



**LIÈGE université**  
**Gembloux**  
**Agro-Bio Tech**

# LA FORÊT DE SAINT-MICHEL-FREYR ANALYSES ET PROPOSITIONS DE GESTION

CLAES VALENTIN

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

PROMOTEUR : HUGUES CLAESSENS

« 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. »



**LIÈGE université**  
**Gembloux**  
**Agro-Bio Tech**

# LA FORÊT DE SAINT-MICHEL-FREYR ANALYSES ET PROPOSITIONS DE GESTION

CLAES VALENTIN

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

PROMOTEUR : HUGUES CLAESSENS

## Remerciements :

Au terme de ce travail de fin d'études, je voudrais remercier particulièrement mon promoteur de TFE, Hugues Claessens, pour ses relectures attentives, ses conseils avisés et les journées consacrées à m'accompagner sur le terrain. Ce travail n'aurait pas été le même sans son soutien et son précieux suivi.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à Philippe Lejeune, Gauthier Ligot et Samuel Quevauvillers qui ont chacun consacré de leurs temps pour m'aider dans l'utilisation et la compréhension des différents programmes informatiques qui ont été utilisés durant la réalisation de ce travail. Merci aussi à Marc Dufrêne pour la discussion que nous avons tenue sur ce projet.

Je voudrais aussi remercier l'ensemble des techniciens de la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, Alain Monseur, Allan Borremans, Atchoum, Cédric Geerts et Thibault Delinte, qui ont permis la mise en place d'un inventaire de cette envergure et qui ont rendu ces longues journées d'inventaire en forêt agréables et instructives. Merci aussi à Quentin Guidosse et Guillaume Baralle pour le renfort lors de la journée finish de l'inventaire.

Je remercie également Gérard Jadoule pour son accueil lors de l'inventaire ainsi que pour le partage de sa vision sur le projet Saint-Michel-Freyr.

Je tiens aussi à remercier les membres du Département de la nature et des forêts qui nous ont fait visiter la forêt de Saint-Michel-Freyr et particulièrement Stéphane Abras et Philippe Moes pour leur aide et leurs réponses à mes questions tout au long de ce travail.

Je souhaite aussi remercier M. Larrieu et M. Gonin qui en me transmettant leur calculateur IBP, qui n'avait pas encore été mis en ligne, m'ont fait gagner de précieuses heures.

Enfin, ce travail de fin d'étude marque la fin de mes années passées à Gembloux. Ces années ont été pour moi de merveilleux moments durant lesquels j'ai pu élargir ma vision du monde, apprendre de mes erreurs et plus généralement sur moi-même. Durant ces années, j'ai pu évoluer au contact des personnes que j'ai côtoyées et des expériences vécues.

Je voudrais embrasser solennellement sur le front l'ensemble de mes amis gembloutois qui m'ont accompagné durant ces nombreuses années et qui ont rendu ces journées et ces soirées exceptionnelles ! Pour ne citer qu'eux je voudrais remercier, Yorick, Barallito, Bahia, Guidosse, Laeticha, mes cokotteurs de qualité supérieure, ainsi que l'ensemble de la famille gembloutoise pour tous ces moments passés ensemble.

Un remerciement spécial à Marie, qui a été là depuis mes débuts à Gembloux et qui m'a soutenu dans les moments les plus difficiles. Tu rends ma vie meilleure et tu fais partie des plus belles choses qui me soient arrivées ces dernières années.

Pour finir, je voudrais remercier du fond du cœur, mes parents, pour avoir rendu possible ces années à Gembloux, pour m'avoir toujours soutenu durant mes études et sans qui je ne serais pas là aujourd'hui. Un remerciement spécial à mon frère pour ces blocus passés ensemble et à ma sœur pour son soutien indéfectible.

Voilà. J'imagine que c'est tout. Une page qui se tourne. J'espère n'avoir oublié personne et si c'est le cas, sache que toi qui me lis, je te remercie !

## Résumé :

Dans le cadre d'un accord conclu entre la fondation Pairi Daiza et la Région wallonne, la gestion de la forêt de St-Michel-Freyr, une forêt de 1 700 hectares située en Ardenne dans la province du Luxembourg, est confiée à la fondation Pairi Daiza pour une durée de 20 à 80 ans. Dans le cadre de ce projet un nouveau type de gestion visant à renaturer la forêt va être mis en place à travers la création d'un nouveau plan d'aménagement. L'objectif du présent travail est d'apporter des outils et des pistes de solution au gestionnaire afin de pouvoir mettre en place le plan d'aménagement pour les prochaines années. Dans cette optique, une description des propriétés dendrométriques et de la capacité d'accueil de la forêt a été effectuée. Cette description a été réalisée via la mise en place d'un inventaire multifonctionnel composé d'un inventaire forestier d'aménagement (IFA) et d'un inventaire de biodiversité potentiel (IBP). Sur base des données récoltées, des recommandations de gestion et des scénarios sylvicoles ont été proposés en fonction des types de forêts, de l'analyse de leurs caractéristiques stationnelles et des problématiques rencontrées. Deux autres exercices tentent, d'une part, de localiser la hêtraie dépérissante présente sur le plateau de ce massif sur base de l'analyse du modèle numérique de hauteur et, d'autre part, de modéliser les volumes résineux qui seront récoltables dans les prochaines années.

## Abstract

Under an agreement between the Pairi Daiza Foundation and the Walloon Region, the management of the St-Michel-Freyr forest, a 1,700 hectare forest located in the Ardennes in the province of Luxembourg, is entrusted to the Pairi Daiza Foundation for a period of 20 to 80 years. As part of this project, a new type of management aimed at restoring the forest will be implemented through the creation of a new management plan. The objective of this work is to provide tools and solutions to the manager in order to implement the management plan for the coming years. In this regard, a description of the dendrometric properties and carrying capacity of the forest is provided. This description was made through the implementation of a multifunctional inventory consisting of a forest management inventory (FMI) and a potential biodiversity inventory. Based on the data collected, management recommendations and silvicultural scenarios were proposed according to forest types, the analysis of their stationary characteristics and the problems encountered. Two other exercises attempt, on the one hand, to locate the decaying beech forest on the plateau of this massif based on the analysis of the numerical height model and on the other hand to model the resinous volumes that will be harvested in the coming years.

# Table des matières

I)	Liste des figures .....	I
II)	Liste des tableaux .....	IV
1.	Introduction.....	1
1.1.	Contexte général .....	3
1.1.1.	Localisation de la zone d'étude .....	3
1.1.2.	Historique .....	5
1.1.3.	Contexte administratif.....	5
1.1.4.	Gestion passée.....	6
1.1.5.	Gestion future.....	6
2.	Vue d'ensemble de la forêt de Saint-Michel-Freyr .....	7
2.1.	Conditions écologiques : .....	7
2.1.1.	Géologie & Lithologie : .....	7
2.1.2.	Pédologie : .....	7
2.1.3.	Topographie & hydrographie : .....	8
2.1.4.	Principaux types de station : .....	9
2.1.7.	Descriptions générales des principales stations retrouvées sur SMF : .....	10
2.2.	Peuplements.....	13
2.2.1.	Répartition générale.....	13
2.2.2.	Types de peuplement : .....	14
2.2.3.	Distribution du type de peuplement .....	15
2.3	Contexte légal.....	17
2.4	Entretien avec les gardes forestiers .....	17
2.2.4.	La dynamique d'envahissement du fond de vallée par le hêtre. ....	17
2.2.5.	La hêtraie dépérissante des plateaux : .....	17
2.2.6.	L'absence de régénération du chêne .....	17
2.2.7.	Les pessières scolytés et l'avenir des résineux : .....	17
3.	Matériel et méthode .....	18
3.1	Méthodologie générale .....	18
3.2.	Inventaire forestier.....	19
3.2.1.	Plan d'échantillonnage : .....	19
3.2.2.	Données dendrométriques.....	20
3.2.3.	Indice de biodiversité potentiel : .....	23
3.3.	Identification des zones de hêtraie dépérissante .....	26

3.4.	Modélisation dendrométrique .....	28
4.	Résultats : .....	33
4.1.	Description générale de la forêt de Saint-Michel-Freyr .....	33
4.1.1.	Description du peuplement : .....	33
4.1.2.	Résultat de la localisation de la zone hêtraie déperissante : .....	37
4.1.3.	Zonation de la forêt de SMF : .....	38
4.2.	Zone fond de vallée : .....	39
4.2.1.	Localisation : .....	39
4.2.2.	Description du Peuplement : .....	40
4.2.3.	Description de la capacité d'accueil de la zone fond de vallée .....	42
4.2.4.	Description stationnelle .....	43
4.2.5.	Analyse AFOM : .....	45
4.2.6.	Orientation de gestion : .....	48
4.3.	Zone hêtraie déperissante : .....	51
4.3.1.	Localisation .....	51
4.3.2.	Description du peuplement : .....	52
4.3.3.	Description de la capacité d'accueil de la zone .....	55
4.3.4.	Description stationnelle de la zone hêtraie déperissante .....	56
4.3.5.	Analyses AFOM : .....	56
4.3.6.	Orientation de gestion : .....	60
4.4.	Zone hêtraie « saine » .....	63
4.4.1.	Localisation .....	63
4.4.2.	Description du peuplement : .....	64
4.4.3.	Description de la capacité d'accueil de la zone hêtraie saine .....	67
4.4.4.	Description stationnelle de la zone hêtraie saine .....	68
4.4.5.	Analyse AFOM : .....	68
4.4.6.	Orientation de Gestion : .....	73
4.5.	Zone résineuse .....	75
4.5.1.	Localisation .....	75
4.5.2.	Mise à jour du parcellaire : .....	75
4.5.3.	Description du peuplement : .....	76
4.5.4.	Description de la capacité d'accueil de la zone résineuse .....	79
4.5.5.	Description stationnelle de la zone résineuse .....	80
4.5.6.	Analyse AFOM .....	80
4.5.7.	Orientation de gestion .....	84
4.5.8.	Modélisation dendrométrique des peuplements résineux .....	87

4.5.9. Bilan financier :.....	88
5. Conclusion et perspective : .....	92
6. Bibliographie :.....	94
7. Annexe :.....	96

## I) Liste des figures

Figure 1: Localisation géographique et administrative de la forêt de Saint-Michel-Freyr. Auteur : Valentin Claes août 2019. Donnée MNT (ULG-Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique) .	3
Figure 2: Localisation de la forêt de Saint-Michel--Freyr par rapport aux différentes régions bioclimatiques. Auteur : Valentin Claes août 2019. Donnée ULG-Gembloux Agro-Bio Tech (serveur cartographique) .....	4
Figure 3: Données climatiques des différentes régions-bioclimatiques. (Cordier.,2018).....	4
Figure 4: Localisation de la forêt de SMF , par rapport à la carte de Ferraris de 1770-1778. Auteur : Valentin Claes août 2019. Sources SPW & serveur cartographique (Gembloux Agro-Bio Tech) .....	5
Figure 5: Répartitions surfaciques des différents types de sol présents sous la forêt de SMF. ....	7
Figure 6: Carte hydrologique et topographique de la forêt de SMF. Auteur : Valentin Claes , août 2019. Sources : Mnt ( Serveur cartographique -Gembloux Agro-Bio Tech) .....	8
Figure 7: Carte des stations de la forêt de SMF. Auteur : Valentin Claes , août 2019. Sources : Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique.....	9
Figure 8: Répartitions surfaciques des différents types de stations présentes dans la forêt de SMF. Sources cartes des stations (Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique) .....	9
Figure 9 : Répartition des différentes occupations du sol sur Saint-Michel-Freyr. Données extraites du parcellaire du DNF.....	13
Figure 10: Cartographie des différents types de peuplement présents sur SMF : Auteur Valentin Claes, août 2019. Source : Parcellaire Département de la nature et des forêts.....	14
Figure 11: Répartition de la surface forestière par type de forêt. Donnée extraite du Parcellaire du Département de la nature et des forêts.....	14
Figure 12 : Répartition de la surface forestière par type de peuplement feuillus. Données extraites du Parcellaire du DNF .....	15
Figure 13: Répartition de la surface forestière par type de peuplement résineux. Données extraites du Parcellaire du DNF .....	15
Figure 14: Relation entre l'erreur d'échantillonnage, le nombre d'unité d'échantillonnage et le coefficient de variation du paramètre estimé pour un niveau de confiance de 95 %.(Lejeune et al., 2016) .....	21
Figure 15: Parcours en étoile pour l'inventaire IBP. Source : Gonin P., Larrieu L. : 2013 .....	24
Figure 16: Répartition surfacique des différentes parcelles résineuses en fonction de leurs classes de productivité. (Pour l'épicéa, le mélèze et le douglas).....	29
Figure 17: relation entre le nombre de tiges à l'ha et l' âge pour une parcelle d'épicéa : Norme EP3B1, Classe de productivité 3 , Plantation 2*2m. ....	30
Figure 18: Relation entre l'indice de densité relative et diamètre dominant pour l'épicéa : Norme EP3B1, Classe de productivité 3 , Plantation 2*2m. ....	31
Figure 19: Relation entre l'indice de densité relative et diamètre dominant pour le douglas : Norme DO3B1, Classe de productivité 3 , Plantation 2*2m. ....	31
Figure 20: Valeurs de Ddom d'exploitation pour les différentes essences résineuses. ....	31
Figure 21: Représentation de la composition en essences pour l'ensemble de la forêt de SMF.....	33
Figure 22: Distribution du nombre de tiges par hectare par classe de circonférence et par essence pour l'ensemble de la forêt de SMF. La dénomination « Autre » regroupe les essences minoritaires (voir composition).....	34
Figure 23: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour l'ensemble de la forêt de SMF.....	34
Figure 24: Pourcentage de recouvrement par essence et par stades de régénération pour l'ensemble de SMF.....	35
Figure 25: Cartographie des valeurs de l'IBP_total par placette d'inventaire pour l'inventaire 2019 .	36

Figure 26: Cartographie de la zone hêtraie -dépérissante. Auteur Valentin Claes , Août 2019. Source : Département de la nature et des forêts (Parcellaire) .....	37
Figure 27: Cartographie des différentes zones formant la forêt de Saint-Michel-Freyr. Auteur : Valentin Claes. Sources : DNF (parcellaire).....	38
Figure 28: Cartographie de la zone fond de vallée. Auteur Valentin Claes, août 2019. Source: Gembloux agro-bio tech(serveur cartographique) .....	39
Figure 29: Valeurs de surface terrière, du nombre de tiges et de volume pour la zone fond de vallée. Avec les erreurs associées.....	40
Figure 30: Représentation de la composition en essences pour la zone fond de vallée.....	40
Figure 31: Distribution du nombre de tiges par hectare par classe de circonférence et par essence pour la zone fond de vallée. La dénomination « autre » regroupe les essences minoritaires (voir composition). .....	40
Figure 32: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour la zone Fond de vallée .....	41
Figure 33: Composition en essences de la régénération présente dans la zone fond de vallée .....	41
Figure 34: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essences pour la zone fond de vallée .....	41
Figure 35: Représentation schématique des valeurs des facteurs iBP pour la zone fond de vallée.....	43
Figure 36: 4.2.4.1. Distribution surfacique des stations pour la zone fond de vallée. ....	43
Figure 37: Résumé des différentes caractéristiques des stations terrasses alluviales basses et terrasses alluviales hautes (Cordier, 2018) .....	44
Figure 38: Distribution du nombre de tiges à l'hectare pour le hêtre dans la zone fond de vallée .....	46
Figure 39: Distribution du nombre de tiges à l'hectare pour les chênes indigènes dans la zone fond de vallée .....	47
Figure 40: Cartographie zone hêtraie dépérissante. Auteur : Valentin Claes août 2019. Source : Parcellaire Département de la nature et des forêts .....	51
Figure 41: Valeurs de surface terrière, du nombre de tiges, de volume, et erreurs d'échantillonnage associées pour la zone hêtraie dépérissante. ....	52
Figure 42: Représentation de la composition en essences pour la zone hêtraie dépérissante.....	52
Figure 43: Distribution du nombre de tiges par hectare par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie dépérissante .....	53
Figure 44: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie dépérissante .....	53
Figure 45: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essences pour la zone hêtraie dépérissante .....	54
Figure 46: Représentation schématique des valeurs des facteur IBP pour la zone hêtraie dépérissante .....	55
Figure 47: Proportion de placettes d'inventaire par type de station pour la zone hêtraie dépérissante .....	56
Figure 48: Caractéristiques dendrométriques des peuplements de hêtre (Rondeux et al., 1997). ....	58
Figure 49: Evolution du nombre de trouées. Comparaison entre le modèle numérique de hauteur e 2006 et 2018 pour une parcelle de la zone hêtraie dépérissante. ....	60
Figure 50: Cartographie de la zone hêtraie saine. Auteur : Valentin Claes, août 2019. Source : Département de la nature et des forêts (Parcellaire SMF) .....	63
Figure 51: Principales valeurs dendrométriques pour la zone hêtraie saine et erreurs associées. ....	64
Figure 52: Représentation de la composition en essences pour la zone hêtraie saine. ....	64
Figure 53: Distribution du nombre de tiges par hectare, par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie saine. La dénomination « Autre » regroupe les essences minoritaires (voir composition). .....	65

Figure 54: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie saine .....	65
Figure 55: Composition en essences de la régénération présente dans la hêtraie saine .....	66
Figure 56: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essence pour la hêtraie saine .....	66
Figure 57: Représentation schématique des valeurs des facteur IBP pour la zone hêtraie saine.....	67
Figure 58: Proportion de placettes d'inventaire par type de stations pour la zone hêtraie dépérissante .....	68
Figure 59: Distribution du nombre de tiges à l'ha pour le hêtre dans la zone hêtraie saine.....	71
Figure 60: Cartographie de la zone résineuse. Auteur Valentin Claes, août 2019. Source: Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique .....	75
Figure 61: Valeurs de surface terrière, du nombre de tiges et de volume pour la zone résineuse et erreurs associées.....	76
Figure 62: Représentation de la composition en essences pour la zone résineuse. Ces résultats sont basés sur les données de l'inventaire dendrométrique.....	76
Figure 63: Distribution du nombre de tiges par hectare, par classe de circonférence et par essence pour la zone résineuse.....	76
Figure 64: Distribution surfacique par classe d'âge de chaque essence résineuse. Et ligne d'équilibre associée. Données tirées du parcellaire.....	77
Figure 65: Représentation de la composition en essences de la régénération pour la zone résineuse.....	77
Figure 66: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essence pour la zone résineuse.....	77
Figure 67 : Proportion surfacique par classe de productivité et par essence résineuse. Les chiffres dans les histogrammes indiquent la classe de productivité.....	78
Figure 68: Représentation schématique des valeurs des facteur IBP pour la zone résineuse.....	79
Figure 69: Proportion de placette d'inventaire par type de station pour la zone résineuse.....	80
Figure 70: Localisation des arbres scolytés. Superposition d'une couche NDVI et image sentinel-2. 2018 : Source : Gembloux Agro-Bio Tech .....	84
Figure 71: Prévision par modélisation des volumes totaux récoltables par éclaircie et par mise à blanc des vingt prochaines années.....	87
Figure 72: Prévision par modélisation des revenus totaux récoltés pour les vingt prochaines années.....	88
Figure 73: Relation entre l'évolution des surfaces terrières de la table de production théorique et les surfaces terrières obtenues pour les peuplements virtuels. Cas de l'épicéa .....	89
Figure 74: Relation entre l'évolution des surfaces terrières de la table de production théorique et les surfaces terrières obtenues pour les peuplements virtuels. Cas du douglas.....	90

## II) Liste des tableaux

Tableau 1:Caractéristiques générales des stations : Terrasses alluviales humides et fraîches .....	10
Tableau 2:Caractéristiques générales de la station : Plateaux méso-oligotrophes (Cordier,2018).....	11
Tableau 3:Caractéristiques générales de la station : Hygrosciaphiles acidoclines (Cordier,2018) .....	11
Tableau 4: Caractéristiques générales de la station : Xéro-oligotrophes (Cordier,2018) .....	12
Tableau 5: Caractéristiques générales de la station : Argiles blanches à régime hydrique alternatif(Cordier,2018) .....	12
Tableau 6: Valeurs des différentes essences résineuses par classe de circonférence (pour 1m <sup>3</sup> ). Prix moyen de la fourchette renseignée par l'Office économique wallon des bois 2018-2019 .....	32
Tableau 7: Valeurs de la surface terrière, du nombre de tiges et du volume, et erreurs d'échantillonnage associés pour l'ensemble de la forêt de SMF. ....	33
Tableau 8 : Résultats de l'accroissement et des paramètres associés , pour la surface terrière , le nombre de tiges, le volume ainsi que leurs erreurs associées , pour l'ensemble de SMF.....	35
Tableau 9: Résultat accroissement individuel annuel par essence et erreurs associées pour l'ensemble de SMF.....	35
Tableau 10: Résumé général des valeurs relatives des composantes de l'IBP pour les différentes zones d'études .....	36
Tableau 11: Résultats de l'accroissement et des paramètres associés, pour la surface terrière , le nombre de tiges et le volume. Avec leurs erreurs associées. Zone fond de vallée .....	42
Tableau 12: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone fond de vallée.....	42
Tableau 13: Résultats de l'accroissement et des paramètres associés pour la surface terrière, le nombre de tiges et le volume. Avec leurs erreurs associées. Zone hêtraie dépérissante. ....	54
Tableau 14: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone hêtraie dépérissante. ....	55
Tableau 15 : adéquation des essences feuillus pour les plateaux méso-oligotrophes. Risque principal pour l'essence sur la station : S = sécheresse du sol ; N = nutrition ; C = froid et/ou gelées .....	57
Tableau 16: Résultats de l'accroissement et des paramètres associés, pour la surface terrière, le nombre de tiges et le volume. Avec leurs erreurs associées. Zone hêtraie saine.....	66
Tableau 17: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone hêtraie saine .....	67
Tableau 18 : Comparaison des caractéristiques stationnelles pour les stations xéro-oligotrophes et hygrosciaphiles acidoclines pour la zone hêtraie saine.....	68
Tableau 19: Caractéristiques dendrométriques des peuplements de hêtres.(Rondeux et al., 1997) ....	70
Tableau 20: Valeurs des accroissements et des coefficients de variation relatifs aux surfaces terrières,(Rondeux et al., 1997).....	72
Tableau 21: Répartition surfacique des différentes essences en classes de productivité.....	78
Tableau 22: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone résineuse.....	79
Tableau 23: Adéquation des essences pour la haute Ardenne. Station : Argiles blanches RHA. Risque principal pour l'essence sur la station : S = sécheresse ; N = nutrition ; A = anaérobiose et chablis ; C = froid, gelées, neiges lourdes .....	81

# 1. Introduction

## *La forêt et l'homme :*

L'homme a de tout temps été un utilisateur des ressources de la forêt. Dans un premier temps, pour y vivre et pour s'y nourrir, et dans un second temps, lorsqu'il a quitté la forêt, pour y extraire les ressources nécessaires à sa vie sédentaire dans les plaines : le bois pour le feu, les charpentes pour son habitation, les glands et les fânes pour le bétail... Avec l'expansion démographique de l'espèce humaine sur terre (Caselli et al., 2004), les prélèvements effectués sur la forêt ont commencé à être de plus en plus importants. Ces prélèvements excessifs combinés à des changements de l'occupation du sol (Clout, 2010) ont finalement conduit à l'appauvrissement progressif en essences de la forêt. Et ont mené à une quasi-disparition de la forêt dans de nombreux endroits en Belgique. (Clicheroux, 1985).

L'homme n'a pas seulement prélevé les ressources nécessaires à son expansion, il a aussi modifié et restructuré la forêt, en fonction de ses besoins. Ainsi sont apparus le régime des taillis et taillis sous futaie (Boudru, 1986) pour la fabrication du charbon de bois ou plus récemment les futaies équiennes actuelles pour la fabrication de charpente et d'ameublement. En Belgique, au 18<sup>ème</sup> siècle, pour satisfaire la demande de bois de mines, de nombreuses zones dites incultes ont été plantées en espèces exotiques telles que l'épicéa et le pin sylvestre (Corvol, 2004). Ainsi de nombreux écosystèmes riches en biodiversité tels que les zones humides et les tourbières ont été enrésinés (Corvol, 2004). L'Ardenne en est un exemple frappant. Ce reboisement massif en Belgique, bien qu'il ait contribué à augmenter la surface boisée, a été uniquement réalisé avec une vision de rentabilité, où la forêt fut réduite à un amoncellement de bois sur pied.

Ces différents éléments couplés aux progrès de la mécanisation ont conduit à une homogénéisation des forêts d'Europe occidentale et à la perturbation des interactions biologiques s'y déroulant.

## *Les menaces futures*

En Belgique, comme au niveau mondial, on constate une perte de plus en plus alarmante du nombre d'espèces, pour la grande majorité des écosystèmes qu'il soit terrestre ou marin. (Zalasiewicz et al., 2018). Les écosystèmes forestiers ne sont pas épargnés. Or, les processus naturels se déroulant dans une forêt, et qui permettent son bon fonctionnement, se basent sur l'interaction étroite entre ces nombreuses espèces végétales et animales.

L'homme en modifiant son environnement dans sa recherche de productivité a aussi fini par modifier son climat. Le changement climatique en est une conséquence et représente l'un des enjeux majeurs de notre époque. L'importance des impacts que ce changement aura sur nos modes de vies et sur les écosystèmes sur lesquels nous nous reposons est au centre de nombreuses études scientifiques (Laurent et al., 2007; Legay et al., 2009; Frisson et al., 2011). Au niveau des forêts, les changements climatiques globaux vont avoir un impact sur l'intensité des éléments climatiques défavorables (Venetier, 2012) ainsi que sur la capacité des essences indigènes, tel que le hêtre, à répondre à la modification de leurs environnements. (Landmann et al., 2008)

## *Le rôle du forestier*

Au vu de de ces informations, il devient nécessaire pour les forestiers et gestionnaires forestiers de repenser les forêts afin de garantir la pérennité de celles-ci, en s'assurant de les rendre le plus résilientes possible face à ces bouleversements futurs. Par la préservation et l'accueil des espèces

participant aux interactions essentielles à son fonctionnement et par la restauration des éléments naturels la composant. Tout en continuant de répondre aux différentes attentes de notre société : la production de bois, l'accueil du public ...

### *Le projet Saint-Michel-Freyr*

C'est dans ce contexte que s'est développé le projet Saint-Michel-Freyr.

Dans le cadre d'un accord conclu entre la fondation Pairi Daiza et la Région wallonne, la gestion de la forêt de St-Michel Freyr est confiée à la fondation Pairi Daiza pour une durée de 20 à 80 ans. Pour garantir une bonne gestion de ce bien, l'expertise de la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech a été sollicitée. Les objectifs de ce projet sont nombreux, mais un des enjeux majeurs est de réussir à renaturer la forêt et participer à la restauration des fonctions naturelles de celle-ci. Tout en élaborant un mode de gestion innovant, qui pourrait servir de projet pilote pouvant être appliqué à l'avenir à d'autres forêts.

Le nouveau plan d'aménagement n'étant pas encore conçu, de nombreuses questions se posent encore sur les actions principales à mettre en place pour la nouvelle gestion sylvicole ainsi que sur la résolution de nombreuses problématiques concernant la forêt de Saint-Michel Freyr.

### *Objectifs :*

L'objectif du présent travail est d'apporter des outils et des pistes de solutions au gestionnaire afin de pouvoir mettre en place le plan d'aménagement pour les prochaines années. Cet objectif principal est divisé en 2 sous-objectifs qui sont :

- A) La description des caractéristiques stationnelles, dendrométriques et d'accueil de la biodiversité, des différentes zones de la forêt de Saint-Michel-Freyr.
- B) L'établissement de propositions de gestion de la forêt future, pour chacune de ces zones, sur base de l'analyse des caractéristiques et des problématiques qui y sont propres. La zone résineuse sera plus approfondie avec une modélisation de l'évolution des volumes exploitables des vingt prochaines années.

Pour arriver à répondre aux objectifs de ce travail, nous allons commencer par aborder le contexte général de l'étude. Nous décrirons, ensuite, les différents paramètres écologiques de cette forêt ainsi que ses problématiques. Ensuite, nous aborderons les différentes méthodes et outils qui ont été mis en place. Enfin nous finirons par la discussion des résultats et l'explication des pistes de solutions.

Le présent travail ne pose aucun jugement sur la gestion actuelle de la forêt, mais a comme ambition de servir d'outil pour les gestionnaires.

## 1.1. Contexte général

### 1.1.1. Localisation de la zone d'étude

#### 1.1.1.1. Localisation administrative

La forêt de Saint-Michel-Freyr se trouve en Wallonie et plus précisément dans la province du Luxembourg. Cette forêt s'étend sur les communes de Tenneville, Nassogne, et St-Hubert. Elle fait partie du massif de St-Hubert, un grand massif boisé ardennais de plus de 100 000 ha. La présente étude porte sur une surface d'un peu moins de 1.700 ha.

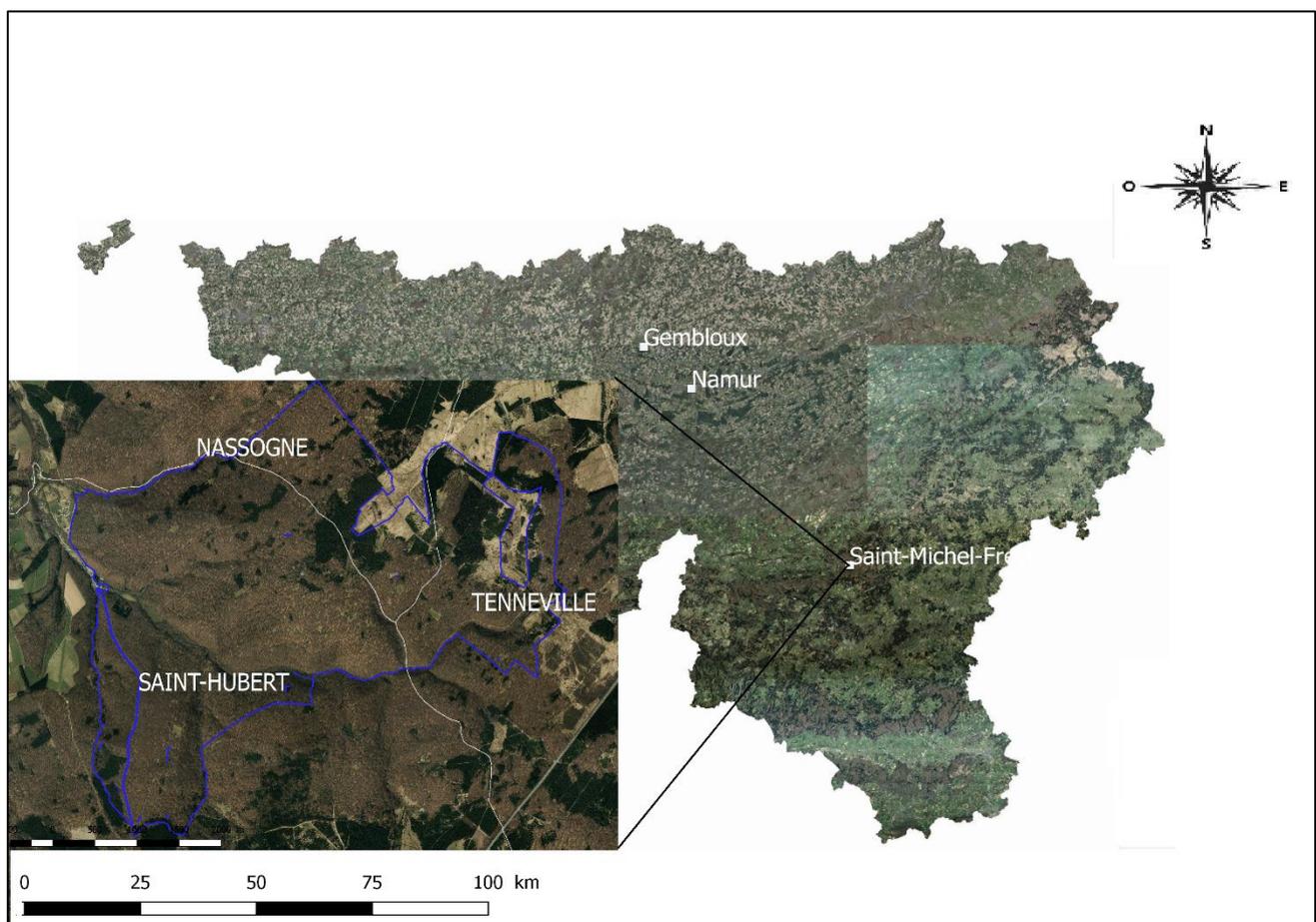


Figure 1: Localisation géographique et administrative de la forêt de Saint-Michel-Freyr. Auteur : Valentin Claes août 2019. Donnée MNT (ULG-Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique)

### 1.1.1.2. Localisation par rapport aux régions naturelles

Cette forêt se situe dans la région naturelle de l'Ardenne, dans le domaine médio-européen. Elle est divisée en 3 régions bioclimatiques distinctes : la haute Ardenne, l'Ardenne centro-orientale, et la basse et moyenne Ardenne qui sont chacune définie par des propriétés climatiques particulières.

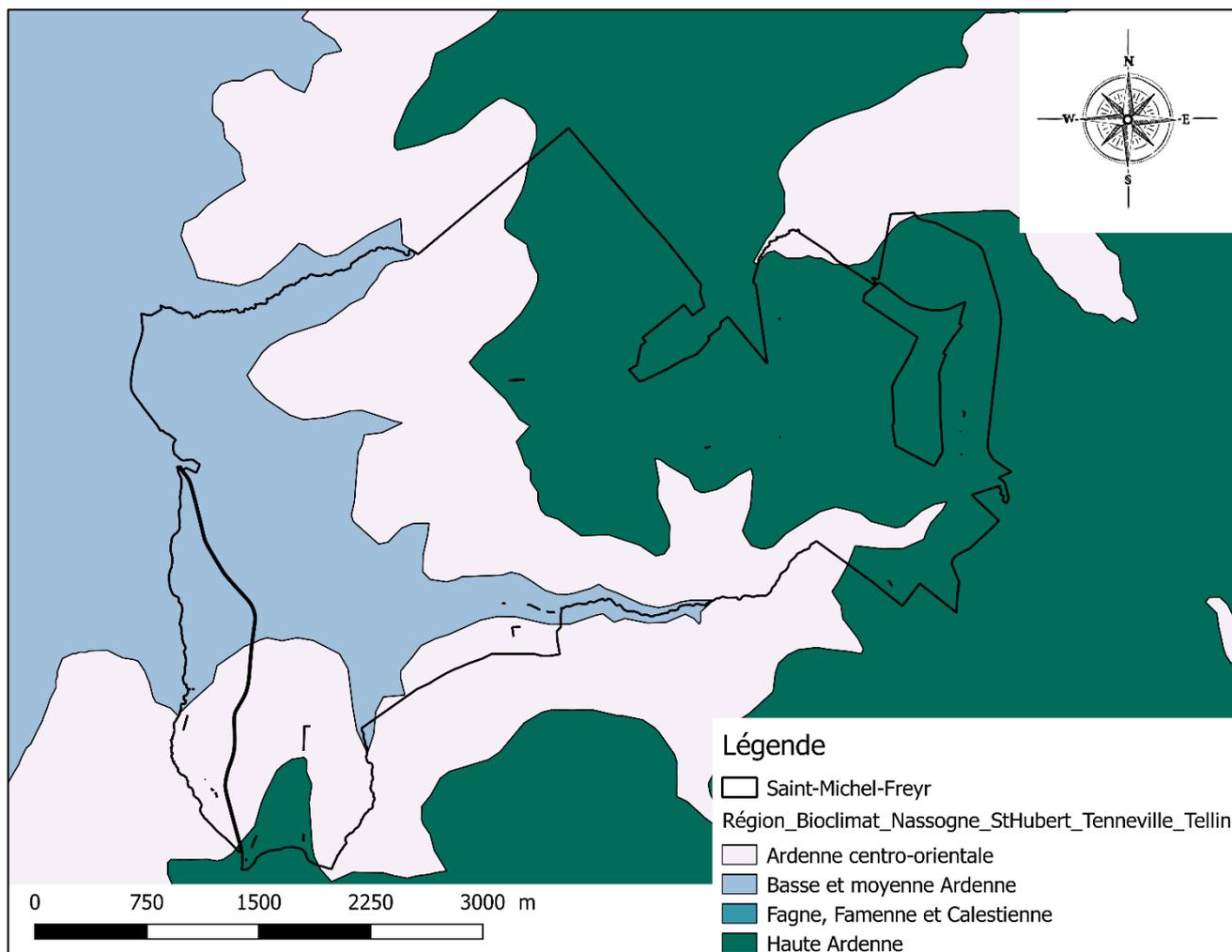


Figure 2: Localisation de la forêt de Saint-Michel--Freyr par rapport aux différentes régions bioclimatiques. Auteur : Valentin Claes août 2019. Donnée ULG-Gembloux Agro-Bio Tech (serveur cartographique)

Région	Longueur de la saison de végétation (jours)	Pmm annuelles (mm)	T° moy. annuelle (°C)	T° max. absolue (°C)	T° min. absolue (°C)	T° moy. durant la saison de végétation (°C)	Pmm d'avril à septembre inclus (mm)	Bilan hydrique estival (mm)
	Valeur moyenne (et écart type)							
Haute Ardenne	151 (2)	1219 (79)	7.7 (0.2)	34.9 (0.3)	-20.6 (0.5)	13.5 (0.2)	537 (35)	78.6 (34.6)
Ardenne centro-orientale	156 (2)	1136 (70)	8.1 (0.2)	35.3 (0.3)	-19.8 (0.5)	13.9 (0.2)	502 (27)	37.3 (25.4)
Basse et moyenne Ardenne	163 (4)	1170 (118)	8.7 (0.3)	35.8 (0.4)	-18.9 (0.5)	14.2 (0.2)	509 (26)	37.3 (29.4)

Figure 3: Données climatiques des différentes régions-bioclimatiques. (Cordier.,2018)

### 1.1.2. Historique

La carte de Ferraris nous renseigne sur l'ancienneté de la zone d'étude. En effet, en 1770-1778 celle-ci était déjà recensée comme forêt. Elle servait à de nombreuses activités comme la chasse, la sylviculture ou encore la fabrication de charbon de bois comme en attestent les aires de faulde présentes.



Figure 4: Localisation de la forêt de SMF, par rapport à la carte de Ferraris de 1770-1778. Auteur : Valentin Claes août 2019. Sources SPW & serveur cartographique (Gembloux Agro-Bio Tech)

### 1.1.3. Contexte administratif

La forêt de Saint-Michel-Freyr en tant que forêt domaniale appartient à la Région wallonne. Cette forêt était jusqu'à maintenant entièrement gérée par le département de la nature et des forêts et plus précisément par le cantonnement de Nassogne. Cette forêt est subdivisée en 3 triages, dont 2 en occupent la majorité de la surface. Les 3 gardes forestiers chargés de ces triages sont M. André Detraux, M. Philippe Moes, et M. Thierry Petit, sous la direction de l'ingénieur de cantonnement, M Stéphane Abras. Ils travaillent en concertation avec le Conseil de gestion des chasses de la couronne (CGCC) pour l'aspect cynégétique.

#### 1.1.4. Gestion passée

En tant que forêt domaniale l'entièreté de la gestion était assurée par le Département nature et forêt. Toutefois selon le souhait du Roi Baudouin cette forêt a aussi servi et sert encore de zone de recherche scientifique où de nombreuses études sont menées. Cette zone a aussi vu la mise en place de plusieurs projets tels que le LIFE tourbières et le LIFE Elia. Elle fait l'objet d'efforts pour la conservation de la nature, confortée par la mise en place de réserve naturelles et le passage de l'entièreté de la forêt sous Natura 2000.

#### 1.1.5. Gestion future

Le projet SMF souhaite renforcer les actions de conservation et de gestion durable des forêts déjà mises en place par le DNF. Ce projet se décrit, dans un premier temps, par un master-plan très large, décliné en trois plans opérationnels :

- 1) L'accueil du public,
- 2) La gestion des écosystèmes et de la biodiversité,
- 3) La qualification et valorisation des produits forestiers

Ce master-plan devrait être mis en place lors des deux premières années du projet et décliné ensuite dans des plans opérationnels au terme de la troisième année.

Les objectifs principaux suivis par l'installation de cette nouvelle gestion, sont de renaturer la forêt par la réhabilitation et la restauration des milieux ouverts et des milieux forestiers ; associer cette amélioration du contexte naturel de la forêt pour promouvoir un tourisme diffus et instaurer une sylviculture de la qualité pour valoriser le produit bois.

La gestion en elle-même sera assez novatrice avec la mise en place d'une gestion participative et intégrée de la forêt par le biais de la création d'une agora citoyenne regroupant de nombreuses associations ainsi que les acteurs locaux le souhaitant.

## 2. Vue d'ensemble de la forêt de Saint-Michel-Freyr

### 2.1. Conditions écologiques :

#### 2.1.1. Géologie & Lithologie :

La forêt de SMF se situe principalement sur des formations géologiques du Dévonien inférieur et plus particulièrement sur l'étage géologique Emsiens. La formation de Saint-Hubert est caractérisée par une abondance de grès intercalés dans des couches de schiste. Il s'agit de roches quartzo-schistophylladeuses datant de l'éodévono-cambrien.

#### 2.1.2. Pédologie :

La forêt Saint-Michel-Freyr se situe, selon la carte pédologique, sur un sol limoneux-caillouteux, pour environ 98 % de sa surface. Pour lequel il existe de nombreuses variantes en termes de drainage, de texture, de charge caillouteuse... Les 2% restants de la surface sont composés de sol tourbeux (1.8%) et de sol argileux limoneux à drainage pauvre. (0.3%).

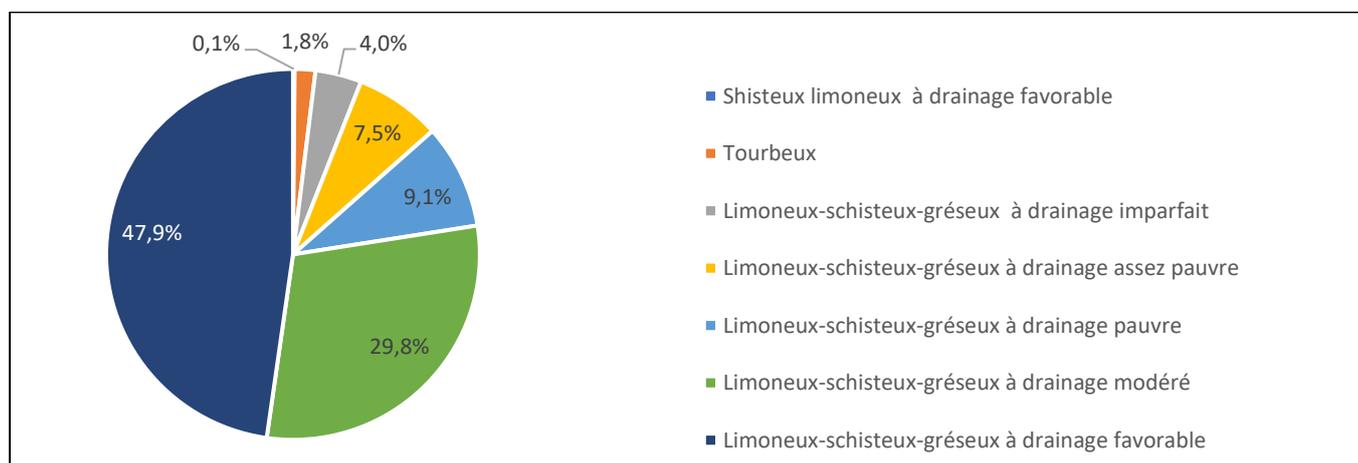


Figure 5: Répartitions surfaciques des différents types de sol présents sous la forêt de SMF.

