



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Environnement, du Climat  
et du Développement durable

Administration de la nature et des forêts

# Étude du potentiel de la biomasse forestière récoltable au Luxembourg

Diekirch, le 4 mai 2020

## Table des matières

1. Introduction .....	3
2. Objectif.....	3
3. Méthodologie.....	4
3.1 Données utilisées .....	4
3.2 Analyse des données.....	9
4. Résultats.....	11
4.1 Surfaces (Flächen) .....	11
4.2 Accroissements bruts par ha et par an (Hektar Zuwachs) .....	12
4.3 Accroissements bruts annuels en volume dans les forêts de production (Zuwachs in Wälder mit Ernterecht) .....	14
4.4 Volumes récoltables (Mögliche jährliche Erntevolumen mit Rinde) .....	15
4.4.1 Facteurs de réduction .....	15
4.4.2 Données utilisées pour la prise en compte des facteurs de réduction.....	16
4.4.2 Résultats après déduction des facteurs de réduction .....	20
5. Discussion, conclusion et recommandation .....	26
5.1 Stockage d'une partie de l'accroissement .....	26
5.2 Interprétation, ajustements, évolution et risques.....	26
5.3 Comparaison du potentiel avec le prélèvement.....	28
5.4 Conclusion et recommandation.....	30
Annexes.....	31
Annexe 1 : Correspondance des types de peuplement et de la carte phytosociologique .....	31
Annexe 2 : Accroissements dans les forêts allemandes .....	35
Bibliographie .....	36

## 1. Introduction

Suite à la prise de conscience de la finalité des énergies fossiles et la volonté politique d'utiliser davantage d'énergies renouvelables, notamment pour lutter contre le changement climatique, la pression sur la biomasse n'a cessé de grandir en Europe et au niveau mondial. Le Luxembourg n'échappe pas à cette réalité qui est renforcée par des réglementations européennes dans ce sens. Etant donné que les forêts constituent le principal réservoir de biomasse en Europe et au Luxembourg, une vigilance accrue est nécessaire pour garantir une gestion durable de cette ressource naturelle.

Conformément aux accords multilatéraux sur la gestion durable des forêts en Europe, les Etats membres se sont engagés à maintenir leurs forêts dans un bon état qui permet la fourniture de l'ensemble des multiples services et fonctions de la forêt, notamment environnementales, sociales et économiques. Ces objectifs ont été précisés au Luxembourg dans le cadre du Programme Forestier National, du projet de loi 7255 et des autres initiatives politiques et législatives dans ce domaine, et notamment la mise en place d'un Cluster Bois.

Sur demande du Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, de même que du Ministère de l'Energie et de l'Aménagement du Territoire, l'Administration de la nature et des forêts a été chargée d'étudier la disponibilité de la biomasse forestière au Luxembourg en relation avec les objectifs environnementaux, sociaux et économiques du pays.

## 2. Objectif

L'étude consiste à déterminer les quantités de biomasse forestière qu'il est possible de récolter dans les forêts du Grand-Duché de Luxembourg en tenant compte de ses capacités naturelles, des conditions d'exploitabilité, des contraintes légales et des objectifs des politiques ayant un impact sur la forêt.

Dans la suite de cette étude, la quantité de biomasse forestière est toujours exprimée en volume de bois sur écorce (Volumen mit Rinde) des troncs et des branches des arbres. Les compartiments de bois pris en compte sont décrits plus en détail dans la section méthodologie de l'étude.

## 3. Méthodologie

### 3.1 Données utilisées

Il existe différentes données recensées et publiées concernant les ressources forestières au Luxembourg (ANF, STATEC, EUROSTAT, UNECE). La source des données utilisées pour ces publications est cependant en général toujours la même, l'Administration de la nature et des forêts. Il existe quelques exceptions pour des projets à plus large échelle (projet Interreg Regiowood) ou des études couvrant seulement une partie du territoire (Privatwaldinventur, UNIQUE-Privatbesch).

Avant l'année 2000, date du premier inventaire forestier national, les données sur les ressources forestières nationales étaient des estimations basées sur des cartographies et des inventaires partiels, notamment ceux des aménagements des forêts publiques. Les données publiées étaient soit des valeurs globales approximatives (surface, pourcentages par essences principales) ou des valeurs partielles très détaillées et précises (surfaces et volumes par essences) de certaines propriétés forestières (forêts publiques). Il n'y avait pas de données précises statistiquement validées pour l'ensemble de la forêt du Luxembourg. La validation statistique des données était impossible, car les méthodologies de collecte ne le permettaient pas. De plus, l'absence de définition du milieu forestier analysé complique la comparaison des résultats.

En outre, il n'y avait pas de données d'accroissement en volume de bois autres que celles théoriques des tables de production. Ceci explique que les données utilisées couramment dans les anciennes études font en général référence à un accroissement moyen de 7,5 m<sup>3</sup>/ha/an dans les forêts du Luxembourg, valeur encore couramment utilisée dans des études internationales récentes (voir Holz von Hier), mais qui est basée sur une simple extrapolation des tables de production sans aucune validation de la réalité de la croissance des arbres dans les forêts au Luxembourg.

Après une évaluation minutieuse de l'ensemble des sources de données possibles, il est vite apparu que les seules données représentatives et statistiquement fiables pour l'ensemble des forêts sont celles de l'Inventaire Forestier National du Luxembourg (IFL) qui a été réalisé successivement en 2000 et en 2010. Les résultats de ces inventaires ont fait l'objet de 2 publications. Pour cette étude, les données de base récoltées sur le terrain lors du 2<sup>ème</sup> inventaire forestier national (IFL2) ont été utilisées pour les calculs des volumes (*La forêt luxembourgeoise en chiffres - Résultats de l'inventaire forestier national au grand-duché de Luxembourg 2009-2011* [https://environnement.public.lu/fr/publications/forets/IFL2\\_fr.html](https://environnement.public.lu/fr/publications/forets/IFL2_fr.html)).

Pour déterminer les volumes de bois récoltables (Erntevolumen) en forêt, il a été décidé de se baser sur les accroissements bruts périodiques en volume unitaire par type de peuplement et les surfaces de production disponibles pour ces types de peuplement forestier, tout en faisant intervenir des facteurs de réduction pour certains critères de limitation (critères techniques, légaux, politiques).

Les données d'**accroissement brut** (Zuwachs) utilisées dans cette étude sont des volumes de bois fort sur écorce que la forêt génère en moyenne par année et par hectare. Ces données d'accroissement brut

en volume ont été calculées par l'Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech grâce aux mesures dendrométriques des deux passages de l'Inventaire Forestier National sur la période 2000-2010. Elles sont disponibles en fonction de l'ensemble des variables de l'inventaire et notamment par type de peuplement. Elles sont publiées dans les tableaux du chapitre 7 du document de l'IFL2 référencé ci-dessus.

*L'accroissement périodique global se calcule selon la formule suivante qui tient compte de l'utilisation de placettes concentriques et de la modification de leur composition en termes d'arbres à mesurer entre inventaires successifs [Hébert et al., 2005] :*

$$AP = V_2 - V_1 + V_e + V_m - V_r$$

Où :

- $AP$  = accroissement périodique en volume ;
- $V_1$  = volume mesuré lors du premier passage en inventaire pour tous les arbres vivants ayant une circonférence supérieure ou égale au seuil d'inventaire ;
- $V_2$  = volume mesuré lors du second passage en inventaire pour tous les arbres vivants ayant une circonférence supérieure ou égale au seuil d'inventaire, y compris ceux ayant franchi ce seuil entre les deux passages en inventaire ;
- $V_e$  = volume des arbres prélevés en éclaircie (au moment de l'éclaircie) ;
- $V_m$  = volume des arbres morts (au moment de la mort, sur pied ou à terre) ;
- $V_r$  = volume des arbres au moment de leur recrutement, soit lorsqu'ils atteignent le seuil d'inventaire (7 cm de diamètre).

*Le recrutement ou passage à la futaie regroupe tous les individus non mesurés au premier inventaire car trop petits et atteignant au moins le seuil d'inventaire avant ou au moment du deuxième inventaire.*

*Le prélèvement correspond au volume des arbres exploités entre les deux passages en inventaire ( $V_e$ ). Il se réfère à une moyenne annuelle périodique et est obtenu en divisant  $V_e$  par la période qui sépare les deux passages en inventaire ( $n$ ). En pratique,  $V_e$  correspond au volume des arbres prélevés tel que déterminé au premier passage en inventaire auquel s'ajoute leur accroissement pendant le laps de temps qui sépare cet inventaire du moment de leur exploitation. Si ce dernier est inconnu ou n'a pu être déterminé par l'inventaire, on considère qu'il intervient à mi-période ( $n/2$ ).*

*Dans les lignes qui suivent, il sera question d'accroissement annuel moyen périodique en volume correspondant à l'accroissement périodique global divisé par le nombre de périodes de végétation  $n$ , soit :  $APM = AP/n$*

*Des conventions particulières sont prises pour des arbres prélevés durant l'intervalle séparant deux inventaires de telle manière que leur accroissement depuis le premier inventaire jusqu'à l'époque de leur disparition soit aussi comptabilisé.*

*Les explications qui sont données ci-avant portent sur l'accroissement en volume mais la méthode reste identique dans le cas du calcul de l'accroissement en surface terrière*

La formule utilisée pour le calcul de l'accroissement périodique en volume dans le cadre de l'IFL2 est documentée dans l'encadré ci-dessus. Elle a fait l'objet d'une publication scientifique par l'Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech (Estimation de l'accroissement et de la production forestière à l'aide de placettes permanentes concentriques, Hébert J et al. 2005).

