



**Association futaie Irrégulière**

## Valorisation de la base AFI

Janvier - 2020



*Améliorer le capital producteur  
en mobilisant mieux  
tout en préservant plus.*

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Le réseau AFI : état actuel et perspectives</b>	<b>14</b>
1.1	Etat du réseau . . . . .	14
1.1.1	Son organisation . . . . .	14
1.1.2	Sa répartition géographique . . . . .	17
1.1.2.1	Répartition en France . . . . .	17
1.1.2.2	Répartition en Europe . . . . .	18
1.1.3	Sa répartition climatique . . . . .	19
1.2	Stratégies et perspectives . . . . .	22
1.2.1	Les changements globaux . . . . .	22
1.2.2	Apport des données numériques . . . . .	25
<b>2</b>	<b>Bilan dendrométrique et sylvicole</b>	<b>28</b>
2.1	Différentes phases de la conversion en futaie irrégulière . . . . .	28
2.1.1	Anciens taillis-sous-futaie . . . . .	28
2.1.2	Cas particulier des peuplements capitalisés . . . . .	30
2.2	Gestion du capital sur pied : recherche d'un peuplement idéal . . . . .	31
2.2.1	Evolution du capital sur pied . . . . .	31
2.2.2	Accroissement en volume . . . . .	32
2.2.3	Analyses des prélèvements en volume . . . . .	34
2.2.3.1	Taux de prélèvements sur la période . . . . .	34
2.2.3.2	Temps de retour du capital volume . . . . .	35
2.2.3.3	Nature des prélèvements . . . . .	38
2.2.4	Le martelage : raisons et analyses . . . . .	38
2.2.4.1	Sacrifices d'exploitabilité . . . . .	39
2.2.4.2	Régression logistique : analyse des stratégies de martelage . . . . .	40
2.2.5	Renouvellement . . . . .	42
2.2.5.1	Importance en surface . . . . .	42
2.2.5.2	Importance par classe de dimension . . . . .	43
2.2.5.3	Urgence à régénérer . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Bilan économique</b>	<b>47</b>
3.1	Analyse des recettes et des dépenses . . . . .	48
3.1.1	Recettes . . . . .	48
3.1.1.1	Recettes globales . . . . .	48
3.1.1.2	Recettes issues des coupes de bois : analyse en valeur des prélèvements . . . . .	50
3.1.2	Dépenses . . . . .	55
3.2	Evolution du capital financier d'après une mercuriale de prix fixe . . . . .	56
3.2.1	Evolution de la valeur de consommation . . . . .	56
3.2.2	Evolution de la valeur potentielle . . . . .	60
3.2.3	Comparaison des valeur de consommation et potentielle . . . . .	62
3.2.4	Accroissement brut en valeur . . . . .	63
3.2.5	Accroissements en valeur par m3 produit . . . . .	63
3.2.6	Temps de rotation du capital valeur . . . . .	64
3.3	Analyse croisée en volume et en valeur sur quelques dispositifs . . . . .	66
3.3.1	Les dispositifs du Bois du Château et de la Forêt de Gergy . . . . .	66

3.3.2	Le dispositif de Métendal . . . . .	66
3.4	Evolution du capital financier en intégrant la volatilité des cours du bois . . . . .	68
3.4.1	Volatilité des cours du bois . . . . .	68
3.4.1.1	Cas du chêne . . . . .	68
3.4.1.2	Cas du hêtre . . . . .	69
3.4.1.3	Cas de l'épicéa . . . . .	70
3.4.1.4	Intérêt des peuplements mélangés . . . . .	71
3.4.2	Installation d'une double comptabilité . . . . .	72
3.4.2.1	Suivi du cours des prix du bois issus de La Forêt Privée . . . . .	72
3.4.2.2	Définition de nouvelles variables économiques intégrant la variabilité annuelle des cours du bois . . . . .	73
3.4.2.3	Résultats à l'échelle du réseau AFI . . . . .	74
3.4.2.4	Résultats particuliers : dispositifs de Gergy et du Bois du Château . . . . .	76
3.4.2.5	Résultat particulier : dispositif de la Quiquengrogne . . . . .	76
3.4.2.6	Résultat particulier : dispositif du Bois du Grand Lomont . . . . .	77
3.4.2.7	Discussion et conclusion . . . . .	78
<b>4</b>	<b>Bilan écologique</b>	<b>79</b>
4.1	Suivi du bois mort . . . . .	79
4.1.1	Bois mort total . . . . .	79
4.1.1.1	Volume total . . . . .	79
4.1.1.2	Volume des pièces supérieures à 30 cm . . . . .	81
4.1.2	Bois mort au sol . . . . .	82
4.1.2.1	Diamètres des bois morts au sol . . . . .	82
4.1.2.2	Type de bois mort au sol . . . . .	84
4.1.2.3	Evolution du bois mort au sol . . . . .	85
4.1.2.4	Apport de bois mort au sol . . . . .	86
4.1.3	Bois mort sur pied . . . . .	87
4.1.3.1	Diamètre du bois sur pied . . . . .	87
4.1.3.2	Type de bois mort sur pied . . . . .	88
4.1.3.3	Evolution du bois mort sur pied . . . . .	89
4.1.3.4	Ratio bois mort sur pied - bois vivant . . . . .	90
4.1.4	Bilan bois mort . . . . .	90
4.2	Suivi d'indicateurs de naturalité . . . . .	91
4.2.1	Diversité en essence . . . . .	91
4.2.2	Etat de conservation des habitats . . . . .	95
4.2.3	Part des gros bois . . . . .	96
4.2.4	Suivi des dendro-microhabitats . . . . .	98
<b>5</b>	<b>Bilan carbone</b>	<b>100</b>
5.1	Stock de carbone dans les sols . . . . .	100
5.2	Stock de carbone dans la biomasse . . . . .	101
5.3	Résultats à l'échelle du réseau AFI . . . . .	102
5.3.1	Stock de carbone total . . . . .	102
5.3.2	Stock de carbone dans la biomasse aérienne . . . . .	104
5.3.3	Stock de carbone dans le bois mort . . . . .	105
5.3.4	Flux de carbone . . . . .	106
5.3.5	Stock de carbone dans les produits bois exploités . . . . .	107
5.4	Optimisation de la séquestration carbone : conversion d'une plantation de douglas en futaie irrégulière . . . . .	108
5.5	Contribution à la création de nouveaux labels bas carbone . . . . .	110
5.5.1	Champ d'application : conversion des anciens taillis-sous-futaie . . . . .	110
5.5.2	Champ d'application : conversion des peuplements capitalisés . . . . .	112

