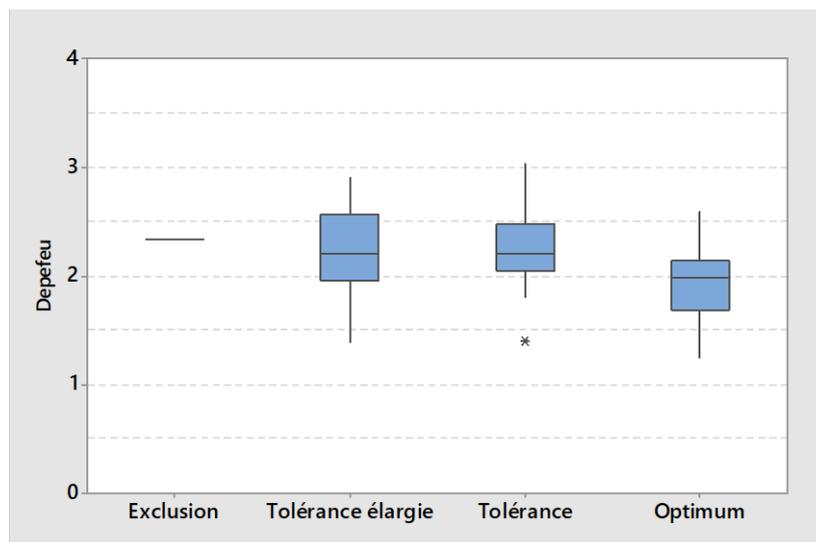


Figure 20 Boîtes à moustache de la note Depefeu (ordonnée) selon l'aptitude stationnelle (abscisse)

Le tableau 25 et la figure 19 illustrent que la parcelle en exclusion est similaire aux conditions stationnelles Tolérance élargie et Tolérance. Pour l'analyse de la variance, celle-ci sera intégrée à la catégorie Tolérance élargie.

L'analyse du tableau des moyennes ainsi que l'illustration ci-dessus suggèrent que les placettes en conditions stationnelles optimum montrent un signe de dépérissement moindre que les autres catégories. Cependant, l'analyse de la variance (figure 20) indique que les moyennes sont égales et que par conséquent, il n'y a pas d'influence de la station sur l'état sanitaire des arbres et ce malgré une P-valeur proche de 0.05. De plus, il n'y a pas d'influence du transect sur l'estimation de l'état sanitaire.

## Analyse de variance

Source	DL	SomCar		Valeur	
		ajust	CM ajust	F	de p
Ap_St_Phy	2	0,6790	0,3395	2,59	0,096
Transect	17	2,6710	0,1571	1,20	0,335
Erreur	24	3,1466	0,1311		
Inadéquation de l'ajustement	14	1,5800	0,1129	0,72	0,721
Erreur pure	10	1,5666	0,1567		
Total	43	6,4315			

Figure 21 Résultat de l'analyse de la variance entre l'état sanitaire des arbres et l'aptitude stationnelle (Ap\_St\_phyto)

A la suite de ce chapitre, nous allons tenter d'identifier à partir de paramètres environnementaux (principalement lié au niveau hydrique) si certains d'entre eux jouent un rôle prédominant dans l'état sanitaire des arbres.

### Niveau hydrique

Le facteur Niveau hydrique contient 8 facteurs (Tableau 26) différents, dont certains avec un nombre d'occurrences très faible (1 ou 2 valeurs). Il nous a paru intéressant de regrouper plusieurs catégories. Ainsi, après plusieurs essais, les niveaux « -2 », « -1 » et « 0 » ont été regroupés car leurs données sont similaires et ces 3 niveaux hydriques sont considérés comme étant en optimum. La catégorie « -3 » « -1RHA » ont également rejoint cette nouvelle classe. Les catégories « 1 », « 2 » et « 3 » ont été rassemblées. Au final, deux catégories distinctes (Tableau 27) sont créées : les sols « humides » (frais à humides) et les sols « secs » (mésiques à plutôt secs). C'est ce regroupement qui donne de meilleurs résultats.

Le tableau suivant résume les modifications encourues.

Niveau hydrique	N	Moyenne	Ecart-type	Médiane
-3	2	2,16	0,20	2,16
-2	1	2,08	/	/
-1 RHA	1	1,72	/	/
-1	6	2,09	0,276	2,04
0	15	2,04	0,36	1,98
1	11	2,32	0,46	2,44
2	7	2,28	0,45	2,39
3	1	2,33	/	/

Tableau 27 Statistiques descriptive de l'état sanitaire selon le niveau hydrique

Niveau hydrique NFEF	Nouvelle codification
-1 RHA	0
-3	0
-2	0
-1	0
0	0
1	1
2	1
3	1

Tableau 28 création de la nouvelle codification

Niveau hydrique Nouvelle codification	N	Moyenne	Ecart-type	Médiane
0	25	2,05	0,31	2,02
1	19	2,30	0,43	2,40

Tableau 29 Statistiques descriptives de la nouvelle codification du niveau hydrique

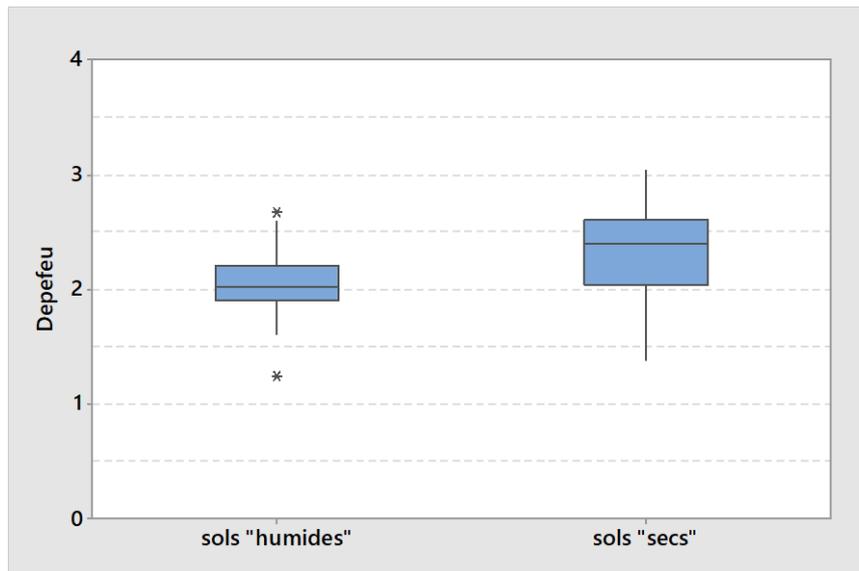


Figure 22 Boites à moustaches entre la note Depefeu (ordonnée) et la nouvelle codification du niveau hydrique (abscisse)

#### Analyse de variance

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Transect	17	2,2932	0,1349	0,98	0,506
Niv_3etude	1	0,3865	0,3865	2,81	0,106
Erreur	25	3,4391	0,1376		
Inadéquation de l'ajustement	14	1,5177	0,1084	0,62	0,802
Erreur pure	11	1,9214	0,1747		
Total	43	6,4315			

#### Récapitulatif du modèle

S	R carré	R carré (ajust)	R carré (prév)
0,370898	46,53%	8,03%	*

Figure 23 Analyse de la variance entre l'état sanitaire et la nouvelle codification du niveau hydrique (Niv\_3etude)

Bien que les données aient été agrégées afin de correspondre mieux aux exigences hydriques du chêne pédonculé, aucune relation significative (P valeur = 0.506 ; figure 22) n'est apparue. Le graphique ( figure 21) montre que les parcelles en conditions hydriques plus favorables pour le chêne présentent un dépérissement moindre, même s'il n'y a pas de différence significative.

### Niveau Trophique

Niveaux trophiques	N	Moyenne	Ecart-Type	Médiane
-2	17	2,19	0,44	2,21
-1	13	2,33	0,32	2,40
0	14	1,98	0,31	2,00

Tableau 30 Statistiques descriptives de la cote Depefeu par rapport au niveau trophique du NFEE

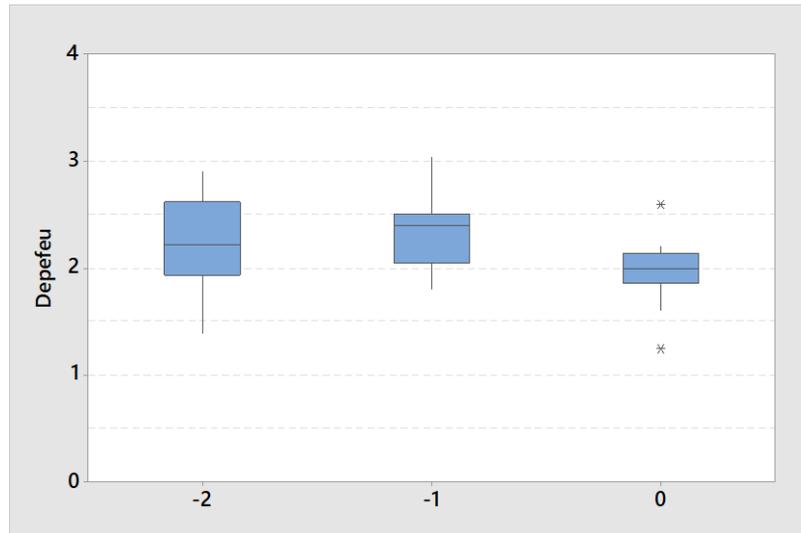


Figure 23 Boîtes à moustache entre la note Depefeu (ordonnée) et le niveau trophique du NFEE(abcisse)

#### Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Transect	17	2,2378	0,13163	0,95	0,536
Niv_trop	2	0,4957	0,24787	1,79	0,189
Erreur	24	3,3299	0,13875		
Inadéquation de l'ajustement	19	1,2149	0,06394	0,15	0,999
Erreur pure	5	2,1150	0,42300		
Total	43	6,4315			

#### Récapitulatif du modèle

S	R carré	R carré (ajust)	R carré (prév)
0,372485	48,23%	7,24%	*

Figure 244 Analyse de la Variance entre les différents niveaux trophiques (Niv\_trop) du NFEE

Une nouvelle fois, l'état sanitaire des arbres présents en conditions trophiques favorables semble être meilleur (Figure 30) mais aucune différence significative (Figure 24 ; P valeur = 0.189) n'apparaît entre les niveaux trophiques et le dépérissement.