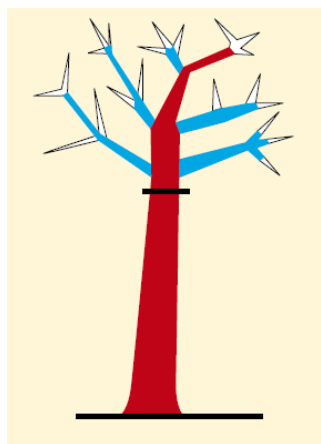
Les données de **surface** de forêt de même que les % de forêts par classe de pente de terrain ont également été extraites des résultats de l'IFL2. Elles sont exprimées en hectares (ha). Elles sont disponibles pour l'ensemble des variables de l'inventaire. La comparaison des 2 passages de l'inventaire

a montré que la surface globale des forêts est relativement stable au Luxembourg. On considère donc que ces données constituent encore actuellement une bonne représentativité, même s'il y a eu des glissements entre les différents types de forêt (probable diminution de la surface des forêts résineuses au profit des forêts feuillues) et entre les types de propriétaire (augmentation de la surface des forêts publiques de l'ordre de 2.000 ha depuis 2010 au détriment des forêts privées).

Certaines données de surface nécessaires pour la détermination des surfaces de forêts productives ou la prise en compte des facteurs de réduction ont été obtenues par analyse géographique (croisement de différentes données spatiales des forêts). Il s'agit des données « RFI actuelles (ha) » et « Forêts dans les zones Natura2000 et ZPIN (ha) ».

Les données de **volumes totaux de bois récoltables** (Erntevolumen) ont été calculées en multipliant les accroissements (m<sup>3</sup>/ha/an) par les surfaces (ha) correspondantes. Ils sont exprimés en **m<sup>3</sup>/an de bois fort** découpe 7cm sur écorce. Il s'agit du volume de l'arbre (tige et branches) jusqu'à une découpe aux extrémités des tiges ou des branches lorsque le diamètre passe en dessous du seuil de 7cm (Derbholz). Ces volumes ne comprennent donc pas les fines tiges ou branches ayant un diamètre < 7cm (en blanc dans le schéma ci-dessous).

Étant donné que les accroissements bruts sont disponibles séparément pour les différents compartiments de l'arbre (tige et branches), les volumes de bois sont calculés et exprimés séparément en **volumes bois fort des tiges** [BFT] (en brun) et en **volumes bois fort des branches** [BFB] (en bleu), le total des deux précédents donnant les **volumes bois fort total** [BF]. Ceci permet une interprétation en fonction de la finalité d'utilisation du bois.



Les **variables** suivantes de l'IFL2 ont été retenues pour cette étude :

- A. Type de propriétaire : forêt privée ; forêt publique
- B. Structure simplifiée : futaie ; taillis
- C. Peuplement simplifié : feuillus ; résineux
- D. Type de peuplement :
  - 1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme

- 2) Chênaie
- 3) Feuillus nobles (érable, frêne, merisier)
- 4) Autres feuillus&mélanges
- 5) Pessière
- 6) Douglasière
- 7) Pineraie et Mélèzeraie
- 8) Autres résineux&mélanges
- 9) Taillis

Les 9 données de la variable « type de peuplement » considérées dans cette étude sont en partie des regroupements des 14 types de peuplement de l'IFL2 qui sont expliqués dans l'encadré ci-dessous, ainsi que d'un type de structure (taillis).

Le tableau 3.1 renseigne sur la correspondance entre les types de peuplement de cette étude et de l'IFL2.

La correspondance entre les types de peuplement de cette étude et les données cartographiques de la carte phytosociologique des forêts est renseignée en annexe 1. La distinction des types de peuplements résineux n'est pas tout à fait compatible avec les types de peuplements choisis pour cette étude. Une seule catégorie comptabilise en effet la somme des peuplements d'épicéas, de sapins et de douglas. Cette dernière catégorie a été affectée par défaut au type de peuplement « 5) pessière » de cette étude, car c'est la plus représentée. Ceci explique l'absence de valeur pour type de peuplement « 6) douglasière » pour les surfaces de forêts dans les zones protégées.

Tableau 3.1 : Correspondance entre les types de peuplement de l'étude et ceux de l'IFL2.

Type de peuplement de l'étude	Type de peuplement IFL2	Structure peuplement IFL2
1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	<i>Hêtraie &amp; mélange Hêtre-Chêne-Charme</i>	Futaie
	<i>Mélange Hêtre-Chêne-Charme</i>	Futaie
2) Chênaie	<i>Chênaie</i>	Futaie
3) Feuillus nobles (érable, frêne, merisier)	<i>Feuillus nobles (érable, frêne, merisier)</i>	Futaie
4) Autres feuillus&mélanges	<i>Autres feuillus</i>	Futaie
	<i>Autres feuillus mélangés</i>	Futaie
	<i>Mixte à dominance feuillue</i>	Futaie
5) Pessière	<i>Pessière</i>	Futaie
6) Douglasière	<i>Douglasière</i>	Futaie
7) Pineraie et Mélèzeraie	<i>Pineraie</i>	Futaie
	<i>Mélèzeraie</i>	Futaie
8) Autres résineux&mélanges	<i>Autres résineux</i>	Futaie
	<i>Résineux mélangés</i>	Futaie
	<i>Mixte à dominance résineuse</i>	Futaie
9) Taillis	-	Taillis

**Hêtraie** : Peuplement où le hêtre représente plus de 66 % de la surface terrière totale

**Chênaie** : Peuplement où les chênes pédonculé et/ou sessile représentent plus de 66 % de la surface terrière totale

**Feuillus nobles** : Peuplement où l'érable, le frêne, le merisier et le chêne rouge d'Amérique représentent seuls ou en mélange plus de 66 % de la surface terrière totale

**Mélange hêtre-chêne-charme** : Peuplement où le hêtre, le chêne et le charme représentent ensemble plus de 66 % de la surface terrière totale sans jamais qu'une de ces essences ne dépasse seule ce seuil

**Autres feuillus mélangés** : Peuplement où les espèces feuillues représentent plus de 66 % de la surface terrière totale sans qu'aucune d'entre elles ne dépasse ce seuil et sans que l'on puisse parler de peuplement de feuillus nobles ou de mélange hêtre-chêne-charme

**Mixte à dominance feuillue** : Peuplement feuillu et résineux en mélange où les feuillus n'atteignent pas seuls plus de 66 % de la surface terrière totale, mais où la proportion de feuillus est au moins égale à celle des résineux

**Autres feuillus** : Peuplement où une seule espèce feuillue (sauf les chênes indigènes, le hêtre et les feuillus nobles) représente plus de 66 % de la surface terrière totale

**Pessière** : Peuplement où les épicéas représentent plus de 80 % de la surface terrière totale

**Pineraie** : Peuplement où les pins représentent plus de 80 % de la surface terrière totale

**Douglasière** : Peuplement où le douglas représente plus de 80 % de la surface terrière totale

**Mélèzeraie** : Peuplement où les mélèzes représentent plus de 80 % de la surface terrière totale

**Résineux mélangés** : Peuplement où les résineux représentent plus de 80 % de la surface terrière totale, sans qu'aucune des essences présentes ne dépasse seule ce seuil

**Mixte à dominance résineuse** : Peuplement feuillu et résineux en mélange où les résineux n'atteignent pas seuls plus de 80 % de la surface terrière totale, mais où ils présentent une proportion supérieure à celle des feuillus

**Autres résineux** : Peuplement où une espèce résineuse, autre que l'épicéa, les mélèzes, le douglas et les pins, représente plus de 80 % de la surface terrière totale



### 3.2 Analyse des données

Les **calculs** ont été réalisés dans un tableur Excel pour permettre une manipulation aisée des variables d'analyse (lignes dans le tableau), pour une représentation claire des données calculées (colonnes dans le tableau) et pour la prise en compte dynamique de différents facteurs d'interprétation (valeurs des facteurs de réduction surlignées en jaune dans les encarts sous le tableau).

Le tableur permet une simulation des résultats en faisant varier les facteurs de réduction a), b), c), d) et le % Objectif forêts publiques non exploitées (champs surlignés en jaune). Ces valeurs sont accessibles et modifiables dans le tableau de calcul protégé.

Le tableau 3.2 reprend l'ensemble des définitions et unités des valeurs, ainsi que les formules utilisées pour les calculs.

Tableau 3.2 : Définitions, unités et formules des valeurs impliquées dans le calcul.