### 2.1.3. Topographie & hydrographie :

L'altitude varie de 320 m dans les fonds de vallée pour culminer à 540 m sur les plateaux. Cette forêt se situe donc entre la basse et la haute Ardenne. Ces variations de relief mènent à des conditions écologiques variées dans l'ensemble de la forêt. Elles seront expliquées ultérieurement.

Deux cours d'eau majeurs parcourent les vallées formées par les reliefs de la forêt de SMF. Il s'agit de la Diglette qui longe la limite nord-ouest de la forêt, et de la Masblette qui forme la limite sud de Saint-Michel-Freyr. D'autres cours d'eau de moins grande envergure sillonnent Saint-Michel-Freyr : tels que le Rau de Palogne dans le sud, et le Rau du abani qui sont des affluents de la Masblette.

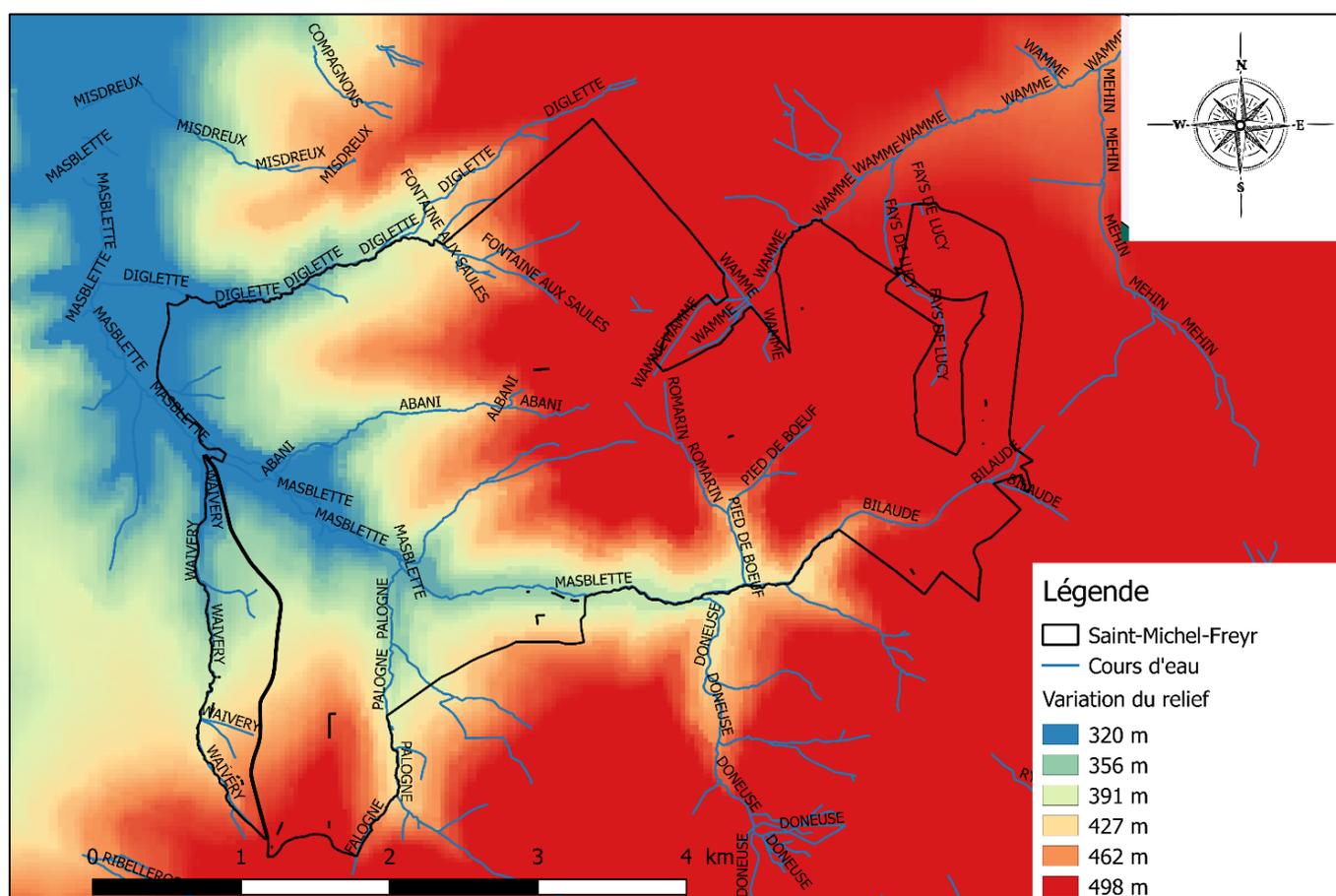


Figure 6: Carte hydrologique et topographique de la forêt de SMF. Auteur : Valentin Claes , août 2019. Sources : Mnt ( Serveur cartographique -Gembloux Agro-Bio Tech)

### 2.1.4. Principaux types de station :

Plusieurs types de station composent la forêt de Saint-Michel-Freyr. Les stations sont par définition des zones possédant des caractéristiques homogènes en termes de climat, de topographie, de pédologie. Ces conditions s'expriment dans la flore et la végétation sur le terrain (Brethes, 1989). Les principales stations de Saint-Michel-Freyr, qui seront développées plus en profondeur lors de cette étude, sont : les terrasses alluviales (fraîches et humides), les plateaux méso-oligotrophes, les stations xéro-oligotrophes, les stations hygrosclaphiles acidoclines et enfin les argiles blanches.

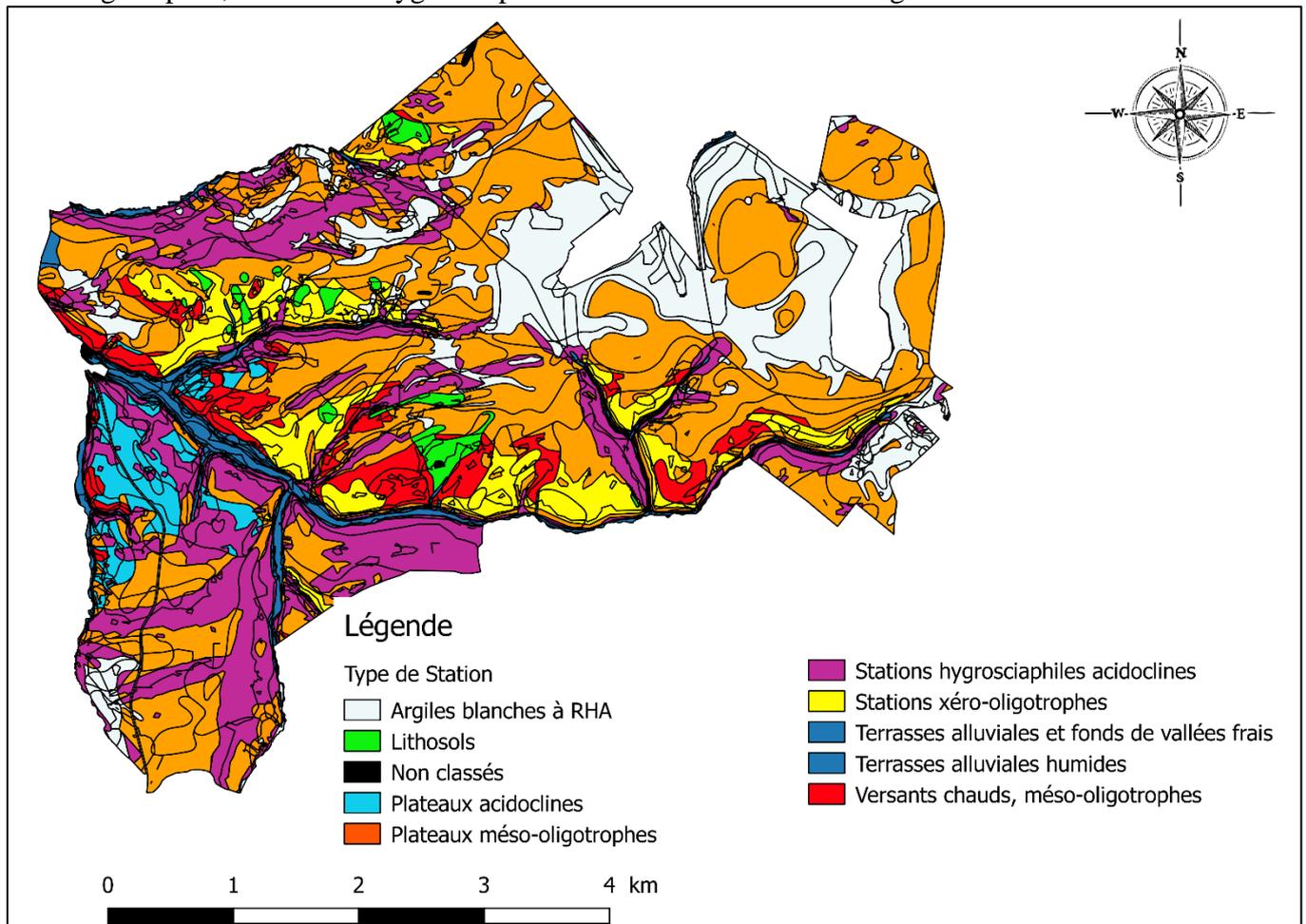


Figure 7: Carte des stations de la forêt de SMF. Auteur : Valentin Claes , août 2019. Sources : Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique

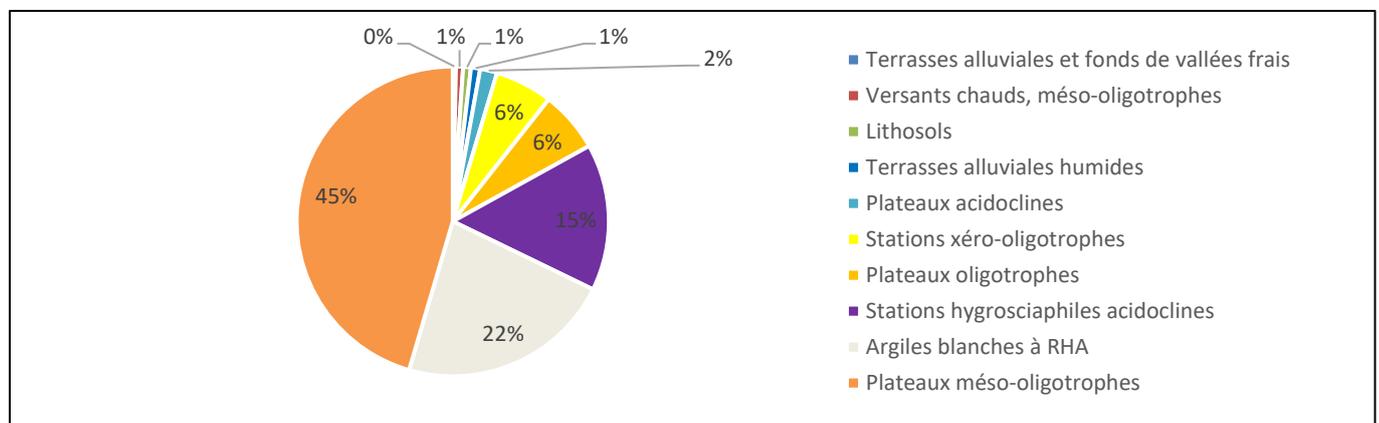


Figure 8: Répartitions surfaciques des différents types de stations présentes dans la forêt de SMF. Sources cartes des stations (Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique)

## 2.1.7. Descriptions générales des principales stations retrouvées sur SMF :

Tableau 1:Caractéristiques générales des stations : Terrasses alluviales humides et fraîches

Les Terrasses alluviales humides et fraîches	
Caractéristiques	Description
<b>Topographie</b>	Altitude < 400m. Zones encaissées dans les fonds de vallée.
<b>Apport en eau</b>	Constant : présence de cours d'eau et ruissèlement des pentes.
<b>Type de sol</b>	Sol composé d'alluvions et de colluvions, souvent limoneux sableux. Sigle principaux: Ghp,Gdp
<b>Ecogramme</b>	<p> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span> Terrasse alluviale fraîche  <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black;"></span> Terrasse alluviale fraîche et humide  <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black;"></span> Terrasse alluviale humide         </p>
<b>Phytosociologie (Noirfalise, 1984)</b>	<p><u>Terrasse alluviale humide :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stellario-Alnetum</li> </ul> <p><u>Terrasse alluviale fraîche :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stellario-Alnetum ,</li> <li>• Polygono-Quercetum,</li> <li>• Luzulo-Fagetum festucetosum</li> <li>• Melico-Fagetum Stellario-Carpinetum</li> </ul>
<b>Habitats (Waleunis)</b>	<p><u>Terrasse alluviale humide :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• G1.212 : aulnaie-frênaie riveraine des cours d'eau rapides</li> </ul> <p><u>Terrasse alluviale fraîche :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• G1.212 : aulnaie-frênaie riveraine des cours d'eau rapides             <ul style="list-style-type: none"> <li>• G1.63a : hêtraie neutrophile médioeuropéenne</li> <li>• G1.61 : hêtraie acidophile médioeuropéenne</li> </ul> </li> <li>• G1.A1ca Chênaie charmaie acidocline médio-européenne</li> </ul>
<b>Natura 2000</b>	91EO*, 9110, 9130, 9160

Plateaux méso-oligotrophes	
Caractéristiques	Description :
Topographie	Zone de plateaux et de pentes douces (pente <12°)
Apport en eau	Irrégulier : dépend des précipitations.
Type de sol	Sol brun, limoneux caillouteux. Sigle principal : Gbbr
Ecogramme	
Phytosociologie (Noirfalise, 1984)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luzulo-Fagetum typicum</li> </ul>
Habitats (Waleunis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>G1.61 : hêtraie acidophile médioeuropéenne</li> </ul>
Natura 2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>9110</li> </ul>

Tableau 2:Caractéristiques générales de la station : Plateaux méso-oligotrophes (Cordier,2018)

La stations hygrosiaphiles acidoclines	
Caractéristiques	Description
Topographie	Zone de pente moyenne à forte (12-20°). Versant froid : nord, est
Apport en eau	Irrégulier : dépend des précipitations, mais contexte humide et frais dû à l'exposition
Type de sol	Sol brun limoneux caillouteux bien drainé. Sigle principal : Gbbr
Ecogramme	
Association phytologique (Noirfalise,1984)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luzulo-Fagetum festucetosum</li> </ul>
Habitats (Waleunis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>G1.61 : hêtraie acidophile médioeuropéenne</li> </ul>
Natura 2000	9100

Tableau 3:Caractéristiques générales de la station : Hygrosiaphiles acidoclines (Cordier,2018)



## 2.2. Peuplements

### 2.2.1. Répartition générale

Au regard du parcellaire du Département de la nature et des forêts, la surface totale sur laquelle porte le projet est 1.700 ha. Cette surface est répartie entre les occupations forestières et non-forestières.

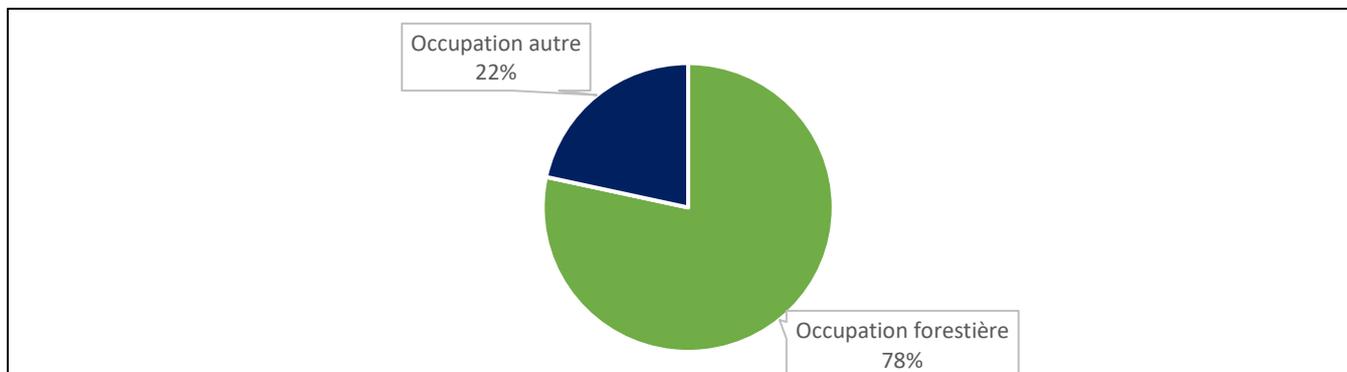


Figure 9 : Répartition des différentes occupations du sol sur Saint-Michel-Freyr. Données extraites du parcellaire du DNF

Les surfaces dites non-forestières sont composées de prairies, de tourbières, de mares et d'étangs et de routes pour 44 ha auxquelles se rajoutent 150 hectares protégés par le récent LIFE tourbières.

### 2.2.2. Types de peuplement :

La partie forestière, de la forêt de SMF est composée principalement de feuillu avec 1200 hectares de surface estimée, de peuplement résineux pour plus ou moins 200 hectares et de forêt mixte pour 30 hectares.

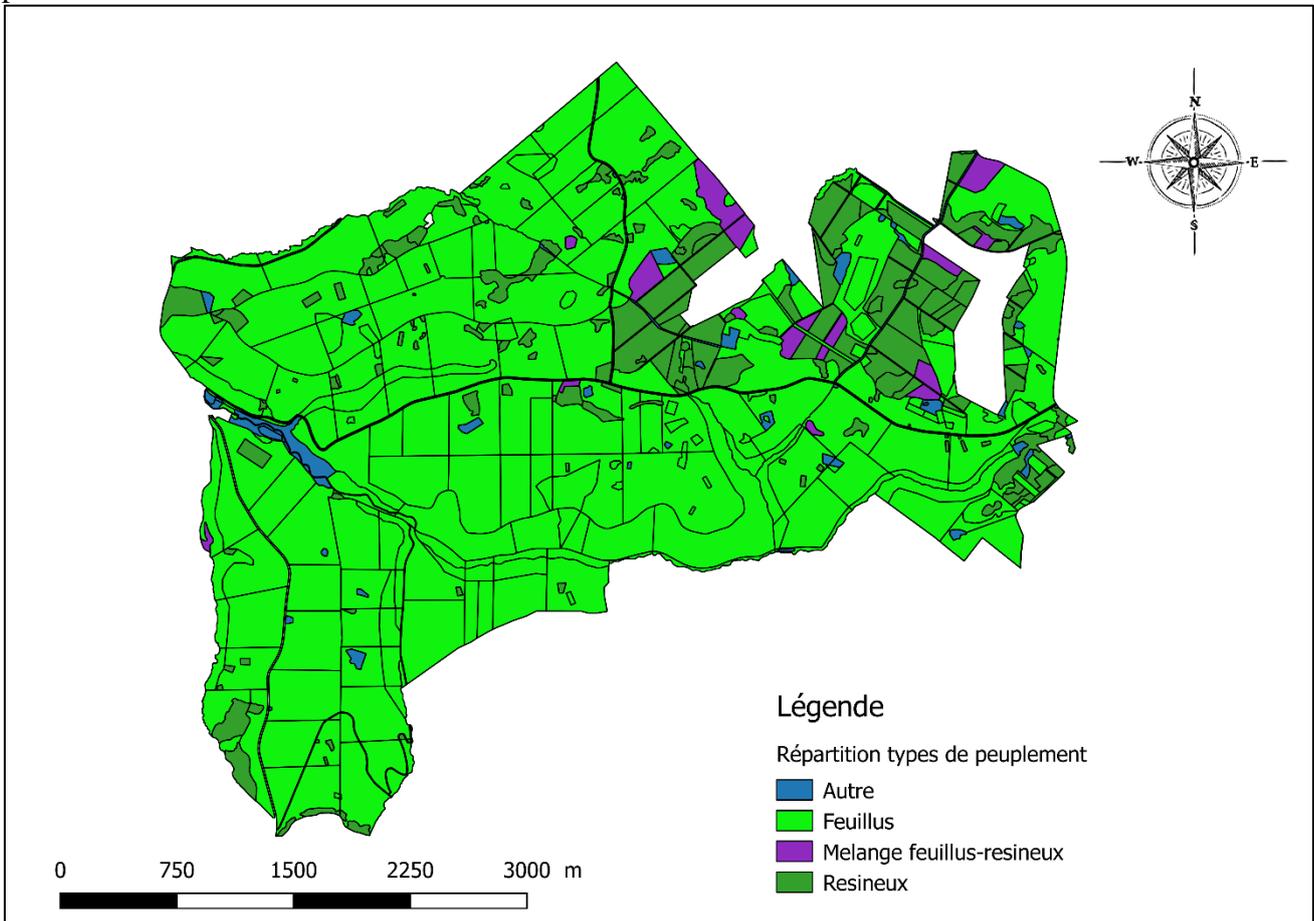


Figure 10: Cartographie des différents types de peuplement présents sur SMF : Auteur Valentin Claes, août 2019. Source : Parcellaire Département de la nature et des forêts.

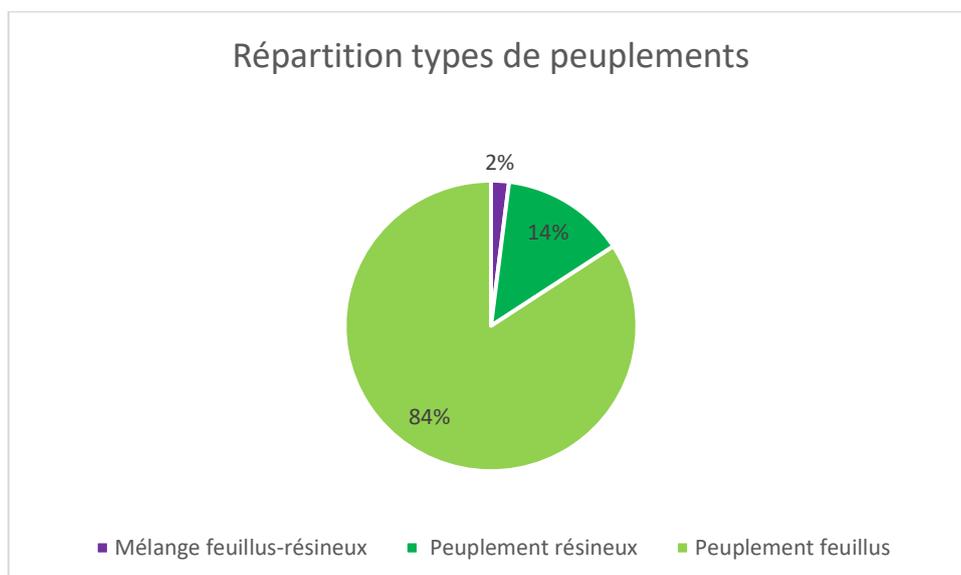


Figure 11: Répartition de la surface forestière par type de forêt. Donnée extraite du Parcellaire du Département de la nature et des forêts

## 2.2.3. Distribution du type de peuplement

### 2.2.3.1. Peuplements feuillus :

La plus grande majorité des peuplements feuillus sur SMF sont des hêtraies pures. Il existe toutefois des zones de peuplement mélangées hêtraie-chênaie pour +-170 ha et des peuplements mélangés composés de feuillus divers sur 115 ha. On observe aussi la présence de parcelles de chênaie pures, plus rares, pour une surface totale d'approximativement 8 ha. L'ensemble de ce peuplement est géré de manière irrégulière.

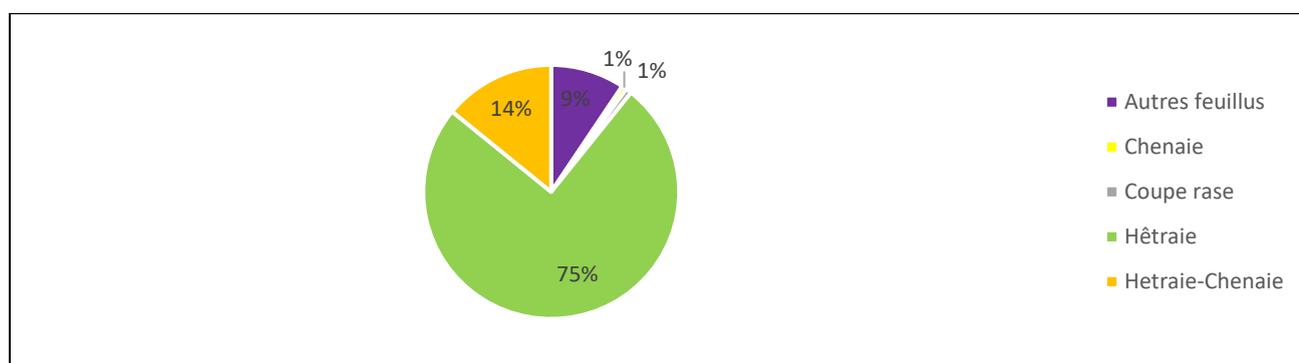


Figure 12 : Répartition de la surface forestière par type de peuplement feuillus. Données extraites du Parcellaire du DNF

### 2.2.3.2. Peuplements résineux :

Les pessières constituent la majorité des 200 ha de peuplement résineux, avec 160 ha plantés en épicéa. Les mélèzes, le douglas et les « autres résineux » ont des surfaces moins importantes avec respectivement 13, 7 et 3 hectares. La portion la plus anecdotique revient aux pineraies avec moins d'un ha planté. La quasi-totalité de ces peuplements sont des peuplements réguliers issus de plantation (90%). Une autre partie plus faible est gérée de manière irrégulière par une sylviculture dite pro-sylva (10%). Selon le parcellaire, les coupes à blanc représentent 23 hectares. Plusieurs d'entre-elles ont déjà été replantées en feuillus depuis la dernière mise à jour du parcellaire.

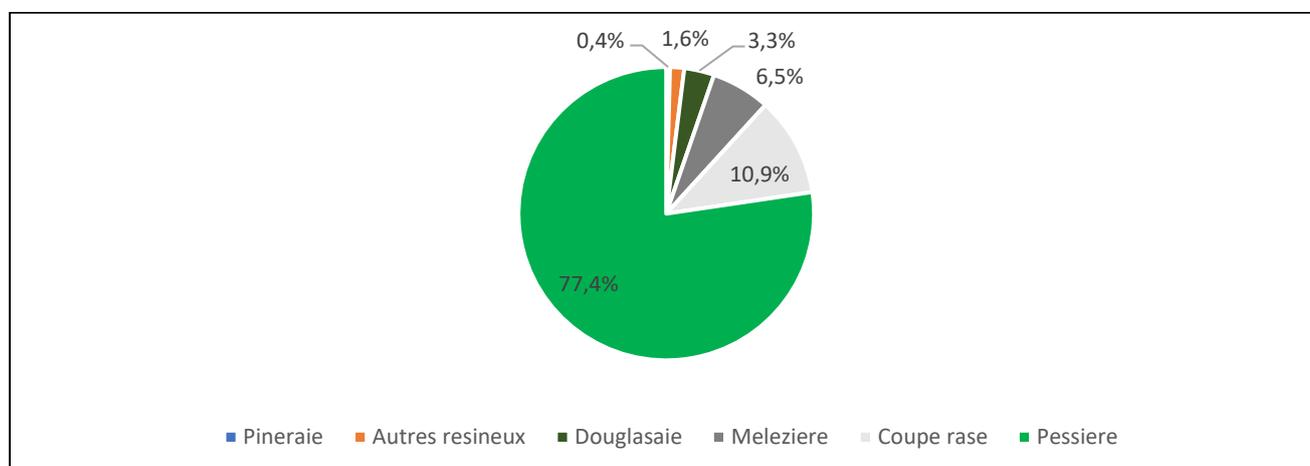


Figure 13: Répartition de la surface forestière par type de peuplement résineux. Données extraites du Parcellaire du DNF



## 2.3 Contexte légal

L'entièreté de la surface de la forêt de Saint-Michel-Freyr bénéficie du statut de protection Natura 2000. De plus 190 hectares ont été mis sous réserve biologique intégrale ces zones se situent dans les fonds de vallée et les fortes pentes ainsi que dans la zone du rouge poncé.

## 2.4 Entretien avec les gardes forestiers

Plusieurs inquiétudes et questions en suspens ressortent des discussions menées avec les agents du DNF s'occupant des triages de Saint-Michel-Freyr et avec l'un des gestionnaires du projet, M. Jadoul

### 2.2.4. La dynamique d'envahissement du fond de vallée par le hêtre

Les fonds de vallée forment l'un des lieux riches de Saint-Michel-Freyr que ce soit par leur diversité en essences ou par l'intérêt biologique de leur écosystème. Cet intérêt commence à diminuer avec l'envahissement progressif du hêtre, dans la zone, qui tend à prendre le pas sur les autres essences, tout en réduisant les chances de développement de celles-ci. Le maintien de la richesse de cette zone est souhaité ainsi que la valorisation des produits ligneux s'y développant.

### 2.2.5. La hêtraie déperissante des plateaux

Depuis quelques années les hêtraies de plateaux déperissent. Les arbres se cassent en hauteur pour former de nombreuses quilles. La surface terrière ainsi que la productivité de ces parcelles diminuent fortement au point de forcer les agents du DNF à arrêter de marteler dans certaines de celles-ci. Les causes de ce déperissement ne sont pas bien connues et interrogent les gestionnaires sur l'avenir de ces forêts.

### 2.2.6. L'absence de régénération du chêne

Bien que de nombreux chênes, et de qualité, soient présents sur SMF, les semis y sont rares et les tiges arrivant au stade gaulis-perchis rarissimes. Ceci est dû d'une part à la pression du gibier sur cette essence appétente et d'autre part à sa faible capacité de réaction vis-à-vis de la concurrence avec les autres essences. Les gestionnaires souhaitent néanmoins conserver cette essence et continuer sa sylviculture.

### 2.2.7. Les pessières scolytés et l'avenir des résineux

Comme dans de nombreuses forêts en Belgique, les peuplements d'épicéa sont touchés par le scolyte. Les dégâts provoqués fragilisent les peuplements, obligent la mise en place de coupes sanitaires et poussent de nombreux propriétaires à effectuer la mise à blanc dans des conditions où le prix de cette essence est au plus bas. En temps normal la vente d'épicéa constitue néanmoins un revenu important de SMF. Les gestionnaires se questionnent sur la durée de cette ressource et les volumes qu'ils peuvent encore espérer exploiter.

Afin de pouvoir tenter d'apporter des éléments de réponses à ces questions et donner des pistes de solutions, il a été nécessaire d'en connaître davantage sur cette forêt.

## 3. Matériel et méthode

### 3.1 Méthodologie générale

La première étape de ce travail consiste à fournir une description générale de la forêt. D'une part à partir des données existantes (parcellaires DNF, cartes...), d'autre part à partir d'un inventaire multifonctionnel constitué d'un inventaire forestier d'aménagement (IFA) et d'un inventaire de biodiversité potentiel (IBP).

La deuxième étape de ce travail consiste en la division de la forêt en quatre grandes zones. Ces zones sont le résultat de la subdivision de la forêt en quatre parties ayant chacune des caractéristiques homogènes et des problématiques spécifiques. Elles ont été tout d'abord délimitées a priori sur base cartographique pour ensuite être confirmées par l'inventaire et par discussion avec le DNF et les gestionnaires de Saint-Michel-Freyr. Il s'agit de la zone fonds de vallée, de la zone hêtraie déperissante, de la zone hêtraie saine, et enfin de la zone résineuse.

Afin de faire la différence entre la zone hêtraie déperissante et la hêtraie saine, une partie de ce travail a été consacrée à la création d'outils permettant d'identifier les parcelles potentiellement déperissantes.

Pour chaque grande zone, une description détaillée de leurs caractéristiques dendrométriques et sylvicoles a été effectuée, ainsi que de leurs capacités d'accueil pour la biodiversité et les structures biologiques y contribuant. Des propositions de gestion et des recommandations sylvicoles seront émises pour chacune des zones.

Suite à un questionnaire important de la part des gestionnaires et du projet SMF sur les bilans financiers des prochaines années, l'étude de la zone résineuse sera plus approfondie avec une modélisation qui tentera de prédire les volumes pouvant être récoltés sur ces parcelles durant les 20 prochaines années.

## 3.2. Inventaire forestier

Deux inventaires forment l'inventaire multifonctionnel qui a été mené sur Saint-Michel-Freyr. Il s'agit d'un inventaire forestier d'aménagement (IFA) et d'un inventaire de biodiversité potentiel (IBP)

### 3.2.1. Plan d'échantillonnage :

Cet inventaire multifonctionnel est un inventaire par échantillonnage. Ce choix est motivé par la taille du massif, les moyens à disposition et la présence d'un précédent inventaire de ce type sur la zone. En effet, en 2011 Gembloux Agro-Bio Tech avait déjà effectué un inventaire par échantillonnage, sur la zone, dans le cadre de l'étude de la dynamique des peuplements feuillus irréguliers. Cet inventaire se basait lui-même sur la maille installée par la sprl Daniel Bemelmans en 2006. Historiquement la plupart des inventaires étaient effectués en plein ce qui impliquait de mesurer tous les arbres de la propriété. Cela demandait une grande charge de travail et de nos jours un budget important. (Annexe 1). C'est pourquoi on préfère aujourd'hui les inventaires par échantillonnage dont l'efficacité est reconnue et qui permette de rendre réalisable des inventaires comme celui effectué pour cette étude.

#### 3.2.1.1. Caractéristique de la maille d'inventaire :

Il s'agit d'une maille systématique, avec une distance définie entre les différentes parcelles de 400m sur 400m. Ce qui correspond à une placette tous les 16 hectares. Afin de diminuer l'erreur sur les zones les moins échantillonnées, telles que les fonds de vallée une intersection avec une maille 200m sur 200m va nous permettre de rajouter 7 points qui serviront à la description des milieux de fond de vallée pour un total de 11 placettes.

##### 3.2.1.1.1. Taux de sondage :

#### *Inventaire forestier d'aménagement*

Les placettes ont une taille moyenne de 18m de rayon ce qui correspond à 1018 m<sup>2</sup>, soit un taux de sondage de 0.1018/16 soit 0,63%. La forêt de SMF a donc été échantillonnée pour une surface cumulée de l'ordre de 0,63 ha/100 ha pour le premier inventaire.

Taux de sondage moyen par type de zone :

Zones	Fond de vallée	Fond de vallée	Hêtraie déperissante	Hêtraie saine	Résineux
Grille d'échantillonnage(m)	200*200	400*400	400*400	400*400	400*400
Nombre d'UE	7	4	30	39	11
Rayon moyen	18	18	18	18	18
Surface sondée (ha)	0,7126	0,4072	3,054	3,9702	1,1198
Surface estimée (ha)	28	64	480	624	176
Taux de sondage	2,55%	0,63%	0,63%	0,63%	0,63%

### *Inventaire lié à la capacité d'accueil du milieu (IBP)*

Les placettes ont une taille moyenne de 33m de rayon ce qui correspond à 3421.2 m<sup>2</sup>. Soit un taux de sondage de 0. 3421/16 soit 2.14%. La forêt de SMF a donc été échantillonnée pour une surface cumulée de l'ordre de 2.14 ha/100ha lors du second inventaire.

Taux de sondage moyen par type de zone :

Zones	Fond de vallée	Fond de vallée	Hêtraie déperissante	Hêtraie saine	Résineux
Grille d'échantillonnage(m)	200*200	400*400	400*400	400*400	400*400
Nombre d'UE	7	4	30	39	11
Rayon moyen	33	33	33	33	33
Surface parcelles (ha)	0,3421	0,3421	0,3421	0,3421	0,3421
Surface sondée (ha)	2,3947	1,3684	10,263	13,3419	3,7631
Surface estimée (ha)	28	64	480	624	176
Taux de sondage	8,55%	2,14%	2,14%	2,14%	2,14%

### 3.2.2. Données dendrométriques

L'Inventaire forestier d'aménagement (IFA) est une méthode standardisée permettant la réalisation et le traitement d'inventaire forestier. (De Thier et al., 2014)

Pour rappel un inventaire forestier permet d'évaluer l'état de la ressource ainsi que la composition d'une forêt à un moment donné. Il permet d'orienter la gestion ainsi que les actions sylvicoles futures. L'inventaire forestier constitue une étape indispensable afin de connaître l'état initial de la forêt et d'établir un plan d'aménagement. (Lejeune et al., 2016).

#### 3.2.2.1. Méthode IFA

La grandeur du massif et les moyens qui nous sont alloués ainsi que la certaine robustesse de la méthode par échantillonnage nous poussent à choisir l'inventaire par échantillonnage. Il s'agit ici plus particulièrement d'un inventaire permanent.

Un inventaire permanent permet à terme d'obtenir des comparaisons entre les différentes années d'inventaire ce qui permet d'estimer des données tels que l'accroissement des essences

Les placettes sont donc matérialisées sur la zone et clairement identifiées à l'aide de peinture sur les arbres témoins afin de pouvoir les retrouver et effectuer les remesurages dans les prochaines années. Une attention particulière a été portée lors de l'installation de placette dans le fond de vallée. Les numéros des arbres témoins ont été apposés sur le pied de l'arbre et non à hauteur de poitrine comme il en est coutume. Ainsi les marques seront moins visibles et s'intégreront mieux dans le paysage. Les relevés se feront sur des placettes circulaires réparties systématiquement sur la totalité du massif. Les valeurs des relevés de ces placettes seront ensuite extrapolées à toute la zone.

Le fait d'extrapoler des résultats obtenus sur un échantillon de la forêt induit une erreur, appelée erreur d'échantillonnage. Cette erreur est inversement proportionnelle au nombre de placettes et aux soins apportés lors des mesures mais proportionnelle à l'hétérogénéité de la forêt, qui peut être traduit par le coefficient de variation.

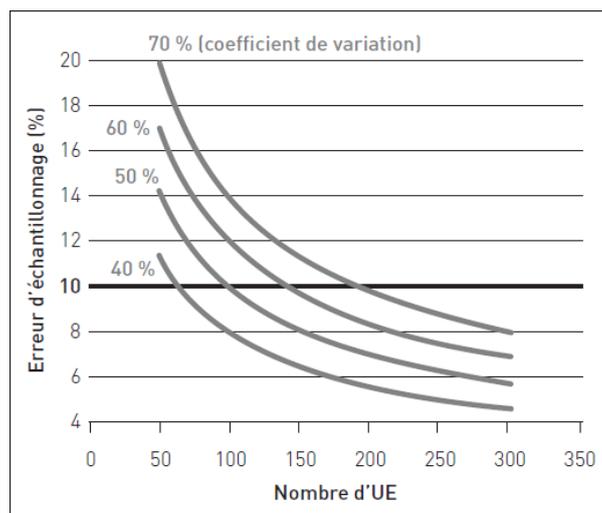


Figure 14: Relation entre l'erreur d'échantillonnage, le nombre d'unité d'échantillonnage et le coefficient de variation du paramètre estimé pour un niveau de confiance de 95 %. (Lejeune et al., 2016)

En théorie on considère une erreur d'échantillonnage comme acceptable si elle se situe autour de 10%. Dans le cas des forêts de feuillus irrégulières, le coefficient de variation est proche des 40% pour la surface terrière et le volume (Grayet JP., 1977). Cette valeur est plus basse pour les peuplements résineux équiens.

Selon la figure 3, avec une centaine de points pris dans une forêt irrégulière feuillus, on obtient théoriquement une valeur inférieure à 10% concernant l'erreur d'échantillonnage. Il est aussi bon de rappeler que l'erreur moyenne d'un inventaire en plein n'est pas nulle non plus. On l'estime à 5 à 10% sur le volume et la surface terrière. (Lejeune et al., 2016)

#### 3.2.3.1.1. Délimitation de la placette :

Le choix du rayon de la placette peut varier. En effet, plusieurs types de méthode existent. Dans cet inventaire, et par cohérence avec l'inventaire précédent, la règle suivante est appliquée : La placette doit contenir au minimum 15 bois avec une longueur de rayon variable selon la densité de bois sur place. Si le nombre de bois n'est pas atteint le rayon maximum est de 18m. Dans le cas d'un remesurage, la précédente valeur de rayon est conservée.

#### 3.2.2.2. Données récoltées :

Il s'agit d'un inventaire multi-ressources qui ne mesure pas uniquement les caractéristiques des arbres, mais aussi d'autre paramètre tel que la régénération.

Lors de la visite de chaque placette et après repositionnement du centre de la placette grâce aux arbres témoins, de nombreuses données sont relevées. Lorsqu'il s'agit d'une installation de placettes, des arbres témoins sont choisis et leurs distances ainsi que leurs azimuts au centre de la placette sont notés. Le choix des arbres témoins est effectué selon leur position mais aussi selon leurs avenir potentiels. On privilégiera des arbres que l'on estime pérennes.

Ces relevés se font par équipe de deux. Le seuil d'inventaire, la circonférence à partir de laquelle on prend en compte les arbres, est de 40 cm et la hauteur de mesure est à 1,50 m par correspondance avec les inventaires précédents et la façon de travailler du Département de la nature et des forêts. Pendant qu'un observateur note, un deuxième parcourt la placette. Les circonférences, le

type d'essences, l'azimut et la distance sont prises pour chaque arbre. Si un arbre n'était pas mesuré, car sa circonférence était  $< 40$  cm lors du dernier passage, il est rajouté à la liste comme faisant partie du passage à la futaie. D'autres informations comme les dégâts, les taux de dépérissement, la hauteur de recoupe (si circonférence  $> 100$ cm) sont enregistrées pour chaque arbre. Une fois mesuré l'arbre est griffé pour éviter les doublons.

Ensuite des informations relatives au peuplement sont mesurées.

- a) La régénération : Les différentes essences sont répertoriées. Pour chaque essence les différents stades ainsi que le recouvrement qu'occupe chaque stade sont estimés avec l'échelle de Braun Blanquet. Les différents stades sont les stades : semi ( $< 30$ cm de haut) , semi installé ( $30 < h < 150$  cm), fourré ( $1.50 \text{ m} < h < 3 \text{ m}$ ) , gaulis-perchis ( $h > 3 \text{ m}$ )
- b) La hauteur dominante du peuplement est mesurée à l'aide d'un vertex. Selon la taille de la placette un certain nombre d'arbres ayant les plus grosses circonférences sont pris en compte. Ensuite, les 3 premiers de la liste sont choisis. Si la parcelle est grande et dense, les chances de choisir des arbres plus petits augmentent.

#### 3.2.2.3. Données annexes :

Dans un souci que cet inventaire serve aussi à d'autres études, un GPS haute précision est transporté lors des visites des parcelles. Ce GPS permettra, en connexion avec les bases du réseau satellite wallon Walcors de localiser très précisément (précision centimétrique à millimétrique) le centre de la placette. Cette information couplée aux azimuts et aux distances prises pendant le relevé permettra de construire un jeu de données utile à la mise au point d'un inventaire par télédétection.

#### 3.2.2.4. Outils utilisés :

Les outils suivants ont été utilisés lors de cet inventaire : Vertex, boussole, GPS, griffe forestière, ruban circonférentiel, fiche de terrain, bombe de peinture.

#### 3.2.2.5. Avantages et Inconvénients :

Il existe des applications qui permettent, dans un premier temps, d'encoder les informations sur le terrain. Et dans un second temps de traiter celles-ci de manière standardisée et automatique. L'installation de placettes permanentes permet un suivi plus précis de la forêt et de mesurer des propriétés telles que les accroissements, le passage à la futaie et les prélèvements. L'inconvénient est principalement lié au fait que ce soit une méthode par échantillonnage et que des éléments sporadiques peuvent échapper à l'observateurs.