*Analyse des différents paramètres environnementaux.*

Les facteurs suivants ont été regroupés dans un tableau synthétique (Tableau 30) afin de condenser l'information. Une analyse de la variance a bien été réalisée pour chacun d'entre eux mais à chaque fois, aucune influence du facteur mesuré n'a été perçue. Le facteur RUM bien qu'analysé en tant que variable continue a été classé afin de pouvoir réaliser une analyse statistique descriptive. Cette classification s'est inspirée d'un travail antérieur (Ridremont et al. 2012)

Apport d'eau						
Catégorie	N	Moyenne	Ecart-type	Médiane	P-valeur	AHO-RHO
Pas d'apport	19	2,18	0,42	1,84	0,409	AHO
Apport d'eau variable	11	2,26	0,28	1,97		
Apport d'eau quasi-permanent	14	2,05	0,42	1,85		
Sous-secteur						
Chaud	0	/	/	/	0,350	AHO
Neutre	29	2,17	0,40	2,19		
Froid	15	2,14	0,36	2,11		
Réservoir Utilisable Maximal						
< 40 mm	0	/	/	/	0,170	AHO
[40 – 70[ mm	0	/	/	/		
[70 – 100[ mm	10	2,18	0,36	2,15		
[100 – 150 [ mm	2	1,82	0,09	1,82		
[150 – 200[ mm	13	2,39	0,38	2,44		
≥ 200 mm	19	2,03	0,35	2,07		
Altitude des stations optimales						
Altitude des placettes en Optimum (variable continue)	9				0,855	AHO

*Tableau 31 Tableau synthétique des analyses de la variance des différents paramètres écologiques*

La régression multiple n'a pas été réalisée car aucun des paramètres estimés ne s'est révélés être explicatif.

## Analyse du dépérissement à une échelle locale (intra-transect)

Tout d'abord, les différents tests destinés à vérifier les conditions d'application ont été réalisés et ont pu montrer que ces conditions sont bien remplies.

Cette étude s'intéressant avant tout aux conditions stationnelles, le rassemblement des placettes, qui au sein d'un même transect possèdent le même niveau d'aptitude stationnelle, a été opéré après que le test d'égalité de moyenne se soit montré pertinents

Le tableau présentant la note Depefeu ainsi que l'écart-type associé pour chacune des placettes se trouve à l'annexe 6.

Le tableau 31 présente pour chaque transect les conditions stationnelles trouvées, ainsi que la moyenne de la cote Depefeu et l'écart type associé. En complément, une analyse de la variance a été opérée pour chaque transect comportant au minimum deux stations différentes. La P-valeur de cette analyse a été ajoutée à ce tableau, ainsi que l'acceptation (AH0) ou le rejet (RH0) de l'hypothèse nulle. Lorsqu'il y a un rejet de l'H0, le taux de significativité est également renseigné. Deux autres colonnes intitulées « A » et « B » renseignent sur l'association ou non des moyennes et facilitent la visualisation des relations entre stations. Lorsque pour un même transect, les astérisques (\*) sont présentes dans la même catégorie (A ou B) cela signifie que les moyennes sont comparables.

Cette étude, comme son nom l'indique, permet d'avoir une connaissance locale du dépérissement. Sur les sites échantillonnés, 2 ne comportaient qu'une seule placette. Après l'attribution de l'aptitude stationnelle issue du relevé de terrain, 3 sites ne comportent plus qu'une station. Ainsi, la comparaison de l'aptitude stationnelle à l'intérieur des transects n'a été possible que sur 13 transects. A l'intérieur de ces derniers, le nombre d'aptitudes stationnelles a été revu à la baisse, dû au rassemblement de parcelles de même aptitude

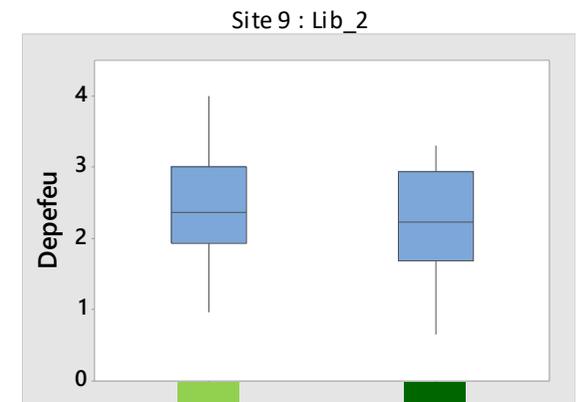
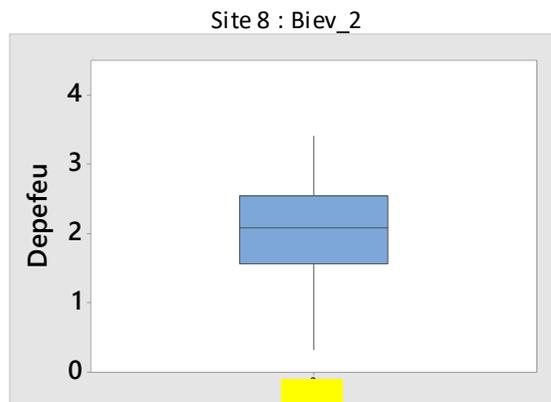
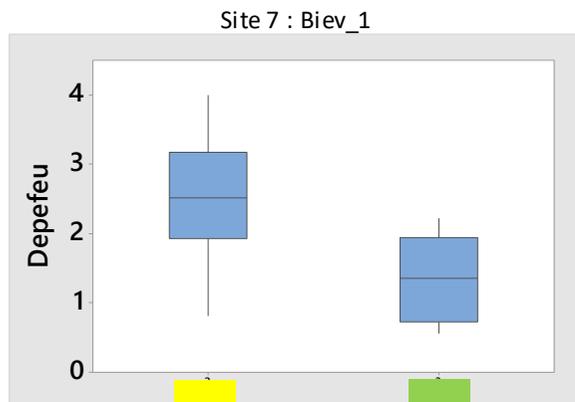
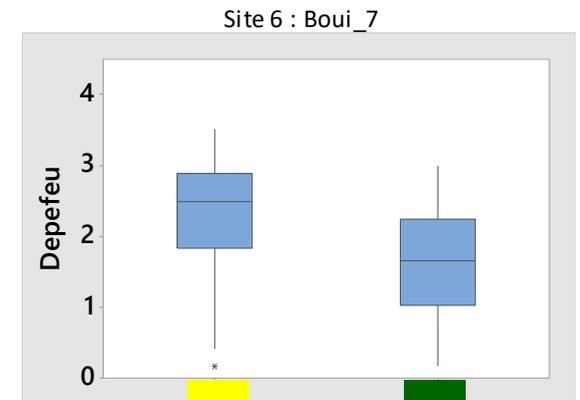
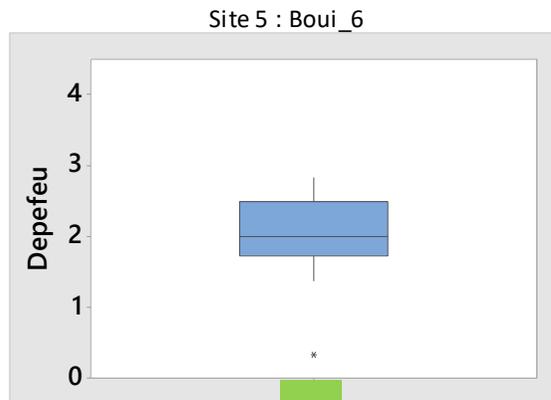
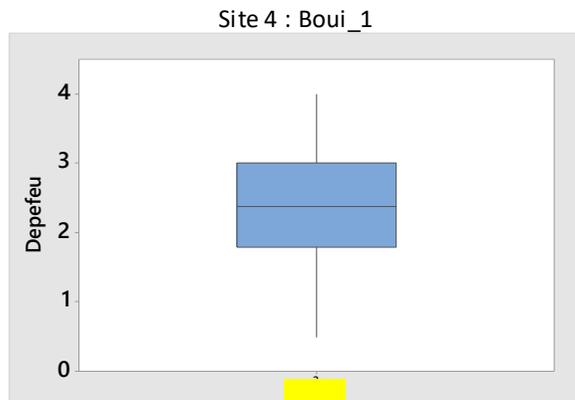
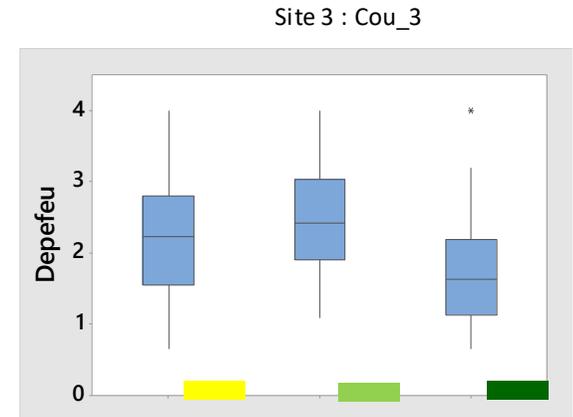
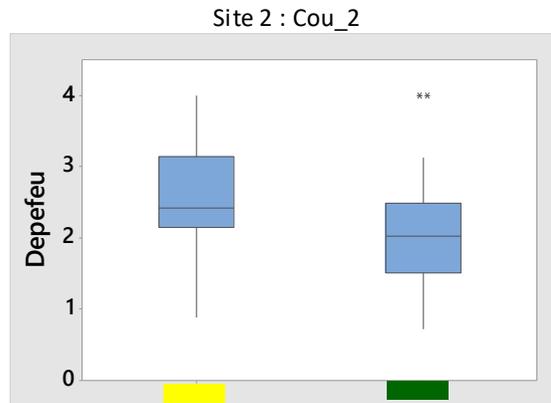
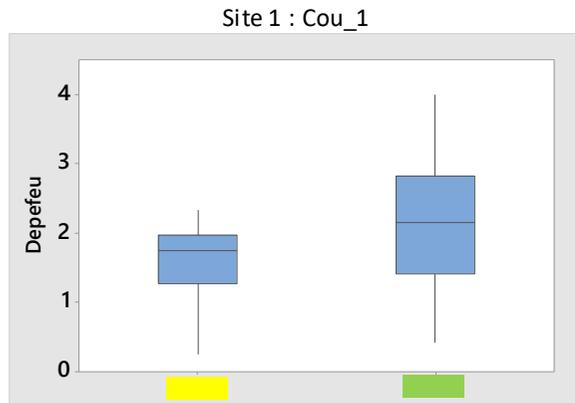
En ce qui concerne le site 2, le boxplot (Couv\_2; Tableau 32) dévoile la présence de 2 points aberrants à la valeur Depefeu=4. Cela signifie que deux arbres morts ont été inventoriés sur la placette. L'analyse de la variance indique qu'il n'y a pas de différence entre les deux stations (P-valeur = 0.51) (voir tableau 31), ce qui est certainement dû à la présence des deux arbres morts. Si ces deux points étaient réellement jugés aberrants et retirés du jeu de données, la moyenne pour cette station passerait de 2,08 à 1,98 mais plus intéressant encore, une différence significative entre les deux stations apparaîtrait (P-valeur=0,028).