Numéro	Définition de la valeur et unité	Source ou Formule
(1)	Accroissement en Bois fort Tige découpe 7cm [BFT] (m3/ha/an)	Source IFL2
(2)	Accroissement en Bois fort Branches découpe 7cm [BFB] (m3/ha/an)	Source IFL2
(3)	Accroissement en Bois fort Total découpe 7cm [BF] (m3/ha/an)	Source IFL2
(4)	Surface de forêts (ha)	Source IFL2
(5)	Surface des RFI actuellement classées (ha)	Source carto ANF
(6)	Objectif "Forêts publiques feuillues non exploitées" (ha)	= (4) x % Objectif forêts publiques non exploitées
(7)	Forêts de production (ha)	= (4) - [(5) <u>ou</u> (6) si (6)>(5)]
(8)	% des forêts en pente faible <10%	source IFL2
(9)	% des forêts en pente moyenne 10%-30%	source IFL2
(10)	% des forêts en pente forte 30%-60%	source IFL2
(11)	% des forêts en pente très forte >60%	source IFL2
(12)	% des forêts dans les zones Natura 2000 ou ZPIN	Source carto ANF
(13)	Volume brut annuel BFT (m3/an)	= (1) x (7)
(14)	Volume brut annuel BFB (m3/an)	= (2) x (7)
(15)	Volume brut annuel BF (bois fort total - découpe 7cm) (m3/an)	= (3) x (7)
(16)	Volume récoltable BFT après déduction des facteurs a) b)	= (13) - [(13) x facteur a)] – [(13) x (10) x facteur b)1] – [(13) x (11) x facteur b)2]

	(m3/an)	
(17)	Volume récoltable BFB après déduction des facteurs a) b) (m3/an)	= (14) - [(14) x facteur a)] – [(14) x (10) x facteur b)1] – [(14) x (11) x facteur b)2]
(18)	Volume récoltable BF après déduction des facteurs a) b) (m3/an)	= (16) + (17)
(19)	Volume récoltable BFT après déduction des facteurs a) b) c) (m3/an)	= (16) – si feuillus [ ( (13) x (12) x facteur c)2 ) + ( (13) x ( 1 – (12) ) x facteur c)1 ]
(20)	Volume récoltable BFB après déduction des facteurs a) b) c) (m3/an)	= (17) – si feuillus [ ( (14) x (12) x facteur c)2 ) + ( (14) x ( 1 – (12) ) x facteur c)1 ]
(21)	Volume récoltable BF après déduction des facteurs a) b) c) (m3/an)	= (19) + (20)
(22)	Volume récoltable BFT après déduction des facteurs a) b) c) d) (m3/an)	= (19) – si public [ (13) x facteur d) ]
(23)	Volume récoltable BFB après déduction des facteurs a) b) c) d) (m3/an)	= (20) – si public [ (14) x facteur d) ]
(24)	Volume récoltable BF après déduction des facteurs a) b) c) d) (m3/an)	= (22) +(23)
(25)	Potentiel par hectare bois fort m3/ha/an	= (24) / (7)

## 4. Résultats

### 4.1 Surfaces (Flächen)

L'inventaire forestier national renseigne les surfaces boisées du Luxembourg en se basant sur les définitions de la FAO. L'IFL2 fait la distinction entre les « forêts » (86.150 ha), les « autres terres boisées » (1.700 ha) et les « bosquets » (1.000 ha), la totalité des trois étant les « **terres boisées** », soit **91.400 ha**. La catégorie « forêts » se compose de « peuplements » (85.300 ha) et de « coupes à blanc » (850 ha).

En termes de production de bois, nous allons uniquement considérer les **peuplements forestiers** (Holzboden ohne Blößen), soit au total **85.300 ha** (tableau 3.4 de l'IFL2). L'analyse est donc basée sur les points de sondage installés au sein des peuplements forestiers hors coupes à blanc, appartenant à la catégorie « Forêt ».

Le tableau 4.1 reprend les données des surfaces des peuplements forestiers exprimées en hectares, telles qu'extraites ou calculées sur base des données de l'IFL2 (chapitre 3) et des couches cartographiques de l'ANF.

La colonne (4) donne les surfaces de l'ensemble des peuplements forestiers sans coupes à blanc.

La colonne (5) renseigne les surfaces cartographiques des réserves forestières intégrales (RFI) actuellement classées.

La colonne (6) a été calculée avec l'hypothèse d'un objectif de 10% de forêts publiques feuillues non exploitées, soit au total 3.250 hectares sous forme de RFI ou d'îlots de vieillissement en forêt publique (voir formule dans la section méthodologie).

Ces données de base permettent de calculer les **surfaces des forêts de production** (Holzboden mit Ernterecht ohne Blößen) pour les différentes variables retenues, c'est-à-dire les surfaces des forêts destinées à la récolte de bois. Cette surface est globalement estimée à **81.720 hectares**. Cette dernière valeur sera retenue pour le calcul des volumes de bois récoltable.

De façon récapitulative, nous obtenons donc les valeurs arrondies suivantes :

Terres boisées	91.400 ha
Peuplements forestiers	85.300 ha
Forêts de production	81.700 ha

Tableau 4.1 : Surfaces des peuplements forestiers (source IFL2, tableau 3.4), des forêts de production et autres surfaces considérées dans les calculs.

Variables				Surfaces			
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(4) Peuplements forestiers source IFL2 (ha)	(5) RFI actuelles (ha)	(6) Objectif "Forêts publiques feuillues non exploitées" (ha)	(7) Forêts de production (ha)
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	9.250	-	-	9.250
			2) Chênaie	2.200	-	-	2.200
			3) Feuillus nobles	850	-	-	850
			4) Autres feuillus & mélanges	4.700	50	-	4.650
		Résineux	5) Pessière	13.050	25	-	13.025
			6) Douglasière	1.750	-	-	1.750
			7) Pineraie et Mélèzeraie	400	-	-	400
			8) Autres résineux & mélanges	3.900	50	-	3.850
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	8.550	-	-	8.550
<b>Sous-totaux forêts privées</b>				<b>44.650</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>44.525</b>
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	20.700	775	2.070	18.630
			2) Chênaie	5.150	280	515	4.635
			3) Feuillus nobles	800	180	80	620
			4) Autres feuillus & mélanges	4.150	-	415	3.735
		Résineux	5) Pessière	3.150	80	-	3.070
			6) Douglasière	900	-	-	900
			7) Pineraie et Mélèzeraie	600	25	-	575
			8) Autres résineux & mélanges	3.500	-	-	3.500
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	1.700	35	170	1.530
<b>Sous-totaux forêts publiques</b>				<b>40.650</b>	<b>1.375</b>	<b>3.250</b>	<b>37.195</b>
<b>Total</b>				<b>85.300</b>	<b>1.500</b>	<b>3.250</b>	<b>81.720</b>

## 4.2 Accroissements bruts par ha et par an (Hektar Zuwachs)

Le tableau 4.2 donne les valeurs des accroissements bruts en volume extraites des résultats de l'IFL2 (chapitre 7). Ces valeurs sont exprimées en **m<sup>3</sup>/ha/an** sur écorce (mit Rinde). Pour augmenter la précision, il a été décidé de regrouper les données d'accroissement par grands types de peuplement en fonction des besoins de l'étude. Les données des accroissements bruts en volume de l'IFL2 sont fournies séparément pour les différentes parties de l'arbre.

La colonne « (1) Bois fort Tige découpe 7cm (m<sup>3</sup>/ha/an) » donne l'accroissement des tiges principales des arbres (partie grume jusqu'à la découpe à 7 cm de diamètre).

La colonne « (2) Bois fort Branches découpe 7cm (m<sup>3</sup>/ha/an) », donne l'accroissement des houppiers des arbres jusqu'à la découpe à 7 cm de diamètre.

La colonne « (3) Bois fort Total découpe 7cm (m3/ha/an) » donne l'accroissement total jusqu'à la découpe à 7 cm de diamètre.

Ceci permet une interprétation ultérieure en fonction de la finalité d'utilisation du bois.

Bien que les données de l'IFL2 permettent de calculer des accroissements séparément pour les forêts privées et les forêts publiques, il a été décidé d'utiliser les valeurs moyennes de l'ensemble des forêts pour augmenter la précision par type de peuplement, variable qui est considérée comme la plus importante dans cette étude.

Tableau 4.2 : Accroissements bruts unitaires sur écorce par type de peuplement (source IFL2)

Variables			Accroissements bruts périodiques (source IFL2)		
Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(1) Bois fort Tige découpe 7cm (m3/ha/an)	(2) Bois fort Branches découpe 7cm (m3/ha/an)	(3) Bois fort Total découpe 7cm (m3/ha/an)
Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	5,8	1,9	7,7
		2) Chênaie	5,1	1,1	6,2
		3) Feuillus nobles	6,2	0,6	6,8
		4) Autres feuillus & mélanges	5,7	0,6	6,3
	Résineux	5) Pessière	16,2	0,1	16,3
		6) Douglasière	16,6	0,0	16,6
		7) Pineraie et Mélèzeraie	9,6	0,2	9,8
		8) Autres résineux & mélanges	12,2	0,4	12,6
Taillis	Feuillus	9) Taillis	2,7	0,5	3,2

### 4.3 Accroissements bruts annuels en volume dans les forêts de production (Zuwachs in Wälder mit Ernterecht)

L'accroissement brut annuel en volume dans les forêts de production est le volume sur écorce total de la production biologique annuelle des forêts de production (Gesamter jährlicher Zuwachs in Wälder mit Ernterecht – Holzboden Zuwachs ohne Blößen). Il est estimé à environ **761.000 m<sup>3</sup>/an**. Ce volume de production biologique ne comprend pas l'accroissement par recrutement des petites tiges de la régénération < 7 cm de diamètre. Il comprend par contre aussi bien le bois vivant que le bois mort. La partie bois mort de l'accroissement sera soustraite lors du calcul du volume de bois récoltable (voir section 4.4).

Tableau 4.3 : Accroissement brut annuel sur écorce dans les forêts de production

Variables				Accroissements bruts annuels dans les forêts de production		
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(13) Volume BFT (bois fort tige découpe 7cm) (m <sup>3</sup> /an)	(14) Volume BFB (bois fort branches découpe 7cm) (m <sup>3</sup> /an)	(15) Volume BF (bois fort total - découpe 7cm) (m <sup>3</sup> /an)
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	53.650	17.575	71.225
			2) Chênaie	11.220	2.420	13.640
			3) Feuillus nobles	5.270	510	5.780
			4) Autres feuillus & mélanges	26.505	2.790	29.295
		Résineux	5) Pessière	211.005	1.303	212.308
			6) Douglassière	29.050	-	29.050
			7) Pîneraie et Mèlèzeraie	3.840	80	3.920
			8) Autres résineux & mélanges	46.970	1.540	48.510
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	23.085	4.275	27.360
<b>Sous-totaux forêts privées</b>				<b>410.595</b>	<b>30.493</b>	<b>441.088</b>
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	108.054	35.397	143.451
			2) Chênaie	23.639	5.099	28.737
			3) Feuillus nobles	3.844	372	4.216
			4) Autres feuillus & mélanges	21.290	2.241	23.531
		Résineux	5) Pessière	49.734	307	50.041
			6) Douglassière	14.940	-	14.940
			7) Pîneraie et Mèlèzeraie	5.520	115	5.635
			8) Autres résineux & mélanges	42.700	1.400	44.100
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	4.131	765	4.896
<b>Sous-totaux forêts publiques</b>				<b>273.851</b>	<b>45.696</b>	<b>319.547</b>
<b>Total</b>				<b>684.446</b>	<b>76.188</b>	<b>760.634</b>

Il est également important de rappeler ici que ce volume ne comprend pas la production biologique des forêts non destinées à la récolte de bois (RFI et îlots de vieillissement, soit 10% des forêts publiques feuillues, 3.250 ha).