### 3.2.3. Indice de biodiversité potentiel :

La biodiversité ou encore diversité biologique est défini comme : « La variabilité entre les êtres vivants incluant les systèmes marins, terrestres, aquatiques, et comprenant la diversité au sein des espèces, entre espèces et entre communautés ». (Rio, 1992. United Nation Environmental program)  
Il existe un grand intérêt pour le forestier de connaître l'état de la biodiversité dans les peuplements dont il a la gestion.

L'IBP ou Indice de biodiversité potentiel est un outil qui par définition permet d'estimer la biodiversité taxonomique potentielle du peuplement, ou encore la capacité d'accueil d'un peuplement. ( Larrieu L., Gonin P., 2016)

L'IBP est un outil d'estimation composite indirect de la biodiversité. En ce sens, cet outil ne permet pas de mesurer précisément la biodiversité réellement présente dans un peuplement. Un outil de mesure direct demanderait des inventaires complexes longs et difficiles à mettre en place .Au contraire l'IBP est « basé sur le principe qu'il existe des structures biologiques et physiques qui ont un effet important sur la biodiversité et qui permettent donc de renseigner sur l'état de cette dernière de manière indirecte » (Larrieu et al., 2013).Ce sont ces structures biologiques et physiques que l'on inventorie lors de l'inventaire IBP.

Cet outil d'aide à la décision permet de diagnostiquer les éléments améliorables d'un peuplement et d'ainsi pouvoir orienter la gestion pour en améliorer la capacité d'accueil.

L'indice de biodiversité potentiel est un indice composite : «Un indicateur composite utilise plusieurs mesures faites dans des unités différentes » (Levrel 2007). En ce sens, il est composé de dix facteurs pour lesquels des relations avec des taxons forestiers sont avérées. (Larrieu et al., 2013)

Sept facteurs sont liés au peuplement en lui-même et à la gestion qui lui est appliqué ; Essences autochtones, Structure verticale de la végétation, Bois mort sur pied de grosse circonférence, Bois mort au sol de grosse circonférence, Très gros bois vivants, Arbres vivants porteurs de micro-habitats, Milieux ouverts. Trois autres facteurs sont liés au contexte de la zone : continuité temporelle de l'état boisé, milieux aquatiques et milieux rocheux.

Pour pouvoir appliquer l'inventaire IBP dans les bonnes conditions, il est nécessaire de connaître son domaine de validité: « L'IBP est utilisable dans les forêts des domaines atlantique et continental, de l'étage des plaines à l'étage subalpin, ainsi qu'en région méditerranéenne ». (Larrieu L., Gonin P. : 2016). De plus, L'IBP a été élaboré pour être utilisé à l'échelle du peuplement. Dans le cas de notre étude plusieurs peuplements composent la forêt de Saint-Michel Freyr. Il sera donc nécessaire de les décrire séparément.

#### 3.2.3.1. Méthode IBP

Plusieurs méthodes sont renseignées par Gonin et Larrieu (2013) pour mesurer les paramètres de l'IBP :

- Le parcours en plein : la totalité du peuplement est parcourue par une succession de virées régulières,
- Le parcours partiel : seule une fraction du peuplement est parcourue (par ex. une virée sur deux),
- L'échantillonnage : les relevés IBP sont réalisés sur des placettes réparties selon un plan d'échantillonnage statistique

Comme présenté en amont un inventaire dendrométrique se basant sur une maille systématique est déjà prévu sur la zone. C'est pourquoi la méthode par échantillonnage a été choisie. Ainsi les relevés IFA et IBP ont été couplés lors des visites de chaque placette. Cette méthode n'est pas la plus

simple à mettre en place, contrairement à la virée régulière mais elle convient mieux à notre cas d'étude. La distribution des placettes par peuplements se fera à posteriori.

### 3.2.3.2. Délimitation de la placette :

Les placettes utilisées sont des placettes circulaires dont le centre est matérialisé par le centre de la placette IFA. La surface standard des placettes de cette méthode est de 0.20 ha. Mais selon Gonin P., Larrieu L. : 2013 si le taux d'échantillonnage est inférieur à 10% alors il faut augmenter la surface de la placette à 0.33 ha. Dans notre cas, le taux d'échantillonnage est de 1.2% si l'on considère les 100 placettes de 0.20 ha pour cette forêt de 1.700 ha. Des surfaces de 0.33 ha ont donc été utilisées, ce qui correspond à des cercles de +/- 33 m. Ces surfaces sont parcourues en « étoiles » afin de réduire le temps de parcours et d'être capable de voir les arbres de plusieurs angles différents pour et ainsi augmenter nos chances de voir tous les micro-habitats sur chaque arbre. Cela évite aussi le risque de double comptage.

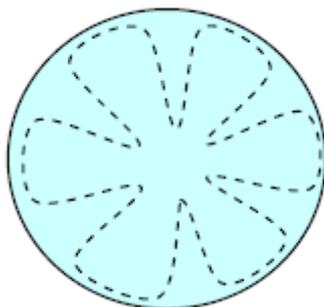


Figure 15: Parcours en étoile pour l'inventaire IBP. Source : Gonin P., Larrieu L. : 2013

Afin de garantir un effort d'échantillonnage constante entre les placettes, une limite de temps a été imposée par placette. Après intégration des concepts et plusieurs essais, une période de 30 min est choisie pour inventorier une placette.

### 3.2.3.3. Types de donnée récoltée :

Lors du parcours, les différents éléments permettant par la suite de calculer l'IPB sont comptabilisés (Annexe 2). Le score IBP de chaque zone sera ensuite calculé en regroupant les valeurs des placettes appartenant à la même zone. Les calculs se feront selon les règles renseignées par Gonin et al., 2013.

### 3.2.3.4. Données annexes :

Lors du parcours des placettes IBP se trouvant dans une hêtraie, une attention toute particulière a été donnée à l'observation de l'état du peuplement afin d'identifier les placettes se trouvant dans une hêtraie dépérissante. Bien que subjective cette information restera utile pour établir un jeu de données permettant de trouver les zones de hêtraies dépérissantes

### 3.2.3.5. Outils utilisés et rendements :

Les principaux outils utilisés pour cette étape de l'inventaire sont :

- Un vertex qui permet de donner la distance entre les observateurs et le centre de la placette et de rester ainsi dans les 33m de rayon.
- Les fiches de relevés IFA
- Un mètre ruban pour vérifier les très gros bois vivant (>220 cm de circonférence).
- Des jumelles pour les micro-habitats en hauteur.

Le rendement pour ce type de placette peut être en moyenne de 8 placettes par jour en comptant les trajets relativement longs (400 m dans notre cas).

Le nombre minimum de placettes pour que les valeurs IBP soient pertinentes, en l'état actuel des connaissances : est de 13 placettes par zone avec des placettes de 0,20 ha, et de 8 placettes par zone avec des placettes de 0,33 ha (Gonin P., Larrieu L. : 2013)

#### 3.2.3.6. Avantages et inconvénients de l'IBP

L'avantage de cet indice est qu'il se base sur des critères non-saisonniers et dont la reconnaissance est accessible à tous : bois mort sur pied, micro-habitat, nombre d'essences...L'utilisation de placettes permanentes nous permettra de mesurer dans le temps l'évolution des valeurs IBP par zone et d'évaluer l'impact de la gestion future.

### 3.3. Identification des zones de hêtraie dépérissante

Comme expliqué dans l'introduction, l'une des grandes problématiques de SMF est le dépérissement d'importantes surfaces de hêtraie sur le plateau. Un outil important pour la gestion de ces forêts serait un moyen de localiser les peuplements dépérissants.

La caractéristique qui va être utilisée pour définir les parcelles potentiellement dépérissantes est la proportion de trouées. En effet, lorsque des arbres sont dépérissants, leur mort ou leur forte défoliation provoque de plus ou moins grands espaces dans le canopy, les trouées. Le but de la démarche est donc de calculer une valeur-seuil de trouée pour un ensemble de parcelles que l'on sait dépérissantes. Pour ensuite les appliquer à l'ensemble de la forêt et localiser des parcelles possédant une proportion de trouées égale ou supérieure à la valeur seuil.

#### 3.3.1.1. Création des parcelles témoins :

Plusieurs informations nous permettent de constituer un jeu de données témoins.

- a) Un entretien avec Philippe Moes a permis de localiser des zones considérées comme dépérissantes.
- b) Lors de l'inventaire IBP les parcelles de hêtraies jugées dépérissantes ont été référencées.

Le jeu de données témoins est constitué sur base du regroupement de ces deux informations. Il est donc constitué des parcelles identifiées lors de notre inventaire et des parcelles connues comme étant dépérissantes par le DNF.

Toutes ces parcelles sont des parcelles constituées en majorité de hêtre et sont caractérisées comme hêtraie ou hêtraie-chênaie par le parcellaire. Bien que l'objet de notre étude soit les hêtraies, les parcelles hêtraies-chênaies n'ont pas été retirées du jeu de données. D'une part car certaines parcelles de hêtraie-chênaie étaient renseignées par M. Moes comme dépérissantes. D'autre part, il serait dommage de ne pas considérer des parcelles constituées de hêtres dépérissants car il existe un pourcentage d'autres essence dans le peuplement.

#### 3.3.1.2. Calcul de la proportion de trouées :

La proportion de trouée de chaque parcelle est calculée à l'aide de deux outils ; le programme Rstudio et le modèle numérique de hauteur 2018 (MNH). Pour chaque parcelle, 5 classes de hauteur vont être créées (de 0 à 2 m, de 2 m à 5 m, de 5 m à 10 m, de 10 m à 15 m et de 15 m à 99 m). Les pixels du modèle numérique de hauteur 2018 vont ensuite être séparés entre les différentes parcelles. Pour rappel, les pixels extraits du modèle numérique de hauteur contiennent une valeur de hauteur(cm). La fréquence de ces pixels pour chaque classe de hauteur va être calculée pour toutes les parcelles. Pour chaque parcelle, on obtient donc la proportion de leur surface pour les différentes classes de hauteur.

La proportion de trouées va ensuite être calculée pour chaque parcelle comme étant la somme des fréquences des classes 0-2 m et de 2-5 m. Le choix d'additionner la fréquence de la classe 2-5 m vient du fait que le modèle numérique de hauteur est un MNH photogrammétrique. La courbe de hauteur entre deux arbres entourant une trouée est plus lissée qu'avec un MNH lidar (Lisein, 2016). Le MNH photogrammétrique renseigne donc des valeurs de hauteurs plus élevées que la réalité de terrain. On prend donc en compte les valeurs de 2-à 5 m en considérant qu'avec la précision de ce MNH ces hauteurs sont en réalité plus basses et constituent des trouées

### 3.3.1.3. Calcul de la valeur-seuil :

Ensuite, la valeur-seuil du jeu de données témoins va être mesurée. Il s'agit de la fréquence moyenne de trouée (0-5m) de l'ensemble des parcelles composant le jeu de parcelles témoins.

$$Valeur\ seuil = \frac{\sum_{i=1}^n Proportion\ de\ trouée}{n}$$

Avec n = nombre de parcelles témoins

### 3.3.1.4. Création de la carte déperissante

Cette valeur seuil va ensuite être appliquée à l'ensemble des parcelles hêtraie et hêtraie-chênaie de la forêt de SMF. Les parcelles possédant une proportion de trouées égale ou supérieure à la valeur seuil seront considérées comme potentiellement déperissantes et rajoutées au jeu témoin pour former, ensemble, la zone hêtraie déperissante.

### 3.4. Modélisation dendrométrique

Dans le cas de notre étude, et plus généralement dans le cas des forêts, il est important de pouvoir prédire certaines valeurs futures afin de pouvoir influencer la gestion actuelle, déterminer quels seront les grands axes de travail, et connaître les ressources sur lesquelles on pourra compter durant les prochaines années. Un moyen d'approcher cette réalité future est la modélisation. Dans ce travail, et par souci de temps, il ne sera pas possible de modéliser tous les types de peuplement de la forêt de Saint-Michel-Freyr.

Cette modélisation concernera uniquement les peuplements résineux équiens. Plusieurs éléments ont conforté notre choix. Il existe en Wallonie des outils de modélisation qui ont déjà été validés pour ce type de peuplement (Perin, Claessens, et al., 2016) (Perin, 2014). De plus, l'une des priorités des gestionnaires est de connaître la durée pendant laquelle cette ressource continuera d'être une source de revenus. Les peuplements équiens représentent la très grande majorité des peuplements résineux de SMF (90%)

Les objectifs de cette modélisation sont multiples : dans un premier temps, prédire les volumes qui vont être produits durant les 20 prochaines années sur les parcelles résineuses. Pour ensuite en dresser un bilan économique. Les essences concernées par cette modélisation sont par ordre d'importance : l'épicéa, le mélèze et le douglas.

Le modèle utilisé s'appelle GYMNOS. Il a été programmé dans la plateforme de simulation forestière Capsis4 (Le Crenn-Brulon, 2013). Ce modèle permet de simuler la croissance de peuplement résineux équien et monospécifique d'épicéa, de douglas ou de mélèze. De nombreux autres modèles existent pour simuler d'autres types de peuplements (irréguliers, mélangés), néanmoins ces derniers sont moins aboutis et/ou n'ont pas été calibrés pour les conditions wallonnes.

GYMNOS permet de simuler l'évolution d'un peuplement donné. Mais la forêt de Saint-Michel-Freyr possède au total 156 parcelles résineuses. Afin d'effectuer des simulations pour l'entièreté des peuplements résineux de Saint-Michel-Freyr, GYMNOS a été connecté à un autre modèle appelé SIMMEM ((Ligot et al., 2012)). « Le principe de Simmems est de s'appuyer sur des modèles Capsis existants en les encapsulant à l'intérieur d'un "meta-modèle" afin d'en utiliser autant d'instances qu'il est nécessaire pour simuler l'ensemble des parcelles d'un massif. » (Bronner, 2012) C'est l'utilisation de Simmems qui permet de rendre possible des simulations de si grande envergure.

#### 3.4.1.1. Méthode

##### 3.2.3.1.2. Récolte de données :

L'acquisition de certaines données est la première étape pour pouvoir lancer la modélisation. Les données essentielles sont : les coordonnées et l'essence principale des parcelles, l'âge et le type de sylviculture des peuplements, ainsi que leurs hauteurs dominantes. Il est aussi nécessaire de connaître les classes de productivité moyenne de chaque essence et la relation entre le nombre de tiges à l'hectare et l'âge des parcelles.

Pour pouvoir modéliser l'ensemble des peuplements résineux sur pied, une première étape à consister à remettre à jour le parcellaire. En effet, de nombreuses parcelles ont été mises à blanc depuis la dernière version du parcellaire. Dans un premier temps, une discussion avec le garde forestier Philippe Moes a permis de retrouver une grande partie des zones qui ont été récemment récoltées. Ensuite, une vérification avec le modèle numérique de hauteur de 2018 a permis de retrouver des

parcelles résineuses supplémentaires, qui indiquaient un peuplement âgé sur pied alors que la hauteur était proche de zéro mètre et de confirmer celles renseignées par M. Moes. En tout, 8 parcelles ont été retirées des peuplements sur pied. Cela a permis de ne pas surestimer les volumes encore à prélever.

Le parcellaire a pu ensuite livrer les informations suivantes : âges, type de sylviculture, essence principale et coordonnées des limites de chacune des parcelles.

La hauteur dominante des peuplements a ensuite été calculée grâce à Forestimator (Dedry et al., 2015) : plug-in QGIS qui permet sur base d'une couche lidar de relever les maxima locaux qui correspondent aux arbres et ainsi trouver leurs hauteurs dominantes. Cette hauteur dominante, associée à l'âge des parcelles, nous permet de connaître le site index<sup>1</sup> des parcelles. Rappelons qu'il s'agit ici d'une méthode indirecte pour estimer la productivité des parcelles.

Le site index de certaines parcelles n'a pas été calculé car il s'agit de jeunes pessières trop petites (hdom<14m) qui ne sont donc pas dans les tables de production sur lesquelles se base Forestimator. Un tri a donc été fait en gardant exclusivement les parcelles possédant un site index.

Sur base des sites index, une distribution des parcelles en classes de productivité a permis pour chaque essence de trouver la classe de productivité moyenne de ces peuplements. Il s'agit pour chaque essence de la classe ayant la proportion surfacique la plus élevée.

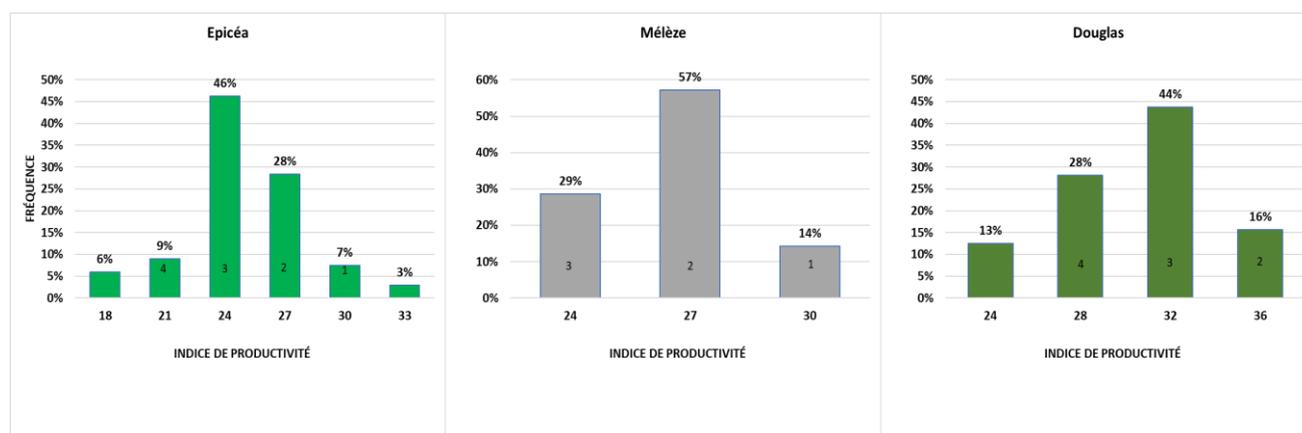


Figure 16: Répartition surfacique des différentes parcelles résineuses en fonction de leurs classes de productivité. (Pour l'épicéa, le mélèze et le douglas)

En connaissant la classe moyenne de productivité de chaque essence, la relation entre le nombre de tiges à l'hectare et les âges des peuplements a pu être trouvée via les nouvelles tables de production pour l'épicéa et le douglas.(Perin, Hébert, et al., 2016). La relation entre le nombre de tige à l'hectare et l'âge pour le mélèze est basé sur celle renseignée par Pauwels et al (2003).

<sup>1</sup> Site index ou indice de productivité : indique la productivité d'un site sur base de la hauteur dominante de son peuplement à un âge fixe. (Souvent 50ans)

Exemple de l'épicéa :

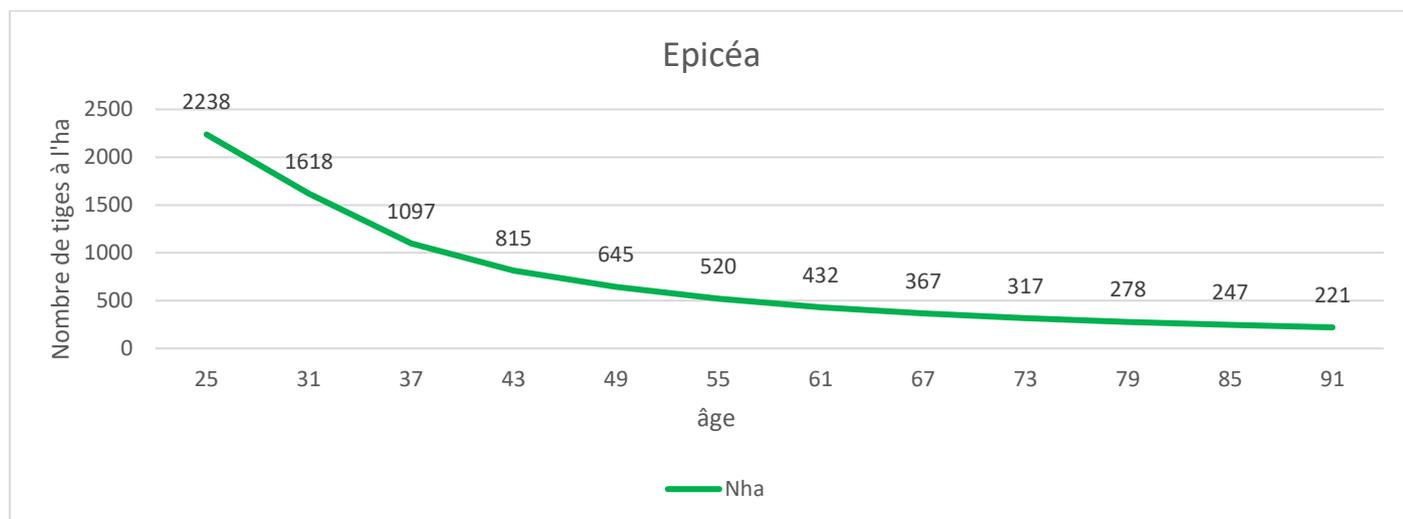


Figure 17: relation entre le nombre de tiges à l'ha et l'âge pour une parcelle d'épicéa : Norme EP3B1, Classe de productivité 3, Plantation 2\*2m.

Le choix du scénario de production s'est fait selon la classe de productivité et les distances de plantation renseignées par les gestionnaires.

#### 3.2.3.1.3. Modélisation :

Ces informations vont ensuite être entrées via le modèle SIMMEM dans Capsis4. Capsis4 va alors utiliser ces données pour créer des peuplements virtuels pour chaque parcelle en fonction de leur âge et de leur site index.

On va ensuite, via l'interface Capsis, faire évoluer chacun de ces peuplements virtuels et obtenir l'évolution du nombre de tiges à l'hectare de chaque parcelle pour une période de 20ans. Cette évolution du nombre de tiges à l'hectare est soumise à des règles d'éclaircie et de mises à blanc.

Dans cette étude, l'intensité et la fréquence des coupes d'éclaircie, régissant l'évolution du NHA, se basent sur les modèles définis par les tables de production. Et plus particulièrement, elles reposent sur la relation entre l'indice de densité relative et le diamètre dominant donné par chaque scénario et pour chacune des essences. Les mises à blanc sont quant à elles déterminées par un diamètre dominant de coupe rase propre à chaque essence et déterminé lors du choix des règles de l'évolution. Les relations entre l'indice de densité relative et le diamètre dominant ainsi que le diamètre dominant de coupe sont, pour le douglas et l'épicéa, tirées des nouvelles tables de production (Perin, Hébert, et al., 2016). Pour les mélèzes, une relation IDR-DDOM n'étant pas renseignée, ces peuplements seront soumis à celle de l'épicéa, mais avec un diamètre final de coupe à blanc adapté au mélèze.

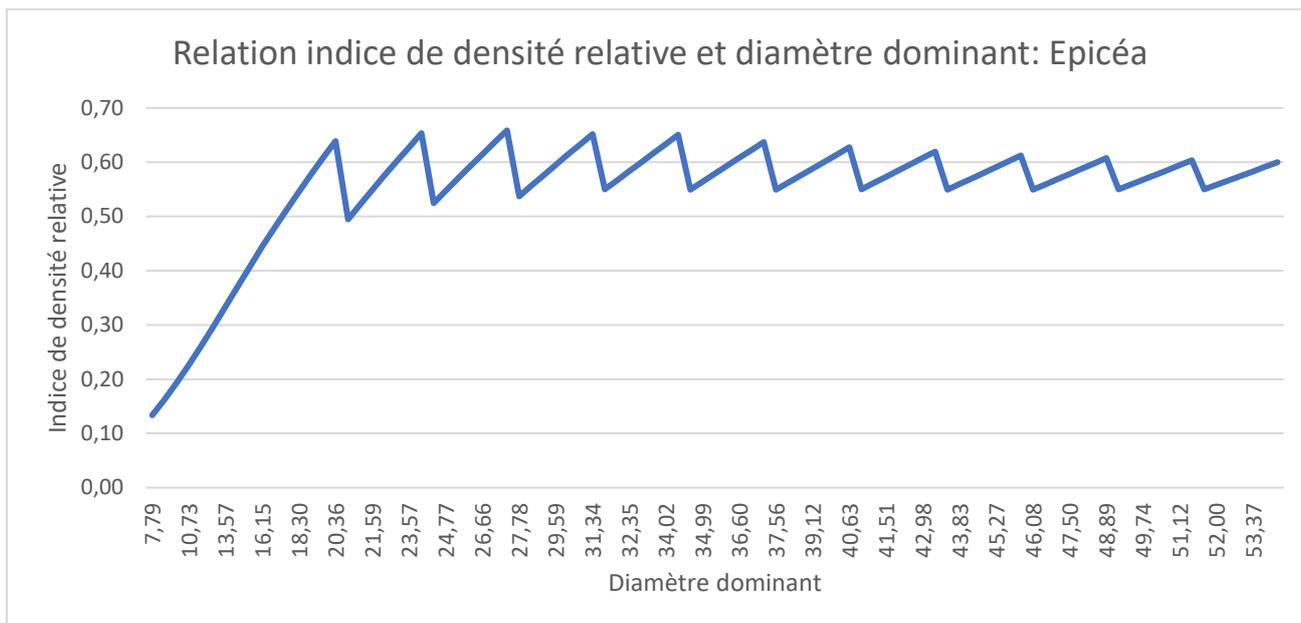


Figure 18: Relation entre l'indice de densité relative et diamètre dominant pour l'épicéa : Norme EP3B1, Classe de productivité 3, Plantation 2\*2m.

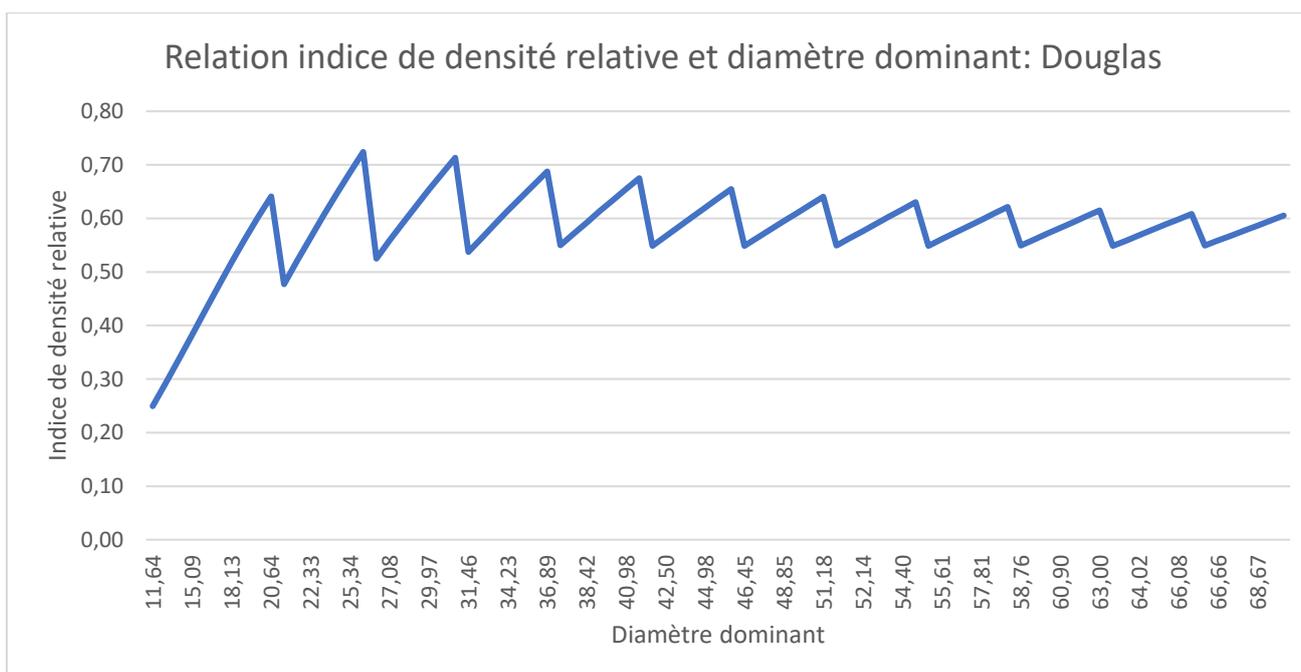


Figure 19: Relation entre l'indice de densité relative et diamètre dominant pour le douglas : Norme DO3B1, Classe de productivité 3, Plantation 2\*2m.

Essence	Epicéa	Mélèze	Douglas
Ddom d'exploitation(cm)	54	47	70

Figure 20: Valeurs de Ddom d'exploitation pour les différentes essences résineuses.

L'évolution du nombre de tiges à l'hectare modélisé pour chaque parcelle va ensuite être couplée aux surfaces réelles des parcelles. Grâce à ce nombre de tiges, le logiciel va pouvoir calculer les volumes produits par année, et nous renseigner sur l'évolution des volumes d'éclaircie et sur les volumes finaux de mises à blanc. Cette opération sera effectuée simultanément pour chaque parcelle de chaque essence. Ce qui nous permettra d'estimer l'évolution des volumes de bois exploités au fil du temps en fonction de l'âge et de l'état actuel des parcelles.

#### 3.2.3.1.4. Calcul des recettes de bois

En ce qui concerne le calcul des revenus théoriques futurs, les volumes exploités lors des éclaircies et des mises à blanc sont multipliés, selon leurs circonférences, par les prix moyens des bois 2018-2019 renseignés par l'Office économique wallon des bois pour des bois non-scolytés et de la région ardennaise.

Essences	Circonférence à 1m50 (cm)								
	20-39	40-59	60-69	70-89	90-11	120-149	150-179	180-199	200 & +
Epicéa	3 €	18 €	35 €	45 €	58 €	60 €	60 €	60 €	60 €
Douglas	3 €	12 €	30 €	45 €	60 €	65 €	70 €	65 €	65 €
Mélèze	2 €	10 €	23 €	33 €	40 €	55 €	60 €	60 €	60 €

Tableau 6: Valeurs des différentes essences résineuses par classe de circonférence (pour 1m<sup>3</sup>). Prix moyen de la fourchette renseignée par l'Office économique wallon des bois 2018-2019

## 4. Résultats

Les résultats qui vont être présentés dans cette partie proviennent des inventaires qui ont été effectués durant les mois de mars et avril 2019. Au total, cet inventaire multifonctionnel aura permis d'échantillonner 100 placettes que ce soit pour les relevés dendrométriques ou pour les relevés concernant l'Indice de biodiversité potentiel. Le rendement moyen journalier est de 4 placettes par jour pour une équipe de 2 personnes, constituée de l'étudiant et d'un technicien de Gembloux Agro-Bio Tech.

### 4.1. Description générale de la forêt de Saint-Michel-Freyr

#### 4.1.1. Description du peuplement :

##### 4.1.1.1. Principales données dendrométriques :

Surface(ha)	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume		Total(m <sup>3</sup> )
	Moyenne(m <sup>2</sup> /ha)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha)	Erreur associée (%)	
1478	20,5	8,1	230	20,9	233,3	8,4	344817

Tableau 7: Valeurs de la surface terrière, du nombre de tiges et du volume, et erreurs d'échantillonnage associés pour l'ensemble de la forêt de SMF.

##### 4.1.1.2. Composition en essences (GHA):

Les deux essences principales composant la forêt de SMF sont le hêtre (65.5%) et le chêne indigène (12.1%). Ces essences sont suivies de l'épicéa (9.1%) et de l'érable sycomore (4.2%). Les pourcentages donnés pour chaque essence représentent la proportion relative en surface terrière qu'occupe cette essence dans l'ensemble de la forêt.

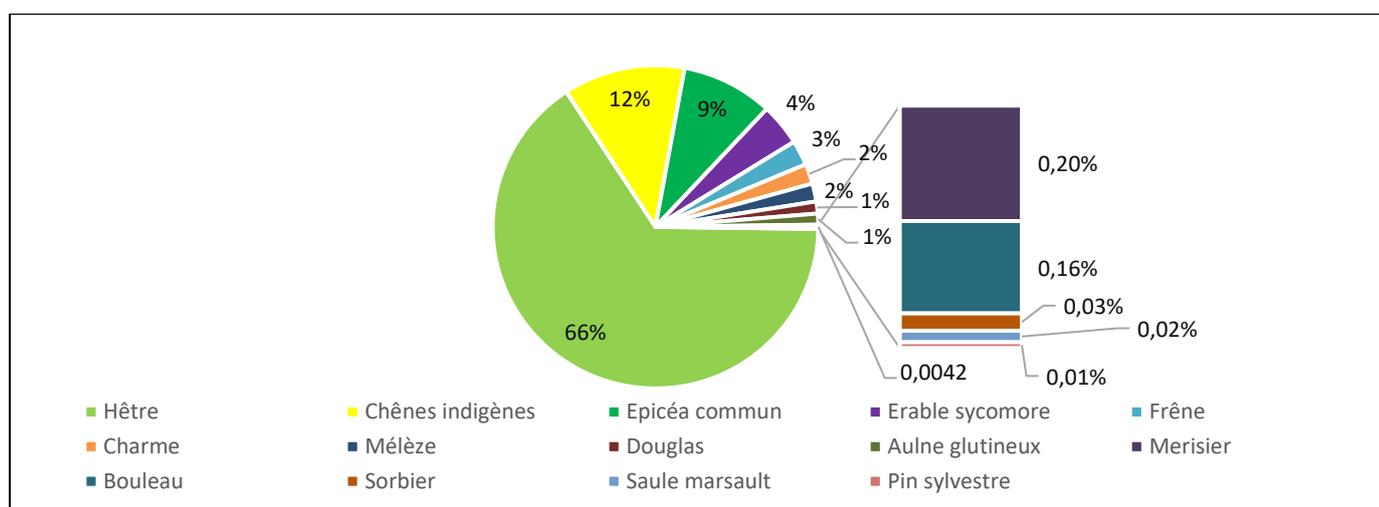


Figure 21: Représentation de la composition en essences pour l'ensemble de la forêt de SMF.

#### 4.1.1.3. Structure générale de la forêt :

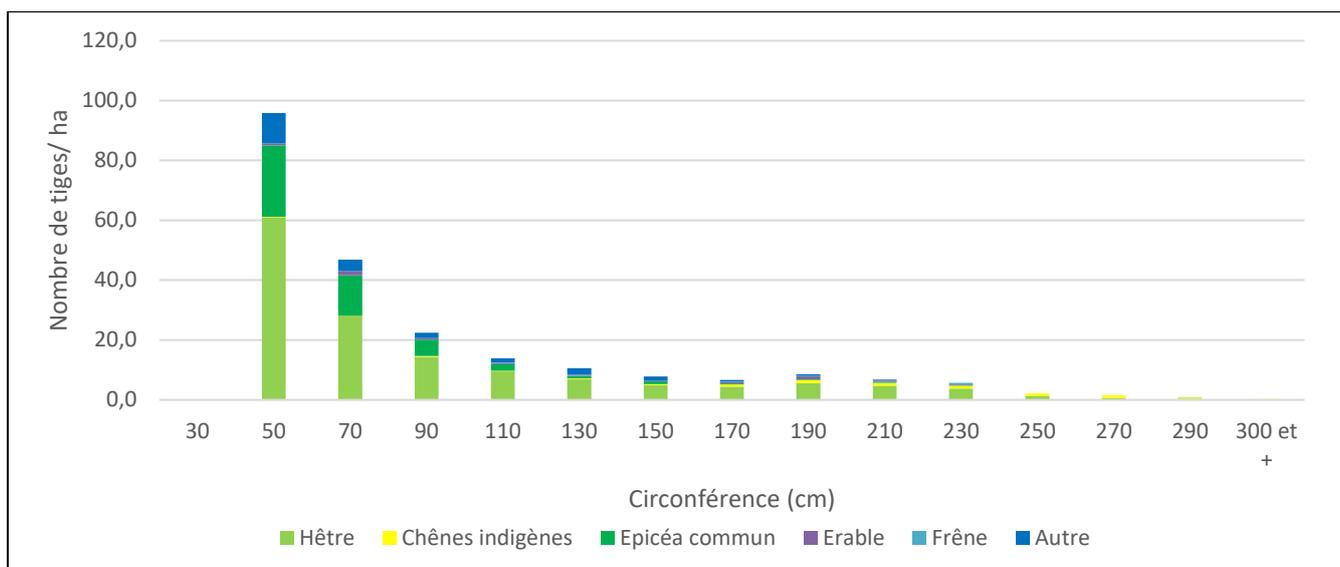


Figure 22: Distribution du nombre de tiges par hectare par classe de circonférence et par essence pour l'ensemble de la forêt de SMF. La dénomination « Autre » regroupe les essences minoritaires (voir composition).

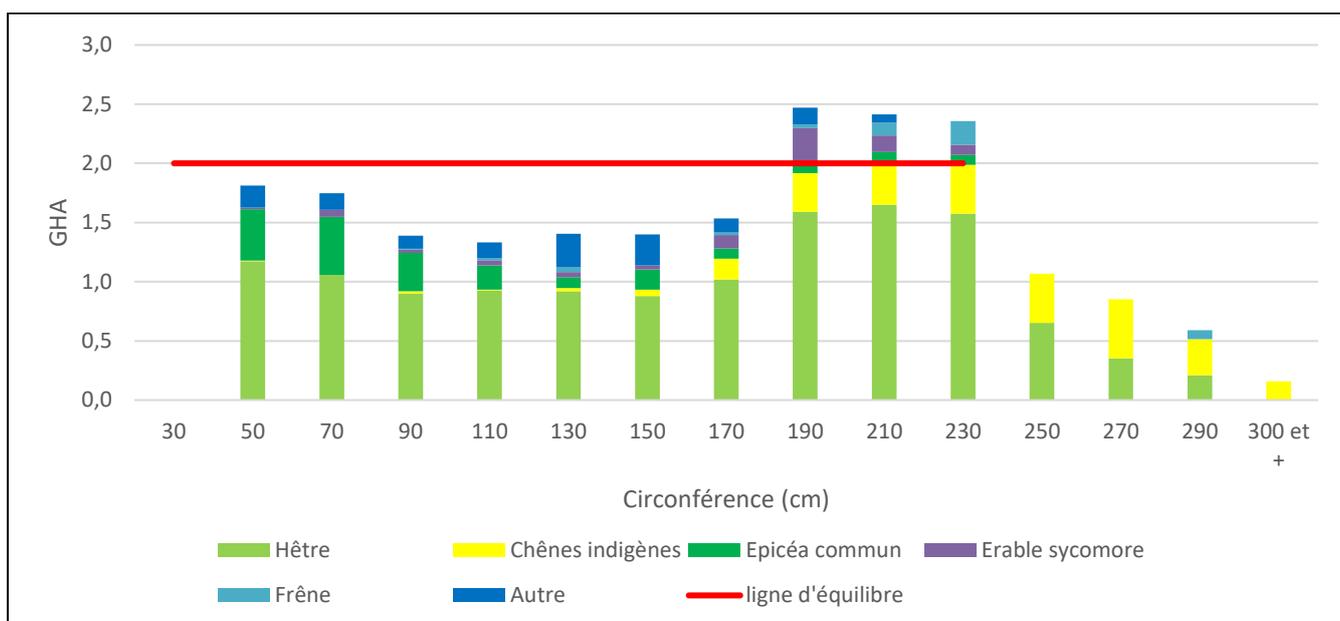


Figure 23: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour l'ensemble de la forêt de SMF.

La ligne d'équilibre est calculée sur base de la circonférence moyenne habituellement associée au terme d'exploitabilité du hêtre (220-230cm de circonférence) et à la surface terrière moyenne du peuplement (20m<sup>2</sup>/ha). Cette notion d'équilibre exprime une situation d'égale distribution des surfaces terrière par classe de circonférence. Même si peu réalistes, ces normes servent de guide pour le gestionnaire afin de garantir la pérennité du potentiel de production.

Ces résultats permettent de montrer plusieurs tendances : un déficit en bois moyen (90-150 cm), qui tend à régénérer avec l'arrivée d'un nombre de bois plus important, même si encore faible, dans les classes inférieures (50-70). Un stock de bois arrivant à maturité (190-230) formé de hêtre, d'érable et de chêne et un surstock de gros bois composé majoritairement de chêne.

Ceci permet de se rendre compte de l'importance du processus de remplacement des essences telles que l'érable, le frêne et le chêne par le hêtre.

#### 4.1.1.4. Régénération :

Le recouvrement moyen en termes de régénération pour l'ensemble de la forêt est de 45.5%. Les essences possédant la plus grand recouvrement en terme de régénération sont le hêtre (76.6%) et l'épicéa (+-12%). Les autres essences sont moins présentes. C'est dû à différents facteurs tels que la haute pression de gibier pour les espèces plus appétentes, le manque de lumière pour les essences héliophiles ou le nombre limité de leur semencier. Une observation importante et la quasi-absence de essences les plus appétentes dans les stades de régénération dépassant le stade semi. Et l'absence du chêne dans la régénération.

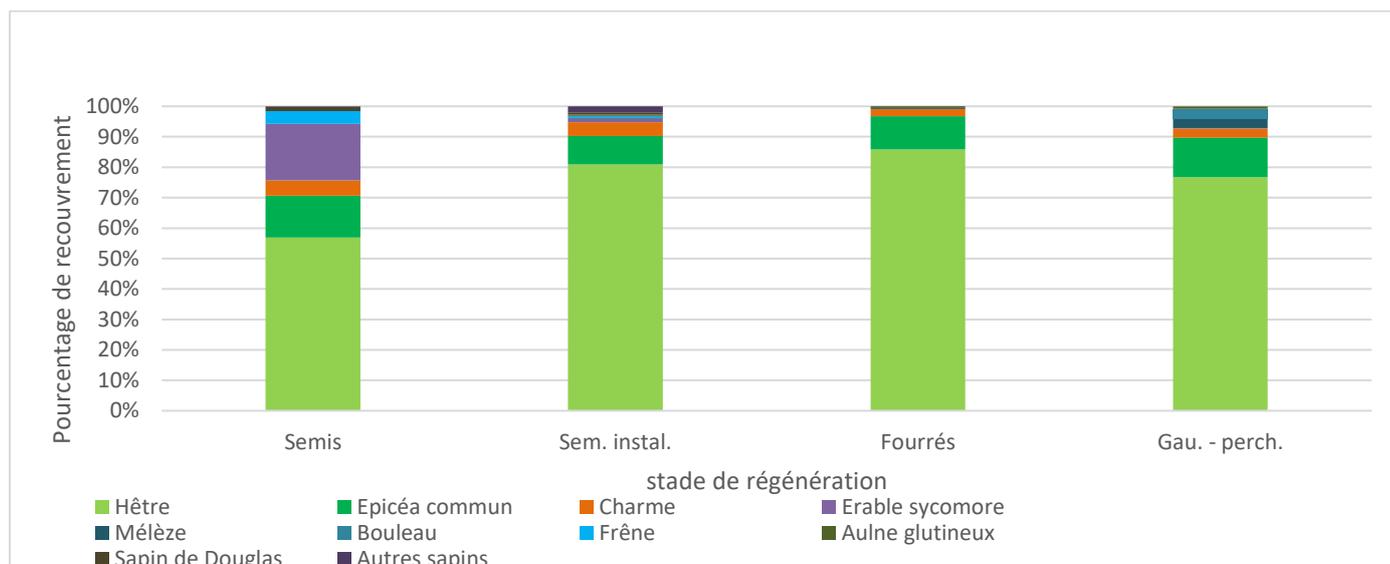


Figure 24: Pourcentage de recouvrement par essence et par stades de régénération pour l'ensemble de SMF

#### 4.1.1.5. Accroissements :

	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume	
	Moyenne (m2/ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (m3/ha.an)	Erreur associée (%)
<b>Accroissement périodique</b>	<b>0,4</b>	<b>56,3</b>			<b>4</b>	<b>74,3</b>
<b>Passage à la futaie</b>	<b>0</b>	<b>57,3</b>	<b>7,1</b>	<b>57,3</b>	<b>0,6</b>	<b>57,1</b>
<b>Prélèvement</b>	<b>0,3</b>	<b>28,1</b>	<b>2,2</b>	<b>29,7</b>	<b>4</b>	<b>28,9</b>
<b>Mortalité</b>	<b>0</b>	<b>95,8</b>	<b>0,2</b>	<b>67,4</b>	<b>0,4</b>	<b>96,7</b>

Tableau 8 : Résultats de l'accroissement et des paramètres associés, pour la surface terrière, le nombre de tiges, le volume ainsi que leurs erreurs associées, pour l'ensemble de SMF

	Accroissement circonférentiel (cm/an)	Erreur associée (%)
<b>Chêne</b>	1,3	32,9
<b>Hêtre</b>	1,4	6,3
<b>Erable</b>	1	20,3
<b>Frêne</b>	1	30,2
<b>Merisier</b>	0,6	159,1
<b>Aulne glutineux</b>	0,6	104,3
<b>Charme</b>	1	10,3

Tableau 9: Résultat accroissement individuel annuel par essence et erreurs associées pour l'ensemble de SMF

L'utilisation de placette d'inventaire permanente permet de calculer l'accroissement du peuplement ainsi que les accroissements individuels en circonférence pour chaque essence. On peut remarquer que l'accroissement individuel des essences est le plus fort pour le hêtre, suivi du chêne, de l'érable et du frêne. Il est important de prendre en compte l'erreur associée afin de relativiser certaines valeurs et modérer la comparaison entre les valeurs des différentes essences. Le nombre d'arbres échantillonnés par essence influence l'erreur qui y est associée. On peut toutefois faire particulièrement confiance à la valeur donnée pour le hêtre avec une coefficient inférieur à 10%.