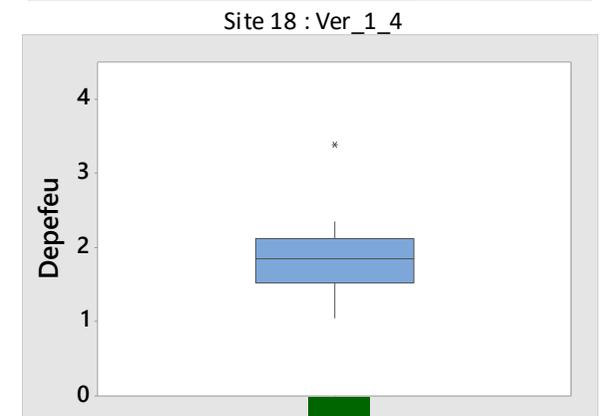
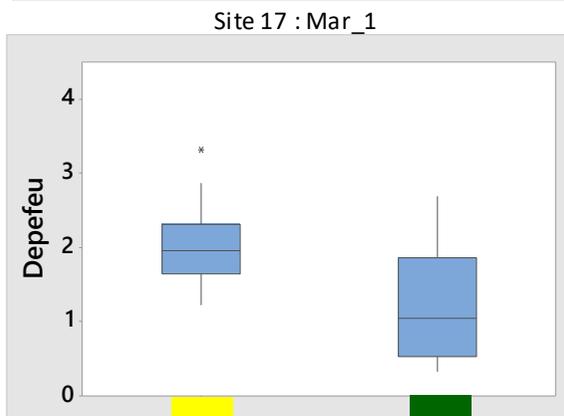
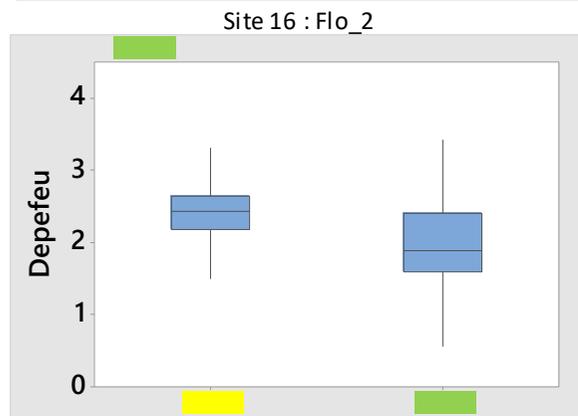
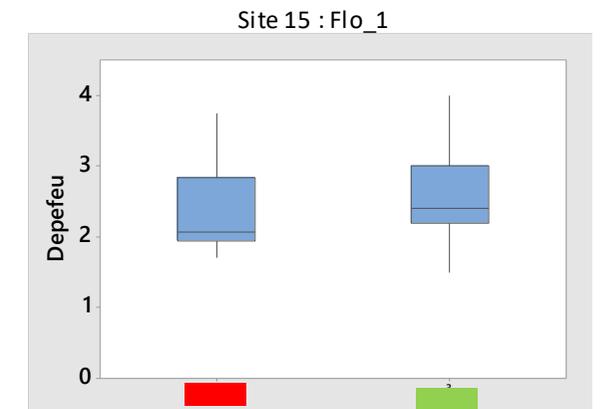
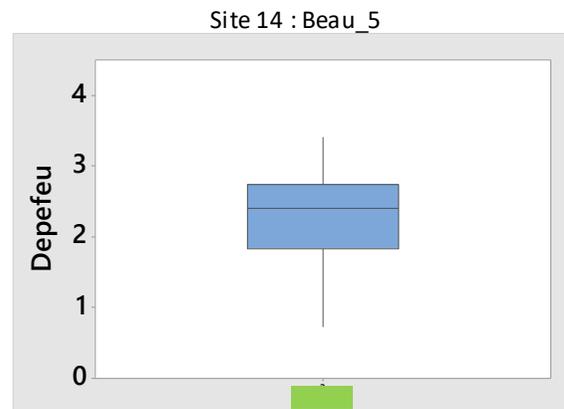
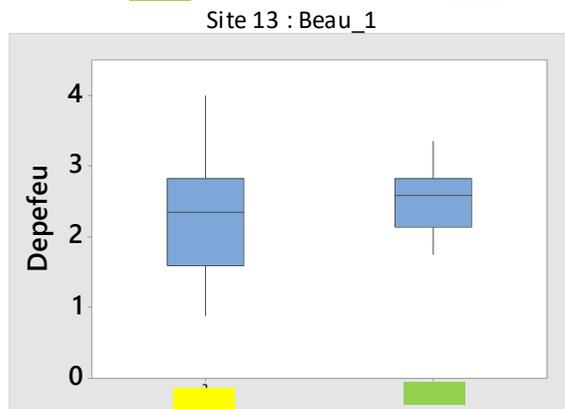
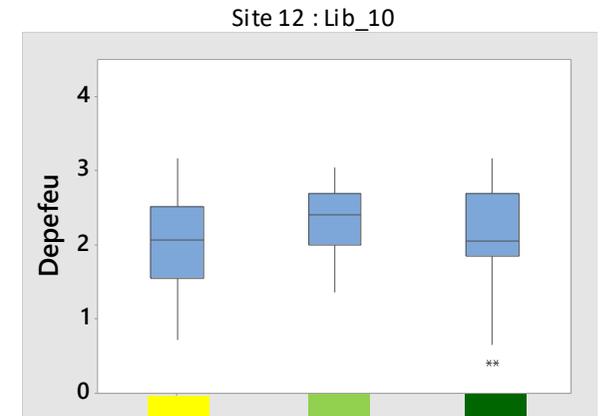
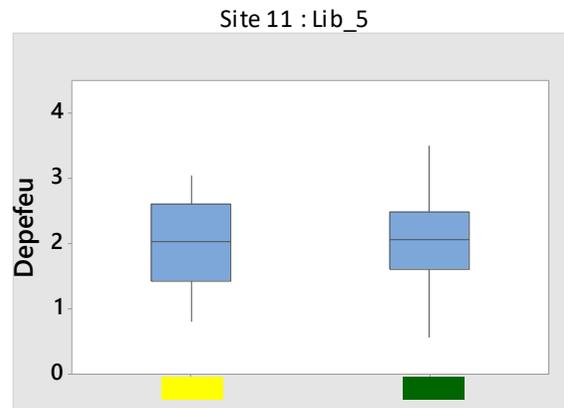
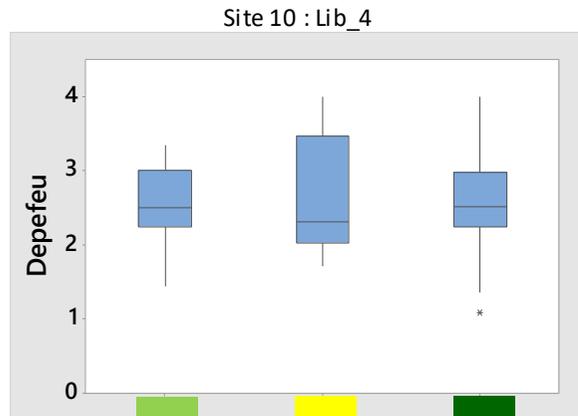
Le site 3 est particulier. Les stations tolérance élargie et tolérance n'ont pas de différence significativement différente et il en est de même entre les stations tolérance et Optimum

Le tableau 32 regroupe pour chaque transect la note Depefeu attribuée à chaque aptitude stationnelle. Le code couleur est le suivant : vert foncé = Optimum, vert clair = Tolérance, jaune = Tolérance élargie et enfin rouge = Exclusion. Des boîtes à moustaches sont utilisées afin de présenter les différentes cotes Depefeu attribuées aux arbres appartenant à la même catégorie d'aptitude stationnelle au sein d'un seul transect. Ces boîtes illustrent la répartition des cotes selon 4 quartiles et les valeurs aberrantes.

N° site	Aptitude stationnelle	Moyenne note Depefeu	Ecart-Type	P-valeur	A	B
1	Tolérance élargie	1,57	0,62	AH0	*	
	Tolérance	2,07	0,93	0,051	*	
2	Tolérance élargie	2,60	0,76	AH0	*	
	Optimum	2,08	0,89	0,051	*	
3	Tolérance élargie	2,21	0,90	RHO *	*	*
	Tolérance	2,45	0,78		*	
	Optimum	1,76	0,84			*
4	Tolérance élargie	2,41	0,74	/		
5	Tolérance	1,99	0,59	/		
6	Tolérance élargie	2,32	0,80	RHO **	*	
	Optimum	1,61	0,80	0,002		*
7	Tolérance élargie	2,54	0,83	RHO ***	*	
	Tolérance	1,39	0,58	0,000		*
8	Tolérance élargie	2,06	0,77	/		
9	Tolérance élargie	2,44	0,79	AH0	*	
	Optimum	2,20	0,82	0,410	*	
10	Tolérance élargie	2,61	0,80	AH0	*	
	Tolérance	2,57	0,49		*	
	Optimum	2,59	0,72		0,975	*
11	Tolérance élargie	2,02	0,67	AH0	*	
	Optimum	2,01	0,78	0,974	*	
12	Tolérance élargie	2,02	0,62	AH0	*	
	Tolérance	2,30	0,48		0,340	*
	Optimum	1,98	0,86		*	
13	Tolérance élargie	2,30	0,84	AH0	*	
	Tolérance	2,55	0,47	0,260	*	
14	Tolérance	2,26	0,61	/		
15	Exclusion	2,33	0,56	AH0	*	
	Tolérance	2,60	0,64	0,150	*	
16	Tolérance élargie	2,39	0,40	RHO **	*	
	Tolérance	1,96	0,65	0,008		*
17	Tolérance élargie	2,03	0,50	RHO ***	*	
	Optimum	1,24	0,77	0,000		*
18	Optimum	1,89	0,49	/		

Tableau 32 Tableau synthétique de l'analyse du dépérissement à l'échelle locale, A et B ont été utilisés afin de faciliter la lecture du tableau lorsqu'une différence significative entre les stations d'une même transect était présente





## Analyses du dépérissement conjointement avec les données de l'IPRFW

En plus des 25 données recueillies auprès de l'IPRFW, 11 placettes (9 en optimum et 2 en tolérance), issues de notre recherche, sont venues compléter le jeu de données existant. Le tableau suivant présente l'ensemble des données pour cette étude et le graphique suivant permet une visualisation rapide de l'évaluation sanitaire en fonction des différentes aptitudes stationnelles.

Aptitude	Nombre de placettes total	Moyenne	Ecart-Type
Optimum	9	1,93	0,38
Tolérance	6	1,00	0,99
Tolérance Elargie	14	0,24	0,29
Exclusion	7	0,34	0,46

Tableau 33 Statistiques descriptives de l'étude conjointe entre les données de l'IPRFW et nos stations en optimum ou en tolérance

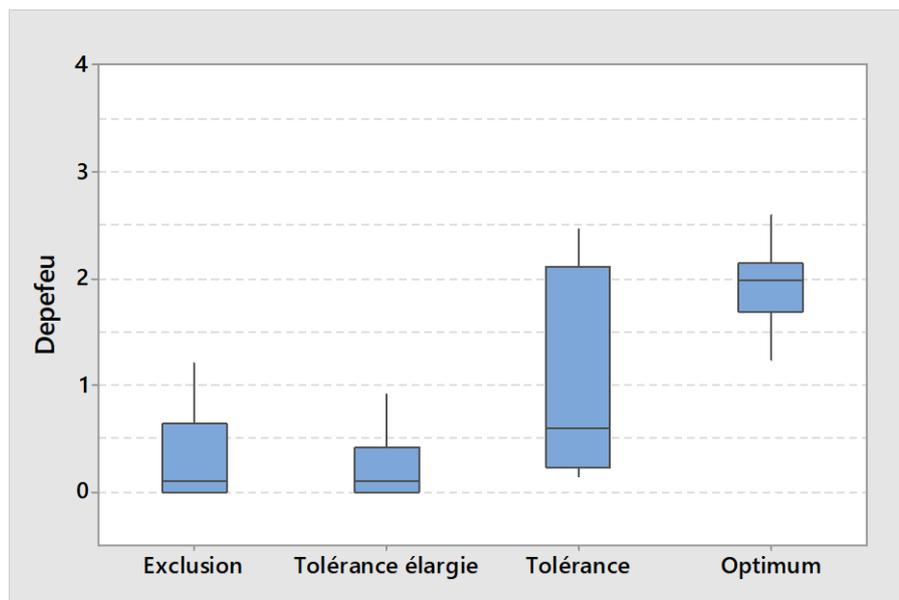


Figure 25 Boîtes à moustache du jeu de données combiné (donnée de l'IPRFW et les stations en optimum ou en tolérance de notre étude)

En comparant l'illustration (figure 24) et le tableau 33 il semblerait que des données aberrantes ait été utilisées. Dans les catégories d'aptitudes, des données issues de notre recherche semblent être anormalement différentes des deux autres. Une grande différence existe. Nous en reparlerons dans la discussion

L'étude des données collectées par l'IPRFW révèle l'impossibilité de les comparer avec les résultats issus de l'étude développée ici.