## 4.4 Volumes récoltables (Mögliche jährliche Erntevolumen mit Rinde)

### 4.4.1 Facteurs de réduction

Vu que l'accroissement brut en volume ne représente pas le volume réellement récoltable dans le cadre d'une gestion forestière durable, différents facteurs de réduction sont introduits successivement et cumulativement dans les calculs pour estimer le volume annuel récoltable le plus réaliste possible sur base des données disponibles. Les **facteurs de réduction** considérés sont :

**a)** la réduction du volume pour mortalité naturelle et perte d'exploitation

1. **2%** de réduction pour mortalité naturelle (estimation)
2. **10%** de réduction pour perte d'exploitation (Ernteverlust) (facteur empirique)

**b)** la réduction du volume pour difficultés d'accessibilité et d'exploitabilité du peuplement :

1. **20%** de réduction si pente forte de 30-60% de dénivelé ;
2. **70%** de réduction si pente très forte > 60% de dénivelé ;

**c)** la réduction du volume dans les forêts feuillues protégées résultant des obligations de la loi sur la protection de la nature :

1. **10%** hors ZPIN ou zone Natura 2000
2. **20%** si dans ZPIN ou zone Natura 2000

**d)** la réduction du volume pour le stockage supplémentaire de CO2 (objectif plan climat) :

**10%** en forêt publique.

N'ont pas été considérés comme facteur de réduction :

- la perte pour la déduction de l'écorce, environ 10%, car toutes les données sont exprimées en volume sur écorce ;
- les zones de protection des eaux ; en effet, les interdictions prévues dans les règlements de classement impactent peu le volume exploitable, mais surtout le coût d'exploitation ;
- les biotopes autres que BK13, car leur cartographie n'est pas encore terminée.

#### 4.4.2 Données utilisées pour la prise en compte des facteurs de réduction

##### Facteur de réduction a)

Le facteur de réduction a)1 représente la mortalité naturelle des arbres en forêt. Ce facteur aurait pu être négligé en raison de sa faible importance actuelle. Cependant, une augmentation graduelle de ce facteur n'est pas à exclure dans les années à venir en raison des effets du changement climatique.

Pour l'estimation du facteur de réduction a)1, il est fait recours aux données d'arbres morts de l'IFL2 (chapitre 10, tableau IFL2 10.8). En considérant les volumes d'arbres morts par hectare et par type de peuplement (14 - 34 m<sup>3</sup>/ha), la proportion du volume des arbres morts par rapport au volume bois fort du peuplement (3 - 11%) et une durée moyenne de décomposition des arbres morts par type de peuplement (3 - 10 ans), on peut estimer un taux de mortalité annuelle qui peut servir de facteur de réduction pour le calcul du volume de bois récoltable (tableau 4.4).

En raison du caractère estimatif de ces valeurs, nous avons opté pour la prise en compte de la valeur maximale de 2% pour l'ensemble des peuplements dans le cadre des calculs ultérieurs. Cette valeur sera discutée ultérieurement, notamment en raison des impacts possibles du changement climatique. En effet, en 2019, le taux de mortalité de l'épicéa a augmenté de 1,6 à 10,2% (source inventaire phytosanitaire).

Tableau 4.4 : Estimation du taux de mortalité annuelle

Estimation du taux de mortalité naturelle		Volume BF (m <sup>3</sup> /ha)	Volume arbres morts (m <sup>3</sup> /ha)	Volume arbres morts (%)	Durée moyenne de décomposition (année)	Taux de mortalité annuelle %	
Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	425	18	4%	5	0,9%
		2) Chênaie	344	24	7%	10	0,7%
		3) Feuillus nobles	132	15	11%	5	2,2%
		4) Autres feuillus & mélanges	197	17	9%	5	1,7%
	Résineux	5) Pessière	454	26	6%	3	1,9%
		6) Douglassière	485	14	3%	5	0,6%
		7) Pineraie et Mélèzeraie	333	34	10%	5	2,1%
		8) Autres résineux&mélanges	431	19	5%	5	0,9%
Taillis	Feuillus	9) Taillis	237	18	8%	10	0,8%

Le facteur de réduction a)2 représente les pertes occasionnées lors de la récolte de bois (découpes, non utilisation de la partie aérienne de la souche, ...) qui sont estimées de façon empirique à 10% du volume de l'arbre.



Facteur de réduction b)

Le facteur de réduction b) représente les difficultés d'accessibilité et d'exploitabilité des peuplements.

Pour le calcul des volumes récoltables en fonction du facteur de réduction b), il est fait recours aux données de pente des peuplements de l'IFL2 (chapitre 4). Le tableau 4.5 résume les données de pente de l'IFL2 sous forme de pourcentages des surfaces de forêts dans les 4 catégories de pente.

On constate que plus d'un tiers des forêts du Luxembourg se trouvent sur des pentes > 30%. Il s'agit surtout des peuplements de taillis, des peuplements de feuillus nobles en forêt privée et dans une moindre mesure des pessières et des douglasières.

Tableau 4.5 : Pourcentages de forêts en fonction de la pente (source IFL2).

Variables				% de forêts en pente			
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(8) faible <10%	(9) moyenne 10-30%	(10) forte 30-60%	(11) très forte >60%
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	30%	35%	31%	3%
			2) Chênaie	39%	27%	30%	5%
			3) Feuillus nobles	6%	35%	35%	24%
			4) Autres feuillus & mélanges	41%	29%	24%	5%
		Résineux	5) Pessière	20%	44%	33%	3%
			6) Douglasière	31%	17%	43%	9%
			7) Pîneraie et Mèlèzeraie	50%	13%	38%	0%
			8) Autres résineux & mélanges	32%	38%	24%	5%
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	10%	20%	53%	17%
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	52%	28%	17%	2%
			2) Chênaie	75%	18%	6%	1%
			3) Feuillus nobles	50%	31%	19%	0%
			4) Autres feuillus & mélanges	45%	29%	22%	5%
		Résineux	5) Pessière	29%	32%	37%	3%
			6) Douglasière	11%	44%	39%	6%
			7) Pîneraie et Mèlèzeraie	67%	25%	0%	8%
			8) Autres résineux & mélanges	36%	34%	24%	6%
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	12%	18%	41%	29%
<b>Ensemble des forêts</b>				<b>36%</b>	<b>31%</b>	<b>28%</b>	<b>5%</b>

Les valeurs attribuées à ce facteur de réduction (20% en pente forte, 70% en pente très forte) reflètent l'expérience de terrain des récoltes en forêt publique.

#### *Facteur de réduction c)*

Le facteur de réduction c) représente le statut de classement des forêts en relation avec la loi sur la protection de la nature. Deux critères ont été considérés, le statut de forêt feuillue et l'inclusion ou non dans une zone de protection (Natura 2000 ou ZPIN). Sur base de l'article 17 de la loi sur la protection de la nature, les forêts feuillues, qui sont entièrement classées comme biotopes forestier, sont à considérer séparément en raison des précautions à prendre et des restrictions imposées à leur gestion. L'inclusion des forêts feuillues dans une zone de protection appelle à des restrictions supplémentaires en raison des objectifs de protection propres à ces zones (arbres morts ou biotopes) fixés dans les règlements de classement et les plans de gestion.

Les valeurs attribuées à ce facteur de réduction (10% en forêt feuillue hors zone protégée, 20% en forêt feuillue dans une zone protégée) sont de nature purement estimative. Elles reflètent l'expérience de terrain des récoltes en forêt publique.

Le calcul des volumes récoltables en fonction du facteur de réduction c) nécessite donc les données de surface des forêts feuillues et l'inclusion ou non dans une zone de protection (Natura 2000 ou ZPIN). Le statut de forêt feuillue est directement déduit des données de l'IFL2. Le classement en zone de protection a été obtenu par croisement des couches géographiques des zones protégées et des types de peuplement de la carte phytosociologique des forêts.

Le tableau 4.6 montre que 46% des forêts globalement se trouvent dans des zones Natura 2000 ou dans des zones de protection d'intérêt national (ZPIN). Certaines valeurs extrêmes (0% ou 100%) résultent d'un défaut de correspondance des variables cartographiques avec les données de l'IFL2 (voir explications dans la section méthodologie, variables), mais n'ont pas un impact significatif sur les calculs.

Tableau 4.6 : Pourcentages de forêts dans des zones Natura 2000 ou dans des zones de protection d'intérêt national (ZPIN)

Variables				CN
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(12) Forêts Natura2000 et ZPIN (% des forêts)
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	48%
			2) Chênaie	45%
			3) Feuillus nobles (érable, frêne, merisier)	18%
			4) Autres feuillus&mélanges	31%
		Résineux	5) Pessière	49%
			6) Douglassière	0%
			7) Pineraie et Mélèzeraie	79%
			8) Autres résineux&mélanges	1%
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	52%
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	52%
			2) Chênaie	49%
			3) Feuillus nobles (érable, frêne, merisier)	24%
			4) Autres feuillus&mélanges	38%
		Résineux	5) Pessière	100%
			6) Douglassière	0%
			7) Pineraie et Mélèzeraie	100%
			8) Autres résineux&mélanges	2%
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	78%
<b>Total</b>				<b>46%</b>

#### 4.4.1.4 Facteur de réduction d)

Le facteur de réduction d) représente la réduction du volume pour permettre un stockage supplémentaire de CO<sub>2</sub>. L'introduction de ce facteur dans l'analyse est conforme aux objectifs et mesures du plan climat adopté par le gouvernement en 2020.