#### 4.1.1.6. Résultat de l'inventaire Indice de biodiversité potentiel :

Zones/IBP	IBP peuplement- valeurs relatives	Capacité d'accueil	IBP Contexte- valeurs relatives	Capacité d'accueil	IBP total-valeurs relatives	Capacité d'accueil
Fonds de vallée	69%	assez forte	80%	forte	72%	assez forte
Résineux	34%	assez faible	27%	faible	32%	assez faible
Hêtraie dépérissante	66%	assez forte	33%	faible	56%	moyen
Hêtraie saine	57%	moyen	47%	Moyen	52%	moyen

Tableau 10: Résumé général des valeurs relatives des composantes de l'IBP pour les différentes zones d'études

Ces valeurs de l'IBP nous renseignent sur la capacité d'accueil de chaque zone étudiée. Chacun de ces résultats sera expliqué plus en détails dans la suite de ce travail. Ce tableau nous renseigne déjà sur le fait que la zone fonds de vallée possède une capacité d'accueil jugée assez forte et se classe devant la hêtraie dépérissante et la hêtraie saine. La zone résineuse arrive en dernière position avec un score total de 32% ce qui est interprété selon la typologie de Larrieu et Gonin comme un score assez faible.

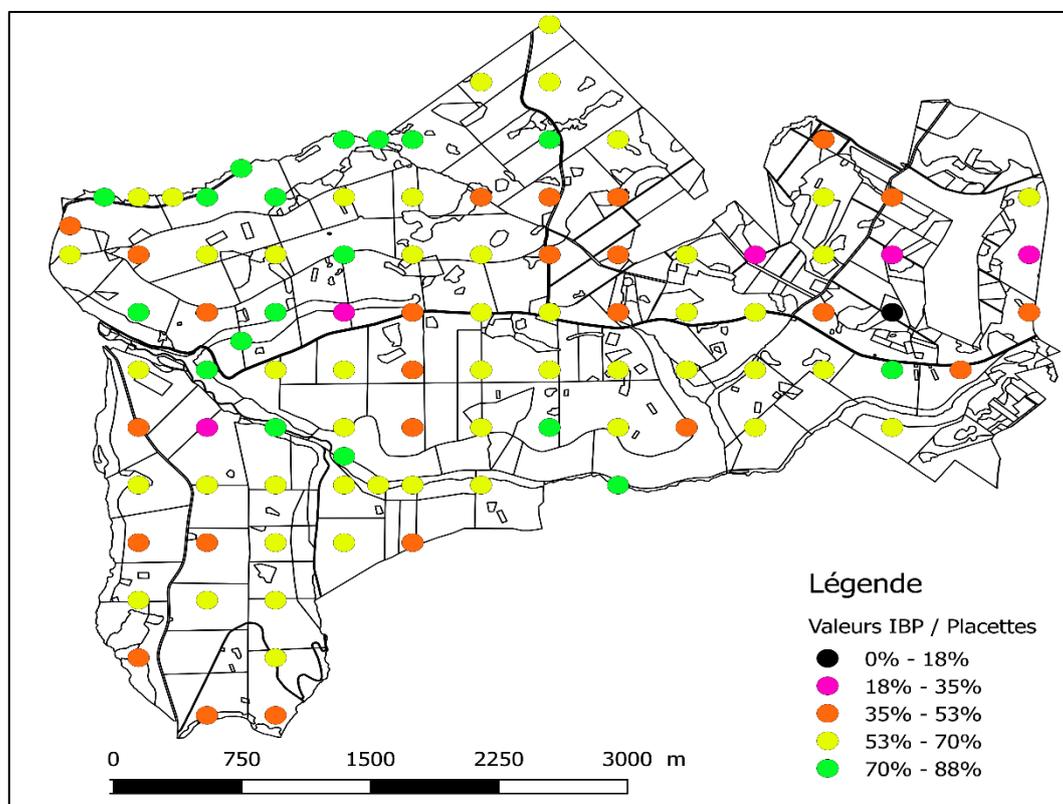


Figure 25: Cartographie des valeurs de l'IBP\_total par placette d'inventaire pour l'inventaire 2019

#### 4.1.2. Résultat de la localisation de la zone hêtraie déperissante :

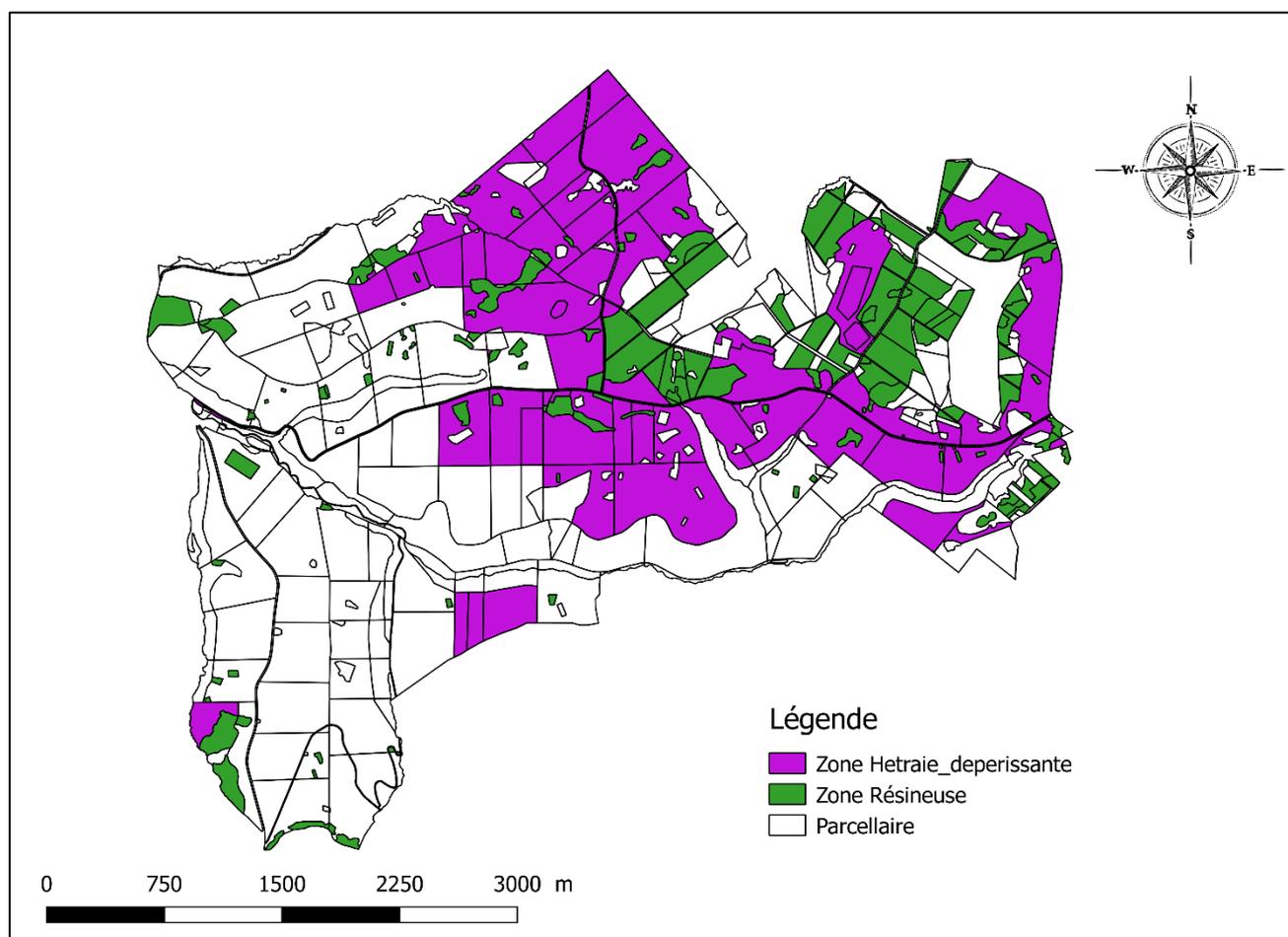


Figure 26: Cartographie de la zone hêtraie -déperissante. Auteur Valentin Claes , Août 2019. Source : Département de la nature et des forêts (Parcelleire)

L'application de la valeur seuil trouvée grâce au jeu de données témoin a permis de localiser des parcelles présentant une surface de trouées égale ou supérieure à 2.88% de leur surface totale. Ces parcelles seront considérées lors de cette étude comme potentiellement déperissantes. La plupart des parcelles sont regroupées et se trouvent sur le plateau de SMF ou sur la pente sud de la Masbelette, à des altitudes supérieures à 400m. Une vérification sur le terrain des parcelles qui n'ont pas été visitées lors de l'inventaire permettrait de confirmer le caractère déperissant de ces parcelles. Certains îlots blanc présents dans cette zone sont en partie dus à la présence de parcelles résineuses-feuillus et/ou à la présence de tourbières qui n'ont pas été prises en compte lors de l'étude.

A titre informatif, l'abaissement de la valeur seuil de trouée permet de rajouter de nouvelles parcelles qui viennent se rajouter de manière concentrique autour des parcelles déjà sélectionnées par le seuil de 6.58%. Ce qui pourrait aussi confirmer le caractère graduel de ce déperissement.

#### 4.1.3. Zonation de la forêt de SMF :

Comme expliqué en amont, les résultats sont divisés en quatre zones homogènes ayant chacune des caractéristiques et des problématiques particulières. La description et l'interprétation des résultats des inventaires se feront pour chacune des zones de manière distincte. La distribution de ces zones dans Saint-Michel-Freyr est représentée par cette carte.

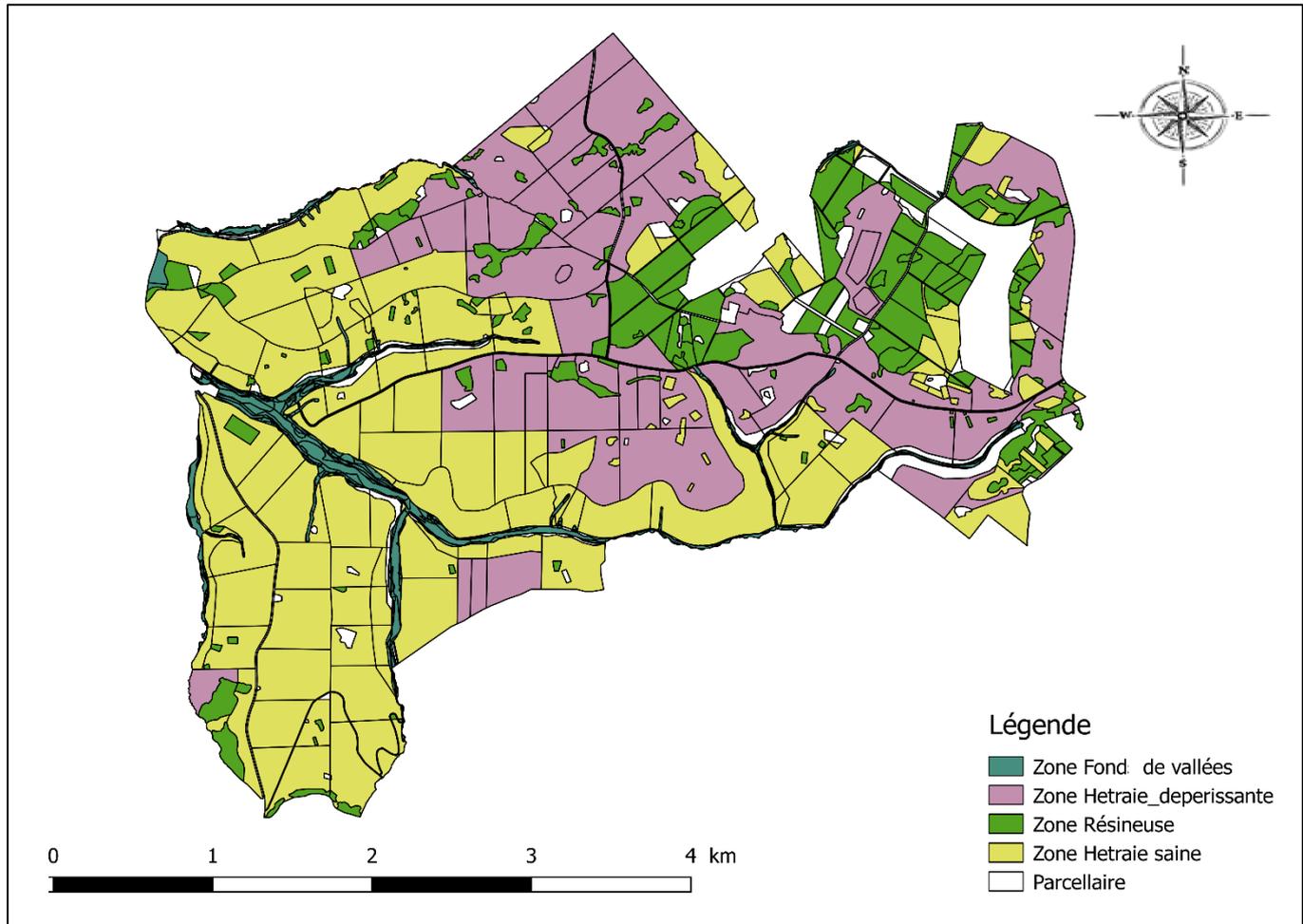


Figure 27: Cartographie des différentes zones formant la forêt de Saint-Michel-Freyr. Auteur : Valentin Claes. Sources : DNF (parcellaire)

## 4.2. Zone fond de vallée :

### 4.2.1. Localisation :

La zone fond de vallée correspond à l'ensemble de la surface reprise par les stations fond de vallée humide et fond de vallée frais. Par définition, il s'agit des zones encaissées dans les vallées qui sont en général traversées par un cours d'eau. Les cours d'eau principaux parcourant ces fonds de vallées de la forêt de Saint-Michel Freyr sont la rivière de la Diglette et de la Masblette ainsi qu'une partie du Rau Rabani et du Rau de la fontaine des saules. La surface de cette zone est approximativement de 61,7 ha. L'ensemble de cette zone se situe en basse Ardenne.

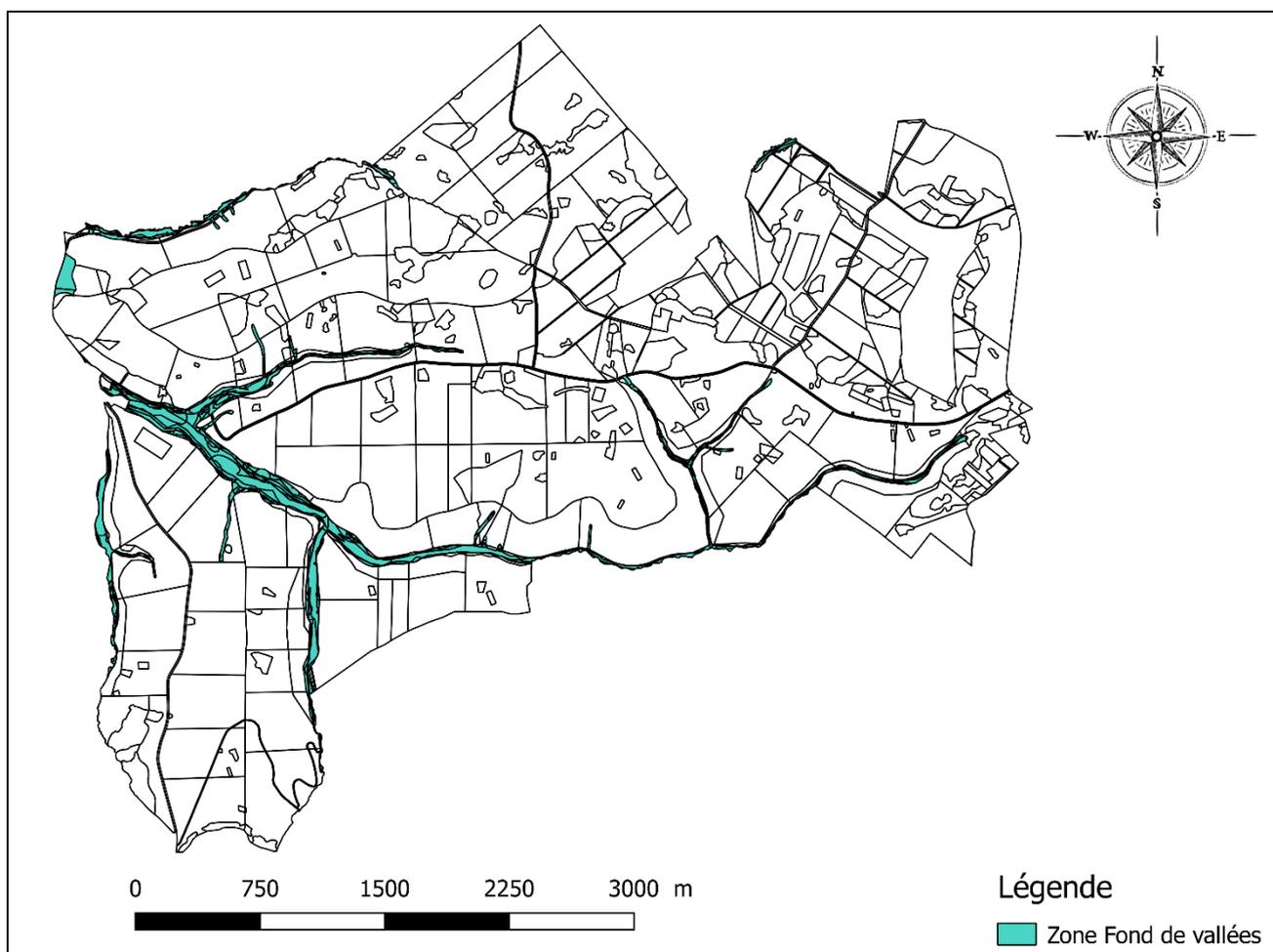


Figure 28: Cartographie de la zone fond de vallée. Auteur Valentin Claes, août 2019. Source: Gembloux agro-bio tech (serveur cartographique)

## 4.2.2. Description du Peuplement :

### 4.2.2.1. Principales données dendrométriques :

Surface(ha)	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume		
	Moyenne(m <sup>2</sup> /ha)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha)	Erreur associée (%)	Total(m <sup>3</sup> )
62	24	19.7	309.3	23.4	265.2	22.1	16 442,4

Figure 29: Valeurs de surface terrière, du nombre de tiges et de volume pour la zone fond de vallée. Avec les erreurs associées.

### 4.2.2.2. Composition en essences

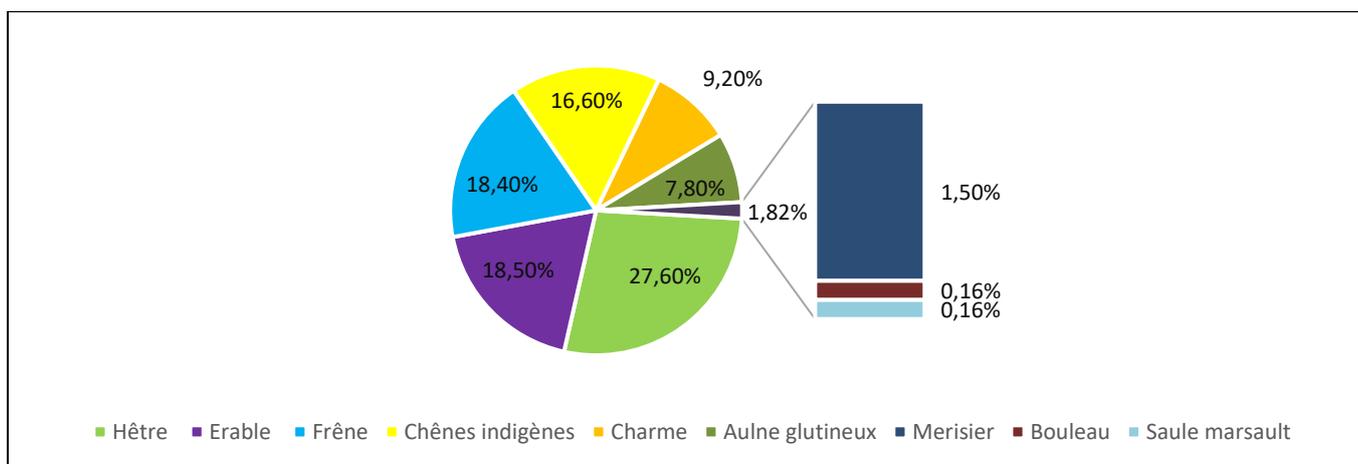


Figure 30: Représentation de la composition en essences pour la zone fond de vallée.

### 4.2.2.3. Structure du peuplement :

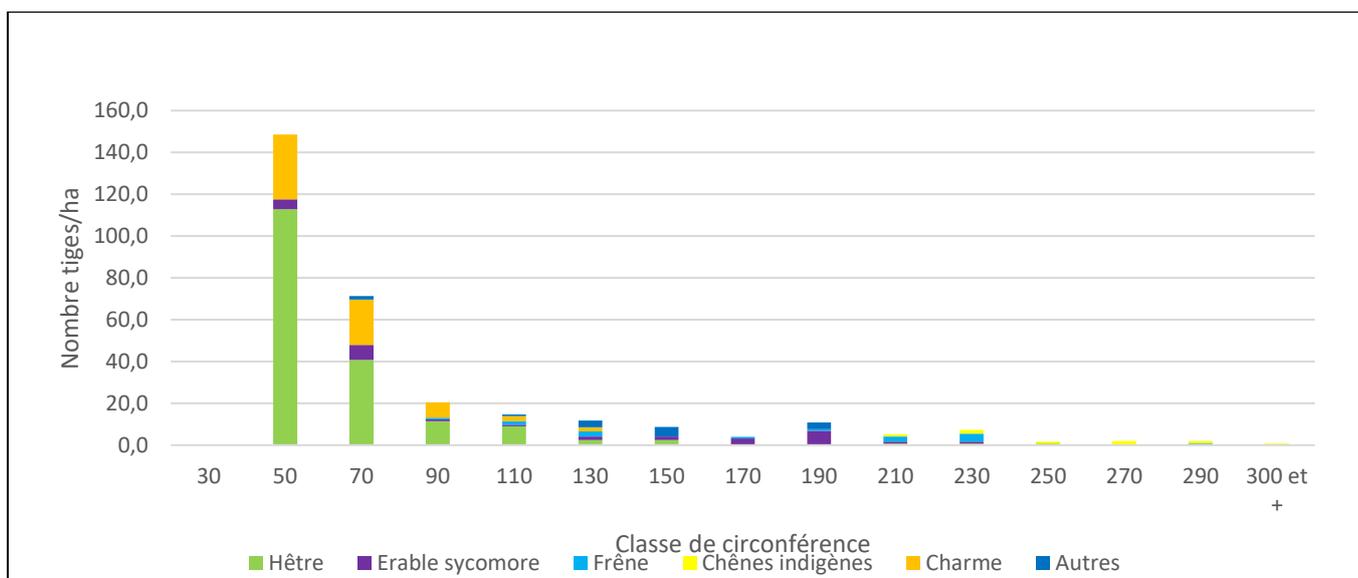


Figure 31: Distribution du nombre de tiges par hectare par classe de circonférence et par essence pour la zone fond de vallée. La dénomination « autre » regroupe les essences minoritaires (voir composition).

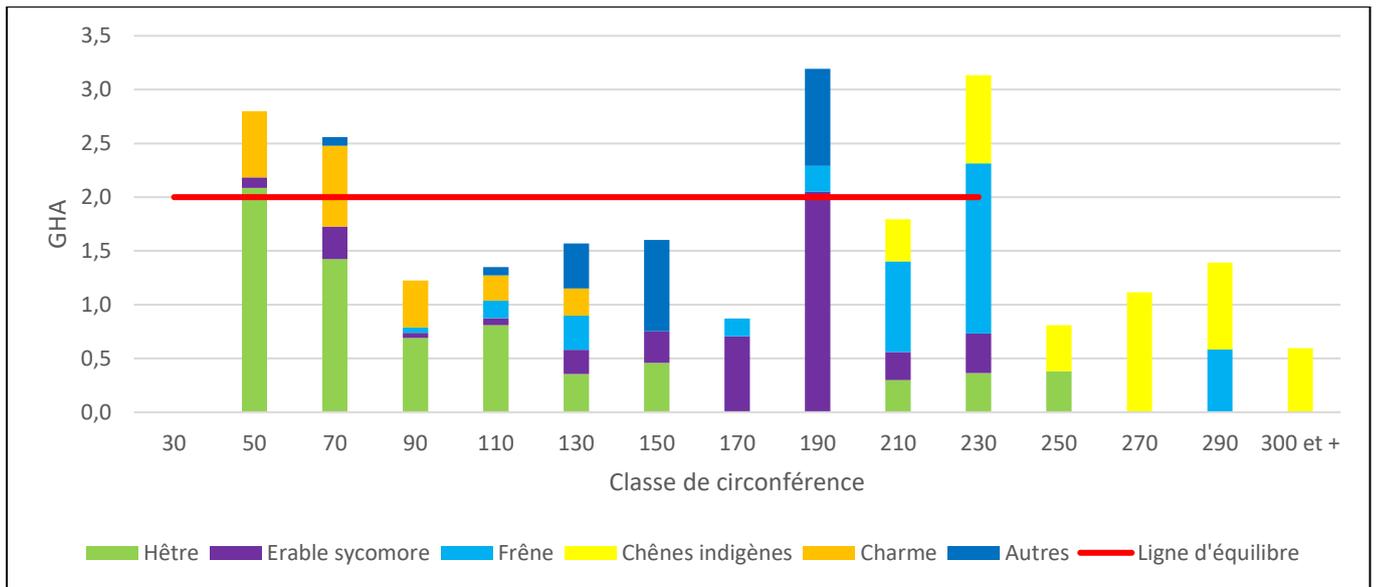


Figure 32: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour la zone Fond de vallée

#### 4.2.2.4. Composition générale de la régénération :

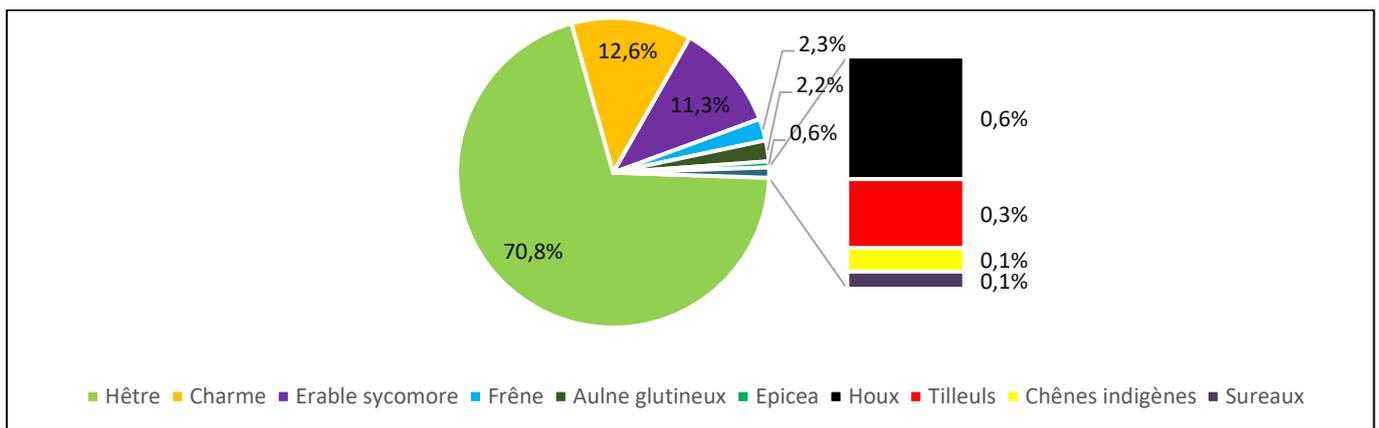


Figure 33: Composition en essences de la régénération présente dans la zone fond de vallée

Le recouvrement moyen de la régénération de la zone fond de vallée est de 78,3%

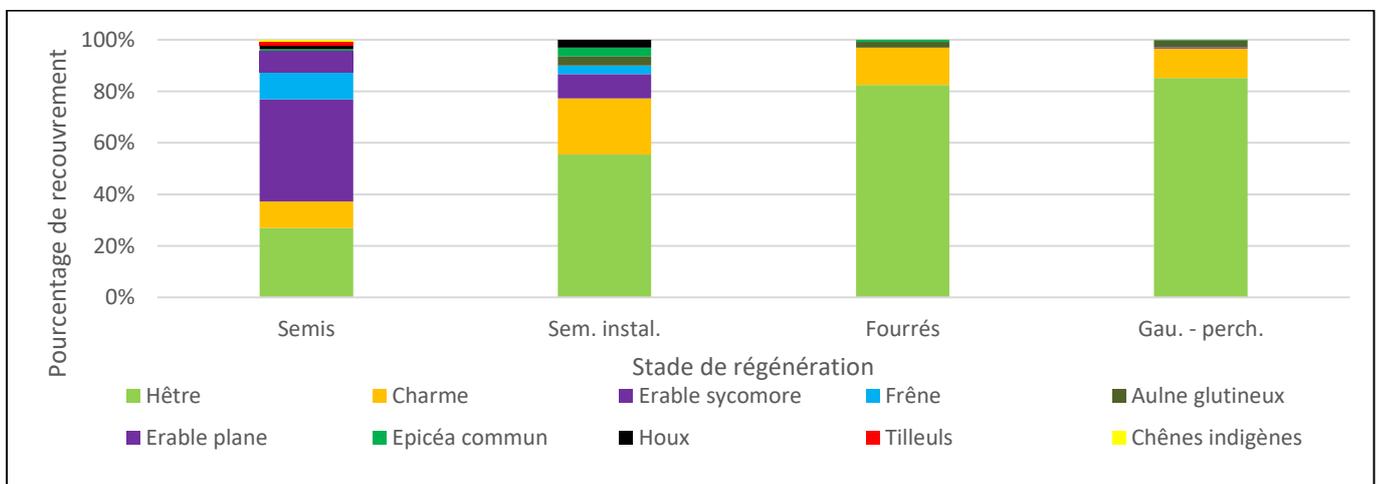


Figure 34: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essences pour la zone fond de vallée

#### 4.2.2.5. Accroissement et productivité :

	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume	
	Moyenne (m <sup>2</sup> /ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha.an)	Erreur associée (%)
<b>Accroissement périodique</b>	0,4	38,9			5,5	43,1
<b>Passage à la futaie</b>	0,1	104,2	10,9	104,2	0,9	104,2
<b>Prélèvement</b>	0,1	204	1,6	94,9	1,1	221,2
<b>Mortalité</b>	0	187,7	0,4	189,7	0,1	190

Tableau 11: Résultats de l'accroissement et des paramètres associés, pour la surface terrière, le nombre de tiges et le volume. Avec leurs erreurs associées. Zone fond de vallée

#### 4.2.3. Description de la capacité d'accueil de la zone fond de vallée

Les notes suivantes permettant par la suite de calculer les valeurs IBP sont obtenues sur base de la grille de cotation fournie par (Gonin et al., 2013). (Annexe 3)

Tableau 12: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone fond de vallée.

Critère	Note	Remarque
<b>Facteurs liés au peuplement et à la gestion forestière</b>		
A - Essences forestières autochtones	5	Présence + de 5 essences sur l'ensemble des placettes
B - Structure verticale de la végétation	5	Strate herbacée et semi-ligneuse / ligneux, strate occupée par le feuillage : bas (<7m) / intermédiaire (7-20m) / haut (>20m). Les 4 strates sont présentes sur la placette
C - Bois mort sur pied de « grosse » circonférence	0	< 1 pied/ha de bois mort sur pied
D - Bois mort au sol de « grosse » circonférence (longueur ≥ 1m)	2	≥ 1 et < 3 troncs/ha
E - Très gros bois vivants	2	Présence de >1 et < 5 arbres/ha qui font plus de 220cm de circonférence
F - Arbres vivants porteurs de microhabitats	5	6 arbres/ha et plus sont porteur de micro-habitats
G - Milieux ouverts	5	1 à 5% de la zone est composé de milieux ouverts
<b>Sous total</b>	<b>24</b>	<b>69% du score maximal</b>
<b>Facteurs liés au contexte</b>		
H - Continuité temporelle de l'état boisé	5	La présence d'Anémone nemorosa témoigne d'une forêt ancienne. Cette zone est aussi catégorisée comme zone forestière sur la carte de Ferraris. Ce qui atteste de son ancienneté.
I - Habitats aquatiques	5	Présence de 2 types ou plus de milieux aquatiques (rivière, mare..)
J - Milieux rocheux	2	Présence d'un seul type de milieux rocheux. (affleurement de banc de galet..)
<b>Sous total</b>	<b>12</b>	<b>80% du score maximal</b>
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>72% du score maximal</b>

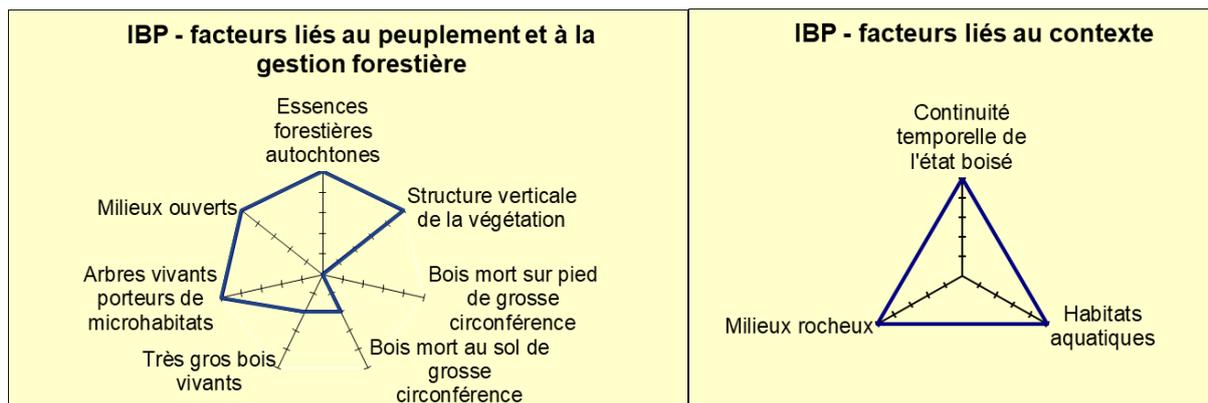


Figure 35: Représentation schématique des valeurs des facteurs iBP pour la zone fond de vallée

#### 4.2.4. Description stationnelle

Cette zone est divisée en deux types de station : « les terrasses alluviales basses ou humides » et les « hautes terrasses alluviales et fonds de vallée frais ». En ce qui concerne la distribution de ces stations sur les cours d'eau majeurs de Saint-Michel Freyr ; la zone de la Diglette est totalement en station « terrasse alluviale humide » alors que la Masblette et le Rau du Ribani sont, elles, composées des deux types de station.

##### 4.2.4.1. Distribution surfacique des stations pour la zone fond de vallée :

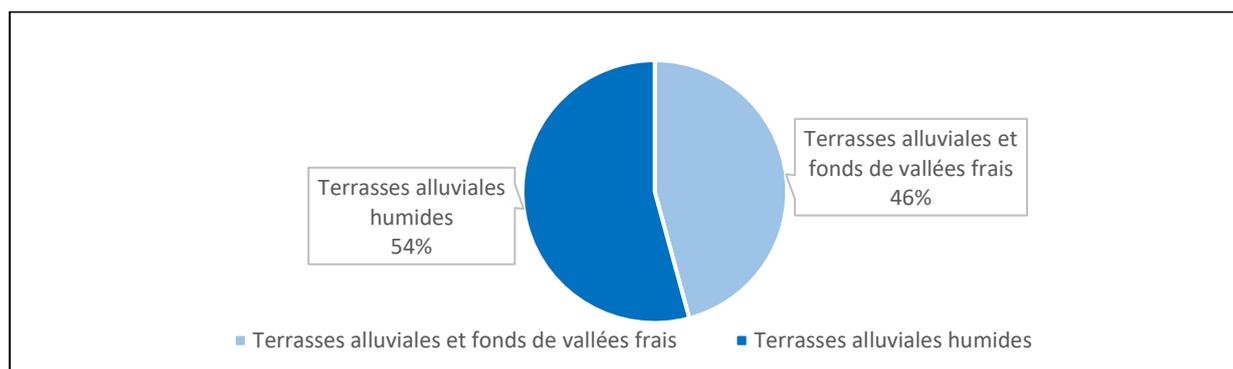


Figure 36:4.2.4.1. Distribution surfacique des stations pour la zone fond de vallée.

4.2.4.2. Résumé des différentes caractéristiques des stations terrasses alluviales basses et hautes terrasses alluviales

	Terrasses alluviales basses	Hautes terrasses alluviales																																																																																																																																																																												
Résumé général	Stations riveraines situées à des altitudes inférieures à 400m. Ce sont des stations qui par leur proximité avec des cours d'eau sont régulièrement sujettes à des crues et à des inondations.	« Ce type de station est le plus souvent composée de zone colluvionnes en retrait sur la berge ainsi que des zones proches de gros cours d'eau où un recreusement du lit majeur a eu lieu » (Cordier, 2018)																																																																																																																																																																												
Apport en eau	Apport d'eau continu voir parfois excessif. Ceci est lié tout d'abord à leurs encaissements qui permettent un apport d'eau par les pentes environnantes lors des pluies. Ensuite par le passage des cours d'eau en leur sein.	Tout comme la version humide, la présence de cours d'eau et l'encaissement topographique assurent un apport d'eau quasi constant. Cependant, contrairement au basse terrasse alluviale ces stations sont moins sujettes aux inondations et ne subissent qu'en de rares occasions les grandes crues.																																																																																																																																																																												
Type de sol	La nappe alluviale est présente la majorité de l'année et provoque des traces d'hydromorphie avant 50 cm de profondeur.	La nappe alluviale est présente mais bien plus profonde sur ce type de station que sur la variante basse.																																																																																																																																																																												
Classe de drainage	Sigle principaux, h (drainage assez pauvre sans horizon réduit, sol humide sur nappe phréatique temporaire), F (drainage pauvre à horizon réduit, sol humide à très humide sur nappe phratique permanente)	Drainés en surface. D (drainage imparfait sur sol modérément humide)																																																																																																																																																																												
Ecogramme	<p>Le diagramme d'écogramme pour les terrasses alluviales basses est un tableau à 10 lignes (classe de humidité) et 6 colonnes (classe de fertilité). Les valeurs sont indiquées par des carrés bleus :</p> <table border="1"> <tr><td>xérophile</td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>xérocline</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Plutôt sec</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Mésophile</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Frais</td><td>-1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Humide</td><td>-2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Très humide</td><td>-3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Marécageux</td><td>-4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>-3</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>Oligotrophe</td><td>Méso-oligotrophe</td><td>Acidocline</td><td>Neutrocline</td><td>Calcique</td><td>Carbonaté</td></tr> </table>	xérophile	5						xérocline	4						Plutôt sec	3							2						Mésophile	1							0						Frais	-1						Humide	-2						Très humide	-3						Marécageux	-4								-3	-2	-1	0	1	2			Oligotrophe	Méso-oligotrophe	Acidocline	Neutrocline	Calcique	Carbonaté	<p>Le diagramme d'écogramme pour les hautes terrasses alluviales est un tableau à 10 lignes (classe de humidité) et 6 colonnes (classe de fertilité). Les valeurs sont indiquées par des carrés bleus :</p> <table border="1"> <tr><td>xérophile</td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>xérocline</td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Plutôt sec</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Mésophile</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Frais</td><td>-1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Humide</td><td>-2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Très humide</td><td>-3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Marécageux</td><td>-4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>-3</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>Oligotrophe</td><td>Méso-oligotrophe</td><td>Acidocline</td><td>Neutrocline</td><td>Calcique</td><td>Carbonaté</td></tr> </table>	xérophile	5						xérocline	4						Plutôt sec	3							2						Mésophile	1							0						Frais	-1						Humide	-2						Très humide	-3						Marécageux	-4								-3	-2	-1	0	1	2			Oligotrophe	Méso-oligotrophe	Acidocline	Neutrocline	Calcique	Carbonaté
xérophile	5																																																																																																																																																																													
xérocline	4																																																																																																																																																																													
Plutôt sec	3																																																																																																																																																																													
	2																																																																																																																																																																													
Mésophile	1																																																																																																																																																																													
	0																																																																																																																																																																													
Frais	-1																																																																																																																																																																													
Humide	-2																																																																																																																																																																													
Très humide	-3																																																																																																																																																																													
Marécageux	-4																																																																																																																																																																													
		-3	-2	-1	0	1	2																																																																																																																																																																							
		Oligotrophe	Méso-oligotrophe	Acidocline	Neutrocline	Calcique	Carbonaté																																																																																																																																																																							
xérophile	5																																																																																																																																																																													
xérocline	4																																																																																																																																																																													
Plutôt sec	3																																																																																																																																																																													
	2																																																																																																																																																																													
Mésophile	1																																																																																																																																																																													
	0																																																																																																																																																																													
Frais	-1																																																																																																																																																																													
Humide	-2																																																																																																																																																																													
Très humide	-3																																																																																																																																																																													
Marécageux	-4																																																																																																																																																																													
		-3	-2	-1	0	1	2																																																																																																																																																																							
		Oligotrophe	Méso-oligotrophe	Acidocline	Neutrocline	Calcique	Carbonaté																																																																																																																																																																							

Figure 37: Résumé des différentes caractéristiques des stations terrasses alluviales basses et terrasses alluviales hautes (Cordier, 2018)

#### 4.2.5. Analyse AFOM :

##### 4.2.5.1. Sensibilité et potentialité :

Potentialité sylvicole :

Cette zone de fonds de vallée reprend les surfaces les plus fertiles de SMF. Les potentialités globales y sont très favorables à la sylviculture pour les deux variantes, avec une potentialité sylvicole encore plus grande pour la variante fraîche.