<b>6</b>	<b>Suivi sanitaire au sein du réseau AFI : zoom sur le frêne et les chênes sessile et pédonculé</b>	<b>113</b>
6.1	La chalarose du frêne . . . . .	113
6.1.1	Traitement irrégulier du frêne et impacts de la chalarose . . . . .	113
6.1.1.1	Présentation des dispositifs AFI retenus . . . . .	114
6.1.1.2	Proposition d'un indice de chalarose . . . . .	115
6.1.1.3	Proposition de scénarios de gestion . . . . .	116
6.1.2	Propositions de gestion . . . . .	117
6.1.2.1	Recommandations générales . . . . .	117
6.1.2.2	Cas où le frêne joue un rôle principalement culturel . . . . .	117
6.1.2.3	Cas où le frêne joue un rôle économique important . . . . .	118
6.2	Analyse du dépérissement et de la capacité de résilience des chênes : méthode ARCHI . . . . .	119
<b>Liste des Annexes</b>		<b>122</b>
<b>A</b>	<b>Compléments sur les caractéristiques dendrométriques de l'ensemble des dispositifs AFI</b>	<b>123</b>
A.1	Matériel sur pied . . . . .	123
A.2	Répartition actuelle du volume par catégorie de diamètre . . . . .	123
<b>B</b>	<b>Comparaison avec la base IFN</b>	<b>126</b>
<b>C</b>	<b>Bilan du protocole</b>	<b>129</b>
<b>D</b>	<b>Valeur potentielle : définition et intérêts</b>	<b>134</b>
D.1	Différentes valeurs d'un arbre . . . . .	134
D.1.1	Valeur de consommation ( $V_C$ ) . . . . .	134
D.1.2	Valeur d'avenir ( $V_A$ ) . . . . .	134
D.1.3	Gain annuel ( $\delta$ ) . . . . .	134
D.1.4	Taux de fonctionnement ( $\theta$ ) . . . . .	135
D.2	Valeur potentielle ( $V_p$ ) . . . . .	135
D.2.1	Définition . . . . .	135
D.2.2	Prix unitaire potentiel . . . . .	136
D.3	Intérêts . . . . .	137
D.3.1	Diamètre d'exploitabilité . . . . .	137
D.3.2	Sacrifices d'exploitabilité . . . . .	137
D.3.3	Prise en compte des risques . . . . .	137
D.3.3.1	Risque de perturbation . . . . .	137
D.3.3.2	Risque d'altération de la qualité . . . . .	138
D.3.4	Dosage de la composition en essence . . . . .	139
D.3.5	Comparaison économique des choix de gestion . . . . .	139
<b>E</b>	<b>Compléments sur l'évolution de la valeur potentielle et de la valeur de consommation sur l'ensemble des dispositifs du réseau AFI</b>	<b>140</b>
E.1	Valeurs de consommation . . . . .	140
E.2	Valeurs potentielle . . . . .	141

# Table des figures

1.1	Nombre de dispositifs installés par année . . . . .	14
1.2	Répartition en France métropolitaine des dispositifs AFI par sylvoécocorégions . . . . .	17
1.3	Répartition des dispositifs AFI dans les grandes régions européennes . . . . .	18
1.4	Comparaison des ETP Modis, Penman et Thornthwaite . . . . .	20
1.5	Carte des précipitations moyennes sur la période 1979-2013 cumulées sur les mois de juin à août. Les numéros sur la carte situent les dispositifs AFI. . . . .	21
1.6	Carte des précipitations pour l'année 2003 cumulées sur les mois de juin à août. . . . .	21
1.7	Variabilité des bilans hydriques cumulés durant la période de végétation . . . . .	24
1.8	Liens entre bilan hydrique et accroissement sur le diamètre. . . . .	25
1.9	Informations permettant de se connecter au serveur FTP du CIGAL. . . . .	26
1.10	Modèle Numérique de Hauteurs (MNH) - dispositif AFI n°17 (Belval). . . . .	26
1.11	Exemple d'individualisation des arbres à partir du MNH - dispositif AFI n°17 (Belval). . . . .	27
1.12	Exemple de cartographie de la surface terrière à l'hectare - dispositif AFI n°17 (Belval). . . . .	27
2.1	Modèle théorique d'amélioration des anciens taillis-sous-futaie. . . . .	29
2.2	Conversion théorique de peuplements capitalisés. . . . .	30
2.3	Evolution des surfaces terrières sur la période . . . . .	31
2.4	Evolution du volume sur pied entre le début de la période de suivi et le dernier inventaire . . . . .	32
2.5	Accroissement absolu en volume en fonction du volume pour des peuplements dont l'essence majoritaire est le chêne, le hêtre ou un mélange de feuillus, en distinguant 4 types de sols . . . . .	33
2.6	Accroissement relatif en volume selon des grands types de sols et pour 3 essences principales . . . . .	33
2.7	Evolution relative du volume par rapport au premier inventaire . . . . .	34
2.8	Temps de retour du capital volume . . . . .	35
2.9	Analyse des taux de prélèvement, chablis exclus . . . . .	36
2.10	Analyse du prélèvement en volume sur une période d'au moins 15 ans . . . . .	37
2.11	Importance du prélèvement en BEBI et BO pour tous les dispositifs dont le début de suivi est antérieur à 1999 . . . . .	38
2.12	Part du sacrifice d'exploitabilité générée par l'ensemble des coupes d'un dispositif et exprimée en pourcentage de la valeur potentielle constatée lors du dernier cycle . . . . .	39
2.13	Répartition des arbres coupés par classe de sacrifice d'exploitabilité pour quelques dispositifs . . . . .	40
2.14	Prédiction de coupe par régression logistique du Chêne Est . . . . .	41
2.15	Prédiction de coupe par régression logistique du Chêne Ouest . . . . .	41
2.16	Prédiction de coupe par régression logistique du Douglas . . . . .	42
2.17	Importance de la régénération exprimée en pourcentage de surface régénérée . . . . .	43
2.18	Importance de la régénération par classe de dimension et par inventaire . . . . .	44
2.19	Urgence à régénérer . . . . .	45
2.20	Urgence à régénérer pour les dispositifs de chêne . . . . .	46
3.1	Evolution de la valeur des peuplements entre le début de la période de suivi et le dernier inventaire	47
3.2	Répartition des recettes . . . . .	48
3.3	Nombre de coupes de récolte et d'amélioration pour les dispositifs ayant plus de 20 ans de suivi .	49
3.4	Comparaison recettes bois calculées à partir des placettes (mercuriale de prix fixe de l'AFI) et celles proposées par le marché . . . . .	49
3.5	Analyse du prélèvement en valeur sur une période d'au moins 15 ans . . . . .	51
3.6	Analyse croisée des prélèvements en volume et en valeur sur une période d'au moins 15 ans . . . . .	52
3.7	Analyse des taux de prélèvements par qualités . . . . .	53