## Discussion

La discussion de ce rapport sera répartie en quatre grandes thématiques. Nous discuterons tout d'abord le faible nombre de placettes que nous avons trouvées en conditions stationnelles optimum. Après cela, la discussion suivante portera sur l'étude régionale du dépérissement. Dans ce même point, une discussion relative aux facteurs écologiques sera abordée. Le troisième point se concentrera sur l'étude du dépérissement en fonction de l'adéquation, mais se fera à une échelle locale (intra-transect). Enfin, la dernière partie sera consacrée à l'étude du dépérissement avec les données de l'IPRFW, où certaines de nos placettes ont été ajoutées. Une comparaison des différentes études sera également présente dans cette quatrième partie.

### Discussion sur le jeu de données

Sur les 85 sites potentiellement en aptitudes stationnelles, 14 sites comportaient du chêne pédonculé, mais seulement 9 se sont révélés être en conditions optimales. Les raisons pouvant expliquer la faible présence du chêne pédonculé en conditions stationnelles optimales ont déjà été évoquées précédemment. En Ardenne, les conditions stationnelles favorables à cette essence se retrouvent à des endroits très spécifiques, notamment à proximité des cours d'eau. Cependant, ces zones sont largement occupées par le milieu agricole et, lorsque des forêts sont présentes, ce sont les pessières qui dominent.

### Discussion sur le dépérissement à une échelle régionale (inter-transect)

L'étude de l'état sanitaire des arbres à l'échelle régionale n'a malheureusement pas pu identifier clairement de tendance. L'état sanitaire des cimes des chênes semble bien être plus favorable dans les conditions stationnelles optimales, mais il n'existe, à priori, pas de différence significative entre les stations.

En ce qui concerne l'analyse des facteurs écologiques pouvant expliquer le dépérissement, une nouvelle fois, rien n'a pu être identifié. L'analyse du niveau hydrique a nécessité le regroupement des 8 catégories en 2 nouvelles. Bien que cette opération ait été nécessaire afin d'obtenir un nombre suffisant de placettes par catégories, elle a eu pour conséquence de cacher d'éventuelles différences entre ces catégories.

L'analyse du niveau trophique n'indique pas non plus de relation significative entre la fertilité du sol et l'état sanitaire observé de la cime des chênes pédonculés.

Une précédente recherche a cependant démontré qu'il existait bien une relation entre l'état sanitaire des cimes et les niveaux hydriques et trophiques repris par le Guide du Boisement<sup>1</sup>. Cette étude révèle que l'état sanitaire des chênes pédonculés est meilleur dans les sols frais que dans les sols xériques ou présentant une anoxie prononcée (Gillet 2005). De même, l'état sanitaire est meilleur dans les milieux fertiles que dans les milieux plus pauvres (Gillet 2005). En ce qui concerne l'altitude, deux précédentes études (Gillet 2005; Claes 1998) montrent qu'il existe un lien significatif entre l'altitude et le dépérissement. De fait, celui-ci croît avec l'augmentation de l'altitude. Il est néanmoins important de préciser que l'étude Gillet (2005) s'est déroulée sur deux régions géographiques : le

---

<sup>1</sup> Le Guide du Boisement (Weissen et al. 1994) est, avec le Fichier Ecologique des Essences (Weissen 1991), l'ouvrage de référence du forestier avec l'apparition du Nouveau Fichier Ecologique des Essences.

Condroz et l'Ardenne. Ces deux régions se sont montrées être significativement différentes, avec le dépérissement du chêne pédonculé plus marqué en Ardenne qu'au Condroz (Gillet 2005).

Les facteurs écologiques que nous avons utilisés dans notre étude sont fortement liés au niveau hydrique du NFEE et se sont révélés non significatifs. Cela est certainement dû aux phénomènes de compensation qui existent entre ces paramètres. Par conséquent, l'analyse de chaque facteur pris individuellement ne permet pas de trouver de tendance.

Au terme de ce point, deux hypothèses peuvent être émises. La première hypothèse serait que le nombre de placettes d'échantillonnages dont nous disposons ne suffit pas à décrire la variabilité à l'échelle régionale. La deuxième explication envisagée est qu'il n'est pas possible de caractériser et préciser l'intensité du dépérissement en fonction de la station à l'échelle régionale. Le dépérissement serait déclenché à partir de phénomènes locaux et par conséquent, seule une analyse à ce niveau de précision pourrait définir la relation entre l'adéquation stationnelle et le dépérissement.

### **Discussion sur le dépérissement à une échelle locale (intra-transect)**

Sur les 13 sites comportant au minimum deux aptitudes stationnelles différentes, seuls 5 sites (n° 3,6,7,16 et 17) présentaient une différence au moins significative entre les moyennes des stations au sein du transect. Il est cependant nécessaire de préciser que les sites 1 et 2 sont très proches d'une différence jugée significativement différente entre les stations les constituant. Cela concerne plus particulièrement le site n°2, où la présence de deux arbres morts a sensiblement augmenté la note Depefeu attribuée à la placette.

Dans la moitié des sites (n°3, 6, 17 et le 2 si les deux d'arbres morts sont considérés comme aberrants et sont par conséquent retirés du jeu de données), lorsque la station optimum est présente dans le transect, celle-ci bénéficie d'une note Depefeu moindre et une différence significative existe avec les autres stations du transect. Le site 18 ne peut malheureusement pas être comparé, car il n'y a qu'une seule station au sein de ce transect. Dans la région de Libin, toutes les stations optimales inventoriées (sites 9,10, 11 et 12) ne sont pas significativement différentes des autres placettes des transects. De plus, 4 des 5 sites situés en conditions stationnelles optimales possédant les notes Depefeu les plus élevées sont des sites à proximité de Libin. Cette différence entre la région de Libin et le reste des autres transects est assez interpellant.

Les gardes-forestiers du cantonnement de Libin, lors de la formation Archi, ont expliqué que l'affouage<sup>2</sup> était toujours une pratique fortement répandue sur leur commune. Ils ont également témoigné leur inquiétude vis-à-vis de l'impact sur le sol que cette pratique pouvait occasionner. En effet, les citoyens exploitant les arbres ne sont pas forcément bien équipés et circulent avec des véhicules au sein du parterre de coupe, ce qui peut engendrer une compaction du sol (Cantonement DNF de Libin, communication personnelle).

Le suivi sanitaire réalisé par l'OWSF montre que des attaques massives d'agents biotiques (Oïdium et chenilles défoliatrices) se sont déroulées entre 2011 et 2013 à l'ouest de Libin, touchant principalement le cantonnement de Beauraing (OWSF 2014)(Figure 7). Il est possible que la zone affectée par ces ravageurs soit plus étendue. Les sites 8 à 14 sont tous à proximité directe de cette

---

<sup>2</sup> (Bastien & Gauberville 2011) « Affouage : jouissance en nature des produits ligneux d'une forêt communale au profit des habitants de cette commune. »

zone, et tous ces sites présentent une note Depefeu, pour la majorité, supérieure à 2. Plus marquant encore, le dépérissement semble être présent indépendamment de la station. L'adéquation stationnelle pourrait donc ne pas être la raison principale de ce dépérissement. Les cantonnements de Beuraing et de Libin ont été particulièrement touchés par le dépérissement, où respectivement 298 ha et 170 ha ont été rapportés comme dépérissants durant l'enquête de 2014 (OWSF 2015). Pire encore, ce chiffre a atteint 430 ha pour le cantonnement de Libin lors de l'enquête de 2016. Le cantonnement de Beuraing, de son côté, a exploité tous ses peuplements dépérissants et n'en a renseigné aucun lors de la dernière enquête (OWSF 2017). Outre la différence significative qu'il peut y avoir ou non au sein d'un transect, la note Depefeu des stations optimales est relativement élevée et tourne aux alentours de 2 sur une échelle de 0 à 4. Malheureusement, il n'existe pas de peuplement de référence permettant de situer nos placettes par rapport à celui-ci pour le contexte ardennais. L'OWSF considère qu'une note Depefeu inférieure ou égale à 2 équivaut au stade « faiblement dépérissant », tandis qu'une note comprise entre 2 et 3 équivaut au stade « modérément dépérissant » (OWSF 2017).

### **Discussion générale sur les résultats issus de nos données**

A l'issue de l'interprétation des résultats de nos études, il est difficile de tirer des conclusions claires. A l'échelle régionale, il semblerait que le dépérissement se produise indépendamment de la station. Cependant, il serait important de comprendre pourquoi les chênaies ardennaises ont été plus sévèrement touchées que celles des autres régions bioclimatiques lors de cet épisode de dépérissement. Il faudrait également comprendre au sein de la région ardennaise quels sont les facteurs déclencheurs de ce dépérissement.

Par conséquent, il semblerait que le dépérissement ne soit pas dû à la station mais à l'influence d'autres facteurs biotiques ou abiotiques. La défoliation massive par des chenilles, répétée parfois l'année suivante, et couplée à l'attaque d'oïdium, peut provoquer le déclenchement du dépérissement (Nageleisen et al. 2010). En effet, des épisodes de défoliation massive ont déjà eu pour conséquence le déclenchement de dépérissements dans le passé (Losseau & Vincke 2015).

La Lorraine française, suite à la sécheresse de 2003, a connu une nouvelle vague de dépérissement touchant principalement le chêne pédonculé. Cependant, bien que ce dépérissement soit le résultat de plusieurs stress affectant successivement la vitalité des chênes (2002 : défoliation et excès d'eau printanier, 2003 : défoliation et sécheresse), le facteur le plus corrélé à la fois à l'intensité et à la zonation de ce déclin est la défoliation causée par la processionnaire du chêne. Ainsi, ce dépérissement serait dû à l'action conjointe des processionnaire du chêne et de l'oïdium, et ce indépendamment de la station (Nageleisen et al. 2013). Une seconde étude révèle également que la succession de défoliation par les chenilles et d'une attaque d'oïdium ainsi que la présence d'événements climatiques extrêmes (sécheresse estivale, gelée précoce,..) peuvent déclencher le processus de dépérissement (Thomas 2008). Il existerait vraisemblablement un lien entre le taux de défoliation et l'altitude, et ce taux croîtrait avec l'augmentation d'altitude au-delà de 300m. Cela pourrait expliquer pourquoi l'Ardenne est la région la plus touchée (Claes 1998).