Pour le calcul des volumes récoltables en fonction du facteur de réduction d), seules les données de propriété relevées lors de l'inventaire forestier national en 2010 ont été considérées, en appliquant un taux de réduction forfaitaire de 10% pour les forêts publiques. Il est à noter ici que la surface des forêts publiques a augmenté de l'ordre de 2.000 ha depuis 2010 au détriment des forêts privées. Cette réalité n'est pas prise en compte dans les calculs pour ne pas entacher les données de l'IFL2, mais sera discutée ultérieurement.

#### 4.4.2 Résultats après déduction des facteurs de réduction

Les tableaux 4.7, 4.8 et 4.9 fournissent les détails des volumes récoltables annuels pour l'ensemble des variables considérées. Tous les volumes sont exprimés en **m<sup>3</sup>/an sur écorce** de bois fort (Erntevolumen mit Rinde). A remarquer que pour obtenir un volume sous écorce, une réduction supplémentaire d'environ 10% serait à effectuer.

En tenant compte de la mortalité naturelle et des difficultés d'accessibilité et d'exploitabilité des peuplements en pente en relation avec les limitations dues aux techniques sylvicoles adaptées au milieu naturel, le volume total de bois récoltable est estimé à environ **603.000 m<sup>3</sup>/an**. Le tableau ci-dessous donne la ventilation de ce volume pour les variables considérées.

En tenant en plus compte du statut de protection des forêts dans l'intérêt de la protection de la nature, le volume total de bois récoltable est estimé à environ **551.000 m<sup>3</sup>/an**.

En ajoutant aux considérations ci-avant celle de la politique environnementale en matière de lutte contre le changement climatique, le **volume total de bois récoltable** est estimé à environ **519.000 m<sup>3</sup>/an**.

Tableau 4.7 : Volume annuel récoltable sur écorce après déduction des facteurs a) et b)

Variables				Volume annuel récoltable selon facteurs a) b)		
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(16) BFT facteur a) b) (m3/an)	(17) BFB facteur a) b) (m3/an)	(18) BF facteur a) b) (m3/an)
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	42.630	13.965	56.595
			2) Chênaie	8.854	1.910	10.763
			3) Feuillus nobles	3.398	329	3.726
			4) Autres feuillus & mélanges	21.040	2.215	23.255
		Résineux	5) Pessière	167.494	1.034	168.528
			6) Douglassière	21.331	-	21.331
			7) Pineraie et Mélèzeraie	3.091	64	3.156
			8) Autres résineux & mélanges	37.359	1.225	38.584
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	15.117	2.800	17.917
<b>Sous-totaux forêts privées</b>				<b>320.315</b>	<b>23.541</b>	<b>343.856</b>
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	89.607	29.354	118.960
			2) Chênaie	20.366	4.393	24.758
			3) Feuillus nobles	3.239	313	3.552
			4) Autres feuillus & mélanges	17.093	1.799	18.892
		Résineux	5) Pessière	39.029	241	39.270
			6) Douglassière	11.404	-	11.404
			7) Pineraie et Mélèzeraie	4.536	94	4.630
			8) Autres résineux & mélanges	33.794	1.108	34.902
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	2.445	453	2.897
<b>Sous-totaux forêts publiques</b>				<b>221.512</b>	<b>37.755</b>	<b>259.267</b>
<b>Total</b>				<b>541.826</b>	<b>61.296</b>	<b>603.123</b>

Tableau 4.8 : Volume annuel récoltable sur écorce après déduction des facteurs a), b) et c)

Variables				Volume annuel récoltable selon facteurs a) b) c)		
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(19) BFT facteur a) b) c) (m3/an)	(20) BFB facteur a) b) c) (m3/an)	(21) BF facteur a) b) c) (m3/an)
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	34.701	11.368	46.069
			2) Chênaie	7.226	1.558	8.784
			3) Feuillus nobles	2.776	269	3.044
			4) Autres feuillus & mélanges	17.576	1.850	19.426
		Résineux	5) Pessière	167.494	1.034	168.528
			6) Douglassière	21.331	-	21.331
			7) Pineraie et Mélèzeraie	3.091	64	3.156
			8) Autres résineux & mélanges	37.359	1.225	38.584
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	11.601	2.148	13.749
<b>Sous-totaux forêts privées</b>				<b>303.156</b>	<b>19.516</b>	<b>322.672</b>
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	73.146	23.962	97.107
			2) Chênaie	16.854	3.635	20.489
			3) Feuillus nobles	2.761	267	3.029
			4) Autres feuillus & mélanges	14.161	1.491	15.651
		Résineux	5) Pessière	39.029	241	39.270
			6) Douglassière	11.404	-	11.404
			7) Pineraie et Mélèzeraie	4.536	94	4.630
			8) Autres résineux & mélanges	33.794	1.108	34.902
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	1.711	317	2.028
<b>Sous-totaux forêts publiques</b>				<b>197.396</b>	<b>31.115</b>	<b>228.511</b>
<b>Total</b>				<b>500.552</b>	<b>50.631</b>	<b>551.183</b>

Tableau 4.9 : Volume annuel récoltable sur écorce après déduction des facteurs a), b), c) et d)

Variables				Volume annuel récoltable selon facteurs a) b) c) d)		
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	(22) BFT facteur a) b) c) d) (m3/an)	(23) BFB facteur a) b) c) d) (m3/an)	(24) BF facteur a) b) c) d) (m3/an)
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	34.701	11.368	46.069
			2) Chênaie	7.226	1.558	8.784
			3) Feuillus nobles	2.776	269	3.044
			4) Autres feuillus & mélanges	17.576	1.850	19.426
		Résineux	5) Pessière	167.494	1.034	168.528
			6) Douglasière	21.331	-	21.331
			7) Pineraie et Mélèzeraie	3.091	64	3.156
			8) Autres résineux&mélanges	37.359	1.225	38.584
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	11.601	2.148	13.749
<b>Sous-totaux forêts privées</b>				<b>303.156</b>	<b>19.516</b>	<b>322.672</b>
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	62.340	20.422	82.762
			2) Chênaie	14.490	3.125	17.615
			3) Feuillus nobles	2.377	230	2.607
			4) Autres feuillus & mélanges	12.032	1.267	13.298
		Résineux	5) Pessière	34.056	210	34.266
			6) Douglasière	9.910	-	9.910
			7) Pineraie et Mélèzeraie	3.984	83	4.067
			8) Autres résineux & mélanges	29.524	968	30.492
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	1.298	240	1.538
<b>Sous-totaux forêts publiques</b>				<b>170.011</b>	<b>26.545</b>	<b>196.556</b>
<b>Total</b>				<b>473.166</b>	<b>46.062</b>	<b>519.228</b>

En analysant plus en détail le potentiel total de **519.228 m3/an** de bois récoltable après déduction de l'ensemble des facteurs de réduction (volume sur écorce de bois fort), on constate que 62% de ce potentiel se trouve dans les forêts privées, contre 38% dans les forêts publiques.

Propriétaire	Potentiel m3/an	%
privé	322.672	62%
public	196.556	38%

En termes d'essences forestières, on constate que le potentiel cumulé de trois essences (épicéa, hêtre, chêne) représente à lui seul plus de 75% du potentiel total de nos forêts.

Type de peuplement	Volume bois fort m3/an	% du potentiel total
Pessière	202.794	39%
Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne	139.740	27%
Chênaies	52.595	10%

Le tableur numérique annexé à la présente étude permet de calculer et d'afficher tous les résultats détaillés en fonction des critères, des demandes et interrogations des intéressés au moyen d'un tableau croisé préfiguré.

Lorsqu'on exprime de nouveau les données obtenues en potentiel de récolte par hectare (m3 de bois fort sur écorce), il apparaît que le volume unitaire à ne pas dépasser lors des récoltes dans les forêts de production est de 3,8 m3/ha/an en moyenne dans les peuplements feuillus et de 11,5 m3/ha/an en moyenne dans les peuplements résineux (tableau 4.10). Ce potentiel de récolte varie en fonction du type de propriété (objectifs différents) et en fonction des essences présentes dans les peuplements.

Ainsi, à titre d'exemple et avec les paramètres ci-dessus des facteurs de réduction, le potentiel de récolte se situe à 4,4 m3/ha/an pour les hêtraies et à 3,8 m3/ha/an pour les chênaies dans les forêts publiques, respectivement de 5 et 4 m3/ha/an dans les forêts privées.