Plusieurs facteurs expliquent ce bon potentiel : un approvisionnement en eau constant sur toute l'année ainsi que la grande fertilité des stations due aux dépôts d'alluvions et de colluvions. Ces deux stations sont capables d'accueillir de nombreuses essences, parmi lesquelles de nombreux feuillus précieux, tout en leur garantissant une croissance soutenue et des conditions favorables à leurs survies.

Cependant la présence de la nappe alluviale en surface pendant la majorité de l'année, pour la variante basse, peut ne pas convenir à toutes les essences. En effet, ce contexte particulièrement humide peut induire des pertes de stabilité au niveau de l'ancrage ainsi qu'une anoxie racinaire pour les essences les moins adaptées. Un autre aspect pouvant contraindre le choix des essences est lié à la topographie du lieu. Effectivement, le fait d'être dans le fond de vallée, empêche d'une part un ensoleillement suffisant pour les essences très héliophiles et induit un risque non négligeable de gelée tardive.

##### 4.2.5.2. Adéquation des essences en place :

Au regard du catalogue des stations (Cordier, 2018), de très nombreuses essences présentes et répertoriées lors de l'inventaire sont à l'optimal dans cette zone. Et ce, particulièrement pour la variante fraîche, tels que l'aulne glutineux, le chêne sessile, le charme, les bouleaux ...

La situation est la même pour la variante humide, même si nombre de ces essences se trouve alors plutôt en tolérance. Ces essences forment avec le hêtre le gros de l'effectif sur pied de cette zone.

Même si on se trouve à des altitudes parfois élevées (>350m), la présence de nombreux érables et frênes en station alluviale fraîche laisse à penser que l'on se trouverait peut-être dans la variante neutrocline de cette station. L'érable sycomore se trouverait donc à l'optimum selon le catalogue des stations. Cela expliquerait sa présence importante et la qualité de certains arbres observés pendant l'inventaire. Cette explication serait à confirmer avec une analyse stationnelle plus poussée de la zone.

##### 4.2.5.3. Potentiel d'accueil pour la biodiversité :

De prime abord, cette zone semble être un lieu propice à l'accueil de la biodiversité. Ceci est confirmé par le résultat de l'inventaire IBP avec une valeur relative totale de 72%. Cette valeur élevée est liée au contexte général favorable de la zone. En effet, celle-ci est régulièrement sillonnée par des rivières et des ruisseaux. De plus des amoncellements rocheux et des bancs de galets entourent le plus souvent ces cours d'eau. Ainsi pour la plupart des parcelles, il y a présence à la fois de minimum deux milieux aquatiques et d'un milieu rocheux. Ce qui correspond à un score contexte IBP fort de 80%. Ces milieux vont servir selon Larrieu et Gonin (2016) d'habitats de prédilection pour de nombreuses espèces.

De plus en parcourant le peuplement on se rend rapidement compte de la richesse en essences de la zone. Le nombre d'espèce d'arbres différentes est plus élevé que dans le reste du domaine (score de 5). La plupart de ces espèces ne retrouve pas, ou en très faible minorité dans d'autres zones (aulne, frêne..). Le nombre de micro-habitats est lui élevé même si l'on retrouve moins de cavités à fond dur

et de champignon pour plutôt inventorier des micro-habitats rares comme le lierre qui ne se retrouve que dans cette zone ainsi que des cimes brisées et des fentes (2/parcelles)  
Ces différents éléments sont comptabilisés dans l'IBP peuplement pour un score assez élevé de 69%.

Cette zone possède le plus haut score pour les deux composantes de l'IBP et en fait la zone possédant la plus grande capacité d'accueil de la forêt de SMF. Une façon d'améliorer l'accueil pour la microfaune serait de laisser plus d'arbres finir leurs cycles de vie afin d'augmenter le nombre de bois mort sur pied et/ ou de bois mort au sol. Pour l'instant, 2 arbres/ha sont recensés comme étant mort sur pied ou au sol sur cette zone, ce qui correspond au norme Natura 2000 en vigueur de la zone. Néanmoins un minimum de 3 arbres/ ha permettrait selon (Larrieu et al., 2013) d'améliorer encore d'avantage l'accueil pour la biodiversité.

#### 4.2.5.4. Interprétation des données dendrométriques :

##### *Données générales*

La surface terrière ainsi que le volume sur pied de cette zone sont assez importants et supérieurs aux valeurs renseignées pour l'ensemble de la forêt. Avec respectivement 24m<sup>2</sup> et 265 m<sup>3</sup> à l'hectare. Ces valeurs importantes sont d'une part dues à la densité d'arbres présents, avec plus ou moins 310 tiges/ha. Et d'autre part à la bonne productivité de la station.

##### *Composition en essences*

Concernant la composition en essences de ce fond de vallée, on s'aperçoit rapidement de la grande richesse et diversité de cette zone. Bien que le hêtre reste la première essence en termes de surface terrière, il est suivi de près par l'érable, le frêne, et le chêne qui prennent chacun 18% de la surface terrière globale. Il y a aussi une présence non négligeable de charme (9.2%) et d'aulne glutineux (7.8).

##### *Structure du peuplement*

La distribution des tiges par classe de circonférence correspond à une structure classique en J inversé caractéristique des peuplements irréguliers issus de la régénération naturelle. (Figure 31). Cette courbe exponentielle décroissante correspond à l'équilibre pour ce type de peuplement et assure de la pérennité de la production ligneuse future. Un point essentiel à relever est le nombre important de tiges de hêtre dans les petites classes de circonférence de 50-90 cm et l'absence des essences tels que le chêne, l'érable, le frêne. Ce qui démontre bien une dynamique d'envahissement de cette essence dans la zone.

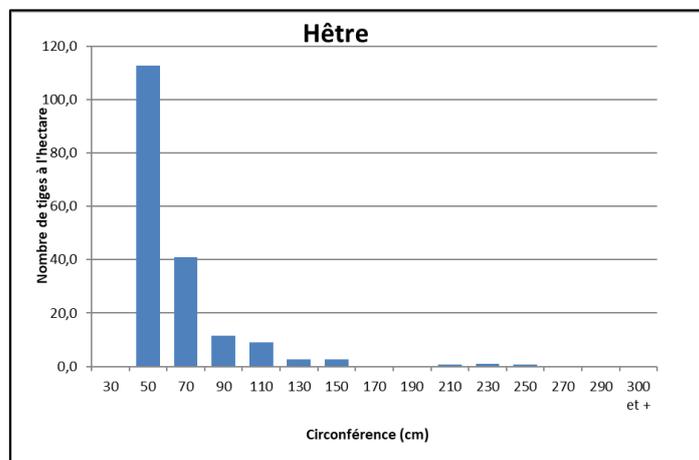


Figure 38: Distribution du nombre de tiges à l'hectare pour le hêtre dans la zone fond de vallée

Plusieurs éléments ressortent de l'étude de la distribution en surface terrière (Figure 32)

Le nombre important de tiges en hêtre et charme de la figure précédente se traduit ici par un apport important en surface terrière dans les classes de circonférence de 50-70cm. Ces arbres viendront dans les prochaines années compenser le déficit en bois moyens pour les classes allant de 90 cm à 170 cm de circonférence. Contrairement à ce déficit un surstock s'est formé dans les classes supérieures (190 et 230 cm). Ce surstock est représenté par une surface terrière supérieur d'1m<sup>2</sup>/ha par rapport à l'équilibre. Ces arbres formant cette proportion du peuplement est principalement composé de frêne, d'érable et de chêne. Dans les grandes classes de circonférence, (>250 cm), on aperçoit un stock sur pied et semencier composé principalement de chêne et de frêne. Ces arbres ont atteint leurs termes d'exploitabilité même s'ils représentent encore un intérêt biologique indéniable.

### Régénération

Cette zone possède une régénération répartie de façon homogène sur tout sa surface. Traduit par un recouvrement moyen de +/-80%. La régénération, comme on l'a observé dans les figures précédentes, est en faveur du hêtre qui représente à lui seul 70 % de ce recouvrement total. Les individus de cette essence sont représentés dans tous les stades. Avec la moitié de son recouvrement en gaulis perchis. Le charme est la deuxième essence montrant une bonne régénération dans la zone. Avec 13% du recouvrement total. Et des individus qui réussissent à évoluer jusqu'au stade gaulis-perchis (7%).

Au contraire, on peut observer l'absence importante de régénération des essences, qui composent pourtant la strate arborée de cette forêt, comme l'érable, le frêne, l'aulne glutineux, le chêne qui ont une régénération très faible, avec des recouvrements respectivement de 8, 2.34 ,2 et 0.11 % . Et qui, sous l'action de la concurrence et de la pression du gibier restent au stade semis. Pour le chêne, on peut observer que cette situation est très ancienne avec un manque de passage à la futaie depuis des années qui se traduit par l'absence de cette espèce dans les classes de circonférences inférieures à 210 cm.

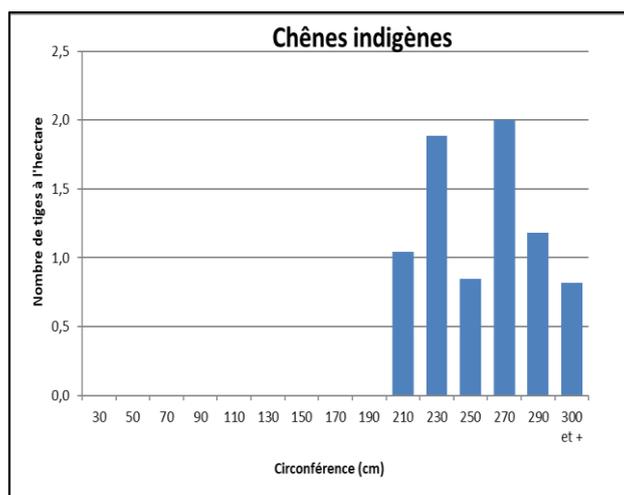


Figure 39: Distribution du nombre de tiges à l'hectare pour les chênes indigènes dans la zone fond de vallée

### *Accroissement et productivité :*

La potentialité sylvicole importante de ce fonds de vallée, déjà abordée dans la partie stationnelle, est confirmée par les données d'accroissement livrées par l'inventaire dendrométrique. En effet, l'accroissement périodique en volume est de 5.5 m<sup>3</sup> par hectare, ce qui correspond à un accroissement de 0.4m<sup>2</sup> /ha de surface terrière.

En ce qui concerne la qualité des arbres présents sur cette zone, 90% des tiges ne possèdent pas de défaut de conformation. Pour les 10 pourcents renseignés comme ayant un défaut, celui-ci est le plus fréquemment la mauvaise conformation de la tige (5.8%). Les prélèvements sont en moyenne de 1.6 tiges par ha par an.

#### 4.2.5.5. Avantages et inconvénients de la zone

##### Avantages :

- Il s'agit d'une forêt ancienne, comme le confirme la présence d'anémone sylvie, dans laquelle évoluent des espèces nombreuses et spécifiques. La capacité d'accueil pour la biodiversité y est aussi élevée. Ce qui en fait une forêt avec une grande valeur conservatoire.
- Forêt avec une grande fertilité et une potentialité sylvicole favorable au bon développement de nombreuses essences précieuses. Ce qui est confirmé par une valeur moyenne d'accroissement importante.

##### Inconvénients :

- Pression du gibier importante
- Dynamique d'envahissement du hêtre
- Raréfaction de la régénération et du développement des essences typiques qui font la richesse de la zone (érable, chêne ...).
- Zone possédant des sols hydromorphes sensibles au tassement. Ce qui contraint les modes d'exploitation
- Risque de gelées tardives et de manque d'ensoleillement

#### 4.2.6. Orientation de gestion :

##### 4.2.6.1. Historique du peuplement et interview du propriétaire :

Ces fonds de vallée ont toujours été une partie riche et protégée de la forêt de Saint-Michel Freyr. Ils présentent des essences spécifiques à ce type de station et une richesse en essences élevée. Ces zones sont un habitat d'intérêt prioritaire Natura 2000. L'une des problématiques liées à ces fonds de vallée est la recrudescence du hêtre qui entre en concurrence avec les essences typiques et qui pourrait dans le futur empêcher celles-ci de se développer. La deuxième grosse problématique de cette zone à fort potentiel est le manque de régénération prometteuse des essences plus appétentes telles que l'érable, le chêne sessile, l'aulne en raison de la grande pression du gibier.

#### 4.2.6.2. Ancien objectif de gestion :

Une des parties de ce fond de vallée a été mise en réserve biologique intégrale. Il s'agit de la rive sud de la Masblette. Il a donc été décidé de ne plus intervenir sur cette partie du massif. Le reste de la zone est exploité.

#### 4.2.6.3. Définition des objectifs.

- Contrôle de l'envahissement du hêtre
- Régénération des essences stationnelles
- Production de semencier pour le reste de la zone
- (Rentabilité financière)

#### 4.2.6.4. Recommandation sylvicole et proposition de gestion :

##### Recommandation générale :

- Conserver les frênes en place, dans le cas où ils seraient porteurs de résistance à la chalarose.
- Eviter tout tassement de la zone.
- Afin d'augmenter l'accueil pour la biodiversité, un minimum d'un arbre supplémentaire par hectare serait laissé à son cycle naturel pour former des bois morts sur pied et au sol. Ce nombre pourrait être augmenté dans le cadre de ce projet.

##### Changement de statut :

En raison du grand intérêt biologique de cette zone et des menaces - tassement du sol, envahissement du hêtre - qui pèsent sur celle-ci, il serait intéressant d'apporter un statut particulier à cette zone afin de garantir la pérennité de son état et des éléments qui la compose. Ainsi le statut de réserve naturelle dirigée paraît tout indiqué pour garantir le maintien de cet écosystème, des essences particulières présentes, tout en contrôlant le développement de celles qui tendent à les évincer.

##### Gestion directe de la concurrence du hêtre :

- Proposition d'action pour enlever les jeunes tiges de hêtre

Mise en pratique de l'affouage dans la zone, qui permettrait par prélèvement successif du hêtre dans les plus petites classes de diamètre (50-70) de réduire la concurrence de celui-ci sur les autres essences. Un cahier des charges extrêmement précis devra être mis au point pour éviter tout risque de tassement ou des dégâts à d'autres arbres. Dans le cas où l'affouage serait trop jugé trop risqué un système de régis serait à privilégier pour assurer le maintien du potentiel de la zone et la qualité de l'écosystème. Un système par annelage pourrait être aussi envisagée sur les jeunes tiges, ce qui permettrait de gagner du temps ainsi qu'augmenter la proportion de moyen bois au sol.

##### Gestion du gibier :

- Proposition d'actions pour permettre aux essences plus appétentes de se développer.

Selon la loi sur la conservation de la nature, si cette zone devient une réserve naturelle dirigée, les actions de chasses y seront interdites. Des actions de chasse plus intensives sur l'ensemble de la forêt devraient être menées pour tenter de diminuer la pression du gibier.

Si les résultats ne sont pas assez concluants, l'utilisation de clôtures suspendues, comme utilisées dans d'autres parties du massif pour garantir la régénération, pourrait être envisagée. En sachant qu'une perte du sentiment de naturalité des lieux serait sûrement constatée.

#### Mise en place d'une sylviculture adaptée :

Le statut de réserve dirigée permet toutefois de continuer d'intervenir sur la zone, et de profiter de sa qualité pour mettre un place un système de production adaptée. La sylviculture proposée ici est celle des arbres objectifs.

- Cette sylviculture se basera dans un premier lieu sur les arbres de qualité déjà présents (50-70cm de circonférence) (Charme, érable.) (Hormis le hêtre)
- Pour ensuite profiter de la régénération qui sera alors complète pour les essences telles que l'érable, le chêne, l'aulne glutineux.
- Le détourage dynamique de arbres sélectionnés<sup>2</sup> participera à la lutte contre le hêtre. Les arbres abattus durant le détourage peuvent être conservés sur place pour servir de bois mort. Ce qui éviterait la présence de machines sur les lieux et le risque de tassement.
- Les actions effectuées sur le peuplement pour ce type de sylviculture sont menées par définition sur un nombre d'arbres limité et auront ainsi un impact réduit.
- Cette sylviculture permettra à terme de produire des grumes de qualité sur la zone, ainsi que participer à la formation des semenciers d'essences les plus rares qui pourront alors participer à l'enrichissement des zones proches.
- Vente : Après une exploitation assurant la protection des sols (par câble ou par traction animale), ces grumes de qualité pourront être vendues à des prix assurant la rentabilité de la zone via le parc à grume se trouvant aux portes de massif.
- Contrairement aux ventes actuelles de chênes, la ressource sera ici produite, et ce de manière durable.

---

<sup>2</sup> Arbres de qualité de 50-70 cm de circonférences, et les arbres d'avenir présent dans le stade gaulis-perchis.

### 4.3. Zone hêtraie déperissante :

#### 4.3.1. Localisation

La zone hêtraie déperissante reprend l'ensemble des parcelles composé en majorité de hêtres et qui ont été décrites comme déperissantes lors de la discussion de la délimitation des zones en amont. Ces parcelles sont pour la grande majorité situées sur le plateau du massif. A une altitude comprise entre 400 et 530m ce qui correspond à l'Ardenne centro-orientale et la haute Ardenne. Certaines parcelles de cette zone se situent de l'autre côté de la Masblette sur la pente qui remonte vers le plateau du bois de St-Hubert et de la forêt du Roi Albert. La surface de cette zone est approximativement de 600 ha. En tout, 79 parcelles sont concernées.

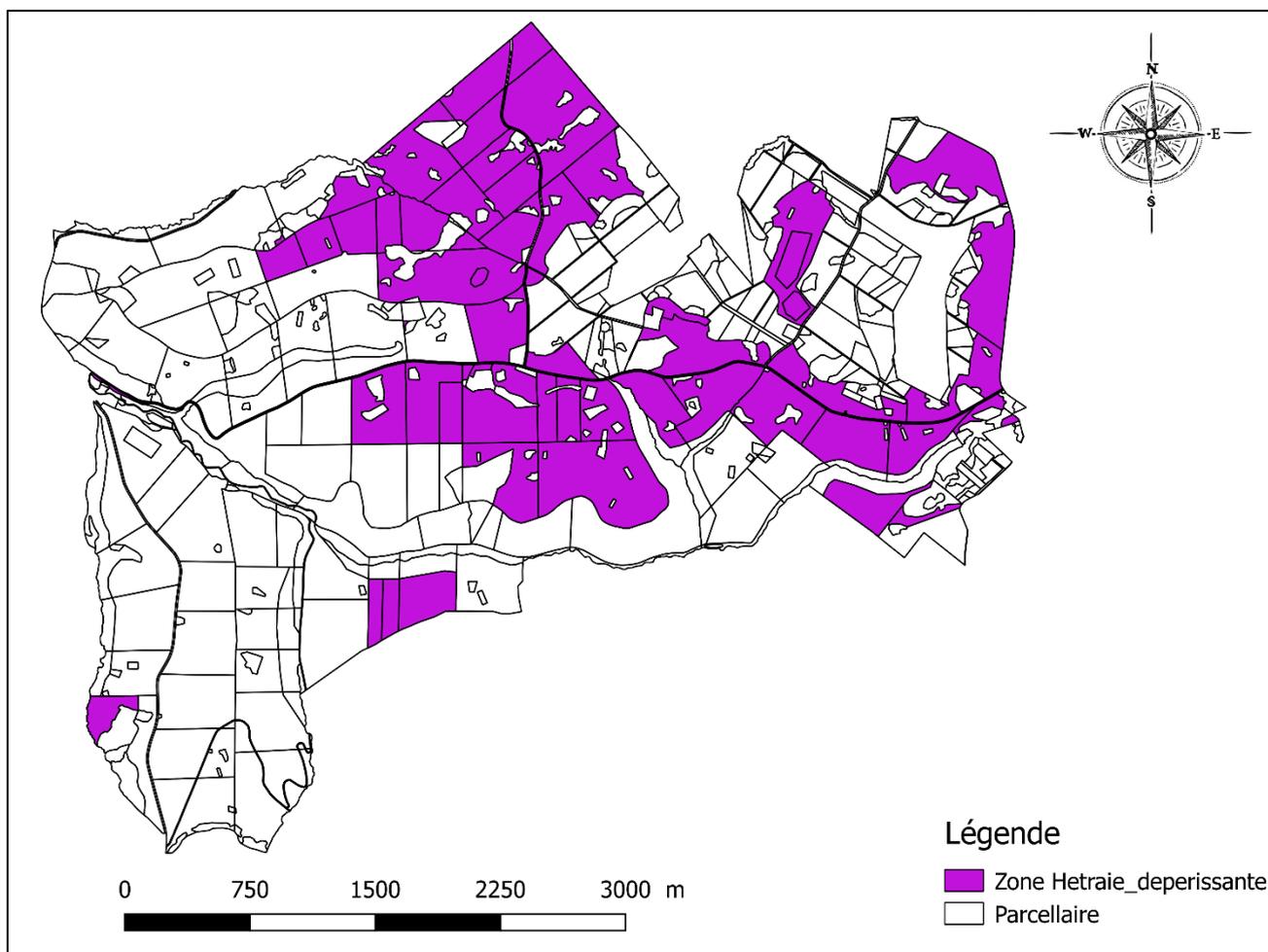


Figure 40: Cartographie zone hêtraie déperissante. Auteur : Valentin Claes août 2019. Source : Parcellaire Département de la nature et des forêts

### 4.3.2. Description du peuplement :

#### 4.3.2.1. Principales données dendrométriques :

Surface(ha)	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume		Total(m <sup>3</sup> )
	Moyenne(m <sup>2</sup> /ha)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha)	Erreur associée (%)	
600	20,6	7.8	155,5	19.5	237.6	8.4	142 560,4

Figure 41: Valeurs de surface terrière, du nombre de tiges, de volume, et erreurs d'échantillonnage associées pour la zone hêtraie dépérissante.

#### 4.3.2.2. Composition du peuplement (Gha) :

Les peuplements formant cette zone sont principalement composés de hêtre, de chênes indigènes et d'épicéa commun.

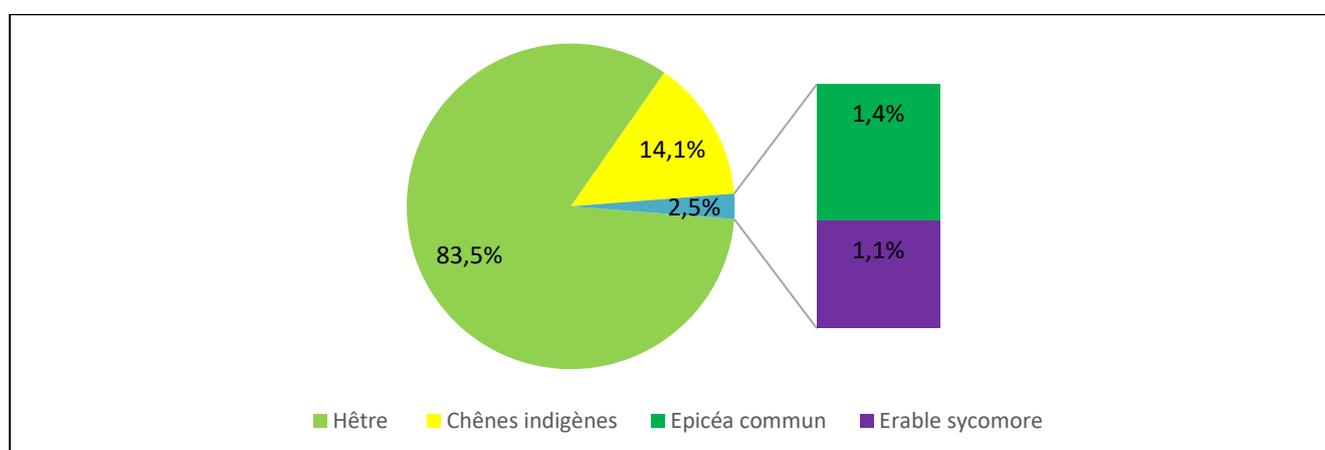


Figure 42: Représentation de la composition en essences pour la zone hêtraie dépérissante.

### 4.3.2.3. Structure du peuplement :

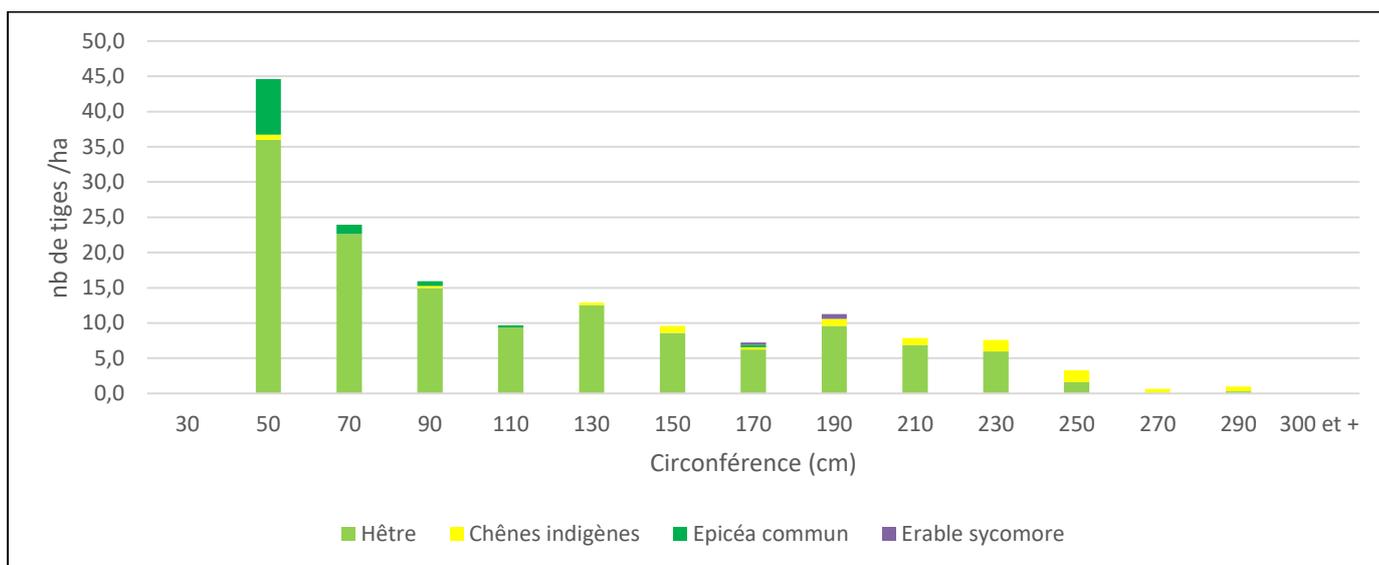


Figure 43: Distribution du nombre de tiges par hectare par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie déclinante

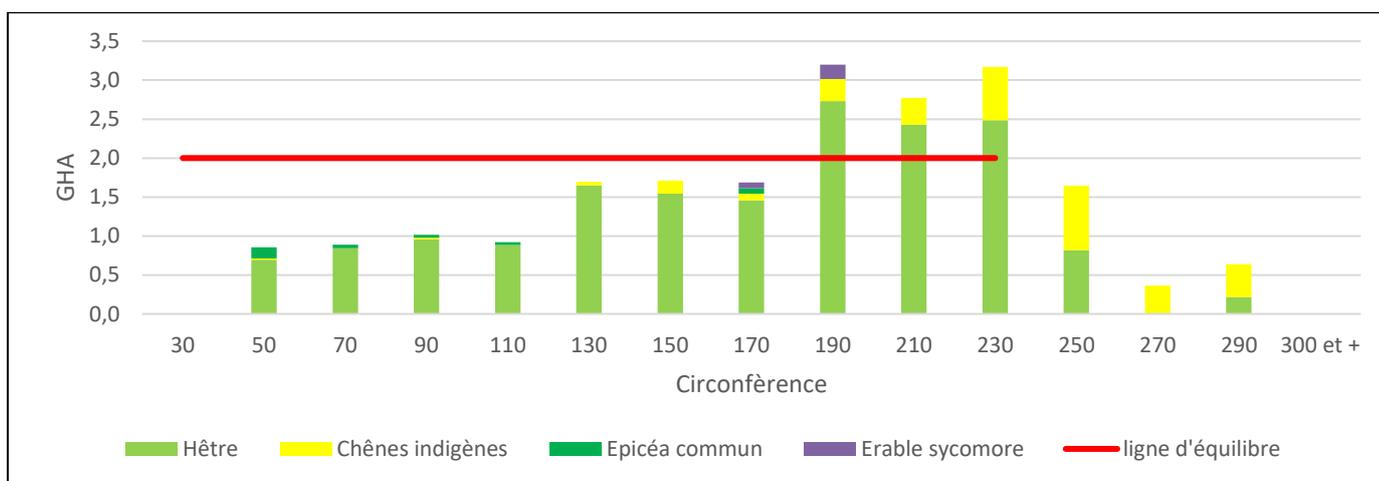


Figure 44: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie déclinante

Peuplement en déséquilibre avec un déficit important de bois dans les plus jeunes classes de circonférence et surstock dans les plus grandes.

#### 4.3.2.4. Régénération :

Le recouvrement moyen de la régénération totale est de 34,6% pour la zone hêtraie déperissante. Cette régénération est composée à 92 % de hêtre.

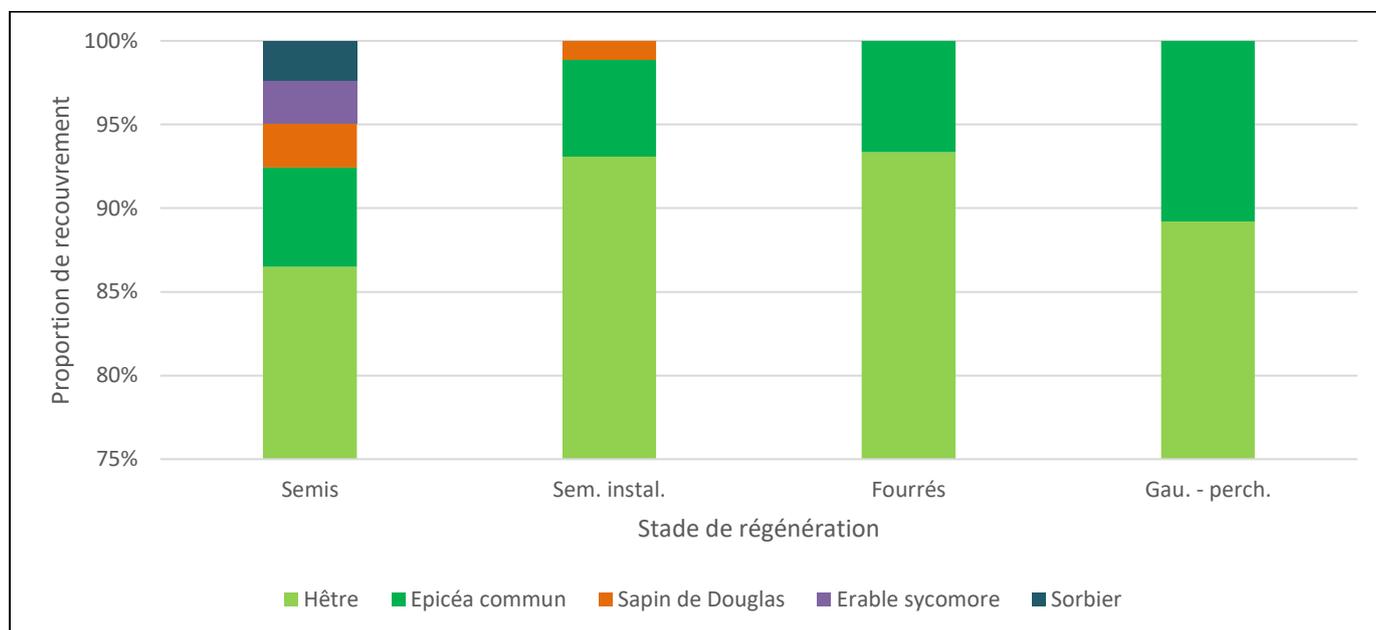


Figure 45: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essences pour la zone hêtraie déperissante

#### 4.3.2.5. Accroissement et productivité :

	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume	
	Moyenne (m <sup>2</sup> /ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha.an)	Erreur associée (%)
<b>Accroissement périodique</b>	0,2	27			1,7	60,4
<b>Passage à la futaie</b>	0	57,8	2,4	57,8	0,2	57,9
<b>Prélèvement</b>	0,5	37,5	2,6	34,5	5,7	38,6
<b>Mortalité</b>	0	42	0,1	138,7	0,3	140,7

Tableau 13: Résultats de l'accroissement et des paramètres associés pour la surface terrière, le nombre de tiges et le volume. Avec leurs erreurs associées. Zone hêtraie déperissante.

### 4.3.3. Description de la capacité d'accueil de la zone

Les notes suivantes permettant par la suite de calculer les valeurs IBP sont obtenues sur base de la grille de cotation fournie par (Gonin et al., 2013).(Annexe 3)

Tableau 14: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone hêtraie déperissante.

Critère	Note	Remarque
<b>Facteurs liés au peuplement et à la gestion forestière</b>		
A - Essences forestières autochtones	2	2 à 4 essences sont présentes en général sur cette zone
B - Structure verticale de la végétation	5	Strate herbacée et semi-ligneuse. Strate occupée par le feuillage : bas (<7m) / intermédiaire (7-20m) / haut (>20m). Les 4 strates sont présentes sur la placette
C - Bois mort sur pied de « grosse » circonférence	2	Le nombre de bois mort sur pied est compris entre 1 et 2 pieds par ha
D - Bois mort au sol de « grosse » circonférence (longueur ≥ 1m)	5	Le nombre de bois mort au sol est égal ou supérieur à 3 troncs par ha
E - Très gros bois vivants	2	Il y a ≥ 1 et < 5 arbres/ha qui font plus de 220 cm de circonférence
F - Arbres vivants porteurs de micro-habitats	5	6 arbres/ha et plus sont porteurs de micro-habitats
G - Milieux ouverts	2	1 à 5% de la zone est composée de milieux ouverts
<b>Sous total</b>	<b>23</b>	<b>66% du score maximal</b>
<b>Facteurs liés au contexte</b>		
H - Continuité temporelle de l'état boisé	5	Forêt ancienne attestée par la présence de cette forêt sur la carte de Ferraris (1770-1778).
I - Habitats aquatiques	0	Habitat aquatique absent
J - Milieux rocheux	0	Habitat rocheux absent
<b>Sous total</b>	<b>5</b>	<b>33% du score maximal</b>
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>56% du score maximal</b>

#### 4.3.3.1. Représentation des différentes composantes des deux valeurs IBP

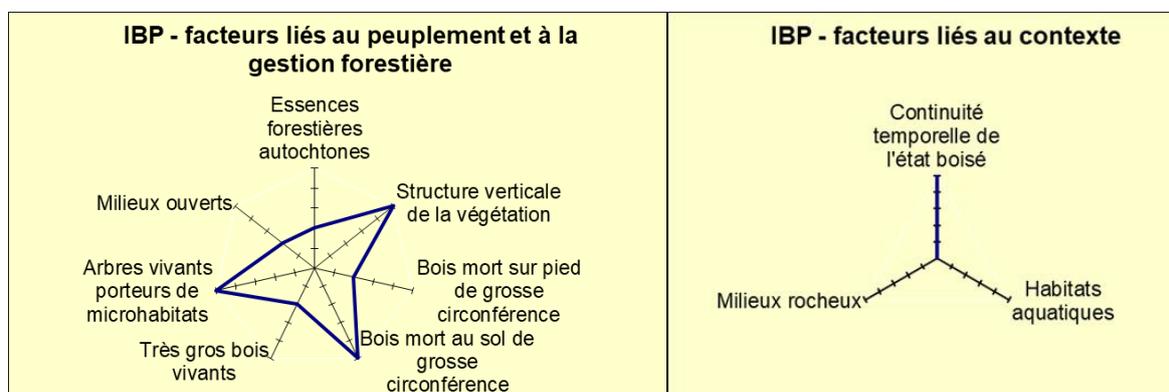


Figure 46: Représentation schématique des valeurs des facteurs IBP pour la zone hêtraie déperissante

#### 4.3.4. Description stationnelle de la zone hêtraie dépérissante

Cette zone relativement grande comprend sept types de station différents. Celle qui sera développée ici est la station des plateaux méso-oligotrophes qui occupe la plus grande majorité de la zone. Il s'agit par définition d'une zone de plateaux constituée d'un sol limoneux caillouteux sur pente douce.

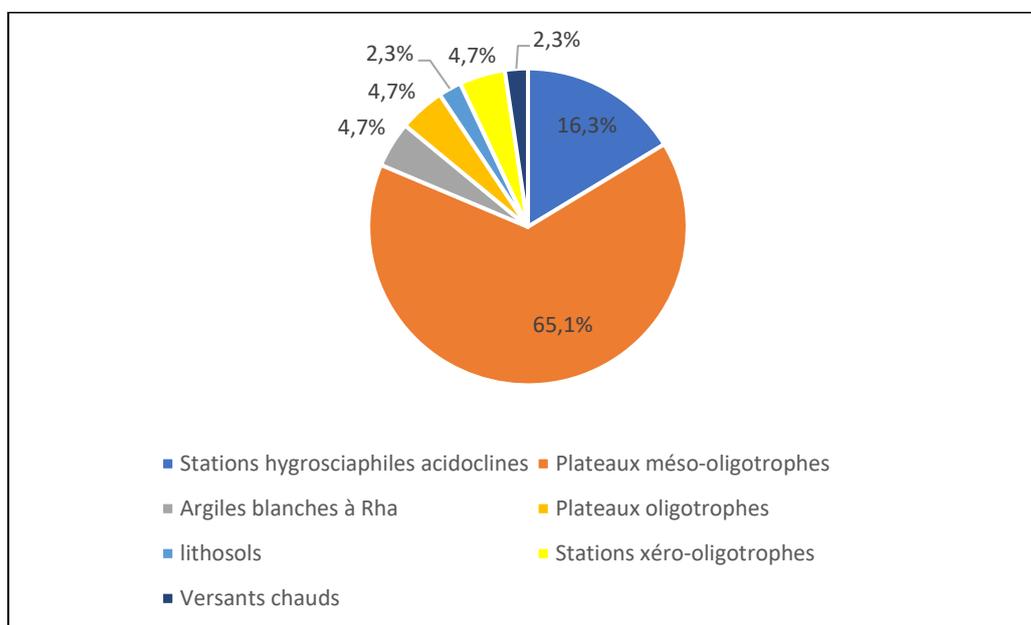


Figure 47: Proportion de placettes d'inventaire par type de station pour la zone hêtraie dépérissante

#### 4.3.5. Analyses AFOM :

##### 4.3.5.1. Sensibilité et potentialité :

Cette zone des plateaux méso-oligotrophes est une zone où le potentiel sylvicole théorique est considéré comme favorable (Cordier, 2018). Cette station est suffisamment fertile pour les essences les plus présents dans cette zone, tels que le hêtre et le chêne sessile. Les réserves en eau sont suffisantes tout au long de l'année, favorisées par les faibles pentes, mais variables selon la profondeur du sol. Ce type de plateaux offre de bonnes possibilités d'enracinement ce qui réduit les risques de chablis et permet aux arbres d'aller chercher plus profondément les ressources nécessaires à leurs développements. De plus, le risque d'asphyxie racinaire est quasiment nul sur la majorité de la zone (70%) grâce à l'absence d'une nappe d'eau permanente en surface. Ces risques-là sont surtout liés aux argiles blanches qui représentent à peine 5% de cette zone.

Plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour garantir la pérennité du potentiel de cette zone. Tout d'abord, le risque d'acidification est très présent dans la zone. « Les stations à moder constituent des milieux de transition entre les contextes riches et les contextes très acides. Il s'agit de milieux particulièrement fragiles, qu'une gestion inappropriée peut facilement faire évoluer vers la podzolisation. » (Cordier, 2018)

Ensuite, ces sols limoneux-caillouteux sont des sols sensibles au tassement. Ce tassement pourrait compromettre durablement et conséquemment la productivité de ce type de station.

Les essences à l'optimum sur ce type de station sont le bouleau verruqueux, le hêtre et le chêne sessile. Le chêne sessile passe juste en tolérance en haute Ardenne.

(Cordier, 2018)

	Optimum	Tolérance	N	C	T. élargie	N	C
<b>Ardenne centro-orientale</b>	Bouleau verruqueux Chêne sessile Hêtre	Charme Chêne rouge Sorbier des oiseleurs	x	x x x	Peuplier tremble	x	
<b>Haute Ardenne</b>	Bouleau verruqueux Hêtre	Chêne sessile		x	Charme Peuplier tremble Sorbier des oiseleurs	x x	x x

Tableau 15 : adéquation des essences feuillus pour les plateaux méso-oligotrophes. Risque principal pour l'essence sur la station : S = sécheresse du sol ; N = nutrition ; C = froid et/ou gelées

#### 4.3.5.2. Adéquation des essences en place :

L'inventaire effectué sur cette zone nous renseigne sur les principales essences présentes : le hêtre et les chênes indigènes constituent le principal effectif de cette zone. (97% du GHA). Le hêtre se trouvent donc bien en optimum sur cette station. Il est plus compliqué de statuer sur le chêne car l'inventaire s'étant fait hors feuilles la différence n'as pas pu être établie, avec précision, entre le chêne sessile et pédonculé. L'épicéa se trouve lui aussi à l'optimum sur ces plateaux (Cordier, 2018). Les bouleaux verruqueux ne sont pas présents bien qu'ils y soient à l'optimum. On rencontre, par contre, en de rares occasions, les essences qui pourraient évoluer en tolérance telles que le charme, le sorbier, le peuplier tremble (T.élargie). La présence de l'érable peut être liée au fait qu'il soit à l'optimum dans la station hygrosциaphile acidocline. Cependant sa présence reste encore anecdotique

#### 4.3.5.3. Potentiel d'accueil pour la biodiversité :

La valeur d'IBP total de cette zone est de 56 % ce qui correspond à un score moyen si l'on se réfère au classement donné (Gonin et al., 2013). La capacité d'accueil de la biodiversité est donc dans la moyenne pour cette zone. Si on décompose cette valeur totale en la valeur pour le peuplement et le contexte, on se rend compte que c'est principalement le mauvais contexte de cette zone (absence de milieux rocheux et aquatique) qui impacte négativement le score (IBP-contexte faible avec une valeur relative de 33%). Au contraire la valeur relative de l'IBP pour le peuplement est assez forte (66%) et proche de celle renseigné pour les fonds de vallée (69%).

Le nombre de micro-habitats est assez élevé dans cette zone, il y a présence d'un grand nombre de cavités à fond dur, de cavité de pics, de cavités remplies d'eau, de champignons carpophores... Le nombre de bois mort sur pied et au sol est aussi élevé et supérieur aux autres zones. La présence de nombreux très gros bois vivant et de zone de trouées contribue également à l'augmentation de la valeur de l'IBP-peuplement. Au total, cette zone possède le nombre moyen le plus élevé pour 8 critères de l'IBP.