Depuis les années 2000, une succession de stress ont été recensés, et plusieurs ont pu participer à l'affaiblissement progressif des chênaies. Les stress sont les suivants : sécheresse (2003, 2006, 2011), glandées (2000, 2004, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011), défoliations par des chenilles (2011, 2012), et attaques cryptogamiques (2012, 2013) (Piroux et al. 2016). Malheureusement, ni la répartition spatiale ni l'intensité de ces phénomènes n'ont pu être connus.

## Discussion sur le dépérissement conjointement avec les données de l'IPRFW

L'étude des données collectées par l'IPRFW est inconciliable avec le résultat issu de l'étude ci présente.

Les données de l'IPRFW n'ont malheureusement pas pu être exploitées ce qui nous a empêché de réaliser une étude à l'échelle régionale. Il est intéressant de comprendre les raisons de cet échec. Une liste de limites, non-exhaustive, a été compilée et se trouve ci-dessous (Mr Lecomte, ir à l'IPRFW, communication personnelle).

- Les données de l'état sanitaire collectées par l'IPRFW ne sont pas adéquates à notre objectif pour permettre une étude détaillée. Elles sont collectées afin de donner une idée globale du problème.
- Les estimations sont réalisées durant toute l'année, et toutes les saisons, ce qui provoque des conditions d'observations différentes (en feuilles ou sans feuille), qui sont rarement idéales (47 % des parcelles échantillonnées entre octobre et mars)
- L'observation se réalise en un coup d'œil sur avis d'expert
- L'inventaire du second cycle se déroule depuis 2008, cependant, 35% des placettes ont été échantillonnées avant 2011.
- Les données sont réalisées à l'échelle régionale et n'ont de sens que si on réalise des moyennes sur un ensemble de placettes (+/- 30).

Les données de l'état sanitaire provenant de l'IPRFW n'étant pas utilisables, il serait judicieux d'expliquer pourquoi l'étude de l'état sanitaire est si compliquée. Le dépérissement est un processus complexe et multifactoriel qui, par conséquent, nécessite l'intervention d'une multitude de disciplines différentes (climatique, dendrochronologie, parasitologie, pédologie). Malheureusement, une étude se voulant être très complète doit se limiter à un nombre de placettes limité. Le tableau suivant résume les points positifs et les limites des études actuellement en cours en Belgique. Ce tableau est donné à titre informatif et n'est en aucun cas exhaustif.

En règle générale, chacune de ces méthodes a ses avantages et ses limites. Globalement, on pourrait critiquer le manque de temps et d'argent consacré à chacune de ces études. Il est également compliqué de les comparer entre elles, car elles n'utilisent pas systématiquement les mêmes critères et ne sont pas réalisées par les mêmes personnes au même moment de l'année.

Type d'étude	Nombre de sites	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Atouts</li> <li>✗ Limites</li> </ul>
Accord cadre	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Etude très complète, réalisant un grand nombre de mesures (dendrochronologie, création de fosses pédologiques afin d'analyser en détail le sol, étude du bilan hydrique à l'échelle du peuplement via modélisation, état sanitaire, ...)</li> <li>✗ Réalisée sur 3 régions (4 peuplements) pour toute la partie ardennaise</li> <li>✗ Etude basée uniquement dans des conditions stationnelles défavorables pour le chêne pédonculé (pas de situation en optimale)</li> </ul>
Données de l'IPRFW	195	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Grand nombre d'observations à travers le massif ardennais</li> <li>✓ Collecte d'un grand nombre de mesures (ressources en bois, dépérissement, qualité du bois, description du profil de sol,)</li> <li>✗ Réalisation durant toute l'année : certaines observations peuvent être influencées (description du cortège floristique, diagnostic de l'état sanitaire)</li> <li>✗ Données depuis 2008 pour le diagnostic sanitaire, alors que la dernière vague de dépérissement est apparue en 2013</li> <li>✗ Données secondaires apportant une information mais utilisation difficile de par leur faible précision</li> <li>✗ Diagnostic sanitaire par l'approche <b>arbre</b> réalisé sur un nombre d'arbres restreint (&lt;15 arbres) =&gt; problème de représentativité de l'état sanitaire des placettes</li> <li>✗ Approche <b>peuplement</b> réalisée sur toutes les essences confondues et biais apporté plus ou moins important selon les cas</li> </ul>
Notre étude	44	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Priorité à l'état sanitaire des chênaies pédonculées en conditions stationnelles optimales</li> <li>✓ Comparaison du dépérissement à une échelle locale (transect)</li> <li>✓ Utilisation de la méthode Depefeu totale en appliquant la formule et en permettant plus d'objectivité</li> <li>✓ Complémentarité avec les autres études</li> <li>✗ Méthode utilisée statique : une mesure à un moment donné</li> <li>✗ Échantillonnage restreint à la basse Ardenne : selon la cartographie, unique zone de conditions stationnelles optimales pour les chênes pédonculés</li> <li>✗ Diagnostic de l'état sanitaire réalisé sans feuille, pouvant compliquer l'estimation de certains paramètres contrairement à la méthode CIP</li> <li>✗ Sous-représentation de certaines aptitudes stationnelles</li> <li>✗ Construction des transects à partir de stations situées dans l'optimum. Possibilité de passer à côté de nombreux cas intéressants car absence de chênaies en conditions stationnelles intéressantes</li> </ul>

Tableau 33 Tableau comparatif entre les atouts et les limites des différentes études réalisées en Belgique axées sur le dépérissement du chêne pédonculé.

# Perspectives

## Avenir du chêne

Bien qu'il constitue une essence importante en Ardenne, le chêne pédonculé sera certainement voué à disparaître de cette région. Le changement climatique va avoir un impact important sur la physiologie des forêts. En Belgique, aux alentours de 2100, le climat risque d'être très différent de celui que nous connaissons actuellement. Ces changements peuvent être répartis en deux catégories : augmentation de la température moyenne annuelle et perturbation du régime de précipitation. Pour les températures, une augmentation de 2 à 3 °C suffirait à allonger la période de végétation, augmenter la température en saison de végétation et favoriser des épisodes de canicules. Pour les précipitations, l'effet de la saisonnalité sera plus marqué avec une augmentation en période hivernale (+20%) et une diminution en période estivale, où les précipitations durant cette dernière seront plus concentrées et participeront à la formation d'orages violents. Enfin, la combinaison de l'augmentation des températures avec la baisse des précipitations contribueront aux épisodes de sécheresses (Claessens 2016). Nous sommes actuellement en train d'assister à des épisodes de sécheresse de plus en plus intenses et fréquents, et il est tout à fait légitime de se questionner quant à réaction du chêne pédonculé vis-à-vis des sécheresses futures.

A côté de l'effet direct du réchauffement climatique sur la vitalité des arbres (bouleversement de la dynamique de précipitations, températures, ...), un autre phénomène est en train de se dérouler et est certainement plus pervers : la dynamique des insectes ravageurs. Les insectes, de par leur mobilité importante, leur cycle de vie court comparé à celui des arbres et leur grand taux de reproduction peuvent réagir rapidement face au changement climatique (Candau 2008; Logan et al. 2003). Ce réchauffement climatique permettrait également l'arrivée de nouvelles maladies comme le *Phytophthora cinnamomi*, qui est l'agent responsable de la « maladie de l'encre » chez le chêne rouge d'Amérique. Celui-ci pourrait également toucher le chêne pédonculé (Marçais et al. 2000).

Il semblerait intéressant de suivre les populations d'agents biotiques (chenilles défoliatrices, Oïdium), comme l'OWSF le fait déjà pour la processionnaire du chêne, afin de comprendre les fluctuations des populations. De plus, une surveillance de l'expansion du phénomène « Acute Oak Decline » semble être nécessaire étant donné les dégâts que ce type de dépérissement peut occasionner aux forêts. L'arrivée de ce phénomène en Belgique pourrait provoquer une nouvelle vague de dépérissement dans des chênaies déjà mal en point.

## Analyse du dépérissement

La méthode Depefeu utilisée dans ce travail a permis d'exploiter également les données de l'IPRFW. Cependant, cette méthode, bien que largement utilisée, ne permet que d'avoir une vision statique de l'état sanitaire de l'arbre sans informer sur le devenir de celui-ci. Une solution serait d'utiliser les méthodes Archi et Depefeu conjointement. Cette technique hybride permettrait de nuancer la classe « 2 » de la méthode Depefeu en la subdivisant en 4 sous-catégories. Cette nouvelle approche permet d'avoir une meilleure corrélation entre la croissance des cernes et l'aspect visuel du houppier (Bouvier et al. 2010).

## **Téledétection**

Comme mentionné précédemment, les dépérissements que nous connaissons actuellement, retiennent notre attention de par leur intensité et leur fréquence. La télédétection permet de quantifier l'étendue d'un dépérissement ou de suivre sa propagation lorsqu'elle résulte de l'attaque d'agents biotiques (Chen & Meentemeyer 2016).

L'activité des pathogènes (insectes, maladies,...) affecte directement ou indirectement la cime des arbres (réduction de la photosynthèse, diminution du stockage d'eau dans les feuilles, décoloration des feuilles, trouées,...) permettant ainsi l'utilisation de la télédétection basée sur la différence de rayonnements réfléchis entre les peuplements sains et dépérissants (Wang et al. 2007) (Chen & Meentemeyer 2016) .

La détection d'arbres morts peut facilement être réalisée à partir d'images aériennes, mais la détection d'arbres symptomatiques possédant toujours une cime active est plus compliquée (Wang et al. 2007). Il est, par conséquent primordial de se tourner vers d'autres méthodes afin de les repérer. Il est également important de pouvoir identifier les signes avant-coureurs du dépérissement afin de pouvoir prendre des mesures limitant la propagation dans le cas d'une attaque biotique (Chen & Meentemeyer 2016). La télédétection a déjà été utilisée pour quantifier les surfaces forestières souffrant de dépérissement (Jolly et al. 2009)

## Conclusion

Le dépérissement n'est pas un phénomène nouveau mais il inquiète propriétaires et gestionnaires forestiers. Le déclin du chêne est étudié depuis de longues années, cependant, le problème dépasse toujours autant les scientifiques, et chacun émet sa propre hypothèse sur le sujet. Le dépérissement que nous connaissons actuellement a débuté en 2011-2012, suite à la succession d'attaques d'agents biotiques et abiotiques, mais a réellement déclenché une vague de panique en 2014, où près de 40% des chênaies pédonculées ardennaises présentaient des signes de dépérissement. L'hypothèse initiale était que l'inadéquation stationnelle jouait un rôle majeur de cette crise. Dès lors, des recherches ont été entamées afin de comprendre la genèse de ce dépérissement. Le premier constat a été, qu'à partir des données actuelles tirées de l'Inventaire Permanent de la Ressource Forestière de Wallonie (IPRFW), aucune chênaie pédonculée ne se trouvait en conditions stationnelles optimales en Ardenne et il en résulte qu'il était impossible de connaître le comportement de ces peuplements face à ce phénomène. Cette situation a démontré la nécessité de compléter le jeu de données existant, issu de l'IPRFW, afin de construire un jeu de données statistiquement utilisable.