3.8	Répartition des prélèvements en volume entre les classes de diamètre . . . . .	53
3.9	Répartition des prélèvements en valeur entre les classes de diamètre . . . . .	54
3.10	Répartition des dépenses . . . . .	55
3.11	Répartition des dépenses par grands contextes bioclimatiques . . . . .	56
3.12	Evolution de la valeur de consommation, chaque ligne correspondant à un dispositif . . . . .	57
3.13	Evolution relative de la valeur de consommation . . . . .	57
3.14	Evolution du ratio valeur de consommation sur surface terrière par dispositif . . . . .	58
3.15	Evolution du ratio valeur de consommation sur surface terrière par dispositif et grand contexte . . . . .	59
3.16	Evolution des valeurs de consommation sur la période . . . . .	60
3.17	Evolution de la valeur potentielle . . . . .	61
3.18	Evolution du ratio valeur potentielle sur surface terrière . . . . .	61
3.19	Evolution du ratio valeur potentielle sur surface terrière par dispositif et par grand contexte . . . . .	62
3.20	Comparaison de l'évolution de la valeur de consommation et potentielle pour quelques dispositifs . . . . .	62
3.21	Evolution de l'accroissement brut en valeur au cours du temps . . . . .	63
3.22	Accroissement en valeur par m <sup>3</sup> produit et dispositif . . . . .	64
3.23	Accroissement en valeur par m <sup>3</sup> produit et contexte . . . . .	64
3.24	Temps de rotation du capital valeur . . . . .	65
3.25	Evolution du capital volume et valeur . . . . .	66
3.26	Capitalisation en valeur ou surcapitalisation en volume? Exemple du dispositif de Metendal. . . . .	67
3.27	Variation des cours du chêne en prix unitaire constant par qualité . . . . .	68
3.28	Variation des cours du chêne par classe de diamètre, l'année 1995 servant de référence . . . . .	69
3.29	Variation des cours du hêtre en prix unitaire constant par qualité . . . . .	69
3.30	Variation relative des cours du hêtre par rapport à l'année 1995 par classe de diamètre . . . . .	70
3.31	Variation des cours de l'épicéa en prix unitaire constant par qualité . . . . .	70
3.32	Variation relative des cours de l'épicéa par rapport à l'année 1995 par classe de diamètre . . . . .	71
3.33	Variation comparée du cours de 4 essences par qualité pour les classes de diamètre 50 et 80 . . . . .	71
3.34	Comparaison des deux mercuriales pour le chêne selon la qualité . . . . .	73
3.35	Evolution de la valeur de consommation d'après la mercuriale de prix variables, chaque ligne correspondant à un dispositif . . . . .	74
3.36	Evolution relative de la valeur de consommation d'après la mercuriale de prix variables . . . . .	75
3.37	Evolution du ratio valeur de consommation sur surface terrière par dispositif et grand contexte d'après la mercuriale de prix variables . . . . .	75
3.38	Evolution de la valeur de consommation du dispositif 5 (à gauche) et du dispositif 15 (à droite) . . . . .	76
3.39	Evolution de la valeur de consommation du dispositif 6 . . . . .	77
3.40	Evolution de la valeur de consommation du dispositif 23 . . . . .	77
3.41	Evolution de la valeur de consommation du dispositif 23 pour quelques essences . . . . .	78
4.1	Ancienneté de la mesure du bois mort . . . . .	79
4.2	Evolution de l'importance du volume de bois mort sur pied (BMP) et au sol (BMS) . . . . .	80
4.3	Comparaison du volume de bois mort au sol et sur pied entre les dispositifs AFI et PSDRF . . . . .	81
4.4	Comparaison entre les dispositifs AFI et PSDRF du volume de bois mort au sol et sur pied de dimension supérieure à 30 cm . . . . .	81
4.5	Histogrammes du volume de bois mort au sol par classe de diamètre et dispositif . . . . .	83
4.6	Evolution moyenne du volume de bois mort au sol pour les dispositifs ayant fait l'objet d'au moins 2 mesures . . . . .	84
4.7	Importance lors du dernier passage, du volume de bois mort au sol, par dispositif de chêne et classe de dureté . . . . .	84
4.8	Importance lors du dernier inventaire, du volume de bois mort au sol, par dispositif de hêtre et classe de dureté . . . . .	85
4.9	Evolution du volume de bois mort au sol (BMS) entre l'état de départ et l'état 5 plus tard . . . . .	86
4.10	Ratio et apport de volume de bois mort au sol entre l'état de départ et l'état actuel pour les dispositifs ayant fait l'objet d'une coupe . . . . .	86
4.11	Histogrammes du volume de bois mort sur pied par classe de diamètre et dispositif . . . . .	87
4.12	Evolution moyenne du volume de bois mort sur pied pour les dispositifs ayant fait l'objet d'au moins 2 mesures . . . . .	88
4.13	Importance lors du dernier passage, du volume de bois mort sur pied, par dispositif de chêne et classe de dureté . . . . .	88