Tableau 4.10 : Potentiel de récolte par hectare dans les différents types de peuplement des forêts de production en forêt privée et en forêt publique (volume sur écorce)

<b>Variables</b>				<b>Potentiel de récolte (bois fort) (m3/ha/an)</b>
Type de propriétaire	Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	
privé	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	5,0
			2) Chênaie	4,0
			3) Feuillus nobles	3,6
			4) Autres feuillus & mélanges	4,2
		Résineux	5) Pessière	12,9
			6) Douglasière	12,2
			7) Pineraie et Mélèzeraie	7,9
			8) Autres résineux & mélanges	10,0
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	1,6
public	Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	4,4
			2) Chênaie	3,8
			3) Feuillus nobles	4,2
			4) Autres feuillus & mélanges	3,6
		Résineux	5) Pessière	11,2
			6) Douglasière	11,0
			7) Pineraie et Mélèzeraie	7,1
			8) Autres résineux & mélanges	8,7
	Taillis	Feuillus	9) Taillis	1,0

<b>Potentiel de récolte par hectare (bois fort) (m3/ha/an)</b>	
Valeur moyenne pour les feuillus	<b>3,8</b>
Valeur moyenne pour les résineux	<b>11,5</b>

## 5. Discussion, conclusion et recommandation

### 5.1 Stockage d'une partie de l'accroissement

Les résultats montrent qu'une partie importante de l'accroissement des forêts de production peut rester dans les peuplements pour intégrer le cycle naturel de la décomposition. En considérant la différence entre l'accroissement brut et le potentiel de récolte, on évalue qu'une **biomasse ligneuse aérienne** théorique d'environ **241.000 m3** pourrait s'accumuler chaque année dans les forêts de production du Luxembourg et augmenter ainsi continuellement le volume total de sa biomasse jusqu'à l'équilibre maximal, déduction faite de la décomposition naturelle. Ceci représenterait environ **3 m3/ha/an** d'accumulation supplémentaire de biomasse ligneuse dans les forêts de production qui totalisent 81.700 ha au Luxembourg, soit en moyenne 30% de l'accroissement biologique.

Le tableau ci-dessous montre que le potentiel le plus élevé se situe dans les peuplements feuillus des forêts de production des forêts publiques. Ces chiffres ne comprennent pas le potentiel additionnel de stockage de biomasse dans les forêts qui ne sont pas destinées à l'exploitation (RFI, îlots de vieillissement), dont l'accroissement annuel brut en bois fort est estimé à 26.000 m3.

Propriétaire	Forêts de production (ha)	Accroissement stocké bois fort (m3/an)	%	Feuillus	Résineux
privé	44.500	118.000	49	23%	26%
public	37.200	123.000	51	36%	15%

### 5.2 Interprétation, ajustements, évolution et risques

Lorsqu'on éclate les résultats par peuplement simplifié (feuillus, résineux), on constate que **60% du potentiel global se situe dans les peuplements résineux** et 40% dans les pessières (203.000 m3/an), alors que ces peuplements ne représentent respectivement que 33 % et 20% de la surface des forêts de production. Ceci résulte principalement du fait que l'accroissement dans les pessières et les douglasières est deux fois plus important que celui des autres peuplements et qu'accessoirement il y a moins de limitations pour la récolte de bois dans les résineux.

Peuplement simplifié	Forêts de production (ha)	%	Potentiel m3/an	%
Résineux	27.000	33	310.000	60
Feuillus	55.000	67	209.000	40

Au vu de la grande vulnérabilité des résineux, et plus particulièrement de l'épicéa dans le cadre du changement climatique, notamment à cause du bostryche et des chablis, l'évolution dans le temps de ce potentiel est incertaine. A moyen et à long termes, le dépérissement progressif des peuplements d'épicéa (16.000 ha de pessières) pourrait avoir un impact négatif significatif sur le potentiel de bois résineux au Luxembourg, du moins si le phénomène s'accélère pour dépasser 500 ha/an de dépérissement, ce qui correspondrait à une disparition des peuplements actuels en moins de 30 ans et qui serait insuffisant pour reconstituer des peuplements récoltables durant cette période.

L'estimation de cet impact peut aussi être effectué en considérant l'évolution de la surface des coupes à blanc dans l'analyse (réduction de la surface des peuplements de production). Les coupes à blanc représentent 850 ha en 2010 sur base des données de l'IFL2. Cette surface semble actuellement assez stable, car Luxspace l'évalue à environ 857 ha en 2019, dont 642 ha dans les pessières. Mais les coupes à blanc vont certainement augmenter drastiquement si le dépérissement de l'épicéa continue à progresser dans les années à venir. En 2019, l'inventaire phytosanitaire constate une mortalité record de 10,2 % des résineux, ce qui correspond à une augmentation de 280% par rapport à 2018.

En prenant l'hypothèse d'un dépérissement future annuel linéaire de 500 ha de pessières, le potentiel en bois d'épicéa ne serait plus que de 140.000 m<sup>3</sup>/an en 2030 et de 80.000 m<sup>3</sup>/an en 2040.

En plus de l'affaiblissement de la santé des arbres, un autre élément pourrait avoir une influence notable sur l'évolution future du potentiel de bois récoltable dans les forêts de production : la vitesse de croissance des arbres. L'étude internationale de W.Yuan et al. publiée en 2019 conclut que l'effet positif de l'élévation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique et des températures sur la croissance de la végétation planétaire a commencé à s'inverser en 2000 et montre maintenant une tendance à la baisse en raison d'une baisse inexplicite de l'évaporation des océans et d'une augmentation conséquente du déficit de pression de vapeur d'eau dans l'air. Les auteurs de l'article estiment que leurs analyses montrent que le déficit croissant de vapeur d'eau contribue aux mortalités observées dans les forêts et liées à des sécheresses. Ce phénomène conduit à une réduction de l'ouverture des stomates des feuilles et donc à une diminution de la photosynthèse.

Les modèles climatiques pour le Luxembourg prédisent une augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes et du stress hydrique pendant la période de végétation (Goergen K. 2013). Les événements de forte sécheresse et de forte température, tels que ceux observés en 2003, 2018 et 2019, ont un impact négatif direct sur la croissance des arbres. Les études de dendrochronologie confirment une baisse d'environ 10% de la croissance des arbres pendant 2 années suite à une année de sécheresse. Ciais et al. (2005) calcule une réduction de 16% de la productivité des forêts d'Europe pendant l'été sec et chaud de 2003, comparé à la période 1998–2002. Rötzer et al. (2013) prédit même une baisse future de 30% de la productivité en appliquant le modèle de croissance BALANCE aux modèles climatiques pour une hêtraie en Sarre.

Les peuplements feuillus semblent à priori représenter actuellement le potentiel de récolte le plus stable. Ils représentent un potentiel de bois récoltable de 209.000 m<sup>3</sup>/an, soit 40% du potentiel total de toutes les forêts de production. 56% de ce potentiel se situe dans les futaies feuillues des forêts

publiques. Dans les forêts privées, ce potentiel se répartie à hauteur de 37% dans les futaies et 6% dans les taillis.

Propriétaire	Forêts feuillues de production (ha)	Potentiel (m3/an)	%	Futaies	Taillis
privé	25.500	91.000	44	37%	6%
public	29.150	118.000	56	56%	1%

Globalement, les taillis de chêne représentent un potentiel de récolte très faible inférieur à 15.000 m3/an. On peut considérer ce faible potentiel comme une chance en termes de risques globaux, car les taillis de chêne sont également assez vulnérables en raison de l'inadéquation du chêne pédonculé aux conditions stationnelles de l'Oesling, du risque nutritionnel qui en résulte et de l'âge avancé des souches suite à l'abandon généralisé de leur mode de gestion.

En termes de **qualité commerciale** des bois, l'analyse ne permet pas de faire des estimations très précises. Le volume bois fort tige représente en moyenne 90 % du potentiel de bois fort disponible. Ceci ne représente cependant pas le volume de bois d'œuvre, car une partie seulement du volume bois fort total, 57 % (IFL2) représente des tiges de diamètre suffisant (grosseur commerciale). L'IFL2 (section 6.2.2) fournit une estimation de la qualité des bois sur base d'une notation visuelle des principaux défauts des troncs des arbres observés lors des relevés, et conclut qu'environ 81 % du volume est de qualité moyenne (avec défauts commercialisables), 12 % de qualité bonne (quelques défauts insignifiants) à supérieure (sans défauts) et 7 % de mauvaise qualité. En extrapolant ces résultats, on peut estimer que le volume de bois d'œuvre de qualité moyenne à supérieure commercialisable représente environ 53 % du volume total de bois fort récoltable (93 % qualité de 57 % grosseur commerciale).

### 5.3 Comparaison du potentiel avec le prélèvement

Les données de prélèvement sont disponibles dans les futaies pour les différents types de peuplement sur base des résultats de l'IFL2. Dans le tableau 5.1, on constate que tous les taux de prélèvement sont nettement inférieurs à 70 %, avec une variation importante (19 à 64 %) en fonction des types de peuplement pour la période 2000-2010. Cependant, lorsqu'on exprime le prélèvement en valeur absolue annuelle et qu'on le compare aux données du potentiel calculé du tableau ... pour les mêmes types de peuplement, on constate malgré tout un dépassement du potentiel pour les hêtraies et mélanges hêtre, chêne, charme de l'ordre de 20.000 m3 par année et une valeur proche du potentiel pour les chênaies.