Une mise en contexte du dépérissement et des connaissances issues des premières études sur ce dépérissement a été expliquée afin de comprendre le déroulement de ce déclin. Notre étude s'est basée sur la région ardennaise qui, comme mentionné précédemment, est la région la plus touchée. Une description de la zone d'étude a permis d'énoncer les raisons pour laquelle cette essence est présente en Ardenne et pourquoi les conditions stationnelles ne lui sont pas favorables.

Afin de trouver de nouveaux sites, le parcellaire du Département de la Nature et des Forêts (DNF) a été croisé avec la carte d'aptitude stationnelle du chêne pédonculé. Par ce moyen, plusieurs sites ont pu être repérés. De plus, afin de trouver davantage de sites, une enquête a été menée auprès du DNF et des visites de terrain personnelles ont également été menées. En complément à l'étude réalisée conjointement avec l'IPRFW, nous avons décidé de réaliser des transects à partir de sites identifiés comme intéressants. Ces transects permettront une analyse du dépérissement en relation avec l'adéquation stationnelle à une échelle locale. Après la campagne de recherche, 95 sites potentiels ont été identifiés mais seulement 18 sites ont été retenus pour notre étude, les autres ne possédant pas de chênaies pédonculées. A partir des 18 sites identifiés, un transect a été construit afin de couvrir un maximum de stations différentes. Au total, 44 placettes ont été échantillonnées et sur chacune d'elles une analyse complète de la station (analyse du cortège floristique, sondage du sol, analyse de la topographie) a été pratiquée afin de leur attribuer une aptitude stationnelle plus fine que celle obtenue par cartographie. Après cette analyse, seules 9 placettes sont révélées révélèrent être des chênaies pédonculées en conditions stationnelles optimales.

L'état sanitaire étant une partie centrale de notre étude, nous avons entrepris une synthèse des différents outils d'estimation de l'état sanitaire des houppiers, ainsi qu'une compilation des différentes études réalisées en ce moment en Belgique. Afin de déterminer l'état sanitaire du houppier des arbres, nous avons participé à trois formations sur l'utilisation des différentes techniques. Pour pouvoir compléter le jeu de données de l'IPRFW, nous avons privilégié la méthode Depefeu hivernale.

Suite à notre campagne d'échantillonnage, trois études pouvaient être réalisées, les deux premières étant réalisées exclusivement à partir de nos jeux de données et la dernière étant un mixte entre les données de l'IPRFW et les nôtres. La première étude porte sur la relation entre le dépérissement et l'adéquation situationnelle à une échelle régionale, où toutes les placettes de

mêmes aptitudes ont été rassemblées, et tente d'identifier les facteurs écologiques agissant sur le dépérissement. La seconde va étudier la relation entre le dépérissement et l'adéquation stationnelle, à une échelle locale cette fois en comparant les placettes d'un même transect. La dernière est une étude régionale qui combine le jeu de données de l'IPRFW et les placettes de notre étude situées en aptitude stationnelle optimale ou tolérance.

La première étude ne montre pas de relation entre le dépérissement à l'adéquation stationnelle, ainsi, le dépérissement agit indifféremment à la station. De plus, aucun paramètre écologique n'a pu expliquer ce dépérissement. La seconde étude nuance les résultats obtenus par la première. En effet, certains sites présentaient une différence du dépérissement en fonction de la station et d'autres n'en présentaient pas. Ces observations soulèvent plusieurs hypothèses. La première, est qu'à une échelle locale, il existe une différence entre les stations, le dépérissement apparaît soit à l'action d'un stress et les arbres y répondent plus ou moins intensément selon la station. A l'opposé, pour les sites où il n'existe pas de différence entre les stations et l'état sanitaire des arbres, les raisons du déclenchement de ce déclin sont indépendantes de la station et sont alors provoquées par d'autres facteurs biotiques ou abiotiques. Chose étonnante, les zones répertoriées comme largement défeuillées lors des années 2011 à 2013 incluses sont celles où il n'a pas été possible d'identifier de différences entre les stations. Le dépérissement est probablement un phénomène qui nécessite une compréhension locale du contexte pouvant engendrer son apparition. La dernière étude, celle utilisant les données de l'IPRFW, n'a pas pu être exploitée. Il en résulte que les données de l'IPRFW ne peuvent pas, de par leur construction, être employées dans des études précises à cause d'une variabilité importante.

Une perspective a également été construite afin de proposer des pistes d'amélioration pour mieux quantifier le dépérissement par l'emploi d'outils de terrain (méthode archi-depefeu) ou de suivre les vagues de dépérissement à large échelle (au moyen de la télédétection).

Le chêne pédonculé vit peut-être ses derniers instants en Ardenne. Le réchauffement climatique agissant directement (canicule, perturbation des précipitations) ou indirectement (migration des aires de répartition, influence la dynamique des insectes) sur l'écosystème peut provoquer la disparition de cette essence déjà mal au point. Cependant, cette disparition n'engendre pas pour autant la fin de la chênaie ardennaise. Le chêne sessile pourra remplacer le chêne pédonculé tant les conditions lui sont plus favorables.

En effet, les prédictions sur le réchauffement climatique ne lui sont pas favorables et à terme, les chênaies pédonculées risquent de disparaître de l'Ardenne suite à la succession de stress tant abiotiques que biotiques. Mais ce n'est pas pour cela que la chênaie ardennaise doit disparaître. Un remplacement par le chêne sessile, plus adapté aux conditions ardennaises, permettra de perpétuer les bienfaits de ce type de peuplement en Ardenne.

# Bibliographie

## Ressources littéraires

- Alderweireld, M. et al., 2015. *Inventaire Forestier Wallon. Résultats 1994 – 2012*. SPW, DGO3, DNF & D. des R. Forestières, eds., Jambes.
- Alderweireld, M. et al., 2010. Le chêne en forêt ardennaise, un atout à préserver. *Forêt Wallonne*, 109(novembre/décembre), pp.10–27.
- Balleux, P., 1990. Le Chêne, hier, aujourd’hui, demain (1/2). *Forêt Wallonne*, 9(Automne), pp.14–22.
- Bary-lenger, A. & Nebout, J.-P., 1993. *Le chêne Du perron.*, Allier-Liège.
- Bastien, Y. & Gauberville, C., 2011. *Vocabulaire forestier Ecologie, gestion et conservation des espaces boisés*,
- Bonfils, P. et al., 2015. Le chêne face aux changements climatiques Perspectives d’avenir d’ une essence. *Not. prat.*, 55(September), p.12 pages.
- Boudru, M., 1986. *Forêt st sylviculture : sylviculture appliquée*,
- Bouvier, M., Drénou, C. & Lemaire, J., 2010. Diagnostic du dépérissement des chênes. In p. 43.
- Brady, C. et al., 2017. Taxonomy and identification of bacteria associated with acute oak decline. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(7), pp.1–11.
- Branquart, E. & Liégeois, S., 2010. *Normes de gestion pour favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestier*,
- Brown, N. et al., 2014. A review of *Agilus biguttatus* in UK forests and its relationship with acute oak decline. *Forestry*, 0, pp.1–11.
- Brusten Thomas [2009] – *Elaboration d’un catalogue des stations forestières pour la région naturelle du Condroz et développement d’applications cartographiques*. Travail de Fin d’Etudes : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 78 p.7
- Candau, J., 2008. Impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs des forêts méditerranéennes. *forêt méditerranéenne*, 2(juin), pp.145–154.
- Chanriot, E., 1901. La Thiérache. *Annales de géographie*, 10(51), pp.216–224.
- Chen, G. & Meentemeyer, R.K., 2016. Remote Sensing of Forest Damage by Diseases and Insects. *ResearchGate*, (November), pp.145–158.
- Claes, V., 1998. *Influence des facteurs mésologiques dur le dépérissement des chênes indigènes (Quercus robur L. et Quercus petraea (Mattuschka) Lieblein) en Région wallonne*. Travail de fin d’étude .Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux.
- Claessens, H., 2003. *Observer la végétation pour choisir une essence adaptée au milieu*,
- Claessens, H., 2016. Quelques considérations pour adapter nos forêts aux changements climatiques. *Sylva Belgica*, pp.8–17.
- Claessens, H. et al., 2010. Une chênaie n’est pas l’autre : analyse des contextes sylvicoles du chêne en forêt wallonne. *Forêt Wallonne*, 108(septembre/octobre), pp.3–18.
- Cordier, S., 2015. Développement d’une méthodologie de diagnostic stationnel dans le cadre de problèmes sanitaires en forêt Wallonne. Rapport d’activités. , p.45.

- Cordier S. (2017). Analyse de la relation entre le dépérissement du chêne et l'aptitude stationnelle. Rapport interne non publié, ULg, Gembloux Agro-Bio Tech, Gestion des Ressources forestières, 16 p.
- Delahaye, L. et al., 2016. Entre valorisation, conservation et dépérissement : la gestion de nos chênaies à la croisée des chemins. *Forêt Nature*, 140(3), pp.59–68.
- Delvaux J., Galoux A. [1962]. *Les territoires écologiques du Sud-Est belge*. Travaux hors série. Bruxelles : Université Libre de Bruxelles, Centre d'Ecologie générale, 2 vol., 311 p.
- Denman, S. et al., 2014. A description of the symptoms of Acute Oak Decline in Britain and a comparative review on causes of similar disorders on oak in Europe. *Forestry*, 87(4), pp.535–551.
- Denman, S., Kirk, S. & Webber, J., 2010. Managing acute oak decline. *Forestry Commission Information Note*, (April), pp.1–6.
- Drénou, C., Bouvier, M. & Lemaire, J., 2011. La Méthode De Diagnostic ARCHI. Application Aux Chênes Pédonculés Dépérisissants. *Forêt Entreprise*, 200, p.4.
- Duchaufour, P., 1997. *Abrégé de pédologie sol, végétation, environnement* Masson.,
- Focant, A., 2000. *Contribution à la compréhension du dépérissement des chênes indigènes [Quercus robur L. et Quercus petraea (Matt.) Liebl] en Région wallonne. Propositions sylvicoles et évaluation de leur vitalité*. Mémoire de fin d'études, FUSAGx, 75p. +annexes.
- Frisson, G., Monty, A. & Mahy, G., 2011. *L'adaptation au changement climatique en région wallonne : Fiche thématique* Thème,
- Gauquelin, X., 2011. *Guide de gestion des forêts en crise sanitaire - ONF/IDF*,
- Gillet, A., 2005. Influences stationnelle, sylvicole et spécifique sur le dépérissement des chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) en Région wallonne. Travail de Fin d'Etudes : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 78 p.7
- Goutal, N., 2012. *Modifications et restauration de propriétés physiques et chimiques de deux sols forestiers soumis au passage d'un engin d'exploitation*. AgroParisTech.
- Herbauts, J., El Bayad, J. & Gruber, W., 1998. L'IMPACT DE L'EXPLOITATION FORESTIÈRE MÉCANISÉE SUR LA DÉGRADATION PHYSIQUE DES SOLS : LE CAS DES SOLS LIMONEUX ACIDES DE LA FORÊT DE SOIGNES (BELGIQUE). *Revue Forestière Française*, L(2).
- Inconnu, 2010. Méthodes et critères harmonisés pour l'échantillonnage, l'évaluation, la surveillance et l'analyse des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts.
- Jabiol B., Brêthes A., Ponge J.F., Toutain F., Brun J.J. [1995]. *L'humus sous toutes ses formes*. Nancy: ENGREF, 63 p.
- Jamagne, M., 2011. *Grands paysages pédologiques de France* QUAE., Versailles.
- Jolly, A. et al., 2009. Apport de la télédétection à très haute résolution pour la cartographie de l'état sanitaire de peuplements feuillus : exemple du chêne en FD de Vierzon. In *Santé des forêts-20 ans d'expérience, un défi pour l'avenir*.
- Laurent, C. et al., 2011. *Inventaire de l'état sanitaire des écosystèmes forestiers, dans un réseau de suivi intégré à l'Inventaire permanent des Ressources forestières de Wallonie Rapport Final- Exercice 2010*,
- Lemaire, J., 2001. Etat des lieux après un siècle de conversion et perspectives sylvicoles. *Forêt Wallonne*, 53(juillet-août), pp.20–30.
- Lemaire, J., 2010. *Le chêne autrement Produire du chêne de qualité en moins de ans en futaie régulière*,