Cette zone obtient le second score le plus élevé pour l'ensemble de la forêt après la zone fond de vallée. La haute valeur pour la partie peuplement est en grande partie due au caractère dépérissant de ces peuplements. Les facteurs contextuels de la zone ne pouvant être modifiés, l'action qui pourrait permettre d'améliorer la capacité d'accueil de la zone serait de garantir une plus grande diversité en essences.

#### 4.3.5.4. Interprétation des données dendrométriques

##### *Données générales*

La surface terrière ainsi que le volume sur pied valent respectivement 20.6m<sup>2</sup> et 237,6 m<sup>3</sup> à l'hectare. Ces valeurs sont plus faible que celles renseignées (Rondeux et al., 1997) pour la moyenne et haute Ardennes.

Régions forestières	Nombre de placettes	NHA (n/ha)	GHA (m <sup>2</sup> /ha)	VHA (m <sup>3</sup> /ha)	CMOY (cm)	CDOM (cm)	HDOM (m)
Ardenne	355	182,6	21,8	262,5	133,4	171,5	27,4
<i>Basse</i>	41	206,2	20,6	243,1	129,7	173,4	28,5
<i>Moyenne</i>	192	178,6	21,6	258,9	133,8	169,6	27,6
<i>Haute</i>	122	180,9	22,7	274,6	134,2	174,0	26,8
Région ju-rassique	62	125,3	18,7	229,1	148,2	182,1	28,1
Wallonie	429	174,3	21,4	258,4	136,1	173,8	27,5

Figure 48: Caractéristiques dendrométriques des peuplements de hêtre (Rondeux et al., 1997).

En ce qui concerne le nombre de tiges, celui-ci est de 155/ha, ce qui est renseigné comme très faible pour les valeurs moyennes de hêtraie en Wallonie qui sont plutôt, en moyenne, de 454 tiges par ha (Alderweireld et al., 2015) . Cette valeur associée à la surface terrière laisse à penser que l'on est dans le cas d'une vieille forêt peu régénérée dans laquelle évolue de gros arbres.

##### *Composition du peuplement*

Cette zone de hêtraie est par définition essentiellement composée de hêtre (84%) accompagné du chêne indigène (14%). Il y a aussi présence d'épicéa et d'érable sycomore mais dont la présence reste anecdotique et représente 1 % de la surface terrière.

##### *Structure du peuplement*

La distribution des tiges par classe de circonférence correspond à une structure classique en J inversé caractéristique des peuplements irréguliers issus de la régénération naturelle (Figure 43: Distribution du nombre de tiges par hectare par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie déperissant. Il est important de mentionner que le nombre de tiges dans les petites classes de circonférences, 45 et 22 tiges à l'ha pour respectivement la classe de 50cm et la classe 70, sont très faibles. Ces valeurs correspondent à la moitié de celles renseignées par Aldenwereld.

Le faible nombre de tiges de hêtre de la figure précédente se traduit ici (Figure 44) par un déficit important en surface terrière dans les classes de circonférence de 50-70cm et ce jusque-là classe de 110 cm de circonférence. Les arbres mesurés dans ces classes de circonférence sont essentiellement des hêtres.

Contrairement à ce déficit, un surstock s'est formé dans les classes supérieures (190 et 230 cm) ce surstock est représenté par une surface terrière supérieure d'1m<sup>2</sup>/ha par rapport à l'équilibre. Ces arbres formant cette proportion du peuplement sont principalement des hêtres et des chênes. Dans les grandes classes de circonférence (>250 cm), on aperçoit un stock sur pied et semencier composés

principalement de chêne. Ces arbres ont atteint leurs termes d'exploitabilité même s'ils représentent encore un intérêt biologique indéniable. Une fois encore, on constate la dynamique de remplacement du chêne par le hêtre. Même si la situation semble ici plus avancée que dans les fonds de vallée. On confirme ici l'impression en amont de la vieille forêt qui ne se trouve pas à l'équilibre, avec la présence d'un surstock important de gros arbres (220-290cm) et peu d'arbres dans les classes inférieures capables de prendre la relève.

### *Régénération*

En effet, la régénération est faible avec seulement un tiers de la surface recouverte par de la régénération (34.6%). Cette régénération est comme le reste du peuplement sur pied, quasi-monospécifique, majoritairement composée de hêtre, avec 91 % du recouvrement total pour cette espèce dans cette zone. Le reste de la régénération est formée par l'épicéa (7.8%) et la présence anecdotique d'érable sycomore et de sorbier. Seuls le hêtre et l'épicéa arrivent à installer une régénération qui s'étalent dans les différents stades jusqu'au stade gaulis perchis (Figure 45). Bien qu'aucune donnée n'ait été prise concernant les dégâts sur la végétation lors de cet inventaire, l'inventaire précédent « *Etude de la dynamique des peuplements feuillus irréguliers* » de 2011 et l'étude sur les enclos-exclos (Licoppe et al., 2012) ont décrit une forte pression du gibier sur la régénération à Saint-Michel-Freyr. Ce qui expliquerait le manque de régénération. D'autre part, la surface terrière est légèrement supérieure à celle renseignée par Rondeux et al (2012) de 18m<sup>2</sup> favorisant l'apparition de la régénération.

### *Accroissement et productivité*

L'accroissement périodique moyen pour la surface terrière et le volume à l'hectare est respectivement de 0.2m<sup>2</sup> et 1.7 m<sup>3</sup>. Les valeurs sont extrêmement faibles et sont les plus basses pour l'ensemble de la forêt. Cela démontre bien le côté dépérissant de ces hêtraies. En comparaison, les valeurs moyennes obtenues pour les accroissements périodiques en conditions normales en 1997 pour l'étude de (Rondeux et al., 1997) étaient pour ce type de hêtraie de haute Ardenne respectivement de 0.42 m<sup>2</sup> et 5.6 m<sup>3</sup>. En considérant l'erreur d'échantillonnage de 60% pour l'accroissement en volume, il y a 95% de chance que l'accroissement en volume soit compris entre 0.5 et 2.99m<sup>3</sup>. Or la valeur maximum de 3 m<sup>3</sup> reste faible pour une hêtraie.

#### 4.3.5.5. Avantages et inconvénients de la zone

##### Avantages :

- Il s'agit d'une forêt ancienne avec une bonne capacité d'accueil. Le dépérissement, bien que négatif pour la sylviculture, offre à cette zone une capacité d'accueil importante pour la biodiversité.

##### Inconvénients :

- Dépérissement important des hêtres sur la zone.
- Forêt quasiment pure avec très peu de diversité au niveau des essences.
- Manque de régénération globale et quasi nulle pour les autres essences.
- Sol facilement tassable.
- Productivité très faible associée à un déficit de bois moyen et petit bois.
- Inquiétude vis-à-vis de la capacité du hêtre à s'adapter aux conditions futures.

#### 4.3.6. Orientation de gestion :

##### 4.3.6.1. Historique du peuplement et interview du propriétaire :

Cette zone de hêtraie dépérissante fait partie des grandes problématiques de Saint-Michel-Freyr qui inquiètent les gestionnaires. L'évolution de ce dépérissement est importante avec comme on peut le constater une évolution considérable du nombre de trouées dans la zone entre 2006 et 2018.

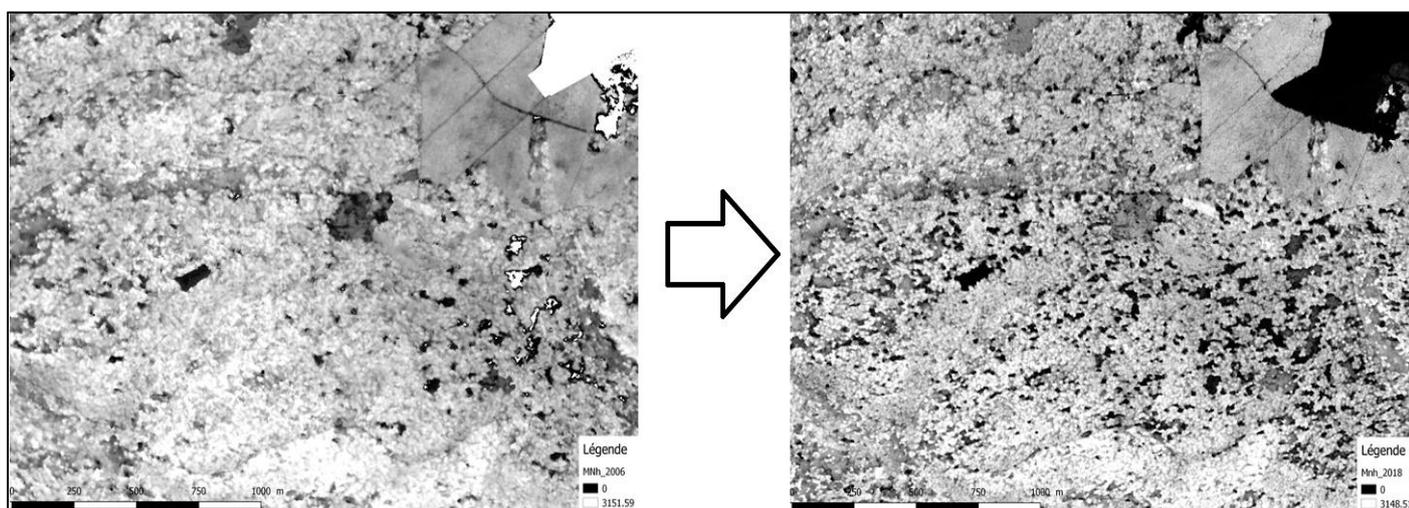


Figure 49: Evolution du nombre de trouées. Comparaison entre le modèle numérique de hauteur e 2006 et 2018 pour une parcelle de la zone hêtraie dépérissante.

La ou les raisons exactes du dépérissement actuel du hêtre dans cette zone ne sont pas forcément encore élucidées. Cependant, plusieurs éléments historiques peuvent avoir joué un rôle important dans ce phénomène.

Tout d'abord, cette forêt a toujours été une forêt particulièrement accueillante pour le gibier. Ce gibier, par le prélèvement qu'il effectue sur les essences les plus appétentes, permet à certaines essences comme le hêtre de se développer davantage et à terme, de former une forêt de plus en plus homogène. Il est aujourd'hui connu et démontré que les forêts ayant une faible diversité en essences, sont plus sensibles aux pathogènes (Yachi et al., 1999) et moins résistantes vis-à-vis des stress abiotiques.

De plus, en 2000 les hêtraies ardennaises ont subi une crise importante. Cette crise du hêtre fut liée à de nombreux éléments successifs provoquant à terme, la mort des arbres. En 1998, un coup de gel a blessé les arbres au niveau du fût. Ces blessures ont ensuite servi de porte d'entrée pour de nombreux ravageurs tels que le scolyte (Claessens et al., 2017). Cette invasion de scolyte facilitée par la faiblesse des hêtres et le caractère homogène de ces forêts a eu d'autres conséquences. Les scolytes se rendant au cambium des hêtres ont servi de vecteur à des champignons lignivores. De nombreux hêtres se sont alors cassés vers 6- 8m, hauteur initiale de la blessure due au gel, à la suite du pourrissement de leur tronc par l'action des champignons.

Cette crise généralisée en Ardenne a affecté plus d'un million de mètre cube de bois. (Delahaye et al., 2016) Ce volume important de bois et la dévaluation de prix associée ont forcé de nombreux gestionnaires à aller récupérer rapidement les bois qui n'avaient pas encore subis trop de dégâts. L'exploitation s'est souvent faite dans le désordre et hors de cloisonnement, ce qui a provoqué de nombreux tassements et déséquilibre forestier. Ce fut aussi le cas à SMF où de nombreuses zones, proches des routes, sont tassées. Or de nombreuses études ont montré l'effet négatif du tassement des

sols forestiers sur les arbres à venir (De Paul et al., 2005) (Herbauts et al., 1995), et un lien avec les dépérissement des feuillus (Nageleisen, 1993)

A la lecture de cet historique, il est raisonnable de croire que le dépérissement actuel du hêtre sur SMF est au moins en partie lié aux différents événements mentionnés dans les paragraphes précédents. D'une part, l'exploitation des grumes de l'époque a eu de nombreuses conséquences néfastes. D'autre part, les arbres dépérissants actuels ne sont peut-être que les rescapés de la crise passée. Ils ont profité de quelques années moins stressantes pour continuer leurs croissances et, sous le stress des dernières années, révèlent leurs anciens stigmates (Claessens et al., 2017).

Par le passé, le DNF a installé des îlots avec clôtures suspendues pour lutter contre la pression du gibier. Le résultat semble encourageant à l'intérieur avec une diversité en essences importantes. A l'extérieur un système d'enclos-exclos (Lehaire et al., 2013) a permis de démontrer la grande pression du gibier sur les espèces ligneuses et l'incapacité des essences plus appétentes de se développer sans protection. « Dans les zones les plus riches protégées par les clôtures, la forêt de hêtres, d'érables et de charmes s'est déjà refermée après 10 ans obscurcissant le sous-bois. Dans l'exclos, témoin comparable lors de l'installation du dispositif en 2000, l'entretien par les herbivores maintient un couvert bas et une végétation herbacée diversifiée mais empêche le rajeunissement de la forêt. » (Licoppe et al., 2012)

#### 4.3.6.2. Définitions des objectifs.

- Rajeunir la forêt pour lutter contre le dépérissement et combler le déficit en petit bois.
- La diversifier pour garantir la continuité de la production, si le hêtre continue à dépérir ou n'est plus adapté, et pour améliorer encore la capacité d'accueil du milieu.
- Mettre une partie en réserve biologique intégrale

#### 4.3.6.3. Scénarios et recommandations sylvicoles :

##### Recommandation générale :

Eviter tout tassement supplémentaire de la zone. Exploitation basé sur un cahier de charge strict (travail par temps sec..), associé à une cartographie précises des cloisonnements existant

##### Changement de statut :

En raison de l'intérêt biologique de cette zone et du contexte lié au projet et à ses ambitions initiales, il serait intéressant d'apporter un statut particulier à certaines parties de cette zone. Ainsi de nombreuses parcelles dont la capacité d'accueil est importante (Figure 25) pourraient se voir attribuer un changement de statut et passer en réserve biologique intégrale. Ce changement de statut permettrait de correspondre aux attentes du projet avec des zones laissées sans interventions humaines où la nature reprendrait ces droits. Cela permettrait aussi au sol de récupérer ces propriétés initiales en l'absence d'exploitation.

La question se pose néanmoins sur le choix de ces zones car la plupart des parcelles décrites comme dépérissantes se trouvent sur le bord de routes. Cela les soumet aux influences extérieures mais

pourrait être favorable au sentiment de naturalité<sup>3</sup> de la forêt, ressentie par les promeneurs dans le cadre du tourisme diffus voulu par le projet.

#### Rajeunir et diversifier la forêt hors de réserve intégrale :

##### Proposition d'actions pour favoriser la régénération globale

- Intensifier les efforts de chasse tout en discutant d'un accord avec les massifs environnants afin de réduire la densité de gibier de manière efficace.
- Mise en place, à plus grande échelle, du système de clôtures suspendues déjà installé, afin de garantir le développement de la régénération (Figure 45) dans certaines zones. Constitution d'une maille de clôtures réparties de manière homogène dans toute la zone.
- Profiter des trouées produites par la mort des hêtres dépérissant pour conduire, dans un premier temps, des îlots de régénération de hêtre. Par la suite d'autres essences pourront se développer avec l'apparition de semenciers.

##### Proposition d'actions pour favoriser le développement d'autres essences.

- Dans les parcelles sous clôture, installation d'essences en station dans la zone : charme, sorbier, bouleau, chêne sessile, érable sycomore, peuplier tremble afin de produire des semenciers futurs. Ceux-ci vont participer à la dispersion naturelle de ces essences dans le reste du massif mais surtout dans les autres parcelles sous clôtures. Avec le temps, il y aura une augmentation du nombre de semenciers.
- Installation des clôtures préférentiellement autour de semenciers d'essences secondaires.
- Travail dans ces clôtures pour favoriser ces essences, détournement systématique de ces essences contre le hêtre. Mise en place d'une sylviculture par arbres objectifs pour favoriser la croissance rapide de ces arbres. A terme, surabondance de semis
- Cartographie des anciens îlots de plantation en essences précieuses et entretien (détournement, mise en lumière)

---

<sup>3</sup> La naturalité, dans son sens environnemental, renvoie au caractère sauvage d'un paysage ou d'un milieu naturel.

## 4.4. Zone hêtraie « saine »

### 4.4.1. Localisation

La zone hêtraie saine correspond à l'ensemble des parcelles ne faisant pas partie de 3 autres zones. Elle représente pour la plupart les parcelles de plateaux non-dépérissantes et de pentes qui redescendent vers la zone fond de vallée. La majorité de ces parcelles est en basse Ardenne et Ardenne centro-orientale. La surface de cette zone est approximativement de 650 ha.

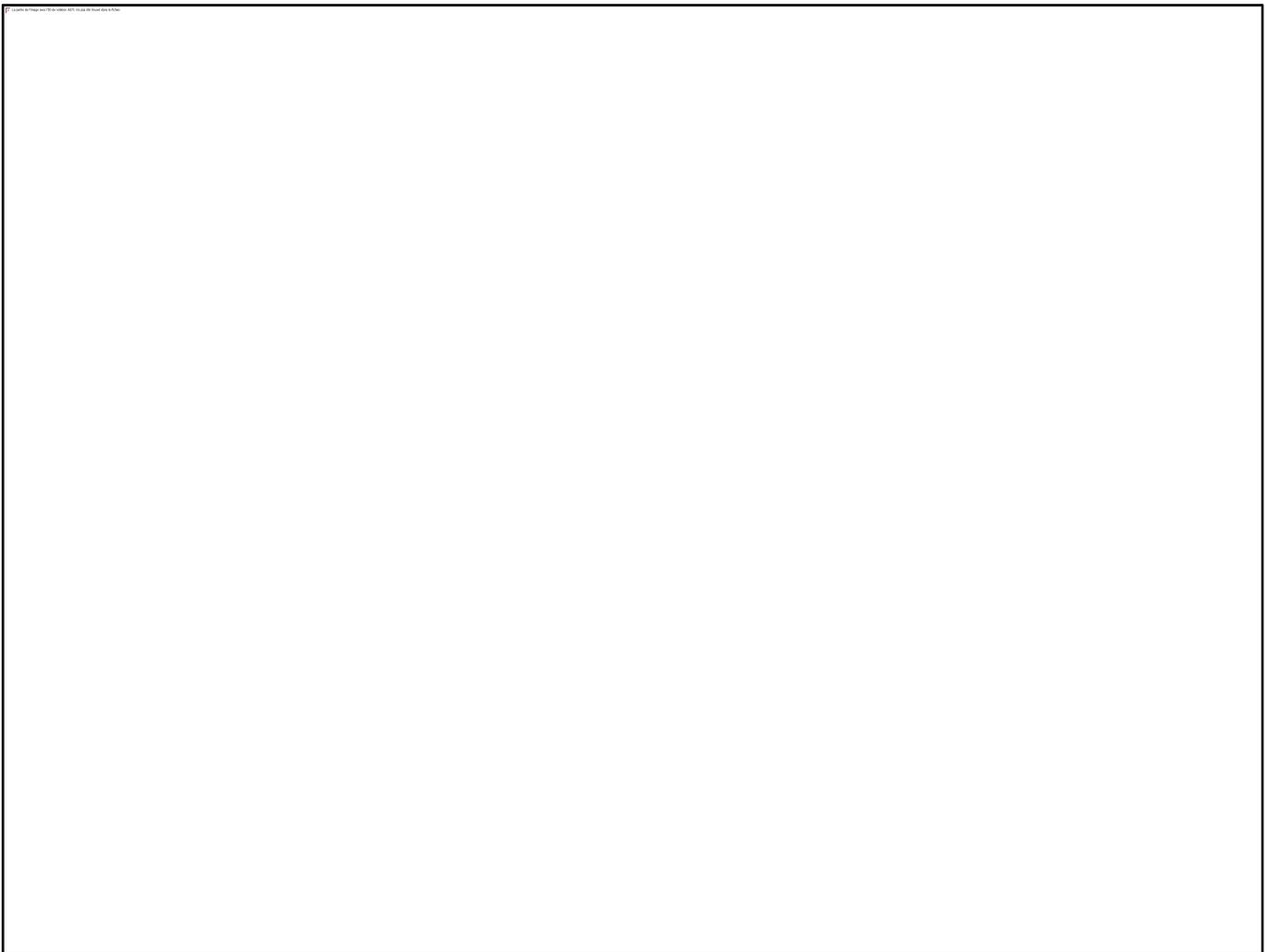


Figure 50: Cartographie de la zone hêtraie saine. Auteur : Valentin Claes, août 2019. Source : Département de la nature et des forêts (Parcelle SMF)

#### 4.4.2. Description du peuplement :

##### 4.4.2.1. Principales données dendrométriques :

Surface(ha)	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume		Total(m <sup>3</sup> )
	Moyenne(m <sup>2</sup> /ha)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha)	Erreur associée (%)	
650	19,1	11.5	206	27.2	215,3	11.6	140 000

Figure 51: Principales valeurs dendrométriques pour la zone hêtraie saine et erreurs associées.

##### 4.4.2.2. Composition du peuplement :

Cette zone est composée en majorité de hêtre (80%) mais avec davantage d'essences ligneuses que dans la zone déperissante. En tout, huit essences ont été recensées sur la zone.

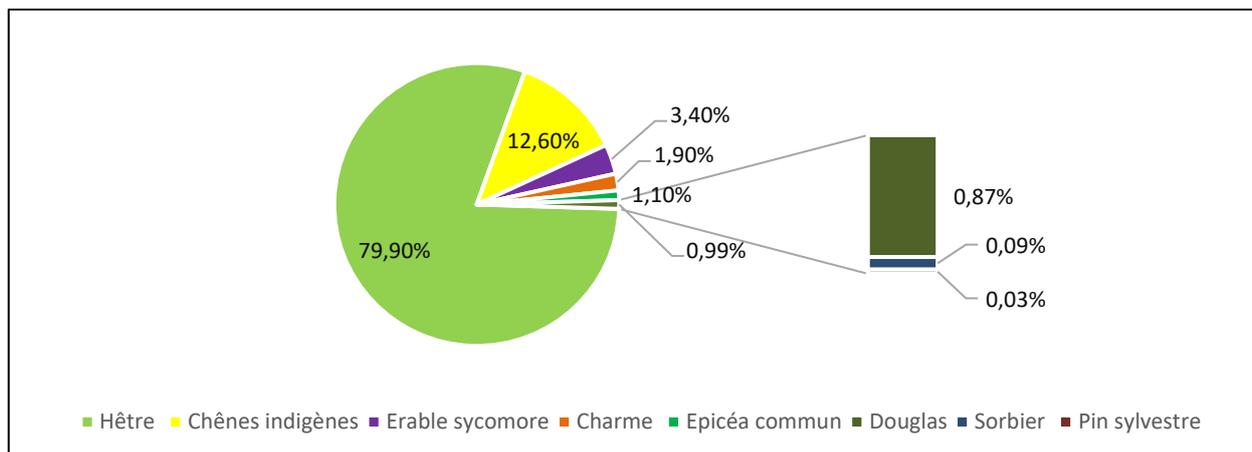


Figure 52: Représentation de la composition en essences pour la zone hêtraie saine.

#### 4.4.2.3. Structure peuplement

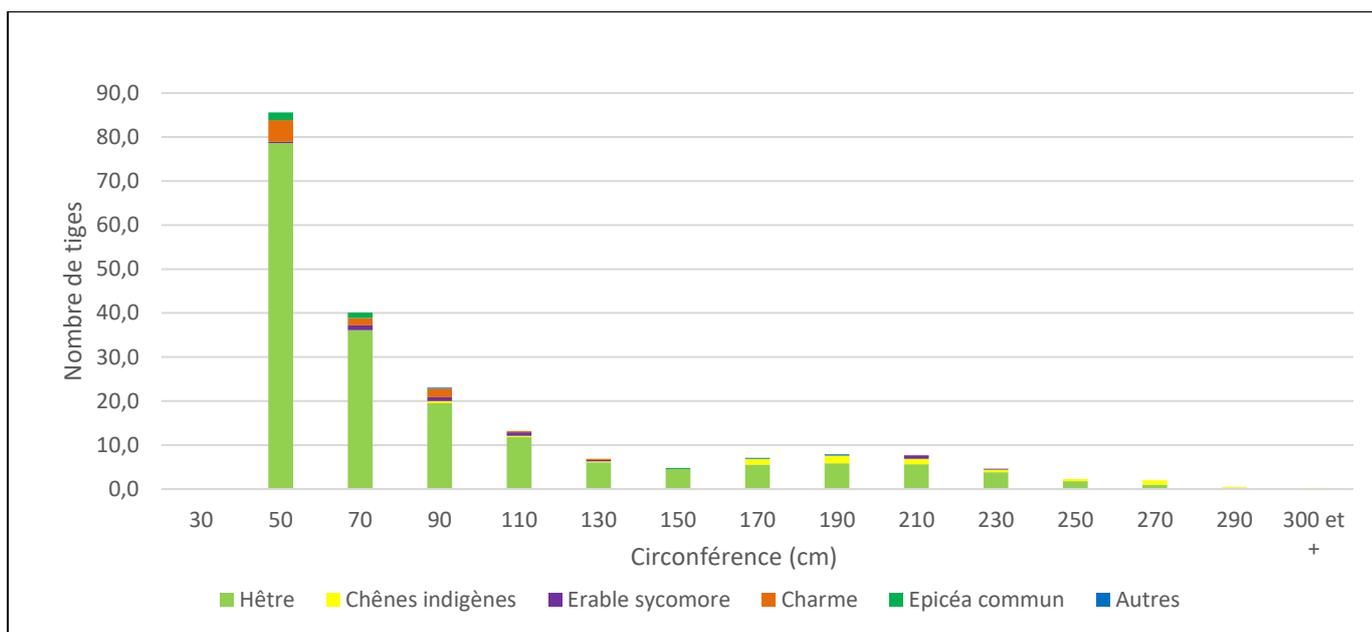


Figure 53: Distribution du nombre de tiges par hectare, par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie saine. La dénomination « Autre » regroupe les essences minoritaires (voir composition).

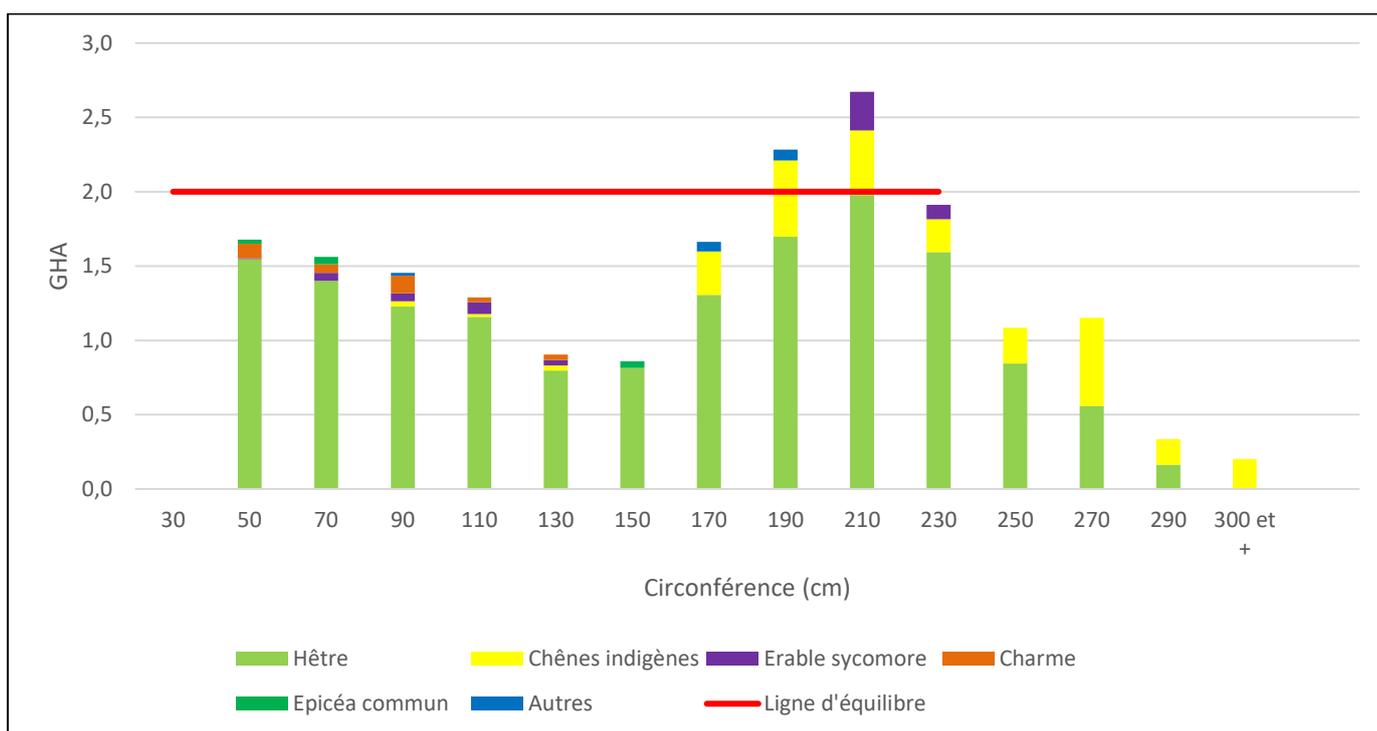


Figure 54: Distribution de la surface terrière par classe de circonférence et par essence pour la zone hêtraie saine

#### 4.4.2.4. Régénération :

Le recouvrement moyen de la régénération est de 40,4%. Le hêtre occupe 91% de ce recouvrement total, suivi de l'épicéa à 6.3%.

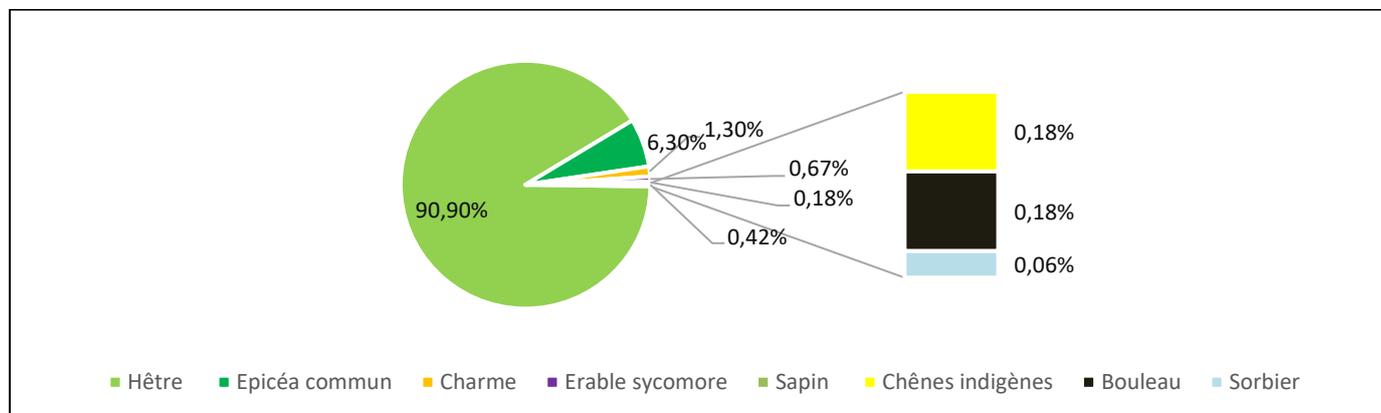


Figure 55: Composition en essences de la régénération présente dans la hêtraie saine

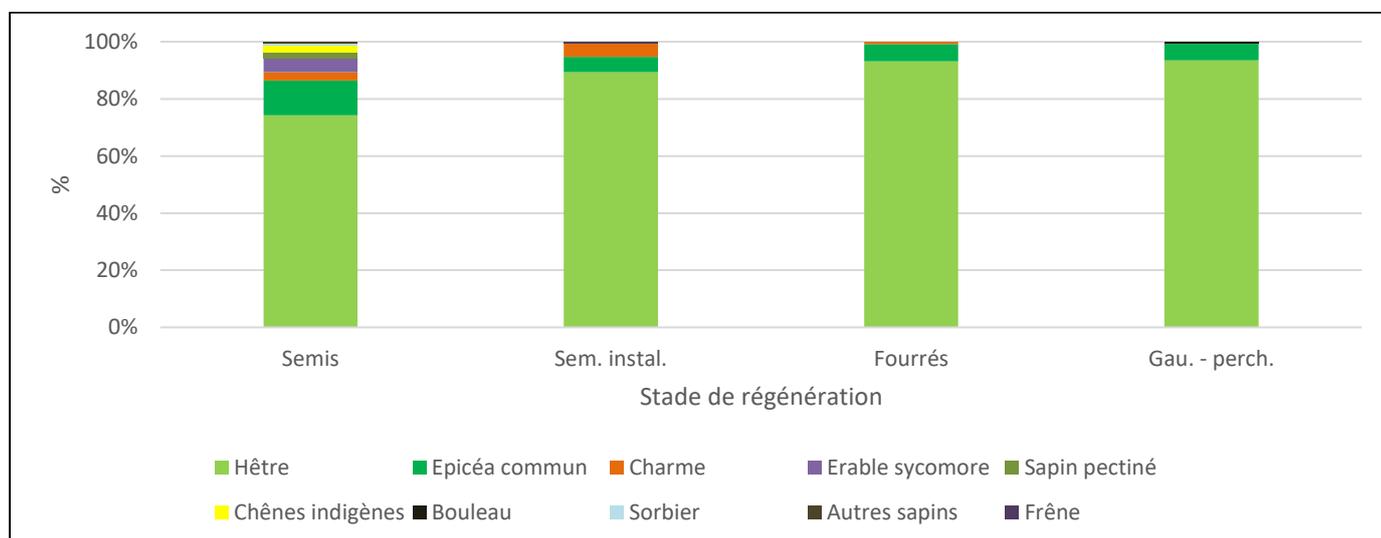


Figure 56: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essence pour la hêtraie saine

#### 4.4.2.5. Accroissement et productivité :

Accroissement peuplement :

	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume	
	Moyenne (m <sup>2</sup> /ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha.an)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha.an)	Erreur associée (%)
<b>Accroissement périodique</b>	0,4	38,9			5,5	43,1
<b>Passage à la futaie</b>	0,1	104,2	10,9	104,2	0,9	104,2
<b>Prélèvement</b>	0,1	204	1,6	94,9	1,1	221,2
<b>Mortalité</b>	0	187,7	0,4	189,7	0,1	190

Tableau 16: Résultats de l'accroissement et des paramètres associés, pour la surface terrière, le nombre de tiges et le volume. Avec leurs erreurs associées. Zone hêtraie saine.

#### 4.4.3. Description de la capacité d'accueil de la zone hêtraie saine.

Les notes suivantes permettant par la suite de calculer les valeurs IBP sont obtenues sur base de la grille de cotation fournie par (Gonin et al., 2013).(Annexe 3)

Tableau 17: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone hêtraie saine

Critère	Note	Remarque
<b>Facteurs liés au peuplement et à la gestion forestière</b>		
A - Essences forestières autochtones	2	2 à 4 essences sont présentes en général sur cette zone
B - Structure verticale de la végétation	5	Strate herbacée et semi-ligneuse, strate occupée par le feuillage : bas (<7m) / intermédiaire (7-20m) / haut (>20m). Les 4 strates sont présentes sur la placette
C - Bois mort sur pied de « grosse » circonférence	2	Le nombre de bois mort sur pied est compris entre 1 et 2 pieds par ha
D - Bois mort au sol de « grosse » circonférence (longueur ≥ 1m)	2	Le nombre de bois mort au sol est compris entre 1 et 2 troncs par ha
E - Très gros bois vivants	2	Il y a ≥ 1 et < 5 arbres/ha qui font plus de 220 cm de circonférence
F - Arbres vivants porteurs de micro-habitats	5	6 arbres/ha et plus sont porteurs de micro-habitats
G - Milieux ouverts	2	1 à 5% de la zone est composé de milieux ouverts
<b>Sous total</b>	<b>20</b>	<b>57% du score maximal</b>
<b>Facteurs liés au contexte</b>		
H - Continuité temporelle de l'état boisé	5	Anciennes forêts attestées par leur présence sur la carte de Ferraris (1770-1778)
I - Habitats aquatiques	2	1 seul type de milieux aquatique (mare)
J - Milieux rocheux	0	/
<b>Sous total</b>	<b>7</b>	<b>47% du score maximal</b>
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>54% du score maximal</b>

##### 4.4.3.1. Représentation des différentes composantes des deux valeurs IBP

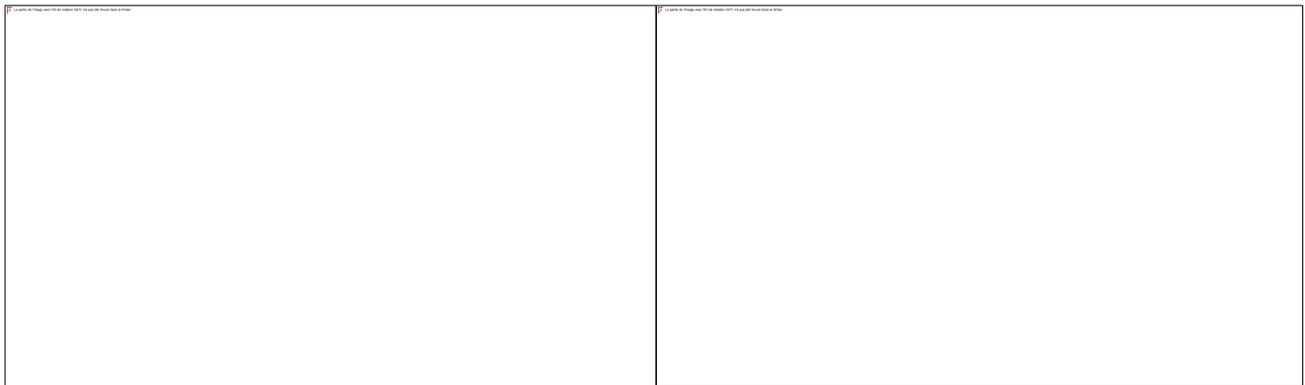


Figure 57: Représentation schématique des valeurs des facteur IBP pour la zone hêtraie saine

#### 4.4.4. Description stationnelle de la zone hêtraie saine

Cette zone est principalement composée de 3 types de stations. Les plateaux méso-oligotrophes, comme pour la zone hêtraie déperissante, la station dite hygrosiaphyles acidoclines et la station xéro-oligotrophe. Ces stations se partagent la zone avec une distribution surfacique plus ou moins équivalente. La surface de la station xéro-oligotrophe étant légèrement plus petite.

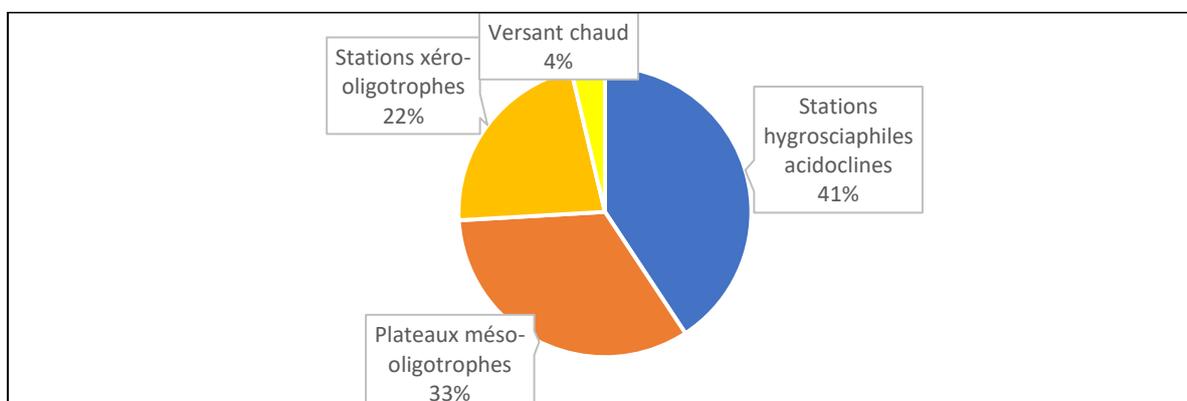


Figure 58: Proportion de placettes d'inventaire par type de stations pour la zone hêtraie déperissante

#### 4.4.5. Analyse AFOM :

##### 4.4.5.1. Sensibilité et potentialité :

En raison du nombre plus élevé de station, les sensibilité et potentialité sont données sous forme de tableaux pour cette zone. La station plateaux méso-oligotrophes ayant déjà été détaillée dans la zone précédente, on s'intéressera ici plus particulièrement aux 2 autres types de stations (Cordier, 2018).

	<b>La station Xéro-oligotrophe</b>	<b>La station hygrosiaphyles acidoclines</b>
Potentiel sylvicole global :	Très faible	Elevé
Réserve en eau	Faible: particulièrement en pente ou le ruissèlement est plus important. Sur les pentes exposées au sud les réserves en eau sont encore plus faibles en raison de l'exposition	Varie selon la profondeur du sol. Mais condition améliorante (Hygrométrie élevé et zone peu exposée)
Nutrition	Disponibilité en éléments très faible. Dans les contextes très acides, il existe un risque d'intoxication à l'aluminium.	Station très fertile. La variante neutrocline l'étant encore davantage.
Ancrage	Moyen: variable selon la profondeur de sol et le type de roche. Dans tous les cas, favoriser les essences à enracinement puissant et profond.	Moyen : variable selon la profondeur de sol et si le sol est très caillouteux. Si faible profondeur et très caillouteux favoriser les essences à enracinement puissant et profond.
Aération	Bonne : risque d'asphyxie racinaire nulle	Bonne : Pas de risque d'asphyxie racinaire.

Tableau 18 : Comparaison des caractéristiques stationnelles pour les stations xéro-oligotrophes et hygrosiaphyles acidoclines pour la zone hêtraie saine

On a donc ici une zone avec 3 stations ayant des potentiels sylvicoles différents. Avec dans l'ordre croissant de potentiel : la station xéro-oligotrophe, les plateaux méso-oligotrophes et la station hygrosiaphile acidocline.

Afin de garantir le potentiel sylvicole de ces stations, certaines sensibilités sont à prendre en compte. Les 3 stations courent un risque d'acidification. L'acidification des sols peut conduire à un processus de podzolisation et réduire leur disponibilité en éléments minéraux. Le lessivage des éléments minéraux aurait pour conséquence la réduction de la croissance des arbres.

Les risques de tassement concernent, eux, principalement la station des plateaux comme expliqué dans la zone hêtraie dépérissante. Cependant bien que de nombreuses études soient faites sur le sujet de nombreuses lacunes existent encore dans la compréhension du tassement et de leurs effets sur la végétation et il convient donc de protéger les différents sols dans tous les cas. (De Paul et al., 2005)

#### 4.4.5.2. Adéquation des essences en place :

Les principales essences répertoriées lors de l'inventaire sont le hêtre, le chêne, l'érable sycomore et le charme. Au regard du catalogue de stations, ces essences (excepté l'érable) sont à l'optimum ou du moins en tolérance pour les 2 plus grands types de station : les plateaux méso-oligotrophe et la station hydrociaphile (Cordier, 2018). Le cas de l'érable sycomore est plus particulier car celui-ci ne se trouve en station que dans la station hydrociaphile. Il est à l'optimum en basse Ardennes et en tolérance en Ardenne centro-orientale.