Tableau 5.1 : Comparaison du prélèvement dans les futaies (source IFL2) avec le potentiel calculé par l'étude (volumes sur écorce)

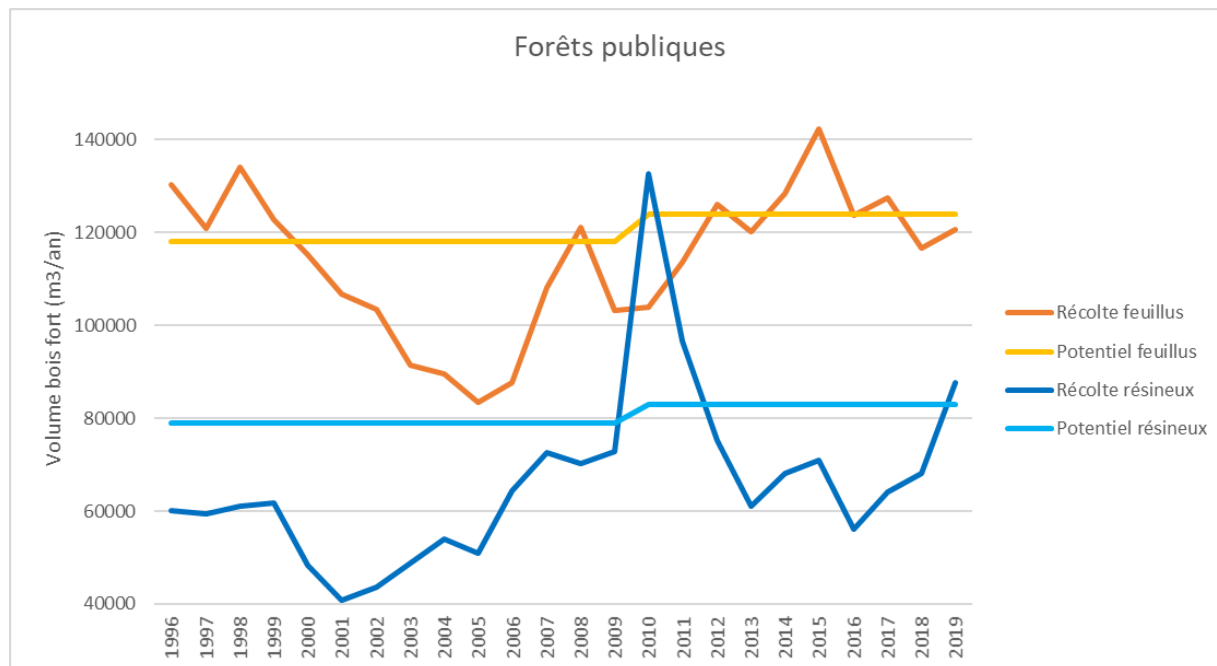
Variables			Prélèvement			Potentiel calculé
Structure simplifiée	Peuplement simplifié	Type de peuplement	Bois fort Total (m3/ha/an)	% de l'accroissement brut	Volume bois fort (m3/an)	(24) BF facteur a) b) c) d) (m3/an)
Futaie	Feuillus	1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	5,0	64%	148.400	128.800
		2) Chênaie	3,4	55%	25.000	26.400
		3) Feuillus nobles	1,3	19%	2.100	5.700
		4) Autres feuillus & mélanges	2,2	35%	19.500	32.700
	Résineux	5) Pessière	10,4	64%	168.500	202.800
		6) Douglasière	9,8	59%	26.000	31.200
		7) Pineraie et Mélèzeraie	4,2	43%	4.200	7.200
		8) Autres résineux & mélanges	5,4	43%	39.800	69.100

Lorsqu'on effectue cette comparaison pour les forêts publiques sur base des données réelles d'exploitation dans les forêts publiques et le potentiel calculé et adapté à l'augmentation de la surface des forêts publiques de 2000 ha depuis 2010, on constate que les volumes prélevés dépassent le potentiel calculé pour certaines années (graphique 5.1).

Pour la récolte des bois feuillus, le dépassement important mais temporaire pendant la période 2012-2017 résulte de la mise en œuvre des projets de régénération du chêne dans les hêtraies et dans les peuplements mélangés hêtre-chêne-charme.

Le prélèvement dans les résineux est par contre globalement en dessous du potentiel calculé, sauf pour l'année 2010 en raison de la récolte des chablis de tempête. On constate d'ailleurs une remontée importante des récoltes de résineux à partir de 2018 en raison des dépérissements dus aux attaques du bostryche.

Graphique 5.1 : Comparaison des volumes récoltés dans les forêts publiques de 1996 à 2018 (données d'exploitation ANF) et du potentiel calculé par l'étude (volumes bois fort sur écorce)



#### 5.4 Conclusion et recommandation

La comparaison des données du potentiel de récolte et des prélèvements ne laisse pas indifférente lorsqu'on considère en sus les futures incertitudes liées au changement climatique. Même si le dépassement du potentiel opéré temporairement dans les forêts feuillues publiques pour régénérer le chêne dans les hêtraies mélangées a été réalisé dans un but d'une meilleure adaptation de ces peuplements aux futurs aléas du climat, la prudence est de mise quant à l'ouverture de la canopée des vieilles hêtraies.

Si on considère l'éventualité d'une réduction future de la croissance des arbres de l'ordre de 10 à 30% telle qu'annoncée par certaines études scientifiques, alors une réduction immédiate et initiale de 10% à 20% des niveaux actuels de récolte dans les peuplements feuillus est recommandée. Cette approche prudente est probablement nécessaire en raison des incertitudes et des risques liés au changement climatique. Elle permettra le maintien de la vitalité des forêts feuillues ainsi que la fourniture équilibrée des services écosystémiques grâce à une gestion durable et proche de la nature.

La mise en place d'un suivi scientifique plus ambitieux de l'évolution des paramètres de vitalité et de croissance de nos forêts semble indispensable dans ce contexte.

A court terme, une actualisation de cette étude sera indispensable lorsque les résultats de l'IFL3 seront disponibles.

## Annexes

### Annexe 1 : Correspondance des types de peuplement et de la carte phytosociologique

Tableau de correspondance entre les types de peuplement de cette étude et les données cartographiques utilisées (carte phytosociologique des forêts 2014)

Type peuplement	TYPE	LABEL	DESC_F
1) Hêtraie & mélange Hêtre-Chêne-Charme	26	Hetr	Hêtre
	28	LF	Hêtraie à luzule blanchâtre
	29	LFC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre
	30	LFde	Hêtraie à luzule blanchâtre et canche flexueuse
	32	LFdeh	Hêtraie à luzule blanchâtre et canche flexueuse, variante humide
	34	LFdy	Hêtraie à luzule blanchâtre, fougères et lamier
	36	LFdyh	Hêtraie à luzule blanchâtre, fougères et lamier, variante humide
	38	LFfe	Hêtraie à luzule blanchâtre et fétuque
	40	LFfeh	Hêtraie à luzule blanchâtre et fétuque, variante humide
	41	LFmi	Hêtraie à luzule blanchâtre et millet étalé
	43	LFmih	Hêtraie à luzule blanchâtre et millet étalé, variante humide
	45	LFty	Hêtraie à luzule blanchâtre typique
	47	LFtyh	Hêtraie à luzule blanchâtre typique, variante humide
	49	LFva	Hêtraie à luzule blanchâtre et myrtille
	51	LFvah	Hêtraie à luzule blanchâtre et myrtille, variante humide
	54	LFh	Hêtraie à luzule blanchâtre, variante humide
	62	MF	Hêtraie à Aspérule et Mélique uniflore
	63	MFar	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Gouet
	65	MFarh	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Gouet, variante humide
	68	MFca	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Laïche digitée
	70	MFcah	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Laïche digitée, variante humide
	72	MFcc	Hêtraie calcicole à Laïche digitée et orchidées
	74	MFfe	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Fétuque des bois
	76	MFfeh	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Fétuque des bois, variante humide
	78	MFic	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore, Laïche digitée et Luzule blanchâtre
	80	MFich	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore, Laïche digitée et Luzule blanchâtre, variante humide
82	MFiz	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Luzule blanchâtre	

	84	MFlzh	Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Luzule blanchâtre, variante humide
	86	MFty	Hêtraie à Aspérule et Mélique uniflore typique
	88	MFtyh	Hêtraie à Aspérule et Mélique uniflore typique, variante humide
2) Chênaie	11	CheN	Chêne sp.
	12	CHeP	Chêne pédonculé
	13	CheR	Chêne rouge
	13	CheR	Chêne rouge
	14	CheS	Chêne sessile
	17	CQme	Chênaie xérocline à campanules et mélique
	18	CQty	Chênaie xérocline à campanules typique
	31	LFdeC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre et canche flexueuse
	35	LFdyC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre, fougères et lamier
	37	LFdyhC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre, fougères et lamier, variante humide
	39	LFfeC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre et fétuque
	42	LFmiC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre et millet étalé
	44	LFmihC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre et millet étalé, variante humide
	46	LFtyC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre typique
	48	LFtyhC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre typique, variante humide
	50	LFvaC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre et myrtille
	52	LFvahC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à luzule blanchâtre et myrtille, variante humide
	64	MFarC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Gouet
	66	MFarhC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Gouet, variante humide
	67	MFC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule et Mélique uniflore
	69	MFcaC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Laïche digitée
	71	MFcahC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Laïche digitée, variante humide
	73	MFccC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie calcicole à Laïche digitée et orchidées
	75	MFfeC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Fétuque des bois



	77	MFfehC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Fétuque des bois, variante humide
	79	MFfC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore, Laïche digitée et Luzule blanchâtre
	81	MFfchC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore, Laïche digitée et Luzule blanchâtre, variante humide
	83	MFfzC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Luzule blanchâtre
	85	MFfzhC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule, Mélique uniflore et Luzule blanchâtre, variante humide
	87	MFfTyC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule et Mélique uniflore typique
	89	MFfTyhC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule et Mélique uniflore typique, variante humide
	92	PC	Chênaie pédonculée
	93	PCal	Chênaie pédonculée
	94	PCalh	Chênaie pédonculée à Ail des ours
	95	PCas	Chênaie pédonculée à Aspérule
	96	PCash	Chênaie pédonculée à Aspérule, variante humide
	97	PCco	Chênaie pédonculée à Corydale
	99	PCfp	Chênaie pédonculée à Aspérule, Ficaire et Parisette
	100	PCfph	Chênaie pédonculée à Aspérule, Ficaire et Parisette, variante humide
	101	PCft	Chênaie pédonculée à Aspérule et Ficaire
	102	PCfth	Chênaie pédonculée à Aspérule et Ficaire, variante humide
	103	PCty	Chênaie pédonculée typique
	104	PCtyh	Chênaie pédonculée typique, variante humide
	134	MFhC	Chênaie (-hêtraie) de substitution de la Hêtraie à Aspérule et Mélique uniflore, variante humide
3) Feuillus nobles	19	DA	Erablière de ravin acidiphile à Dicrane et Fougères
	22	Erab	Erables
	25	Fren	Frêne
	61	Meri	Merisier
	128	TA	Erablière de ravin calcicole à Tilleuls et Scolopendre
	132	UA	Erablière de ravin à Ormes et Polystic
	133	UF	Ormaie-Frênaie alluviale
4) Autres feuillus&mélanges	2	AUBI	Aulne blanc
	3	AUGI	Aulne glutineux
	3	AUGI	Aulne glutineux
	4	Boul	Bouleaux
	5	Bp	Boulaie pubescente tourbeuse
	6	BrAm	Broussaille, arbustes en mélange
	8	CF	Aulnaie-frênaie alluviale à Laïches