4.14	Importance lors du dernier passage, du volume de bois mort sur pied, par dispositif de hêtre et classe de dureté . . . . .	89
4.15	Evolution du volume de bois mort sur pied (BMP) entre l'état de départ et l'état actuel . . . . .	89
4.16	Part de bois mort sur pied selon les essences . . . . .	90
4.17	Evolution de l'indice de richesse selon 4 grands types de sols . . . . .	92
4.18	Détail de l'évolution de l'indice de richesse selon 4 grands types de sols . . . . .	93
4.19	Détail de l'évolution de l'indice de diversité de Shannon selon 4 grands types de sols . . . . .	94
4.20	Etat de conservation des habitats . . . . .	96
4.21	Evolution de l'importance des gros bois au cours du temps . . . . .	97
4.22	Répartition des arbres porteurs de dendro-microhabitats par classe de diamètre . . . . .	99
5.1	Répartition du carbone dans les différents compartiments forestiers selon différents auteurs. . . . .	100
5.2	Cartographie de l'importance du carbone dans les premiers 30 cm de sol (en tC/ha). . . . .	101
5.3	Quantité de carbone dans les sols suivant l'essence principale . . . . .	101
5.4	Répartition des quantités moyennes de carbone de peuplements feuillus ou résineux du réseau AFI102	
5.5	Evolution du stock total de carbone dans la biomasse par type de sols et par dispositif . . . . .	103
5.6	Quantité de carbone stockée dans la biomasse par essence . . . . .	104
5.7	Stock de carbone dans la biomasse aérienne par grands contextes . . . . .	104
5.8	Evolution du stock de carbone dans le bois mort par dispositif et type de sol . . . . .	105
5.9	Evolution du capital carbone par dispositif . . . . .	106
5.10	Flux de carbone entre le premier et le dernier inventaire par dispositif . . . . .	107
5.11	Durée de vie des produits exploités par dispositif . . . . .	107
5.12	Réductions d'émissions anticipées (REA) générables forêt sur le dispositif de Folin . . . . .	109
5.13	Réductions d'émissions anticipées (REA) générables forêt sur le dispositif de la Métairie Rouge .	109
5.14	Réductions d'émissions anticipées (REA) générables forêt sur le dispositif du Bois du Faussé . . .	110
6.1	Présentation des trois dispositifs AFI. . . . .	114
6.2	Plan de localisation des arbres échantillonnés : cas du dispositif 46. . . . .	115
6.3	Indice de la chararose . . . . .	116
6.4	Comparaison des 4 scénarios pour les 3 dispositifs . . . . .	117
6.5	Analyse en composantes principales des données concernant la méthode ARCHL. . . . .	120
6.6	Répartition des chênes échantillonnés par essence et dispositif . . . . .	120
6.7	Accroissement sur le diamètre en fonction de l'essence et de la période pour les dispositifs 5 et 15	121
6.8	Accroissement sur le diamètre en fonction de l'essence et de la période pour les dispositifs 5 et 15	121
6.9	Accroissement sur le diamètre du houppier en fonction de l'essence et de la période pour les dispositifs 5 et 15 . . . . .	122
A.1	Répartition du volume par catégorie de diamètre . . . . .	124
B.1	Comparaison de la surface terrière à l'hectare (perches exclues) entre l'IFN (boîtes à moustache) et l'AFI (points rouge) . . . . .	127
B.2	Comparaison de la surface terrière à l'hectare des gros bois entre l'IFN (boîtes à moustache) et l'AFI (points rouge) . . . . .	128
C.1	Taux d'arbres oubliés par essence . . . . .	130
C.2	Répartition des arbres oubliés par rapport à leur distance au centre de la placette . . . . .	131
C.3	Répartition des arbres oubliés par rapport à leur distance au centre de la placette . . . . .	131
C.4	Répartition par classe de distance des arbres oubliés . . . . .	132
C.5	Evolution du nombre d'arbres oubliés avec le nombre de remesure . . . . .	132
D.1	Comparaison valeur de consommation et d'avenir. . . . .	134
D.2	Variation relative du volume en fonction du diamètre . . . . .	135
D.3	Exemple d'abaque des principales caractéristiques économiques d'un arbre en fonction du diamètre.	136
D.4	Exemple d'évolution de l'accroissement en valeur (gain) et du taux en fonction du diamètre. . . .	136
D.5	Détermination du diamètre d'exploitabilité. . . . .	137
D.6	Indicateurs économiques de l'exploitabilité arbre. . . . .	138
E.1	Valeur de consommation par composition . . . . .	141





# Liste des tableaux

1.1	Nombre de cycles par dispositif. Les dispositifs ne possédant pas d'information sur les cycles correspondent à ceux abandonnés et ne figurent donc pas dans la nouvelle base de données exploitée avec le logiciel R, mais leurs informations sont cependant sauvegardées dans des classeurs Excel. . . . .	15
1.2	Liste des essences échantillonnées dans les bases Arbres, Perches et Taillis. . . . .	16
1.3	Liste des essences échantillonnées dans la base Régénération. . . . .	16
1.4	Volume de chablis en millions de mètres cubes (extrait de Bessemoulin,2002). . . . .	23
A.1	Volume et surface terrière par dispositif avec la précision associée. . . . .	125
D.1	Exemples de diamètres d'exploitabilité variables selon la qualité. . . . .	137
D.2	Ecart par rapport au taux d'actualisation moyen pour chaque essence. . . . .	139

# Index des sigles utilisés

AFI : Association Futaie Irrégulière

BE : Bois énergie.

BI : Bois d'industrie. Les bois d'industrie désignent les bois destinés à des usages industriels : pâtes à papier, panneaux ou biochimie du bois (filère minoritaire mais en développement).

BM : Bois moyens. Arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 27,5 cm et inférieur à 47,5 cm.

BO : Bois d'oeuvre. Bois transformés en panneaux (déroulage, tranchage), sciages ou bois de fente destinés aux filières de l'emballage, du bâtiment, de l'ameublement ou de la tonnellerie.