La station xéro-oligotrophe par sa plus faible potentialité sylvicole possède un nombre plus restreint d'essences pouvant s'y développer. On remarque toutefois que le chêne sessile y est en tolérance. Au regard du parcellaire et de la carte des stations, on se rend compte que les parcelles composant cette station sont majoritairement peuplées de chênes et qu'ils y sont donc en station.

#### 4.4.5.3. Potentiel d'accueil pour la biodiversité

La valeur de l'IBP totale de cette zone est de 54% ce qui correspond à un score moyen si l'on suit le classement donné par Larrieu et al. La capacité d'accueil pour la biodiversité est donc dans la moyenne pour cette zone

Si on décompose cette valeur totale en la valeur pour le peuplement et le contexte on se rend compte qu'il y a un certain équilibre entre les deux valeurs. Les deux valeurs sont proches des 50% avec respectivement (57 et 47%). La valeur relative de l'IBP-peuplement est légèrement plus élevée que celle liée aux contextes.

Les micro-habitats les plus représentés sont à l'instar de la hêtraie dépérissante, les cavités à fond dur, les cavités de pics, les cavités remplies d'eau et les champignons carpophores... Bien que leurs valeurs moyennes soient légèrement plus basses que dans le cas de la précédente zone. La différence majeure de la valeur de peuplement entre ces deux zones se fait au niveau des bois morts au sol, où on a dans cette zone moins de 3 arbres morts au sol/ha. Il y a donc en moyenne 1 arbre mort au sol en moins par ha, ce qui pourrait en partie confirmer la délimitation de la zone hêtraie dépérissante.

La présence de nombreux très gros bois vivants et de zones de trouées contribue à l'augmentation de la valeur de peuplement. De nombreux micro-habitats et facteurs tels que les très gros bois vivants, sont liés au caractère âgé de cette forêt. La valeur plus élevée de l'IBP-Contexte par rapport à la hêtraie dépérissante tient au fait qu'il existe quelques milieux aquatiques parsemés dans le peuplement tel que des mares et des fossés humides. Finalement, cette zone obtient le troisième score IBP-total le plus élevé, devant les peuplements résineux. Plusieurs éléments pourraient être améliorés afin d'accroître la capacité d'accueil de ces peuplements. Il s'agit principalement de la quantité de bois morts au sol et du nombre d'essences présentes.

#### 4.4.5.4. Interprétation des données dendrométriques :

##### *Données générales*

La surface terrière ainsi que le volume sur pied de cette zone sont respectivement de 19.1m<sup>2</sup> et 215 m<sup>3</sup> à l'hectare. Ces valeurs sont plus faibles que celles renseignées (Rondeux et al., 1997) pour la moyenne et haute Ardennes.

Régions forestières	Nombre de placettes	NHA (n/ha)	GHA (m <sup>2</sup> /ha)	VHA (m <sup>3</sup> /ha)	CMOY (cm)	CDOM (cm)	HDOM (m)
Ardenne	355	182,6	21,8	262,5	133,4	171,5	27,4
<i>Basse</i>	41	206,2	20,6	243,1	129,7	173,4	28,5
<i>Moyenne</i>	192	178,6	21,6	258,9	133,8	169,6	27,6
<i>Haute</i>	122	180,9	22,7	274,6	134,2	174,0	26,8
Région jurassique	62	125,3	18,7	229,1	148,2	182,1	28,1
Wallonie	429	174,3	21,4	258,4	136,1	173,8	27,5

Tableau 19: Caractéristiques dendrométriques des peuplements de hêtres.(Rondeux et al., 1997)

##### *Composition du peuplement*

Les deux essences majoritaires composant cette zone sont le hêtre et chêne, avec respectivement 80% et 14.5 % de la surface terrière. Le reste de la surface terrière est répartie entre l'érable (3.4%) le charme (1.7%), l'épicéa (1.2%) le douglas (0.9%) et le pin sylvestre (0.04). Il s'agit d'une forêt quasiment pure. Dans lesquelles des parcelles de chênaie pure et de hêtraie-chênaie font remonter la proportion de surface terrière des essences autres que le hêtre.

##### *Structure du peuplement*

La distribution des tiges par classe de circonférence correspond à une structure classique en J inversé caractéristique des peuplements irréguliers issus de la régénération naturelle. (Figure 53). Les valeurs présentes sont proches (légèrement supérieures) de celles renseignées par Aldenwereld. Elles décrivent un peuplement à l'équilibre.

Au regard du graphique des surfaces terrières (Figure 54) il existe néanmoins un déficit léger dans les classes de circonférence de 50-70cm. Cet écart par rapport à la courbe d'équilibre devient plus important (jusqu'à 1m<sup>2</sup>) pour les classes de 110cm à 170 cm. Les arbres mesurés dans ces classes de circonférences sont essentiellement des hêtres.

Contrairement à ce déficit, un surstock s'est formé dans les classes supérieures (190 et 230 cm). Ce surstock est représenté par une surface terrière supérieure d'0.5m<sup>2</sup>/ha par rapport à l'équilibre et est plus faible que dans le cas des hêtraies déperissantes. Les arbres formant cette proportion du peuplement sont principalement composés de hêtres et de chênes. Dans les grandes classes de circonférence (>250 cm), on aperçoit un stock sur pied et semencier composé de chêne et de hêtres.

Le charme se trouve dans les premières classes de circonférences pour ne plus être présent après les 130 cm de circonférence. Tandis que la distribution de l'érable est morcelée avec des semenciers dans les classes 210 à 230. Il y a une partie de bois dans les classes de 70 à 110 cm. L'épicéa se trouve dans les premières classes de circonférence (50-70cm) et est lié à la régénération naturelle des parcelles résineuses dans la hêtraie avoisinante. Le chêne devient vraiment présent vers la classe 170 cm et avec une distribution plus ou moins homogène jusque 300 cm de circonférence. Une fois

encore on constate la dynamique de remplacement du chêne par le hêtre. Même si la situation semble ici plus récente que dans la hêtraie de plateaux.

### *Régénération*

La valeur de recouvrement de la régénération est légèrement plus haute (42%) que dans le cas de la hêtraie déperissante. Cela peut être dû à une surface terrière légèrement plus faible que dans la situation précédente. Ici encore ce sont le hêtre et l'épicéa qui en composent la majorité, respectivement 91.3 % et 6.3%. Avec quelques charmes, érables, bouleaux, frênes et aubépines mais dont le recouvrement reste assez faible <1% du recouvrement total.

De plus, comme dans les 2 dernières situations précédentes, l'épicéa et le hêtre sont les deux seules essences à réussir à passer les différents stades de la régénération pour faire partie du peuplement à l'avenir. Les autres essences n'ayant pas de possibilité de se développer. Comme dans le reste des zones, le cas le plus extrême est le chêne avec un très grand manque de tiges capables de maintenir la pérennité de cette essence.

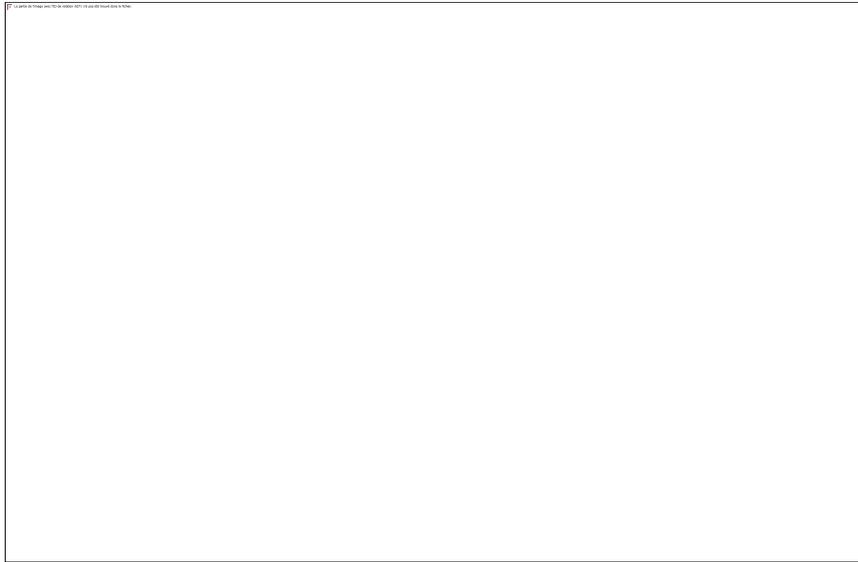


Figure 59: Distribution du nombre de tiges à l'ha pour le hêtre dans la zone hêtraie saine

## Accroissement

Les accroissements périodiques à l'hectare sont respectivement de  $0.5\text{m}^2$  pour la surface terrière et de  $5\text{ m}^3$  pour les volumes. Ces valeurs sont très proches des valeurs données par Rondeux et al.



Tableau 20: Valeurs des accroissements et des coefficients de variation relatifs aux surfaces terrières, (Rondeux et al., 1997)

Cette zone a donc une production moyenne correcte et représentative des autres hêtraies des Ardennes. Ce qui pourrait confirmer que cette zone est bien non-dépérissante.

### 4.4.5.5. Avantages et inconvénients de la zone :

Avantages :

- Présence de chênes et de zones particulièrement favorables à cette essence.
- Hêtraie non-dépérissante.
- Accroissement moyen correct
- Potentiel d'accueil de la biodiversité moyen et améliorable.

Inconvénients :

- Remplacement du chêne par le hêtre.
- Régénération défavorable pour les essences appétentes.
- Sol sensible au tassement

#### 4.4.6. Orientation de Gestion :

##### 4.4.6.1. Historique du peuplement et interview du propriétaire

Cette zone de hêtraie saine est une zone qui historiquement a été davantage épargnée que la zone hêtraie déperissante. Tout d'abord cette zone se trouve à des altitudes moins élevées que la zone hêtraie déperissante. Or, le phénomène lié à la crise du hêtre de 2000 expliqué en amont était lié au froid et à surtout touché les peuplements situés à + de 350 m d'altitude. Il y a donc eu moins de hêtre touché sur cette zone, ce qui implique moins d'exploitations. Le nombre réduit d'exploitation à risque effectuée sur cette zone lors de la crise de 2000 a permis d'éviter le phénomène de tassement important que l'on connaît sur le plateau. De plus, ces sols se trouvent en légère pente, ce qui fait qu'ils sont mieux drainés et moins sensibles au tassement que les sols du plateau.

##### 4.4.6.2. Définitions des objectifs.

- Conserver le potentiel non-déperissant de la zone.
- Diversifier la forêt.
- Garantir la recrudescence du chêne.

##### 4.4.6.3. Proposition de scénarios et recommandations sylvicoles :

###### Conserver le potentiel non-déperissant de la zone :

- Par une protection stricte des sols. Pour éviter les tassements et prévenir tout risque de déperissement lié à ceux-ci. Attention plus particulière sur les plateaux méso-oligotrophes plus facilement tassable et proches de la zone déperissante.
- Cartographie précise des cloisonnements existant et des zones tassées.
- Surveillance accrue des parcelles en bord des parcelles déperissantes.

###### Diversifier la forêt :

- Propositions identiques que celles formulées pour la zone hêtraie déperissante : Installation d'un ensemble de clôture dans lesquels la régénération peut se développer et où les essences tels que l'érable, le chêne, le bouleau ..sont plantés et détourés.
- Réfléchir, conjointement, la disposition des clôtures pour les deux zones. Pour former un réseau de diffusion des semences et des semis à travers la forêt.
- Choix d'essences à fagne améliorante pour diminuer le risque d'acidification des sols
- Amélioration par la même occasion de la capacité d'accueil du milieu par l'augmentation du nombre d'essences.

###### Garantir la recrudescence du chêne :

- Action plus spécialisée sur le chêne, car on se trouve dans une zone propice à son développement.
- Mise en place de clôtures suspendues dans les peuplements de chênes et de hêtraies-chênaies.

- Privilégier les stations moins favorables aux hêtres (station xéro-oligotrophe, versant chaud) pour l'installation des clôtures et devoir moins agir contre la dynamique naturelle de colonisation du hêtre et offrir toute leur chance aux jeunes chênes.

## 4.5. Zone résineuse

### 4.5.1. Localisation

La zone dite résineuse est par définition l'ensemble des parcelles comprenant des peuplements résineux. Le choix a été fait de ne prendre en compte que les parcelles à majorité ou en totalité enrésinées et non pas les parcelles avec un mélange de feuillus et de résineux.

La plupart des parcelles se trouve sur les contours du lieu-dit de la Flash et dans le nord-est du domaine. D'autres parcelles de plus petites tailles sont disséminées sur Saint-Michel-Freyr. Pour la plupart, elles se trouvent à des altitudes importantes >400m sur le plateau principal ou sur la botte sud-ouest, près de la fagne à saule. Cette zone se trouve principalement en haute Ardenne, avec quelques parcelles en Ardenne centro-orientale.

### 4.5.2. Mise à jour du parcellaire :

Un travail en amont, effectué sur base d'un entretien avec Philippe Moes associé à une étude cartographique du MNH de 2018, a permis de mettre à jour le parcellaire résineux. Ainsi les mises à blanc effectuées en 2018 et qui n'étaient pas comprises dans le parcellaire d'origine ont été rajoutées aux coupes rases déjà mentionnées par celui-ci. Au total, 8 parcelles ont été rajoutées au 20 coupes rases déjà mentionnées dans le parcellaire d'origine. Cette zone reprend donc uniquement les parcelles sur lesquelles un peuplement est sur pied. Cette étape a aussi été nécessaire pour la modélisation des peuplements sur pied pour éviter d'estimer des volumes de bois déjà mis à blanc.

Après la mise à jour du parcellaire, cette zone comprend 156 parcelles. Au total, la surface de cette zone est approximativement de 176 ha. Les parcelles de cette zone font en moyenne 1.1ha. Avec une plus grande parcelle proche des 7 ha et qui se trouve près de la Flash.



Figure 60: Cartographie de la zone résineuse. Auteur Valentin Claes, août 2019. Source: Gembloux Agro-Bio Tech, serveur cartographique

### 4.5.3. Description du peuplement :

#### 4.5.3.1. Principales données dendrométriques

Surface(ha)	Surface terrière		Nombre de tiges		Volume		Total(m <sup>3</sup> )
	Moyenne(m <sup>2</sup> /ha)	Erreur associée (%)	Moyen (Nb/ha)	Erreur associée (%)	Moyen (m <sup>3</sup> /ha)	Erreur associée (%)	
180	24.7	36,7	472.5	65,7	279.6	38.1	50 400

Figure 61: Valeurs de surface terrière, du nombre de tiges et de volume pour la zone résineuse et erreurs associées.

#### 4.5.3.2. Composition du peuplement :

Ces peuplements se composent en majorité d'épicéa commun (65%), de mélèze (14,5%) et de hêtre (11,8%). Ils sont complétés par du douglas et des chênes indigènes.

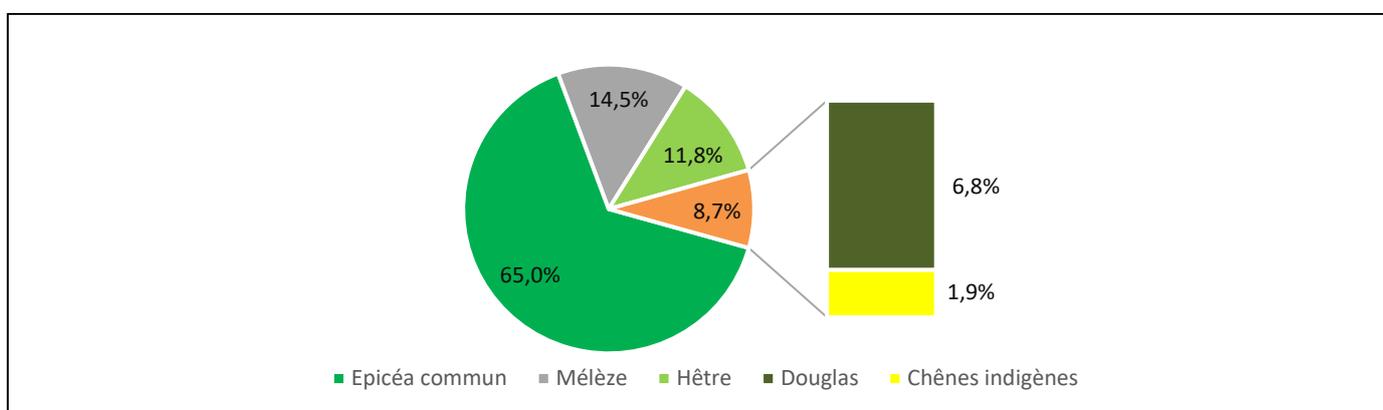


Figure 62: Représentation de la composition en essences pour la zone résineuse. Ces résultats sont basés sur les données de l'inventaire dendrométrique

#### 4.5.3.3. Structure du peuplement :

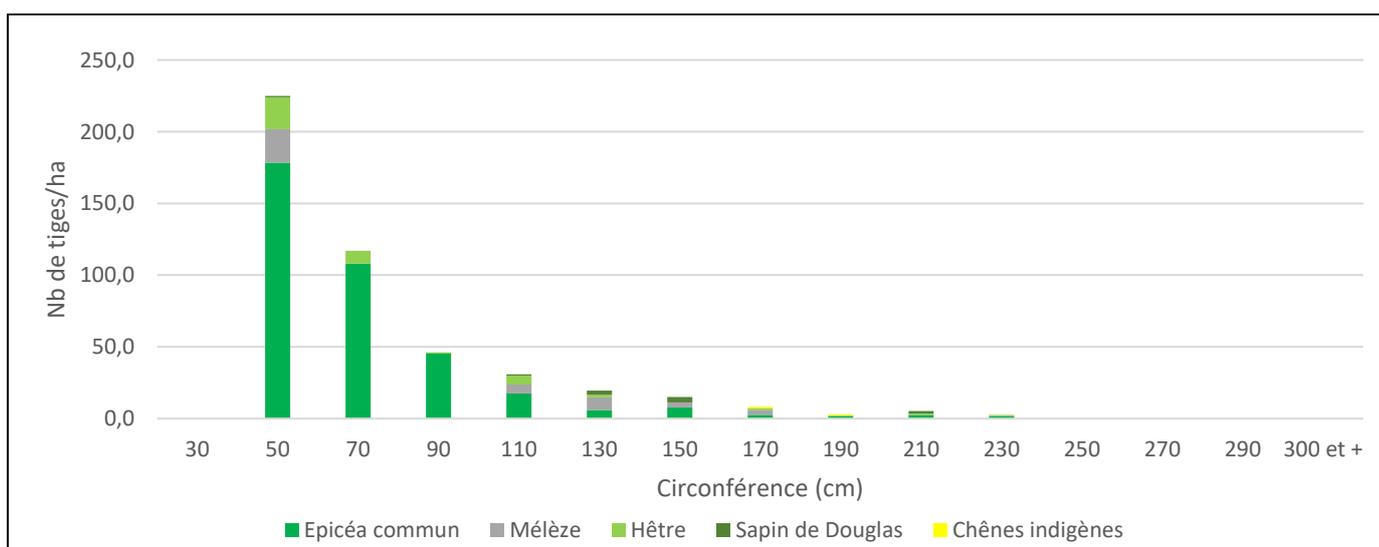


Figure 63: Distribution du nombre de tiges par hectare, par classe de circonférence et par essence pour la zone résineuse.

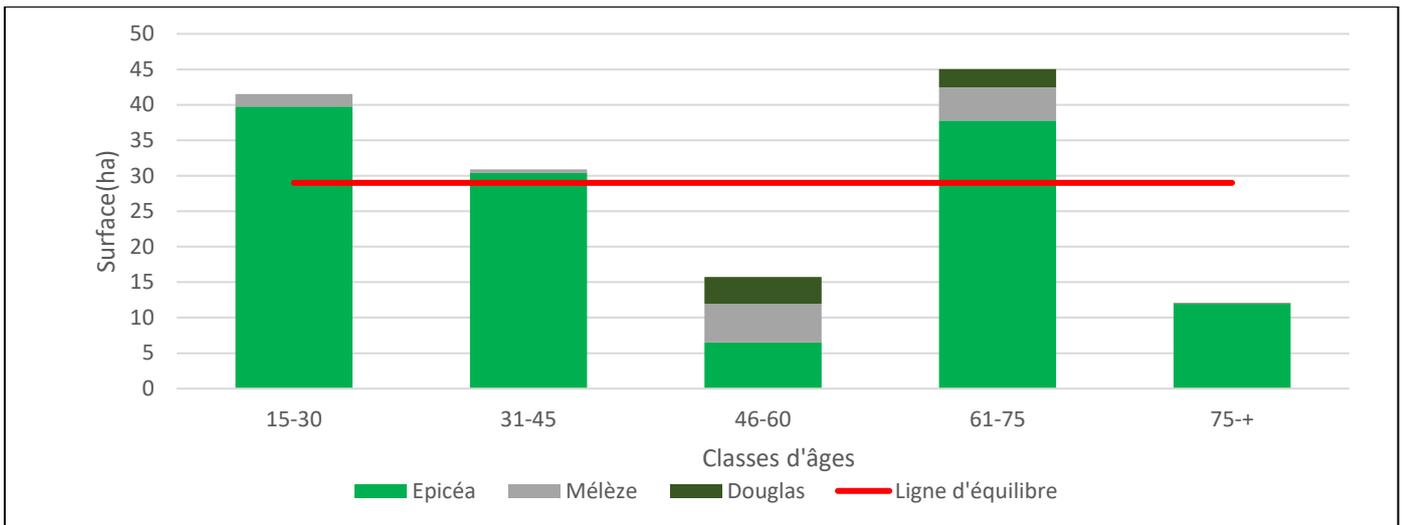


Figure 64: Distribution surfacique par classe d'âge de chaque essence résineuse. Et ligne d'équilibre associée. Données tirées du parcellaire

La ligne d'équilibre exprime une situation d'égale répartition des surfaces par classe d'âge. Il s'agit d'une notion théorique permettant de savoir si ces peuplements sont à l'équilibre.

#### 4.5.3.4. Régénération :

Le recouvrement moyen de la régénération dans cette zone est de 44.9%. Cette régénération est composée en majorité d'épicéa, de hêtre et de mélèze.

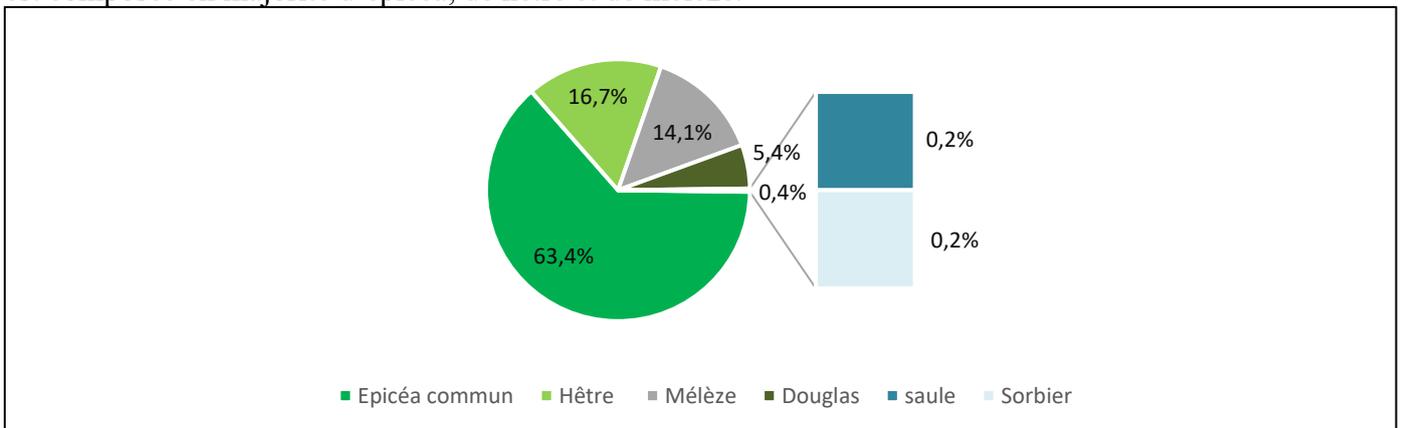


Figure 65: Représentation de la composition en essences de la régénération pour la zone résineuse

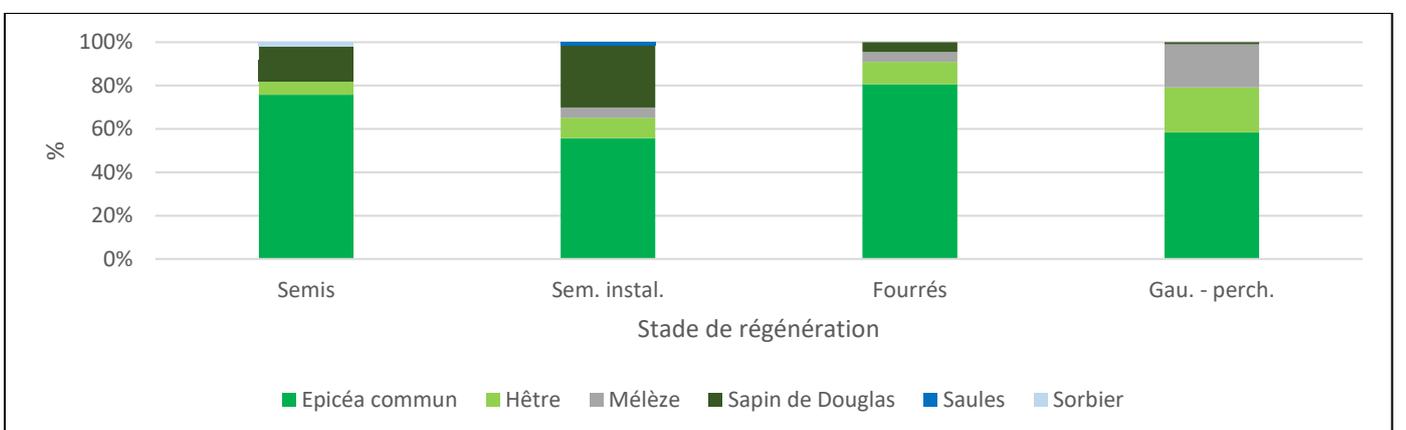


Figure 66: Pourcentage de recouvrement par stade de régénération et par essence pour la zone résineuse.

#### 4.5.3.5. Accroissement et productivité :

Des valeurs d'accroissement n'ont pas pu être calculées pour cette zone. En effet, les inventaires précédents ne comprenaient pas les peuplements résineux ce qui ne permet donc pas de faire de comparaison entre les deux inventaires. Ces accroissements pourront, cependant, être calculés lors d'un prochain inventaire. Néanmoins la productivité historique des parcelles peut être indiquée de manière indirecte grâce à leurs âges et à leurs hauteurs via à la notion de classes de productivité.

#### 4.5.3.6. Distribution des classes de productivité par proportion surfacique pour chaque essence résineuse :



Figure 67 : Proportion surfacique par classe de productivité et par essence résineuse. Les chiffres dans les histogrammes indiquent la classe de productivité.

	Classe de productivité 0 à 2	Classe de productivité 3 et +	Total
Epicéa	38%	62	100%
Mélèze	71%	29%	100%
Douglas	16%	84%	100%

Tableau 21: Répartition surfacique des différentes essences en classes de productivité.

#### 4.5.4. Description de la capacité d'accueil de la zone résineuse

Les notes suivantes permettant par la suite de calculer les valeurs IBP sont obtenues sur base de la grille de cotation fournie par (Gonin et al., 2013). (Annexe 3)

Tableau 22: Valeurs obtenues pour les différents facteurs de l'IBP pour la zone résineuse

Critère	Note	Remarque
<b>Facteurs liés au peuplement et à la gestion forestière</b>		
A - Essences forestières autochtones	0	Présence au maximum de 2 essences
B - Structure verticale de la végétation	5	Strate herbacée et semi-ligneuse / strate occupée par le feuillage : bas (<7m) / intermédiaire (7-20m) / haut (>20m). Les 4 strates sont présentes sur la placette
C - Bois mort sur pied de « grosse » circonférence	0	Peu ou pas de bois mort sur pied (<1ha)
D - Bois mort au sol de « grosse » circonférence (longueur ≥ 1m)	0	Peu ou pas de bois mort au sol (<1ha)
E - Très gros bois vivants	0	Peu ou pas de très gros bois vivants (<1ha)
F - Arbres vivants porteurs de micro-habitats	5	6 arbres et plus par hectare sont porteurs d'un micro-habitat
G - Milieux ouverts	2	La surface du milieu ouvert est <1% ou >5%
<b>Sous total</b>	<b>12</b>	<b>34% du score maximal</b>
<b>Facteurs liés au contexte</b>		
H - Continuité temporelle de l'état boisé	2	Cette zone est une forêt, cependant son origine anthropique et les grandes perturbations (mises à blanc ,etc..) réduisent son caractère ancien.
I - Habitats aquatiques	2	1 seul type de milieu aquatique (principalement fossé non entretenu et mares)
J - Milieux rocheux	0	/
<b>Sous total</b>	<b>4</b>	<b>27% du score maximal</b>
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>32% du score maximal</b>

##### 4.5.4.1. Représentation des différentes composantes des deux valeurs IBP

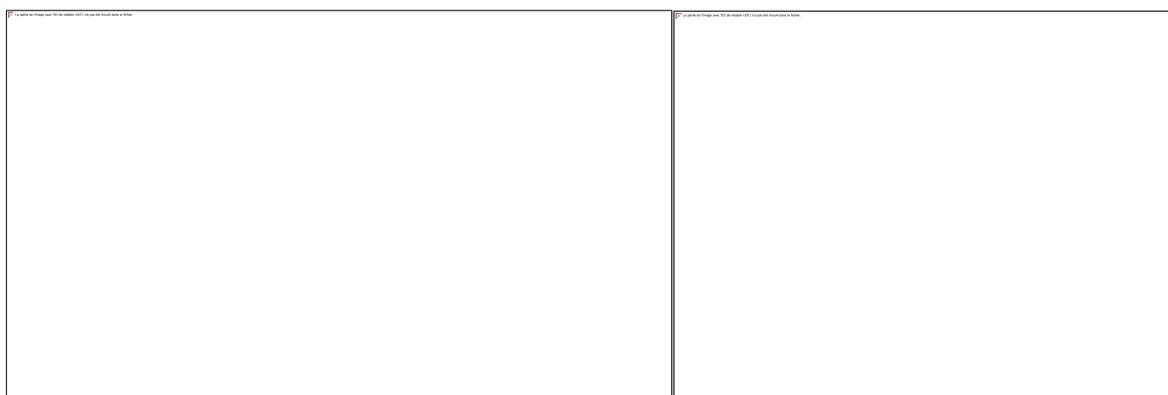


Figure 68: Représentation schématique des valeurs des facteur IBP pour la zone résineuse

#### 4.5.5. Description stationnelle de la zone résineuse

Les parcelles de cette zone sont pour la très grande majorité (78%) situées sur la station argile blanche à régime hydrique alternatif. «Ce type de station se trouve principalement sur les plateaux , ou un horizon argileux imperméable permet la formation d'une nappe d'eau, alimentée par les pluies. » (Cordier, 2018). Le reste de la zone est composé de plateaux méso-oligotrophe.

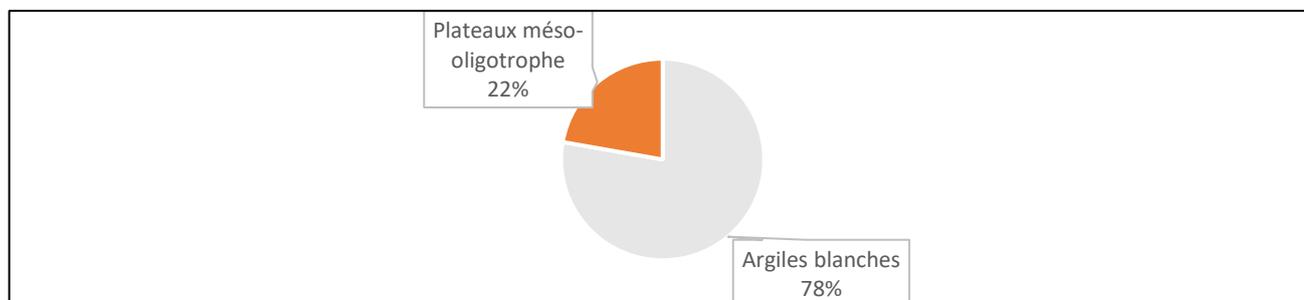


Figure 69: Proportion de placette d'inventaire par type de station pour la zone résineuse

#### 4.5.6. Analyse AFOM

##### 4.5.6.1. Sensibilité et potentialité :

Les peuplements de cette zone se trouvant principalement sur des argiles blanches, et les plateaux méso-oligotrophes ayant déjà été présentés par deux fois, la présente discussion s'attardera plus particulièrement sur les caractéristiques de la station « argiles blanches ».

Les argiles blanches, constituant un milieu particulièrement défavorable, possèdent un potentiel sylvicole considéré comme faible. Il s'agit en effet d'une station peu fertile, caractérisée par la présence d'un horizon blanchi par le lessivage important des éléments minéraux. Les réserves en eau dépendent de la profondeur à laquelle la couche imperméable se situe. Cette couche imperméable forme un plancher qui peut rendre plus ou moins contraignant la croissance des arbres s'y développant. Cette station est caractérisée par un régime hydrique alternatif alternant des périodes avec des faibles réserves en eau lors des périodes sèches et des moments où l'eau est en trop plein lorsque la pluviométrie est élevée. Ce qui provoque selon la profondeur de la couche imperméable des contraintes plus ou moins élevées. Le niveau de contrainte augmente avec la diminution de la profondeur de la couche imperméable.

Un des risques principaux pour ce type de station est le risque d'asphyxie racinaire lors de période de forte pluie et dans les contextes où la nappe est fort élevée. Cette asphyxie racinaire associée à des essences sensibles à l'anaérobiose et ayant des enracinements traçants (hêtre, épicéas) peut provoquer des faiblesses pour l'ancrage de ces individus et provoquer des chablis. Les sols argileux assurent aussi une moins bonne stabilité que d'autres types de sol (Hintikka.,1972))

Ce type de sol est aussi extrêmement sensible au tassement surtout en période humide où une compaction aurait des effets néfastes importants et sur le long terme.



Tableau 23: Adéquation des essences pour la haute Ardenne. Station : Argiles blanches RHA. Risque principal pour l'essence sur la station : S = sécheresse ; N = nutrition ; A = anaérobiose et chablis ; C = froid, gelées, neiges lourdes

#### 4.5.6.2. Adéquation des essences en place :

L'analyse stationnelle nous montre qu'aucune des essences résineuses en place et recensées lors de l'inventaire n'est adaptée en haute Ardenne si la couche imperméable se trouve à moins de 25 cm de profondeur. (Tableau 23)

Sur les sols avec un plancher plus profond, l'épicéa rentre en tolérance avec un risque d'anaérobiose et de chablis. Les arbres qui forment donc la plus grande partie de la zone (65% du Gha) sont donc soumis à des conditions de stress sur argiles blanches. Ce stress peut, en fragilisant ces arbres, permettre la venue d'autres dégâts tels que ceux causés par le scolyte. Le douglas et le mélèze ne sont pas considérés comme adaptés, par le catalogue de station, pour se développer sur ces argiles blanches.

En ce qui concerne les 20% de la zone en station plateaux méso-oligotrophes, l'épicéa le douglas et le mélèze d'Europe sont à l'optimum pour l'Ardenne.

Les essences de feuillus qui pourraient être adaptées à ces zones d'argiles blanches sont le bouleau pubescent, le bouleau verruqueux, le chêne sessile, l'aulne. L'aulne et le bouleau pubescent sont davantage en station sur des zones plus humides qui permettent d'éviter le risque de sécheresse estivale.

#### 4.5.6.3. Potentiel d'accueil pour la biodiversité

La valeur d'IBP total de cette zone est de 32%. Cela correspond à un score assez faible selon la terminologie de Larrieu et al. Le potentiel d'accueil pour la biodiversité est donc relativement faible pour les parcelles composant ces zones. Si on décompose cette valeur totale, on obtient un score de 27% pour l'IBP contexte, et un score de 34% pour l'IBP peuplement et gestion.

La faiblesse du score « contexte » tient essentiellement à l'absence de milieu rocheux, ainsi que du manque d'ancienneté en raison du caractère artificiel de ces peuplements.

La faiblesse du score « peuplement » tient principalement à l'absence de structures d'accueil telles que les arbres de très grosses tailles vivants, les arbres morts au sol ou sur pied. Ainsi que par l'homogénéité de ces peuplements, qui ne sont souvent composés que de 1 à 2 types d'essences. Les facteurs contribuant à l'accueil de la microfaune sont les micro-habitats, qui bien que nombreux sont très limités par leur diversité : plage de bois sans écorces (3/parcelle), fente (1/parcelle) et cavité remplie d'eau (3/parcelle) ainsi que la présence de milieux ouverts (+-500m<sup>2</sup> de trouée).

Au total, cette zone possède le nombre moyen le plus faible pour 11 critères de l'IBP gestion. Il obtient la dernière place du classement dans sa capacité à accueillir la biodiversité.

Un moyen d'améliorer la capacité d'accueil de ce peuplement serait de favoriser la diversité en essences et d'augmenter la proportion de bois mort au sol et debout. Cela pourrait se faire par la transformation de ces forêts équiennes en forêts mixtes irrégulières où on laisserait certains arbres finir leur cycle de vie.

#### 4.5.6.4. Interprétation des données dendrométriques :

##### *Données générales :*

La surface terrière ainsi que le volume sur pied de cette zone valent respectivement 24.7m<sup>2</sup> et 279,6 m<sup>3</sup> à l'hectare. Ces valeurs sont légèrement plus élevées que celles renseignées pour les zones de feuillus. Avec un nombre de tiges de 472/ha, ce qui est quasi deux fois supérieur aux nombres renseignés pour l'ensemble de SMF. Cette situation est liée au caractère artificiel de ces peuplements et à la densité de plantation initiale élevée.

##### *Composition du peuplement*

Cette zone résineuse est composée principalement d'épicéa même si elle compte en tout cinq types d'essences qui sont par ordre d'importance : l'épicéa commun, le mélèze, le hêtre, le douglas et le chêne. Ces essences plantées en parcelles homogènes ne se retrouvent quasiment jamais en même temps dans le même peuplement à l'exception du hêtre et du chêne qui se trouvent dans des peuplements résineux. Cette proximité est davantage liée au hasard parce que les placettes d'inventaire étaient parfois situées à la juxtaposition de deux types de peuplement dont l'un était feuillus, ou que le hêtre se régénère dans des parcelles plus claires tels que des vieilles mélèzeraies.

##### *Structure du peuplement :*

La figure (64) nous renseigne sur la structure des peuplements résineux. Cette figure exprime bien l'évolution des plantations résineuses. Et la propension des gestionnaires à planter de l'épicéa pour les plus vieilles parcelles (75 ans & plus). Ils ont ensuite choisi de diversifier, avec la plantation de mélèze et de douglas. Pour finalement replanter par après en épicéa et légèrement en mélèze dans les dernières années. La figure révèle une diminution de plantation il y a une cinquantaine d'années avec des surfaces plantées inférieures à la ligne d'équilibre (+-15 ha en moins)

La régénération, est plutôt bonne dans ce contexte de surface terrière avec 45% de recouvrement total. On observe une proportion, non négligeable, de hêtre (17%) qui tente de se développer dans la zone. La majorité de la régénération reste quand même composée d'épicéa commun (63%) suivi du mélèze (14%). L'épicéa et le hêtre étant peu appétents réussissent sans souci leur passage dans les différents stades de régénération.

### *Classe de productivité*

On peut remarquer que malgré la grande proportion d'argiles blanches, il existe une proportion de sol où les essences résineuses se développent correctement avec des classes de productivité de 0 à 2. C'est surtout le cas pour le mélèze et l'épicéa avec respectivement 71% et 38% de leurs surfaces en classe de productivité de 0 à 2. Cela laisse à penser qu'une bonne partie de ces parcelles se trouve sur la station plus favorable des plateaux méso-oligotrophe. Ce qui n'est pas le cas pour les parcelles de douglas avec + de 80% de leur surface en classe de productivité 3 et plus.

#### 4.5.6.5. Avantages et inconvénients de la zone

##### Avantages :

- Bonne régénération des essences formant les peuplements.
- Certaines parcelles sur bons sols avec de bonne classes de productivité (mélèze>épicéa>douglas).

##### Inconvénients :

- Surface formée à 80% d'argiles blanches.
- Zone avec un grand risque de tassement et source de stress pour les arbres (anaérobiose..)
- Attaque de scolytes.
- Chablis potentiel.

#### 4.5.7. Orientation de gestion

##### 4.5.7.1. Historique peuplement et interview du propriétaire :

Historiquement, ces peuplements résineux sont tous issus de plantation. La plupart des parcelles ont été plantées après-guerre en épicéa pour ensuite se diversifier avec d'autres essences telles que le douglas, le mélèze et de manière anecdotique le pin sylvestre (<2ha). Il s'agit de peuplements équiens et réguliers. Exception faite de 7 parcelles, dite pro-sylva, où un type de sylviculture est mis en place pour essayer d'irrégulariser ces peuplements.

Malheureusement, depuis quelques années, l'évolution de la population de scolytes (*ips typographus*) endommage fortement les peuplements d'épicéa et interpellent les propriétaires. C'est le cas de SMF où la présence de scolytes et de dégâts est observée.



Figure 70: Localisation des arbres scolytés. Superposition d'une couche NDVI et image sentinel-2. 2018 : Source : Gembloux Agro-Bio Tech

Une des conséquences de cette pullulation au niveau national est l'effondrement du prix de l'épicéa au m<sup>3</sup>. Cette diminution monétaire est due à une saturation du marché. Celle-ci est une conséquence des nombreuses mises à blanc qui ont été effectuées sur les peuplements scolytés et aussi en raison des tempêtes qui ont secoué les pays voisins (comme l'Allemagne). Ces derniers exportent du bois non-scolytés. La question de l'avenir de cette ressource financière se pose d'autant plus qu'avec l'importante population de scolytes de l'année dernière et les conditions climatiques particulièrement favorables, cette année et les années à venir risquent de voir une augmentation exponentielle des scolytes. Cette diminution du prix limite la marge de manœuvre des gardes et ingénieurs du DNF.

Un autre point important concernant les peuplements résineux de Saint-Michel-Freyr est la mise en place du LIFE tourbières qui a eu lieu entre 2003 et 2007. Lors de ce LIFE tourbières visant à restaurer les milieux humides et les tourbières, de nombreuses mises à blanc ont été effectuées sur les peuplements résineux. Ainsi 150 ha de peuplements résineux ont été reconvertis en fagnes et tourbières lors de ce LIFE.

Les gestionnaires se posent plusieurs questions : que faire de ces résineux dépérissants qui ont perdu de la valeur et quels sont les revenus auxquels ils peuvent encore espérer dans les années à venir.

#### 4.5.7.2. Ancien objectif de gestion :

L'objectif principal de ces peuplements résineux était un objectif de production et de rentabilité. Hormis les 7 parcelles irrégulières précédemment citées, la plupart des peuplements sont des peuplements équiens gérés de manière classique.

#### 4.5.7.3. Définitions des objectifs.

- Irrégulariser les peuplements résineux sur bons sols
- Reconvertir les peuplements résineux pas/plus adaptés.

#### 4.5.7.4. Recommandation sylvicole et propositions de gestion.

#### Recommandation générale :

Eviter tout tassement, car l'ensemble de la zone est sur des zones sensible au tassement. Utilisation d'un cahier des charges strict et des cloisonnements lors des exploitations.