- Logan, J.A., Régnière, J. & Powell, J.A., 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Front Ecol Environ*, 1(3), pp.130–137.
- Losseau, J., 2017. Vulnérabilité des chênes en Wallonie : impacts des conditions de croissance sur la vitalité des peuplements et options sylvicoles Rapport Succinct 1 . Fiche descriptive de l'action. , p.34 pages.
- Losseau, J. & Vincke, C., 2015. *Vulnérabilité des chênes en Wallonie : impacts des conditions de croissance sur la vitalité des peuplements et options sylvicoles Rapport annuel détaillé*,
- Manion, P.D., 1981. *Tree disease concepts* Prentice H.,
- Marçais, B., Bouhot-Delduc, L. & Le Tacon, F., 2000. EFFETS POSSIBLES DES CHANGEMENTS GLOBAUX SYMBIOTIQUES ET PATHOGÈNES et les insectes ravageurs des forêts. *Revue Forestière Française*, LII(Numéro spéciale), pp.99–118.
- Michel, A. & Seidling, W., 2016. *Forest Condition in Europe 2016 Technical Report of ICP Forests*,
- Nageleisen, L., 2005. *Evaluation de l'aspect des houppiers des essences feuillues en hiver*,
- Nageleisen, L. et al., 2010. *La santé des forêts. Maladies, insectes, accidents climatiques... Diagnostic et prévention* IDF, ed., Paris.
- Nageleisen, L.-M. et al., 2013. Déperissement du chêne pédonculé en lorraine : des crises qui se succèdent... *BILAN DE LA SANTE DES FORETS EN 2012*, pp.1–9.
- Nageleisen, L.-M., 2008. *Méthode d'évaluation de l'aspect du houppier (protocole DEPEFEU)*,
- OEI, 2016. Déperissement du chêne: impacts qualitatifs et financiers.
- OVSF, 2014. La lettre d'info de l'OVSF N°1 données 2012-2013. , pp.3–6.
- OVSF, 2015. La lettre d'info de l'OVSF N°2. , p.34 pages.
- OVSF, 2017. La lettre d'info de l'OVSF N°4.
- De Paul, M.-A. & Bailly, M., 2005. Effets de la compaction des sols forestiers. *Forêt Wallonne*, 79(mai-juin), pp.49–57.
- Van der Perre, R. et al., 2015. La carte bioclimatique de Wallonie : un nouveau découpage écologique du territoire pour le choix des essences forestières - Actualisation et spatialisation des données climatiques et réalisation de la carte bioclimatique dans le cadre de la révision du Fi. *Forêt Nature*, 135(Avril-Mai-Juin), pp.47–58.
- Petit, S. et al., 2017. Le Fichier écologique des essences, version 2.0. *Forêt Nature*, 143(Avril-Mai-Juin), pp.12–19.
- Piroux, C., Ponette, Q. & Vincke, C., 2016. "Base de données "Aléas" Recenser l'historique des aléas climatiques et biotiques en forêt wallonne comme outil pour la gestion adaptative." *Forêt Nature*, 45(141), pp.40–45.
- Ponette, Q., 2010. Effet de la diversité des essences forestières sur la décomposition des litières et le cycle des éléments. *Forêt Wallonne*, 106(mai/juin), pp.33–42.
- Poskin, A., 1934. *Le Chêne Pédonculé et le Chêne Rouvre, leur culture en Belgique*,
- Ridremont, F., Degré, A. & Claessens, H., 2012. MIEUX COMPRENDRE ET ÉVALUER LA RÉSERVE EN EAU DES SOLS FORESTIERS. *Forêt Wallonne*, 116(janvier-février), pp.18–29.
- SPW, 2017. Fichier écologique des essences. *Fiche chêne pédonculé*. Available at: <https://fichierecologique.be/#/>.
- Thomas, F.M., 2008. Recent advances in cause-effect research on oak decline in Europe. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3(37), p.pp 1-12.

- Vansteenkiste, D. et al., 2004. Predispositions and symptoms of Agrilus borer attack in declining oak trees. *Annals of Forest Science, Springer*, (61), pp.815–823.
- Wang, C. et al., 2007. Using Landsat images to detect oak decline in the Mark Twain National Forest, Ozark Highlands Using. *Forest Ecology and Management*, 240(March), pp.70–78.
- Weissen, F., 1991. Le fichier écologique des essences. Tomes 1 et 2. *Namur. Ministère de la Région wallonne*, p.45 + 190p.
- Weissen, F., Bronchart, L. & Piret, A., 1994. *Le guide du boisement des stations forestières de Wallonie* Ministère., Namur.
- Widar, J., 2001. *Contribution à l'étude de l'autoécologie des chênes sessile [Quercus petraea (Matt.) Liebl.] et pédonculé [Quercus robur L.] en Ardenne.*

## Ressources cartographiques

- Bolyn C. 2017. Carte de discrimination des essences forestières.. Documents fournis en interne auprès de l'unité de Gestion des Ressources Forestières (ULg-Gembloux Agro-Bio Tech)
- Niveaux trophiques. Ridremont (2015). Carte des niveaux trophiques. Travaux internes. Université de Liège. Gembloux Agro-Bio Tech., Gestion des Ressources Forestières.
- Niveaux hydriques. Sevrin D. (2008). Carte des niveaux hydriques. Accord-Cadre "Recherche et Vulgarisation Forestières " (2004-2009). Thème 1 – Connaissances fondamentales de l'écosystème forêt : relation "sol-arbre-milieu". Action 1.5.1 - Changements climatiques et forêts de demain : Réactualisation des connaissances de l'adéquation "essence-station". Rapport annuel détaillé - Juin 2008, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Unité de Gestion des Ressources.
- SPW<sup>1</sup>(2005) Modèle Numérique de Terrain (MNT). Consultable en ligne sur <http://geoportail.wallonie.be/catalogue/03abb4c1-5f53-46bb-94fa-359f3912a041.html>
- SPW<sup>3</sup> 2005 CNSW. Service public de Wallonie (SPW) (2008). Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW). Echelle 1 : 25 000. <http://geoportail.wallonie.be/catalogue/64bbc088-367c-485c-bd7c-d2d08baedf9d.html>
- SPW (2015) Orthophotos 2015 <http://geoportail.wallonie.be/catalogue/e5e03556-80b2-4e80-86c6-6e70ae8de191.html>
- SPW (2005) Carte d'Occupation des Sols de Wallonie. Disponible sur <http://geoportail.wallonie.be/>. MNT. ERRUISSOL – Service public de Wallonie (SPW) (2005).
- Parcellaire DNF 2013. Parcellaire forestier du Département de la Nature et des Forêts. Documents fournis en interne auprès de l'unité de Gestion des Ressources Forestières (ULg-Gembloux Agro-Bio Tech)
- IGN (2012) cartes topographiques. Topomapviewer. <http://www.ngi.be/topomapviewer/public?lang=fr&>

## **Liens internet**

Forest Research (N.D.) Acute oak decline (AOD) : Incidence and distribution [consulté en ligne] le 27/07/2017 [En ligne] <https://www.forestry.gov.uk/fr/INFD-7UL9XR>

Boulvain F., Pingot J.-L. (2017) Une introduction à la géologie de la Wallonie. Département de Géologie- Université de Liège. [consulté en ligne] le 20/07/17  
<http://www.geolsed.ulg.ac.be/geolwal/geolwal.htm#ANNEXE>

SPW, 2017, fichier écologique des essences. [Consulté en ligne] août 2017  
<https://www.fichierecologique.be/#/>

## Annexes

Annexe 1 : Estimation de la surface des aptitudes stationnelles par zones biogéographiques.

Chêne pédonculé	No data		Exclusion		Tolérance élargie		Tolérance		Tolérance - Tolérance élargie		Optimum		Total
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	
Plaines et Vallées Scaldiennes	600,4	18,48	114,2	3,52	218,1	6,71	1311,3	40,36	536,8	16,52	468	14,40	3249
Hesbino-Brabançon	267,2	13,57	68,1	3,46	28,9	1,47	1162,3	59,02	221,9	11,27	221	11,22	1970
Condroz - Sambre et Meuse	580,8	16,38	598,7	16,88	715,8	20,18	922,3	26,01	447,0	12,61	282	7,94	3546
Fagne - Famenne - Calestienne	109,0	7,01	347,1	22,33	290,3	18,68	396,5	25,50	226,6	14,58	185	11,90	1555
Thiérache	5,2	4,72	1,6	1,46	42,4	38,11	31,2	28,00	26,7	24,02	4	3,69	111
Basse et moyenne Ardenne	200,0	7,31	265,0	9,68	1639,7	59,90	440,3	16,09	78,1	2,85	114	4,18	2737
Ardenne centro-orientale	119,1	6,90	169,1	9,81	1107,4	64,21	243,2	14,10	30,3	1,75	56	3,22	1725
Haute Ardenne	112,5	9,64	132,8	11,38	730,9	62,63	144,9	12,42	37,7	3,23	8	0,71	1167
Basse Lorraine	37,1	12,77	17,6	6,07	33,2	11,43	88,2	30,36	45,8	15,76	69	23,61	291
Haute Lorraine	66,7	12,08	25,5	4,62	80,7	14,62	187,0	33,88	130,5	23,65	62	11,17	552