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières. Etablissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Economie et des Finances.

COS : Carbone organique du sol.

CRPF : Centre National de la Propriété Forestière.

DMH : Dendromicrohabitats.

DRA : Directives régionales d'aménagement.

ETP : Evapotranspiration potentielle. L'évapotranspiration comprend à la fois la transpiration des végétaux, contrôlée par les stomates des feuilles, et l'évaporation de l'eau par les sols. L'évapotranspiration potentielle exprime la quantité d'eau évaporée par les sols et transpirée par les végétaux, si la ressource en eau n'était pas limitante.

FD : Forêts domaniales. Forêts appartenant à l'Etat et gérées par l'Office National des Forêts.

GB : Gros bois. Arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 47,5 cm et inférieur à 67,5 cm.

IFN : Inventaire forestier national. L'inventaire forestier national est l'une des missions de l'Institut Géographique National.

INRA : Institut national de recherche agronomique.

MNH : Modèle numérique de hauteur. Il résulte de la différence entre le modèle numérique de surface et le modèle numérique de terrain.

MNS : Modèle numérique de surface.

MNT : Modèle numérique de terrain.

MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Programme de la NASA récupérant des données acquises par satellites, parcourant la surface entière de la Terre tous les un à deux jours.

ONF : Office national des forêts

PB : Petits bois. Arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 17,5 cm et inférieur à 27,5 cm.

PSDRF : Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières.

RB : Réserve biologique.

RBD : Réserve biologique dirigée.

RBI : Réserve biologique intégrale.

RN : Réserve naturelle.

RNC : Réserve naturelle de Corse.

RNF : Réserves Naturelles de France.

RNR : Réserves naturelles régionales.

REA : Réduction d'émissions anticipées.

SCAP : Stratégie nationale de création d'aires protégées.

SRA : Schéma régional d'aménagement.

SRGS : Schéma régional de gestion sylvicole.

TGB : Très gros bois. Arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 67,5 cm.

WSL : Institut fédéral suisse de recherches sur la forêt, la neige et le paysage.

# Introduction

Le traitement irrégulier se caractérise par une gestion forestière qui :

- vise une production et une récolte continue de gros bois de qualité ;
- applique un traitement sylvicole dit « irrégulier » dans lequel les arbres sont d'essences et de diamètres différents ;
- recoure à des investissements sylvicoles de faibles montants grâce à l'accompagnement de dynamiques naturelles ;
- recherche la multi-fonctionnalité de manière à ce que des enjeux ne deviennent pas des contraintes (exigences du marché du bois, évolution du climat, attaques sanitaires etc)

L'Association Futaie Irrégulière (AFI), créée en 1991 par des experts forestiers, a parmi ses objectifs ceux d'améliorer les connaissances sur ce mode de traitement, de fournir des ordres de grandeur des flux de matière et de valeur, des niveaux de stock compatibles avec les essences présentes sur une station donnée, de servir de support de formation initiale ou continue, de favoriser les échanges entre écologues et gestionnaires forestiers, entre le monde universitaire et celui de la gestion.

Depuis sa création, la base AFI a fait l'objet de publications avec une périodicité moyenne de 4 à 5 ans. Le dernier ouvrage datant de novembre 2010 et réactualisé en 2018 est intitulé «Le traitement des futaies irrégulières». Qu'elles soient sous forme d'ouvrages ou de rapports techniques, ces publications ont comme finalité première de faire partager les dernières informations issues du réseau AFI. Cet objectif de diffusion des connaissances n'est pas nouveau, Il a déjà été validé par la reprise dans les schémas régionaux de gestion sylvicole (SRGS), les schémas régionaux d'aménagement (SRA) et les directives régionales d'aménagement (DRA) des recommandations sur les seuils de surface terrière optimaux selon les compositions en essence ou les stations et les niveaux souhaités de régénération.

Les publications passées ont fourni des informations dendrométriques variées telles que des taux d'accroissement en volume ou en surface terrière, la forme de la courbe d'accroissement en diamètre en fonction du diamètre, les intensités des prélèvements, la chronologie des interventions, l'importance de la gestion du sous-étage, etc. Ces informations ont évidemment des retombées sylvicoles. Ces publications ont également fourni des informations économiques comme par exemple les flux financiers, les comptes d'exploitation, les évolutions du capital exprimées en valeur de consommation ou potentielle. Toutes ces informations ont servi de support de discussion lors des nombreuses tournées ou réunions.

Le champ des connaissances s'est également élargi grâce aux partenariats développés avec Réserves Naturelles de France<sup>1</sup>, mais aussi en aidant à mettre en place ou à analyser des réseaux de placettes permanentes que les gestionnaires publics ou privés installent dans le cadre de la gestion ordinaire. Ces partenariats ont débouché sur la création de trois bases de données : celle de l'AFI (BaseAFI), celle des réserves forestières (naturelles et biologiques principalement) (BasePSDRF<sup>2</sup>) et la base des placettes de «gestion forestière» (BaseGF).

Les différents points abordés dans le présent rapport ont comme fil conducteur le souhait d'«améliorer le capital producteur en mobilisant mieux tout en préservant plus». Dans son principe, le traitement irrégulier reprend la première partie «Imiter la nature» de la célèbre formule<sup>3</sup> d'Adolphe Parade (1802-1864), ancien directeur

---

1. L'association Réserves Naturelles de France (RNF) fédère en un réseau national plus de 700 professionnels de la nature qui interviennent au sein de plus de 340 réserves naturelles. RNF est une association nationale soutenue par l'Etat, les Régions, divers mécènes et l'adhésion volontaire des gestionnaires.

2. PSDRF : Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières.

3. «Imiter la nature, hâter son œuvre»

de l'école forestière de Nancy, qui conduit à utiliser au maximum la dynamique naturelle avec souvent comme finalité de construire des peuplements à fort rendement économique.