	9	ChaM	Châtaigner ou Marronnier
	10	Char	Charme
	20	EA	Aulnaie marécageuse à Laîche allongée
	23	Fedi	Feuillus divers
	24	FeMe	Feuillus en mélange
	27	LA	Aulnaie marécageuse à Laîche lisse
	59	MA	Aulnaie marécageuse à hautes herbes
	105	PeNB	Peuplier noir ou baumier
	106	PeTr	Peuplier tremble
	120	RA	Aulnaie marécageuse à Laîche espacée
	123	Robi	Robinier
	124	SA	Aulnaie (-frênaie) à Stellaire des bois
	125	Saul	Saules
	126	SB	Saulaie alluviale arbustive à saule blanc
	127	SV	Saulaie alluviale arbustive à saule osier
	131	Till	Tilleuls
5) Pessière	21	EpSD	Epicéa, Sapins, Douglas
7) Pineraie et Mélèzeraie	60	Mele	Mélèzes
	108	Pins	Pins
8) Autres résineux&mélanges	121	Redi	Résineux divers
	122	ReMe	Résineux en mélange
	130	Thuy	Thuyas
9) Taillis de Chêne	16	CQ	Chênaie xérocline à campanules
	53	LQ	Chênaie sessiliflore (taillis) à Luzule blanchâtre
	55	LQty	Chênaie sessiliflore (taillis) à Luzule blanchâtre typique
	57	LQvi	Chênaie sessiliflore (taillis) à Luzule blanchâtre et Violette
	58	LQvih	Chênaie sessiliflore (taillis) à Luzule blanchâtre et Violette, variante humide
	111	QC	Chênaie (taillis) à Charme
	112	QCar	Chênaie (taillis) à Charme et Gouet
	113	QCarh	Chênaie (taillis) à Charme et Gouet, variante humide
	114	QCII	Chênaie (taillis) à Charme, Luzule et Lamier jaune
	115	QCIIh	Chênaie (taillis) à Charme, Luzule et Lamier jaune, variante humide
	116	QCiz	Chênaie (taillis) à Charme et Luzule blanchâtre
	117	QCizh	Chênaie (taillis) à Charme et Luzule blanchâtre, variante humide
	118	QCty	Chênaie (taillis) à Charme typique
	119	QCtyh	Chênaie (taillis) à Charme typique, variante humide

## Annexe 2 : Accroissements dans les forêts allemandes

Afin de tester la plausibilité des résultats, une comparaison a été réalisée entre les données d'accroissement du Luxembourg et celles de l'inventaire forestier national en Allemagne.

On constate que les données d'accroissement pour la forêt allemande, y compris les intervalles de confiance à 95% pour la période d'inventaire 2002-2012 disponibles sur le site du Thünen Institut (<https://bwi.info>) sont tout à fait comparable à celles obtenues par l'IFL2 au Luxembourg.

Land	Einheit	Baumartengruppe											
		Eiche	Buche	andere Lb hoher Lebensdauer	andere Lb niedriger Lebensdauer	alle Laubbäume	Fichte	Tanne	Douglasie	Kiefer	Lärche	alle Nadelbäume	alle Baumarten
Baden-Württemberg	[m³/ha*a] SE95 ±	7,69 0,25	10,27 0,19	8,52 0,27	6,55 0,45	9,02 0,15	15,11 0,25	16,06 0,46	19,38 0,91	6,75 0,29	8,23 0,40	14,31 0,21	11,74 0,15
Bayern	[m³/ha*a] SE95 ±	8,79 0,38	10,71 0,38	8,73 0,54	7,16 0,57	9,19 0,26	15,11 0,32	15,74 1,15	18,81 2,38	7,92 0,26	9,85 0,68	13,04 0,25	11,57 0,20
Brandenburg + Berlin	[m³/ha*a] SE95 ±	8,81 0,69	9,92 1,22	9,22 1,49	6,14 0,56	7,75 0,44	16,43 1,71	- -	18,76 2,92	10,63 0,28	12,18 1,66	10,91 0,28	10,07 0,25
Hessen	[m³/ha*a] SE95 ±	8,15 0,44	10,06 0,49	8,63 0,90	6,57 0,74	9,06 0,35	16,60 0,78	32,56 17,43	19,09 2,34	8,23 0,69	10,13 0,73	14,05 0,61	10,90 0,36
Mecklenburg-Vorpommern	[m³/ha*a] SE95 ±	8,09 0,38	10,29 0,49	9,42 0,52	7,10 0,34	8,45 0,23	16,75 0,71	25,44 15,18	17,15 1,91	10,76 0,29	13,62 0,84	12,05 0,29	10,14 0,20
Niedersachsen	[m³/ha*a] SE95 ±	9,42 0,46	10,63 0,53	10,64 0,94	6,41 0,48	8,89 0,30	15,23 0,65	25,06 10,12	17,64 1,47	9,28 0,32	11,34 0,70	11,84 0,35	10,32 0,24
Nordrhein-Westfalen	[m³/ha*a] SE95 ±	7,62 0,47	9,49 0,56	9,55 0,91	5,84 0,59	8,07 0,32	16,42 0,60	9,30 7,44	15,31 2,80	7,30 0,87	12,00 1,06	14,56 0,55	10,73 0,35
Rheinland-Pfalz	[m³/ha*a] SE95 ±	7,34 0,20	10,04 0,25	7,86 0,42	6,66 0,37	8,33 0,16	15,59 0,41	18,71 3,14	19,98 0,70	7,49 0,32	9,70 0,58	13,87 0,33	10,42 0,18
Saarland	[m³/ha*a] SE95 ±	9,32 1,09	11,72 1,78	9,18 1,77	6,78 1,17	9,31 0,92	20,20 2,81	30,88 0,00	24,95 7,12	6,86 1,99	11,11 2,50	16,97 2,67	11,08 1,06
Sachsen	[m³/ha*a] SE95 ±	9,30 0,72	11,58 1,16	9,89 1,18	5,57 0,45	7,83 0,41	15,51 0,54	5,97 7,83	11,77 6,90	9,25 0,43	11,01 1,04	12,57 0,41	10,89 0,33
Sachsen-Anhalt	[m³/ha*a] SE95 ±	7,45 0,77	8,95 1,05	8,10 1,11	5,82 0,74	7,28 0,49	13,27 1,07	- -	21,31 6,96	10,53 0,46	10,55 2,08	11,12 0,43	9,30 0,37
Schleswig-Holstein	[m³/ha*a] SE95 ±	8,61 0,54	12,25 0,64	10,75 0,89	6,87 0,59	9,54 0,38	15,73 0,84	22,67 5,84	15,84 2,26	9,11 0,74	11,68 0,84	13,66 0,64	10,91 0,35
Thüringen	[m³/ha*a] SE95 ±	9,49 0,76	10,22 0,61	8,85 0,84	5,35 0,66	9,14 0,43	13,21 0,49	10,35 4,22	18,18 4,95	10,58 0,62	1,24	12,41 0,40	10,89 0,31
Hamburg + Bremen	[m³/ha*a] SE95 ±	5,46 1,11	11,09 1,51	8,17 1,70	6,97 1,68	8,26 1,24	16,89 0,00	- -	19,59 0,00	8,46 4,04	- -	10,71 4,14	8,66 1,95
Deutschland (alle Länder)	[m³/ha*a] SE95 ±	8,28 0,14	10,29 0,15	8,88 0,21	6,44 0,17	8,68 0,09	15,29 0,16	16,27 0,58	18,89 0,58	9,48 0,13	10,72 0,27	12,81 0,11	10,85 0,08

## Bibliographie

ANF 2003, La forêt luxembourgeoise en chiffres – Résultats de l’Inventaire Forestier National 1998-2000 (IFL1)

ANF 2014, La forêt luxembourgeoise en chiffres – Résultats de l’Inventaire Forestier National 2009-2011 (IFL2)

BS Umweltberatung & Management 2020, Potenzial- und Implementierungsstudie „Holz von Hier Luxemburg“ - Lösungen aus Luxemburg für Europa, Zwischenbericht

Ciais P, et al. 2005, Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003, Nature

Goergen K et al. 2013, ENSEMBLES-based assessment of regional climate effects in Luxembourg and their impact on vegetation, Climatic Change

Hébert J et al. 2004, Estimation de l’accroissement et de la production forestière à l’aide de placettes permanentes concentriques, INRA Ann. For. Sci.

Luxspace 2020, Forest Clear-Cut areas, Update 2017 – 2019

Roetzer T et al. (2013) Modelling the impact of climate change on the productivity and water-use efficiency of a central European beech forest, Climate Research

STATEC, <https://statistiques.public.lu>

UNECE, Forest Data and Statistics, <http://www.unece.org/forests/fpm/onlinedata>

Yuan W. et al. (2019) Increased atmospheric vapor pressure deficit reduces global vegetation growth, Science Advances