## Annexe 2 Fiche Terrain (Recto-Verso)

### DIAGNOSTIC STATIONNEL - FICHE DE RELEVÉ TERRAIN

#### Généralités

Cantonnement :                      N° site :                      N° station :                      ID :                      Date de relevé :

#### Description abiotique

Région bioclimatique:

#### Description topographique :

Altitude, Pente & Orientation => SIG

<input type="checkbox"/> Plateau	A = Pas d'apport d'eau latéral
<input type="checkbox"/> Haut de pente	
<input type="checkbox"/> Bas de pente	B = Apport d'eau latéral variable
<input type="checkbox"/> Replat ou axe drainant	
<input type="checkbox"/> Plaine alluviale	C = Apport d'eau quasi-permanent
<input type="checkbox"/> Fond de vallée	

Croquis

#### Pédologie :

Type d'humus :

Signe pédologique :

Texture : sable - plutôt sableux - limoneux - plutôt argileux - argile

Charge caillouteuse : A) abondance :                      B) nature :                      C) profondeur (cm) :

Drainage (profondeur d'apparition - cm) : A) pseudogley :                      B) gley :

Profondeur de sondage (cm) :                      Obstacle :

Horizon argileux ou compacté : A) présence :                      B) profondeur (cm) :

pH : A) de l'horizon humifère :

#### Sylviculture :

Structure du peuplement :                      Futaie irrégulière                      Futaie régulière                      Taillis sous futaie                      Taillis

Typologie                      Petit bois -  
     Moyen bois -  
     Gros bois -  
     Très gros bois -

#### Dendrométrie:

Surface terrière relascope :                      M<sup>2</sup>/ha

Code :

Remarque(s):

Strate arborée				%	
N°	Espèce	Ab.	Soc.		
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Strate arbustive				%	
N°	Espèce	Ab.	Soc.		
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Strates herbacée et muscinale				%	
N°	Espèce	Ab.	Soc.		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					

#### Coefficients de Braun-Blanquet

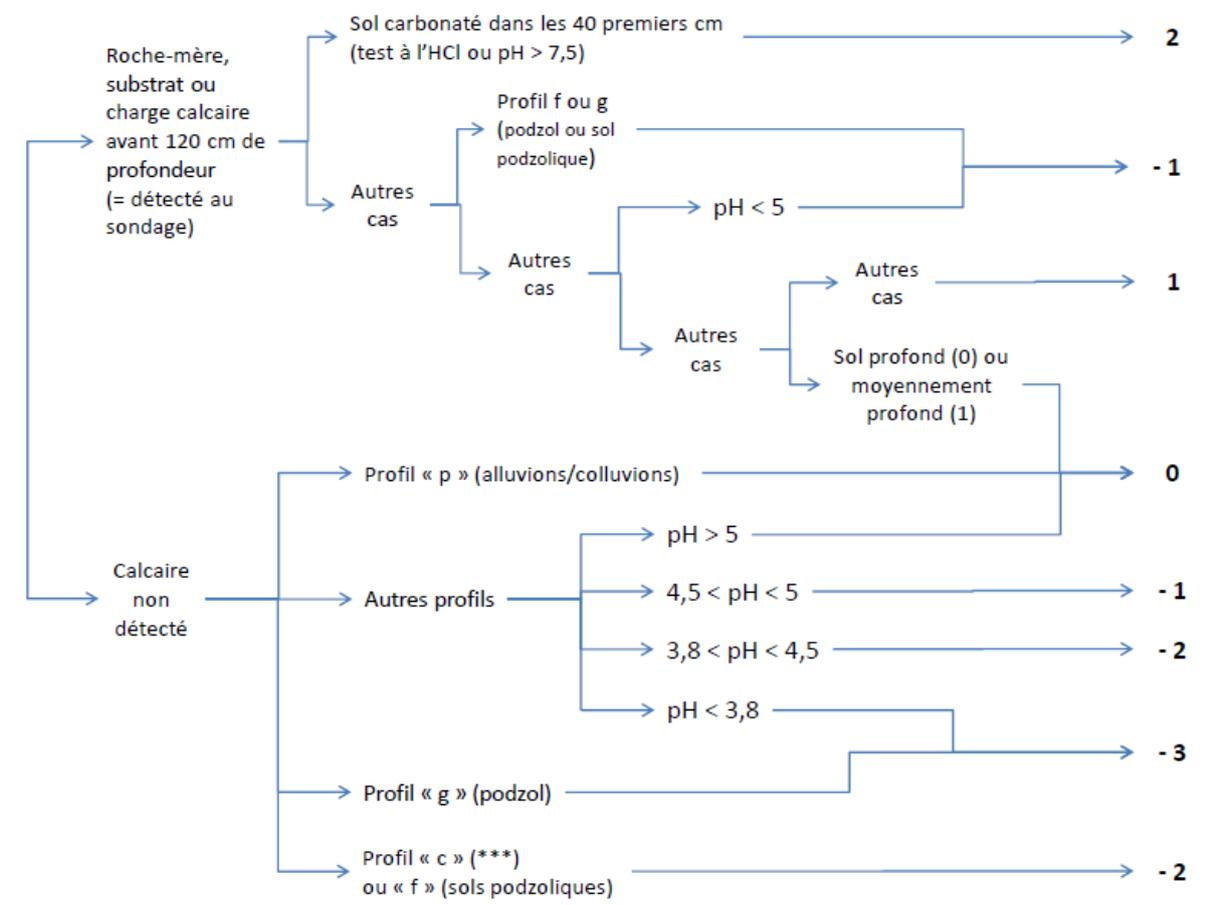
Abondance-Gommesse		Sociabilité	
1	Individus uniques insignifiants	0	Présence sporadique
+	Individus rares	1	Distribués au hasard
1	Individus nombreux	2	Touffes, colonnes, caudex
2	Nombre quelconque	3	Plages, groupes
3	Nombre quelconque	4	Tapis ou peuplement interconçu
4	Nombre quelconque	5	Tapis ou peuplement continu
5	Nombre quelconque		

N°	Espèce	TRANSPARENCE			MORTALITE			REPARTITION MASSE FOLIAIRE				NOTE DEFEU	
		FENETRE	BRANCHET UNE	TOTALE	RAMEAUX	BRANDES	M GLOBALE	ROUETS	PAQUETS	RAM.FINES			
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

Annexe 3 Clés hydrique NFEE (SPW 2017)

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>			
		Apports par les précipitations uniquement (versants, plateaux)	Apports d'eau topographiques variables	Alimentation constante			
Sol organique (tourbe, anmoor)	Couche de tourbe > 40cm Texture V ou couverture tourbeuse : ***(v)	- 4					
	Nappe permanente (sol à gley)	- 3					
		- 2					
Sol humide	Classe i ou I	-3RHA	-3	-3			
	Classe h	- 2 RHA	- 2	- 2			
	Nappe temporaire (pseudogley)	classe d ou D	Profond : 0,1 Peu profond : 2,3	- 1RHA - 1 RHA	- 1 - 1		
		Classe c	Autres textures L, A, E, U, G	Profond : 0,1 Peu profond : 2,3	0 1	0 1	
	Textures sableuses Z, S, P		Profond : 0,1 Peu profond : 2,3	1 2	0 1		
	Sol minéral	Textures limoneuses à argileuses L, A, E, U	Profond : 0,1	1	0	0	
			Peu profond : 2	Froid / neutre	2	1	0
Chaud				3	2		
Superficiel : 3			Froid / neutre	4	3	1	
Bon drainage b		Texture caillouteuse G	Profond : 0,1	1	0	0	
			Peu profond : 2	Froid / neutre	2	1	0
				Chaud	3	2	
		Peu profond très caillouteux : 3	Froid / neutre	3	2	1	
			Chaud	4	3		
		Superficiel : 4,5	Froid / neutre	4	3	2	
Chaud			5	4			
Sol bien drainé		Textures sableuses Z, S, P	Profond : 0,1	1	0	0	
			Peu profond : 2	Froid / neutre	3	2	1
				Chaud	4	3	
	Superficiel : 3	Froid / neutre	5	4			
		Chaud	5	5			
	Drainage excessif : a		5				
Sols cartographiés non différenciés S, R, B, G-T			-1 à -4	-1 à -4			
Sols cartographiés non différenciés J, P, H		0 à 5					

## Annexes 4 Clé trophique du NFEE



**CHENE HORS FEUILLES**

	0	Sain	
	1	Légèrement déperissant	
	2	Modérément Déperissant	
	3	Fortement Déperissant	
	3+	Très fortement déperissant	
	4	Mort	

Annexe 6 : Données brutes de la moyenne Depefeu et de l'écart-type

Nom	Aptitude stationnelle terrain	Moyenne Depefeu	Ecart-Type
Cou_1_2	Tolérance élargie	1.38	0.65
Cou_1_4	Tolérance	2.07	0.93
Cou_1_5	Tolérance élargie	1.72	0.57
Cou_2_2	Tolérance élargie	2.60	0.76
Cou_2_4	Optimale	2.07	0.89
Cou_3_2	Tolérance élargie	2.21	0.90
Cou_3_3	Tolérance	2.45	0.78
Cou_3_4	Optimale	1.75	0.84
Boui_1_2	Tolérance élargie	2.63	0.66
Boui_1_4	Tolérance élargie	2.19	0.76
Boui_6_3	Tolérance	1.99	0.59
Boui_7_2	Tolérance élargie	2.44	0.73
Boui_7_3	Tolérance élargie	2.21	0.87
Boui_7_4	Optimale	1.61	0.80
Biev_1_2	Tolérance élargie	2.89	0.79
Biev_1_3	Tolérance	1.40	0.58
Biev_1_4	Tolérance élargie	1.97	0.56
Biev_2_2	Tolérance élargie	2.29	0.79
Biev_2_3	Tolérance élargie	1.95	0.74
Biev_2_4	Tolérance élargie	1.91	0.78
Lib_2_2	Tolérance	2.44	0.79
Lib_2_4	Optimale	2.20	0.82
Lib_4_2	Tolérance	2.57	0.48
Lib_4_2b	Tolérance élargie	2.61	0.80
Lib_4_4	Optimale	2.59	0.72
Lib_5_2	Tolérance élargie	2.02	0.67
Lib_5_4	Optimale	2.01	0.78
Lib_10_2	Tolérance élargie	2.02	0.62
Lib_10_3	Tolérance	2.30	0.48
Lib_10_4	Optimale	1.98	0.86
Beau_1_2	Tolérance élargie	2.67	0.67
Beau_1_3	Tolérance élargie	1.84	0.82
Beau_1_4	Tolérance	2.55	0.47
Beau_5_2	Tolérance	2.07	0.61
Beau_5_3	Tolérance	2.45	0.55
Flo_1_2	Exclusion	2.33	0.56
Flo_1_3	Tolérance	3.02	0.53
Flo_1_5	Tolérance	2.11	0.34
Flo_2_3	Tolérance	1.80	0.51
Flo_2_4	Tolérance	2.11	0.74
Flo_2_5	Tolérance élargie	2.40	0.40
Mar_1_2	Tolérance élargie	2.03	0.50
Mar_1_4	Optimale	1.24	0.76
Ver_1_4	Optimale	1.88	0.48