Cette optimisation économique peut à juste titre inquiéter les écologues, mais également les producteurs : l'augmentation de la valeur de consommation des peuplements accentue la nécessité de prendre en compte les risques de production. La production forestière est soumise à trois risques classés par importance décroissante :

- La volatilité des cours du bois est sans doute le plus important car le plus fréquent.
- L'altération de la qualité interne du bois ainsi que le dépérissement diffus de l'arbre.
- Les grandes perturbations.

Ces risques concernent toutes les sylvicultures, mais sont particulièrement importants dans le cas du traitement en futaie irrégulière, suite à la concentration du capital financier dans des arbres de qualité.

Par rapport aux publications passées, le présent rapport se propose de valoriser d'autres informations recueillies dans la base AFI. Elles vont permettre de dresser des bilans écologiques, de mesurer l'apport du traitement irrégulier en matière de gestion des risques, qu'ils soient climatiques, liés à la volatilité des cours du bois, ou à la qualité interne du bois. Il va également permettre de revenir sur des notions anciennes comme par exemple la valeur potentielle, notion importante sur les plans sylvicoles et économiques, efficace pour comparer la rentabilité de deux scénarios ou bien pour évaluer des risques qu'ils soient biotiques ou non. Ces notions seront basées sur l'analyse des données recueillies par l'AFI des premières campagnes de mesures à la dernière, celle de 2019.

Ce sera aussi l'occasion de faire un bilan des partenariats développés ces dernières années. La création des trois bases informatiques (BaseAFI, BasePSDRF, BaseGF) va faciliter les échanges avec les partenaires historiques mais également avec d'autres, comme par exemple le Département Santé des Forêts dans le cas des inquiétudes actuelles sur la Chalarose du frêne.

Alors qu'à la création de l'AFI le besoin de représentativité des dispositifs par rapport à la forêt française n'avait que peu d'importance, il l'a acquis progressivement. Comment par exemple extrapoler, dans le cas des études de disponibilité, les résultats de l'AFI ? La réponse à cette question pourrait permettre à l'ONF d'anticiper les conséquences du choix fait de réviser tous les aménagements des forêts domaniales sous forte pression du public<sup>4</sup>. Elle nécessite d'établir des connexions avec la base de données de l'IFN. Elles sont présentées dans l'annexe B.

Il est utile que les publications périodiques contiennent un audit du protocole retenu. Pour cette publication, l'annexe C fait un focus sur l'importance du biais opérateur lors de l'utilisation de placettes relascopiques.

---

4. Forêts domaniales autour de Paris mais aussi celles situées sur un axe allant de Compiègne à Lille.

# Chapitre 1

## Le réseau AFI : état actuel et perspectives

Sa répartition géographique, le nombre d'essences concernées, la diversité des gestionnaires, sont autant d'éléments qui augmentent la visibilité, la pertinence et le pouvoir de démonstration du réseau AFI. Chaque dispositif (parcelle dont la taille est comprise entre 5 et 15 hectares) est choisi pour illustrer une problématique. Par exemple le dispositif n°15 (Bois du Château) illustre le besoin de gérer, dans un contexte acide et hydromorphe, le stock de petits bois de chêne avant de chercher à accélérer l'obtention de semis. Il vient compléter le dispositif n°5 (Forêt de Gergy) situé dans le même contexte stationnel mais sur lequel la structure du peuplement conduit à accorder une attention plus grande à la régénération. Ils sont tous deux de bons exemples de valorisation d'anciens taillis-sous-futaie de chênes sur des stations acides et hydromorphes. Chaque dispositif apporte donc sa contribution à une ou plusieurs des nombreuses questions que l'on se pose sur le traitement irrégulier.

Un bilan périodique du réseau permet d'en vérifier la cohérence et fournit des éléments de réflexion pour choisir d'abandonner certains dispositifs ou bien d'en installer de nouveaux. Ces derniers auront comme objectif premier de compléter le réseau existant afin de répondre aux besoins de connaissance.

### 1.1 Etat du réseau

#### 1.1.1 Son organisation

A ce jour, la base de données AFI contient au total 136 dispositifs, dont 98 considérés comme des vitrines, 13 jugés moins prioritaires, et 25 qui, pour des raisons propres à chacun (vente, modification de la gestion, etc.) ne seront plus suivis. La figure 1.1 fournit le nombre de dispositifs installés par année.

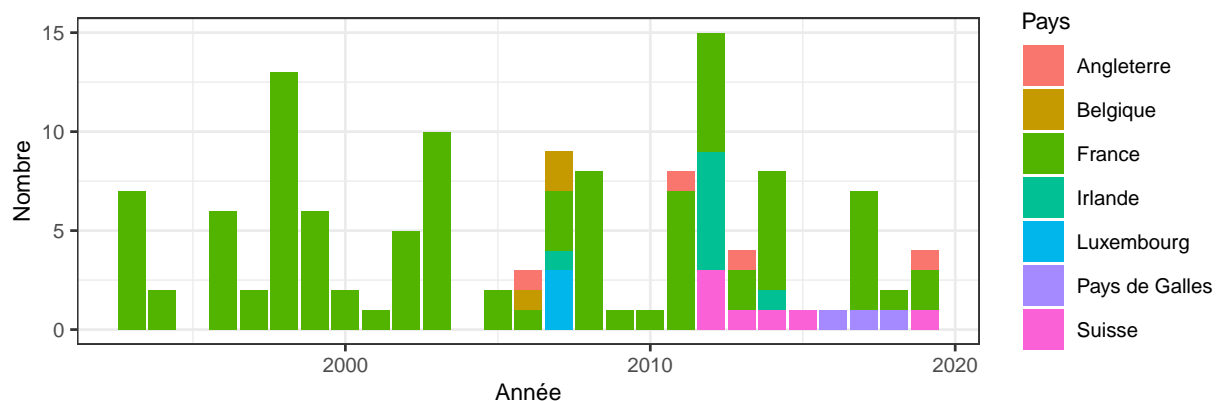


Figure 1.1 – Nombre de dispositifs installés par année.

Le tableau 1.1 fournit le détail du nombre de cycles par dispositif. Les dispositifs y sont classés en 3 catégories (colonne Etat du tableau) : (1) si vitrine, (2) si secondaire, (0) si abandonné. Les dispositifs ne possédant pas d'information sur les cycles correspondent à ceux abandonnés. Leurs données ne figurent pas dans la nouvelle base conçue à partir de 2012, mais restent sauvegardées dans des classeurs Excel. Elles pourront être intégrées en cas de besoin dans la nouvelle base AFI.