#### Recommandations particulières :

##### ○ Irrégulariser les peuplements résineux sur bons sols:

Pour les parcelles qui se trouvent sur les bons sols et qui possèdent un bon indice de productivité. En profitant de la régénération abondante qui se trouve sous les peuplements.

- Si peuplement scolyté, profiter des éclaircies sanitaires pour mettre en lumière la régénération et la protéger en conséquence lors des travaux.
- Diversifier ces peuplements en favorisant des espèces de feuillus qui s'y développeraient (hêtre et, potentiellement, bouleau à proximité).
- Planter d'autres essences résineuses et feuillus pour lesquels des semenciers sont absents mais qui sont en station : sapin, bouleaux pubescents et verruqueux. (voir analyse stationnelle)
- Privilégier les parcelles qui sont à un âge correspondant à la moitié de leur terme d'exploitabilité. Elles se trouvent dans des conditions facilitant l'irrégularisation.
- Normes de martelage adaptées, pour pouvoir étaler les récoltes futures et irrégulariser graduellement la forêt. (Choix d'arbres d'avenir de première et de deuxième génération)
- À terme rentabilité stabilisée et risque sanitaire plus faible par la présence de plusieurs essences en place.

- Ces mesures auront aussi pour conséquence d'améliorer la capacité d'accueil du milieu (nombre d'essences différentes plus élevé, micro-habitats diversifiés, arbres de grosse circonférences..) tout en conservant le rapport feuillus/résineux.
- Reconvertir les peuplements résineux pas/plus adaptés

Pour les parcelles se trouvant sur des argiles blanches qui ont des indices de productivité faibles et qui sont scolytés, effectuer les coupes sanitaires jusqu'à la mise à blanc pour ensuite

A) Rattacher ces parcelles à celles déjà mises à blanc lors du LIFE tourbières pour les parcelles limitrophes

B) Mise en réserve naturelle dirigée avec réinstallation d'essences adaptées (voir analyse stationnelle), pour les parcelles qui ne sont pas proches du LIFE tourbières.

- Avec pour conséquence l'augmentation de l'accueil pour la biodiversité qu'elle soit forestière ou de milieux humides ouverts.

#### 4.5.8. Modélisation dendrométrique des peuplements résineux :

Les graphiques suivants représentent les différents résultats obtenus lors de la modélisation des 156 peuplements résineux de Saint-Miche-Freyr. Ces graphiques reprennent les volumes ainsi que les revenus prédits associés aux éclaircies et aux mises à blanc des vingt prochaines années.

##### 4.5.8.1. Evolution des volumes récoltables des 20 prochaines années.

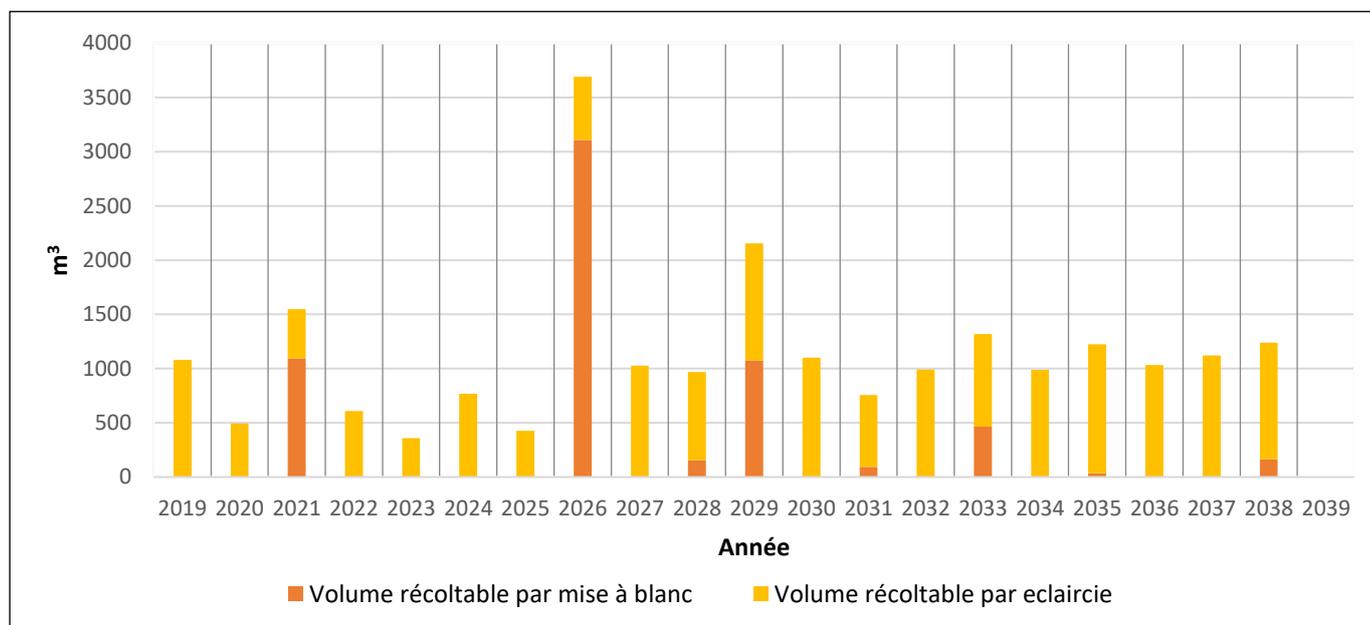


Figure 71: Prévion par modélisation des volumes totaux récoltables par éclaircie et par mise à blanc des vingt prochaines années.

La modélisation nous renseigne sur les volumes moyens qui pourraient être récoltés lors des coupes des prochaines années. En ce qui concerne les coupes d'éclaircie : le volume moyen par année est de 800 m<sup>3</sup> avec une augmentation des volumes au fil des années due au vieillissement des jeunes pessières. (Figure 64). Le volume total pour l'ensemble des éclaircies des 20 prochaines années est de 16 700 m<sup>3</sup>.

La répartition des volumes prédits par les mises à blanc est par définition moins homogène que celle des coupes d'éclaircie. Trois pics principaux sont observés pendant les 10 premières années et forment la majorité des volumes récoltables. Après 2029, les coupes seront moins importantes avec la présence d'un trou de production. Le volume moyen potentiellement récoltable par année est de 300 m<sup>3</sup> pour un total de +-6200 m<sup>3</sup> sur 20 ans.

La prévision des volumes totaux est plus ou moins constante au fil des années, avec tout de même une légère diminution liée au manque de mises à blanc observé après 2019. Les volumes moyens prévus par année sont de l'ordre des 1 100m<sup>3</sup> pour un total de 23 000 m<sup>3</sup>.

#### 4.5.9. Bilan financier :

##### 4.5.9.1. Prédiction des revenus obtenus pour les éclaircies et les mises à blanc des vingt prochaines années

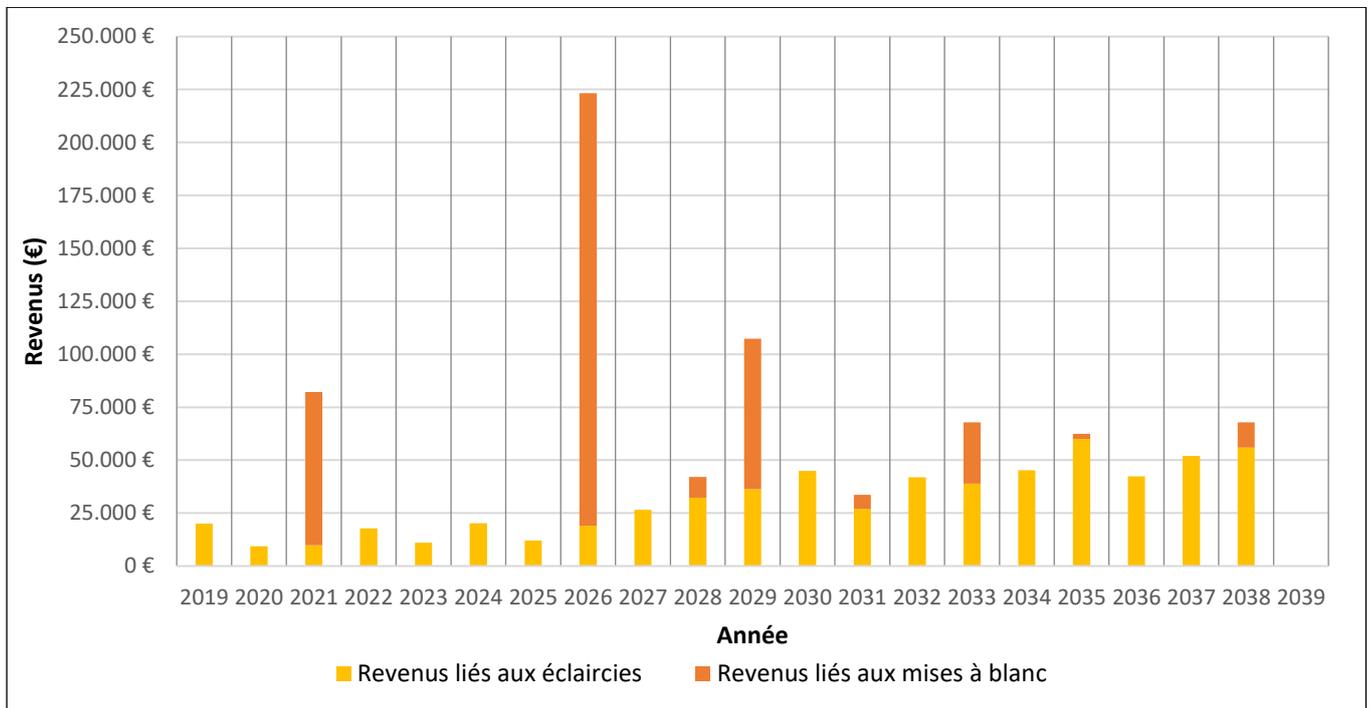


Figure 72: Prédiction par modélisation des revenus totaux récoltés pour les vingt prochaines années.

Si l'on se base sur les prix donnés par l'Office wallon du bois pour l'année 2018-2019 et les volumes modélisés pour les éclaircies, les recettes générées par la coupe de bois pour les éclaircies s'élèveront approximativement à 29 650 euros par année avec un total de 623 000 euros pour les 20 prochaines années.

Les mises à blanc des différents peuplements résineux de Saint-Michel-Freyr devraient rapporter en moyenne 19 400 euros par an, pour un total de 408 000 euros au terme des 20 prochaines années.

Au total, la vente de bois liée aux éclaircies et aux mises à blanc effectuées sur les peuplements résineux devrait rapporter un revenu moyen annuel de 50 000 euros. Elle devrait encore générer 1 030 000 euros d'ici les 20 prochaines années. Ces revenus seront en légère augmentation au fil des années en raison de l'augmentation des volumes d'éclaircie.

#### 4.5.9.2. Discussion de la modélisation :

Pour rappel, les différents résultats obtenus par modélisation sont à prendre avec des précautions car ils sont construits sur base de plusieurs hypothèses et choix dont il faut tenir compte lors de la lecture et l'interprétation de ces résultats.

Caractérisation de la modélisation.

- Prédiction sur peuplement monospécifique et équié unique.
- Intensité, fréquences des éclaircies et relation entre l'âge et le nombre de tiges à l'hectare liées à des normes sylvicoles théoriques, peut-être éloignées du régime d'éclaircie réel.
- Normes sylvicoles choisies selon la classe de productivité moyenne de chaque essence.
- Classe de productivité moyenne obtenue par une méthode de mesure indirecte (Forestimator).
- Multiplication des volumes obtenues par les prix de bois moyens non-scolytés.

#### Vérification de certains paramètres de la modélisation :

A) Relation entre l'évolution des surfaces terrières de la table de production théorique et les surfaces terrières obtenues pour les peuplements virtuels.

Choix de deux parcelles, les plus jeunes possible pour avoir l'évolution la plus longue et avec des classes de productivité égales à la classe de productivité moyenne de chaque essence.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

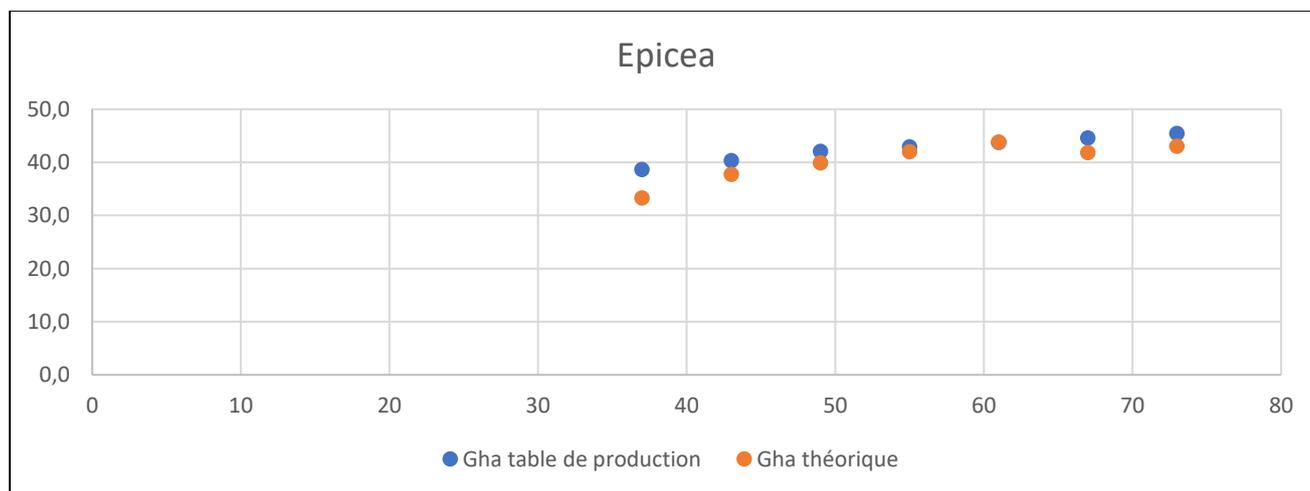


Figure 73: Relation entre l'évolution des surfaces terrières de la table de production théorique et les surfaces terrières obtenues pour les peuplements virtuels. Cas de l'épicéa

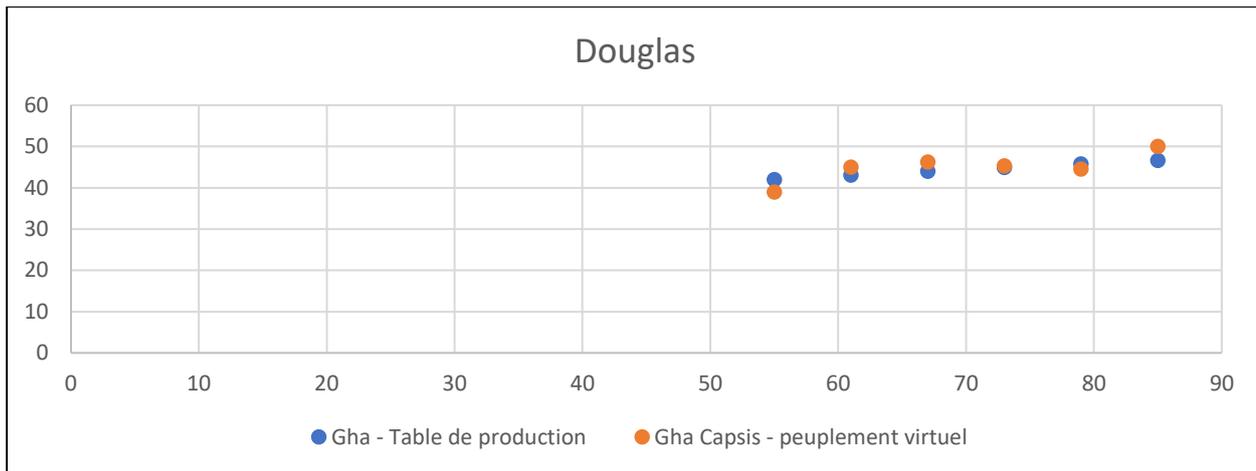


Figure 74: Relation entre l'évolution des surfaces terrières de la table de production théorique et les surfaces terrières obtenues pour les peuplements virtuels. Cas du douglas

Les « root mean square erreur » entre les volumes indiqués par les tables de production et celles obtenues pour les peuplements virtuels de ces 2 parcelles théoriques sont de 1.05 et 0.92 respectivement pour l'épicéa et le douglas. Ces résultats tendent à montrer que la différence entre les valeurs obtenues par le logiciel sont proches de celles indiquées par les tables de production et qu'ils sont donc acceptables.

#### B) Relation entre l'évolution des volumes modélisés et les volumes récoltés des dernières années à SMF

Il est difficile de pouvoir obtenir une moyenne des volumes prélevés lors des dernières années, car la propriété n°1937 « SMF-Gestion Pairi Daiza » n'a été créée que fin 2018. Les références dont nous disposons pour cette zone sont donc seulement constituée des ventes des deux dernières années. Les volumes résineux vendus lors de ces ventes étaient quasiment équivalents avec 2302 et 2114 m<sup>3</sup> respectivement pour 2017 et 2018. Ces volumes provenaient principalement de mises à blanc. Ces volumes sont le double de la moyenne annoncée par la modélisation pour les prochaines années. Il est néanmoins difficile de comparer ces moyennes avec le nombre réduit de valeurs de référence et le fait que ces volumes de bois vendus en 2017 et 2018 n'ont pas été pris en compte par la modélisation car retirés lors de la mise à jour du parcellaire.

#### C) Relation entre l'évolution des revenus modélisés et les revenus réels des dernières années à SMF

Les revenus associés lors des deux précédentes ventes de bois sont respectivement de 128 000 et 122 000 euros. Ces prix sont obtenus pour des bois non-scolytés et sont aussi le double de la moyenne/ an calculée lors de la modélisation. Il confirme cependant le prix moyen au m<sup>3</sup> annoncé par l'Office économique wallon des bois avec une valeur double pour un volume 2 fois plus élevé. Ici encore il est cependant difficile de comparer ces moyennes avec le nombre réduit de valeurs de référence et le fait que ces volumes de bois vendus en 2017 et 2018 n'ont pas été pris en compte par la modélisation car retirés lors de la mise à jour du parcellaire.

#### D) Régularisation des coupes de bois

Un des paramètres qu'il faudrait adapter pour rendre plus réaliste cette modélisation est la régularisation des volumes prélevés par année. En effet, le modèle utilisé est paramétré pour effectuer des coupes d'éclaircie ou de mises à blanc sur l'ensemble des parcelles arrivant à terme pour une année. Ce qui donne dans le cas des mises à blanc, des coupes assez fortes sur quelques années et des années sans coupes, comme on peut le voir sur la Figure 71. Cependant ce fonctionnement est assez éloigné de la réalité. En effet, le gestionnaire forestier souhaite avoir des revenus réguliers et va dans ce but étaler les peuplements mûrs sur plusieurs années. De plus certaines coupes importantes comme celles de 2026 ne sont sûrement pas réalisables légalement. En effet le Code forestier interdit des coupes de plus de 5ha en résineux et la plupart des parcelles résineuses de Saint-Michel-Freyr sont côte à côte. Cette modélisation actuelle ne décrit donc pas les réelles valeurs de volumes qui vont être récoltés chaque année mais peut servir d'outil au gestionnaire pour connaître les années où des pics de maturité sont à prévoir afin de pouvoir étaler ces volumes sur plusieurs années et garantir un revenu constant pour ce projet.

#### E) Pertinence des prix associés aux volumes modélisés au vu de la situation sanitaire actuelle.

Une hypothèse importante qui a été posée pour la modélisation des revenus associés aux coupes résineuses est l'utilisation des prix renseignés par l'Office économique wallon du bois. En effet ces prix se réfèrent aux valeurs obtenues par la vente de bois non-scolytés. Or, la situation sanitaire à SMF est assez préoccupante avec plus de 80% de leurs peuplements résineux en pessières dont de nombreuses sont déjà scolytés. L'ampleur de l'évolution de la crise ainsi que l'évolution des prix associés durant les prochaines années est difficile à prédire et représente un gros travail en soi. Une solution pessimiste, mais peut-être plus adaptée au contexte actuel, serait de considérer tous les peuplements d'épicéa comme étant scolytés. Et de considérer qu'ils seraient alors entièrement mis à blanc dans les 5 prochaines années. Ce volume modélisé des mises à blanc serait alors multiplié par le prix actuel des bois scolytés. L'Office économique wallon des bois renseignant un prix moyen des bois scolytés de 10 à 15 euros du m<sup>3</sup> (Eugène, 2018).

Les volumes récoltés seraient alors de l'ordre des 39 000 m<sup>3</sup> pour un revenu total et ponctuel de 492 000 euros. D'une part cette situation simplifiée considère tous les peuplements comme des peuplements d'épicéa, d'autre part elle n'est bien sûr pas en accord avec la réalité juridique forestière qui n'autorise pas de pareilles coupes.

La réalité se situe sûrement entre ces deux situations théoriques imparfaites. Elle sera fortement liée à l'évolution prochaine de la crise et des prix. Des incertitudes qu'il est compliqué de modéliser.

#### F) Discussion générale de la modélisation

Finalement bien que cette modélisation soit déjà un outil, en partie, utilisable par le gestionnaire, un travail supplémentaire sur celle-ci permettrait d'adapter de nombreuses hypothèses au contexte spécifique de Saint-Michel-Freyr afin de permettre l'obtention de résultats plus fins et encore plus proches de la réalité.

## 5. Conclusion et perspective :

La mise en place d'un plan d'aménagement d'une forêt de la taille et de la complexité de celle de Saint-Michel-Freyr constitue un travail d'envergure. Les gestionnaires auront à le mener dans les prochaines années.

Ce travail de fin d'études ne constitue pas un plan d'aménagement en tant que tel mais permet d'apporter plusieurs outils nécessaires à la mise en place de ce plan d'aménagement et à la résolution des problématiques décrites antérieurement.

La tendance générale ressortant des différents inventaires et analyses qui ont été effectués sur la zone décrit une homogénéisation progressive de la forêt de Saint-Michel-Freyr associée à un manque important de régénération des essences les plus appétentes.

Des tendances plus spécifiques à chaque zone ont été identifiées lors de cette étude. Ainsi la zone des fonds de vallée représente un ensemble de parcelles dont l'accueil pour la biodiversité est très favorable. Elle possède une potentialité sylvicole élevée qui permettrait d'envisager une sylviculture de qualité par arbres objectifs. Cependant un envahissement progressif du hêtre est observé et compromet l'intérêt naturel de la zone à l'avenir. Cet envahissement pourrait être contrôlé par la mise en réserve naturelle dirigée de la zone où un système de réagis ou d'affouage, avec un cahier de charges strict, serait implémenté.

La zone hêtraie dépérissante est caractérisée par un accroissement très faible, une surface terrière basse et de nombreuses trouées. L'indice de biodiversité peuplement y est assez bon. Cela reflète une capacité d'accueil pour la microfaune et en fait une zone de choix pour l'installation d'une réserve biologique intégrale. La délimitation de cette zone par l'approche des trouées demanderait une vérification sur le terrain afin de confirmer ou d'infirmer certaines parcelles. Bien que le faible accroissement volumique et la présence d'un nombre supérieur aux autres zones de bois morts sur pied et au sol corroborent, du moins en partie, cette première zonation.

La zone hêtraie saine représente ce qu'aurait été la zone dépérissante s'il n'y avait pas eu des dépérissements et des tassements. Les accroissements correspondent à ceux renseignés pour l'Ardenne, mais sa capacité d'accueil pour la biodiversité est cependant légèrement plus basse que dans la hêtraie dépérissante. Comme pour la hêtraie dépérissante, le nombre d'essences est assez faible et tend vers une homogénéisation de la forêt.

L'installation d'un ensemble de clôtures et la mise en place d'une sylviculture par arbres objectifs seraient extrêmement favorables à l'ensemble des zones de feuillus. Cela permettrait d'augmenter la diversité en essences de ces zones et plus spécifiquement le retour du chêne dans les zones les plus favorables. De plus la capacité d'accueil de ces zones serait considérablement augmentée.

La zone résineuse est, elle, caractérisée par des peuplements d'épicéa sur le déclin où de nombreuses parcelles ne sont pas en station et sont soumises à l'attaque des scolytes. Les volumes futurs modélisés sont en augmentation sur les 20 prochaines années mais la présence des scolytes rend incertaine l'évolution des revenus associés. Cela renseigne toutefois sur l'importance de changer ce type de sylviculture soumis à des perturbations rares mais importantes lorsqu'elles se présentent. Il serait intéressant de reconverter les parcelles les moins adaptées de la même façon que lors du LIFE tourbières. Dans le cas où les parcelles sont sur un bon sol, une irrégularisation serait

envisageable pour augmenter la capacité d'accueil de cette zone qui est la plus faible de toute la forêt et renaturer ces parcelles, ce qui est un but de ce projet.

Ainsi la cartographie des zones de hêtraie potentiellement dépérissantes et la description particulière de chacune des zones formant cette forêt auront permis de proposer des scénarios sylvicoles et de gestion adaptée à chaque zone. La modélisation des volumes résineux, bien que nécessitant encore des améliorations pour être appliquée en tant que telle, permettra d'adapter la gestion générale de la forêt en estimant les revenus que celle-ci pourra générer dans les prochaines années.

Les propositions de gestion adaptées à chaque zone permettraient pour la plupart d'augmenter la capacité d'accueil tout en répondant aux problèmes majeurs qui sont le manque de régénération et l'homogénéisation de cette forêt. Elles apporteraient une plus-value financière si une sylviculture par arbres objectifs arrive à être mise en place.

Cependant si des efforts de chasse importants ne sont pas consentis dans l'ensemble du massif de St-Hubert, les installations pour diversifier la forêt et mettre en place les sylvicultures souhaitées auront un coût important.

Cette forêt, bien que porteuse de nombreuses problématiques, est fort prometteuse avec des potentialités sylvicoles élevées pour de nombreuses zones et des écosystèmes montrant un intérêt biologique important. Le plan d'aménagement de cette forêt, s'il est bien construit par le gestionnaire, permettrait de convertir la forêt de Saint-Michel-Freyr en une forêt la plus naturelle possible. Cette forêt serait capable de rendre de nombreux services, touristiques ou sylvicoles, tout en préservant et favorisant les espèces et les interactions biologique s'y développant en assurant ainsi la résilience de cette forêt pour les années à venir.

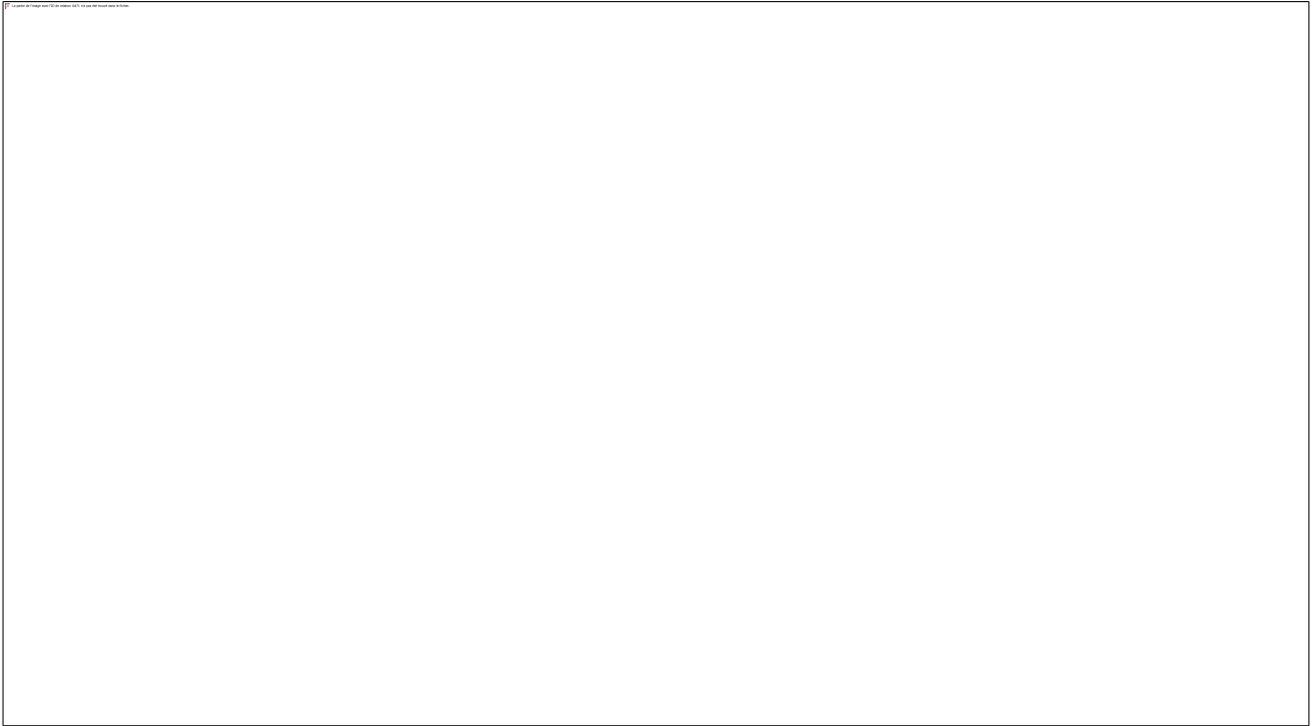
## 6. Bibliographie :

- Alderweireld M., Burnay F., Pitchugin M. & Lecompte H., 2015. Résultats 1994-2012 236.
- Brethes A., 1989. La typologie des stations forestières: Recommandations méthodologiques. *Rev. For. Française* (1), 7.
- Bronner T., 2012. SIMMEM-Aide / description / références Sommaire. Retrieved from : [http://www7.inra.fr/capsis/\\_media/help\\_fr/aidesimmem.pdf](http://www7.inra.fr/capsis/_media/help_fr/aidesimmem.pdf)
- Caselli G., Vallin J. & Wunsch G.J., 2004. *Démographie: analyse et synthèse*, Institut national d'études démographiques.
- Claessens H., Claessens L., Longrée C., Nivelles L., Tahir B., Lisein J. & Lecomte H., 2017. Près de 20 ans après sa grave crise sanitaire, où en est la hêtraie ardennaise ? *Forêt.Nature* **142**(Janvier-Février-Mars), 30–36.
- Clout H., 2010. Les défrichements en Belgique au XIXe siècle. *Norwis* **93**(1), 101–110.
- Cordier S., 2018. Catalogue des stations de l'Ardenne belge.
- Corvol A., 2004. *Les forêts d'occident du moyen âge à nos jours: actes des XXIVes Journées internationales d'histoire de l'Abbaye de Flaran, 6, 7, 8 septembre 2002*, Presses universitaires du Mirail, 300.
- De Paul M.A. & Baillly M., 2005. Effets de la compaction des sols forestiers. *Forêt Wallonne n°76*.
- De Thier Ol., Lisein J. & Lejeune P., 2014. Ifa : un logiciel simple pour la réalisation et le traitement d'inventaires forestiers d'aménagement. *Forêt Wallonne n°129* 44–45.
- Dedry L., De Thier O., Perin J., Michez A., Bonnet S. & Lejeune P., 2015. ForEstimator : un nouvel outil cartographique pour mieux connaître la forêt wallonne. *Forêt-Nature* **135**(2), 40–46.
- Delahaye L., Claessens H., Losseau J., Cordier S., Herman M., Lisein J. & Vincke C., 2016. Entre valorisation, conservation et dépérissement : la gestion de nos chênaies à la croisée des chemins. *Forêt.nature* **140**(3), 59–68.
- Eugène B., 2018. Stimuler le développement économique de la filère bois- Baromètre économique.
- Frisson G., Monty A. & Mahy G., 2011. L'adaptation au changement climatique en région wallonne : Fiche thématique Thème, ECORES-TEC, 1–37.
- Gonin P., Larrieu L. : 2013 - Méthodes de relevé de l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP). IDF-CNPF, INRA Dynafor, v3.3, mars 2013, 13 p.
- Grayet. Contribution à l'étude de l'échantillonnage en futaie feuillue. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 1977, 34 (1), pp.59-75.
- Herbauts J., EL Bayad J. & Gruber W., 1995. 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).
- Landmann G., Dupouey J.-L., Badeau V., Lefevre Y., Breda N., Nageleisen L.-M. & Chuine I., 2008. Le hêtre face aux changements climatiques: Connaître les points faibles du hêtre pour mieux les surmonter. *Forêt Entrep.* (182), 30–34.
- Larrieu L., Gonin P. & Deconchat M., 2013. Le domaine d'application de l'indice de biodiversité potentielle ( ibp ). *Rev. For. Française* (August 2015).
- Laurent C., Perrin D., Bemelmans D., Carnol M., Claessens H., De Canniere C., François L., Gerard E., Gregoire J.-C., Hermen M., Marbaix P., Peremans V., Ponette Q., Quevy B., Rondeux J., Serusiaux E., Van Ypersele J.-P. & Vincke C., 2007. Le changement climatique et ses impacts sur les forêts wallonnes. Recommandations aux décideurs et aux propriétaires et gestionnaires.
- Le Crenn-Brulon P., 2013. Capsis: modelling and simulating the growth of forest stands.
- Legay M., Cordonnier T. & Dhôte J.-F., 2009. Des forêts mélangées pour composer avec les changements climatiques. *Rev. For. Française* (2).
- Lehaire F., Morelle K., Licoppe A. & Lejeune P., 2013. Les enclos-exclos: Une technique éprouvée pour l'évaluation et le monitoring de l'équilibre forêt-grande faune. *Forêt Wallonne n°125* 3–14.

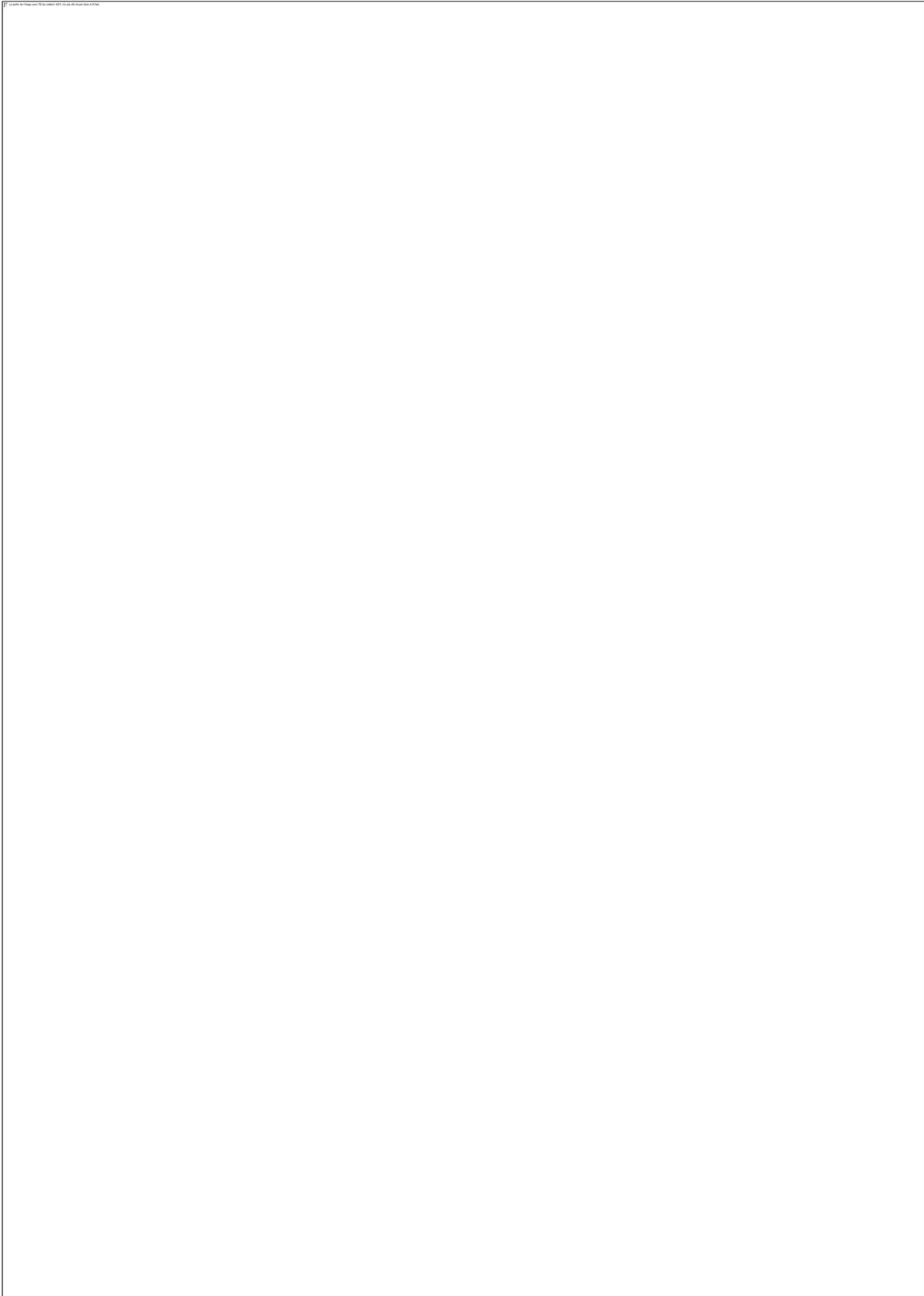
- Lejeune P. & Petit S., 2016. Inventaires forestiers d'aménagement guide à destination des utilisateurs. *Forêt Wallone*.
- Licoppe A., Monami J. & Lievens J., 2012. Impact des ongulés sur la flore forestière. *Chass. Nat.* 61–64.
- Ligot G., Quevauvillers S. & De Coligny F., 2012. Rapport synthétique de l'implémentation pour rendre le module GYMNOS compatible avec SIMMEM.
- Lisein J., 2016. Application des techniques de photogrammétrie par drone à la caractérisation des ressources forestières.
- Nageleisen M., 1993. Les dépérissements d'essences feuillues en France 605–620.
- Pauwels D., Lejeune P. & Rondeux J., 2003. Modèle de croissance pour les plantations de mélèzes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 7(2), 87–97.
- Perin J., 2014. Etude de la croissance et du niveau de production des peuplements résineux en Wallonie.
- Perin J., Claessens H., Lejeune P., Brostaux Y. & Hébert J., 2016. Distance-independent tree basal area growth models for Norway spruce, Douglas-fir and Japanese larch in Southern Belgium. *Eur. J. For. Res.* 136(2), 1–12.
- Perin J., Hébert J., Lejeune P. & Claessens H., 2016. De nouvelles normes sylvicoles pour les futaies pures équiennes d'épicéas et de douglas en appui à la gestion de la forêt publique en Wallonie. *Forêt-Nature* 139.
- Rondeux J., Lecomte H., Florquin P., Thirion M. & Hébert J., 1997. Quelques données inédites sur l'accroissement des peuplements de hêtre en région wallonne. *Les Cah. For. Gembloux* 21, 16.
- Vennetier M., 2012. Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences. *Chang. Clim. Modif. For. CNRS* pp 50-60.
- Yachi S. & Loreau M., 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis (stochastic dynamic models species richness ecosystem processes temporal variability ecosystem stability), *Ecology*, 1463–1468.
- Zalasiewicz J., Waters C., Summerhayes C. & Williams M., 2018. The Anthropocene. *Geol. Today* 34(5), 177–181.

## 7. Annexe :

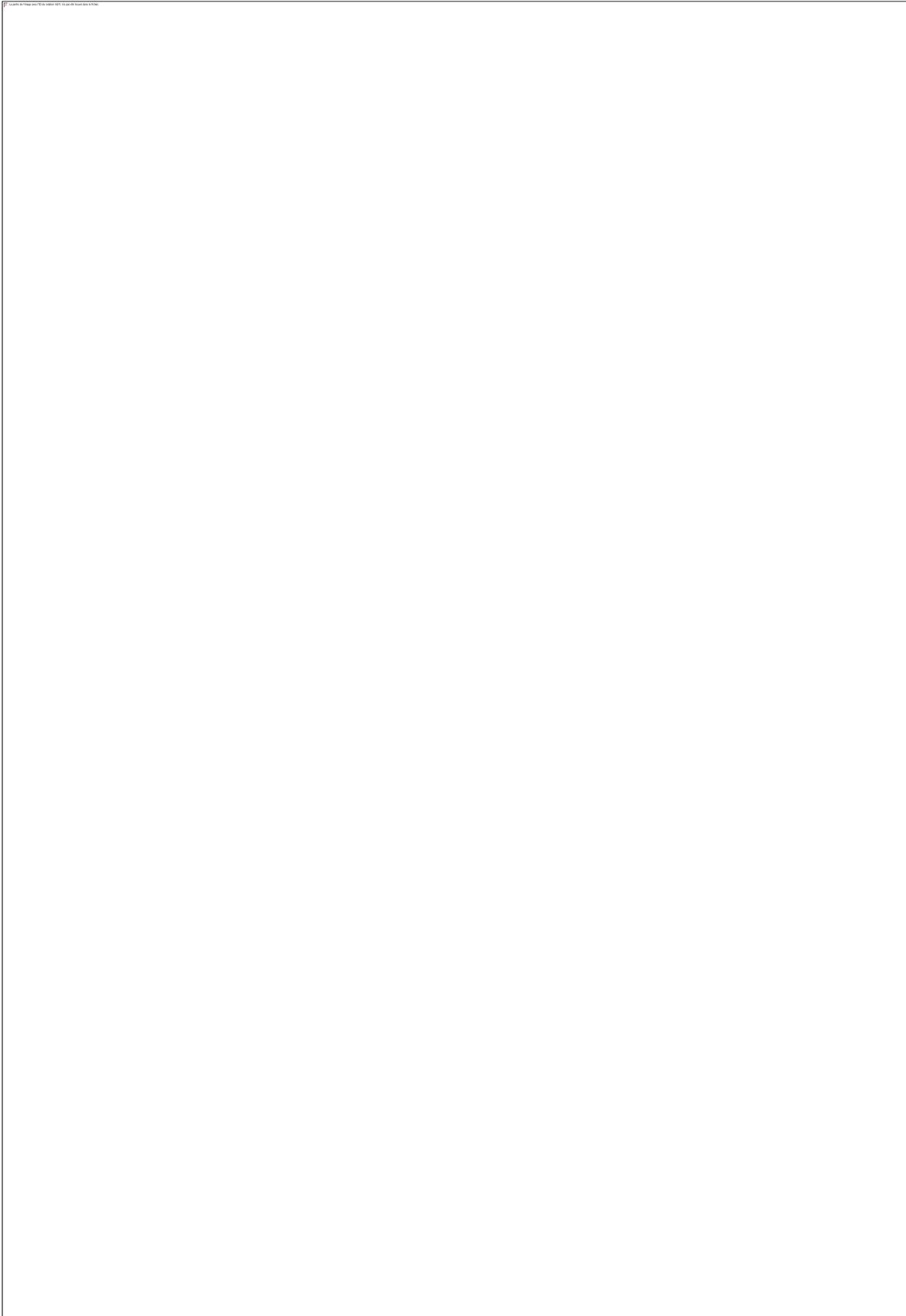
*Annexe 1: Évolution des coûts d'inventaire en fonction de la surface totale à inventorier.(Lejeune et al., 2016)*



*Annexe 2: fiche de relevé IBP par échantillonnage :*

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying most of the page. It is intended for recording IBP data by sampling. There is a very small, faint text label in the top-left corner of the box, which is illegible.

*Annexe 3 : Grille de cotation de l'Indice de biodiversité potentiel. Gonin et al*



*Annexe 4: Cartographie de la disposition des placettes de l'inventaire SMF 2019*