Num	Nom dispositif	Dept	Cycles	Etat	Num	Nom dispositif	Dept	Cycles	Etat
1	Bois des Brosses	58	6	1	69	Forêt Communale de Wiltz	Lux	3	1
2	Bois du Chanois	39	6	1	70	Forêt Communale de Bettborn	Lux	3	1
3	Forêt de Chamberceau	21	6	1	71	Forêt de Metendal	88	3	1
4	Bois des Etangs d'Aige et du Prince	39	5	0	72	Forêt de la Montroche	88	2	1
5	Forêt de Gergy	71	6	1	73	Curraghchasse Forest Park	Irl	2	0
6	Forêt de la Quiquengrogne	70	6	1	74	Forêt Domaniale du Grand Bois	Wal	3	1
7	Bois de Censey	21	5	1	75	Forêt Communale de Rouvroy	Wal	3	1
8	Bois des Renardières	89	0	0	76	Forêt de la SOMICAL (1)	48	3	1
9	Bois de la Rente du Fretoy	21	5	1	77	Forêt Communale d'Hosingen	Lux	0	0
10	Bois Banal	70	5	1	78	Forêt Communale d'Igney	54	2	1
11	Bois de Cosges	39	5	1	79	Forêt Domaniale de Muterhouse	57	1	1
12	Le Grand Bois	70	0	0	80	Le Hohenfels	57	2	1
13	Bois de la Pérouse	25	4	0	81	Forêt de la Sémoline	7	3	1
14	Bois des Feuillées	39	5	1	82	Forêt de Fontréal	7	3	1
15	Bois du Château	71	5	1	83	Forêt de Saint Lager	7	3	2
16	Forêt de Folin	71	5	1	84	Forêt d'Algères	15	3	1
17	Bois Royal de Belval	51	5	1	85	Forêt de la SOMICAL (2)	48	3	1
18	Forêt d'Epervay	51	4	1	86	Forêt de Rivedieu	33	2	1
19	Forêt de la Grange Perrey	39	3	0	87	Domaine de Rochemeur	7	2	2
20	Forêt de Perrecy les Forges	71	5	1	88	Bois de la Côte	7	2	1
21	Les Grands Bois	10	5	1	89	Forêt Domaniale des Chambons	7	2	2
22	Bois l'Abbé	54	0	0	90	Bois du Château de Dufau	64	1	0
23	Bois du Grand Lomont	25	5	1	91	Forêt de Londeix	33	2	1
24	Forêt du Grand Vernet	58	4	1	92	Forêt de la SOMICAL (3)	48	1	0
25	Forêt de la Brisée	70	5	1	93	Bois de Barnal	9	2	1
26	Les Grands Bois	52	3	0	94	Cranborne	Ang	2	1
27	Bois du Luth	51	3	0	95	Bois des Mauves	25	2	1
28	Bois des Fontenelles	88	0	0	96	Bois de la Vancre	62	1	0
29	Forêt de Thillombois	55	0	0	97	Forêt Domaniale d'Andelfingen	Suisse	2	1
30	Forêt du Hailly	8	5	1	98	La Clavière	36	2	1
31	Bois de Beauséjour	54	0	0	99	Forêt Domaniale de Jussy	Suisse	2	1
32	Bois du Pré Jeanreau	39	4	1	100	Forêt d'Authumes	71	2	1
33	Forêt d'Is/Tille	21	4	1	101	Forêt Communale d'Hallau	Suisse	2	1
34	Forêt de Robert-Magny	52	4	1	102	Forest of Monivea	Irl	2	1
35	Forêt de Vioreau	44	0	0	103	Forest of Mellory	Irl	2	1
36	Bois de Brice	72	4	1	104	Forest of Kilsheelan	Irl	2	1
37	Bois de Frilouze	53	5	1	105	Forest of Lisdowney	Irl	2	1
38	Forêt de Rai	61	4	1	106	Forest of Knockrath	Irl	2	1
39	Forêt du Parc Soubise	85	0	0	107	Forest of Rahin	Irl	2	1
40	Bois de la Barre	72	4	1	108	Forêt de Biechisano	20	1	1
41	Forêt de la Rivière	58	4	1	109	Forêt de Cardine	40	2	1
42	Forêt de Montalibord	1	4	1	110	Forêt Communale de Lacoste	84	2	1
43	Forêt d'Ombrière	49	4	1	111	Forêt Domaniale de Versoix	Suisse	2	1
44	Forêt du Régnaval	2	3	1	112	Les Cravives	9	2	2
45	Bois de Belle Assise	60	3	1	113	Bois du Crêt Lescuyer	25	2	1
46	Forêt de la Chevreté	2	3	1	114	Forêt Indivise de Rabat les Trois Seigneurs	9	1	2
47	Bois de Jebshheim	68	2	0	115	Forêt Communale de Bousсенac	9	1	2
48	Forêt de Landsberg	67	3	1	116	Forêt communale de Rimont	9	1	2
49	Forêt de la Métairie rouge	58	4	1	117	Bois du Bousquet	9	1	2
50	Forêt de Montesault	45	4	0	118	Forêt Communale de Grenchen	Suisse	2	1
51	Bois des Soriers	45	4	0	119	Forêt de la Fabrie	15	2	1
52	Bois de la Cayère	36	5	2	120	Chasse Woods - Rushmore Estate	Ang	1	1
53	Forêt de la Chaîne	37	5	2	121	Ballykilkavan	Irl	1	1
54	Forêt de Marchenoir	41	6	1	122	Bois de l'Ardère	Suisse	1	1
55	Forêt de Montmirail	41	5	1	123	Berth Ddu	Galles	1	1
56	Bois de Chanteloube	36	4	2	124	Forêt Communale de Niozelles	04	1	1
57	La Touche aux Loups	36	5	2	125	La Tuilière	84	2	1
58	Forêt Domaniale de Saint Gobain	2	3	2	126	Plan de Liman	04	1	1
59	Forêt de la Queue de Boué	2	3	1	127	Forêt de Mollberg	67	1	1
60	Bois de Cambos	80	0	0	128	Forêt Communale de Lalaye	67	1	1
61	La Forêt	58	3	1	129	Forêt du Nivot	29	1	1
62	Bois du Faussé	58	3	1	130	Forêt de Notre Dame des Neiges	07	1	1
63	Bois de la Forêt	91	3	0	131	Allt Boeth	Galles	1	1
64	Forêt de la Marsaudière	77	3	0	132	Forêt du Prieuré d'Ardène	04	1	1
65	Bois de Paris	95	3	0	133	Bois de Luthenay	58	3	1
66	Bois du Beau Mousseau	Wal	3	1	134	Llechwedd Dyrys	Galles	1	1
67	Stourhead	Ang	3	1	135	Forêt Communale de Zurich	Suisse	1	1
68	Forêt Domaniale de Wiltz-Merkholtz	Lux	3	1	136	Ebworth Estate Woodlands	Ang	1	1

Tableau 1.1 – Nombre de cycles par dispositif. Les dispositifs ne possédant pas d'information sur les cycles correspondent à ceux abandonnés et ne figurent donc pas dans la nouvelle base de données exploitée avec le logiciel R, mais leurs informations sont cependant sauvegardées dans des classeurs Excel.

La nouvelle base de données, construite autour du logiciel R, se décompose entre plusieurs tables qui regroupent chacune un thème unique. A titre d'exemple, on peut citer les tables «Arbres», «Perches» et «Taillis».

Sur l'ensemble des 109 dispositifs recensés dans la base de données, il y a :

- 1276 placettes ;
- 62244 arbres et 12694 perches mesurés ou remesurés ;
- 1740 arbres morts sur pied ;
- 13943 billons de bois mort au sol de dimension inférieure à 30 cm ;
- 1334 billons de bois mort au sol de dimension supérieure à 30 cm.
- 7861 brins de taillis mesurés.
- 68 dendro-microhabitats rencontrés.

Le tableau 1.2 fournit la liste classée par ordre alphabétique des essences présentes dans les bases de données «Arbres», «Perches» et «Taillis». Lorsque le nom générique est utilisé (par exemple chêne), cela signifie que l'espèce n'a pas été identifiée. De même le tableau 1.3 fournit la liste des essences présentes dans la base de données «Régénération». Ces deux tableaux doivent être mis en relation avec la figure 1.3. Ils montrent que **le traitement irrégulier peut être mis en œuvre avec un grand nombre d'essences, que la notion d'essence d'ombre et de lumière est trop simplificatrice car les besoins physiologiques en lumière peuvent être satisfaits en adaptant le niveau de surface terrière.**

Nom	Nom latin	Nom	Nom latin	Nom	Nom latin
Alisier B	Sorbus aria	Douglas	Pseudotsuga menziesii	Orme	Ulmus
Alisier T	Sorbus torminalis	Epicéa C	Picea abies	Peuplier	Populus
Aubépine	Crataegus	Epicéa S	Picea sitchensis	Pin L	Pinus nigra subsp. laricio
Aulne	Alnus	Erable C	Acer campestre	Pin M	Pinus pinaster
Aulne B	Alnus incana	Erable FO	Acer opalus	Pin N	Pinus nigra
Aulne G	Alnus glutinosa	Erable M	Acer monspessulanum	Pin S	Pinus sylvestris
Bouleau	Betula	Erable P	Acer platanoides	Pin W	Pinus strobus
Cèdre	Cedrus	Erable S	Acer pseudoplatanus	Poirier	Pyrus pyraeaster
Charme	Carpinus betulus	Frêne	Fraxinus excelsior	Pommier	Malus sylvestris
Châtaignier	Castanea sativa	Genévrier	Juniperus sp.	Robinier	Robinia pseudoacacia
Chêne	Quercus	Hêtre	Fagus sylvatica	Sapin G	Abies grandis
Chêne P	Quercus robur	Houx	Ilex aquifolium	Sapin P	Abies alba
Chêne Pub	Quercus pubescens	If	Taxus baccata	Saule	Salix
Chêne R	Quercus rubra	Mélèze	Larix decidua	Sorbier	Sorbus aucuparia
Chêne S	Quercus petraea	Mélèze J	Larix kaempferi	Sureau	Sambucus
Chêne T	Quercus pyrenaica	Merisier	Prunus avium	Thuja	Thuja
Chêne V	Quercus ilex	Neffier	Mespilus germanica	Tilleul	Tilia
Cormier	Sorbus domestica	Noisetier	Corylus avellana	Tremble	Populus tremula
Cyprès L	Chamaecyparis lawsoniana	Noyer	Juglans	Tsuga	Tsuga heterophylla

Tableau 1.2 – Liste des essences échantillonnées dans les bases Arbres, Perches et Taillis.

Nom	Nom latin	Nom	Nom latin	Nom	Nom latin
Alisier B	Sorbus aria	Cormier	Sorbus domestica	Pin L	Pinus nigra subsp. laricio
Alisier T	Sorbus torminalis	Cornouiller	Cornus	Pin M	Pinus pinaster
Aubépine	Crataegus	Douglas	Pseudotsuga menziesii	Pin N	Pinus nigra
Aulne	Alnus	Epicéa C	Picea abies	Pin S	Pinus sylvestris
Aulne G	Alnus glutinosa	Erable C	Acer campestre	Pin W	Pinus strobus
Bouleau	Betula	Erable FO	Acer opalus	Poirier	Pyrus pyraeaster
Buis	Buxus sempervirens	Erable P	Acer platanoides	Prunellier	Prunus spinosa
Camerisier	Lonicera xylosteum	Erable S	Acer pseudoplatanus	Robinier	Robinia pseudoacacia
Cèdre	Cedrus	Frêne	Fraxinus excelsior	Sapin G	Abies grandis
Charme	Carpinus betulus	Fusain	Euonymus europaeus	Sapin P	Abies alba
Châtaignier	Castanea sativa	Genévrier	Juniperus	Saule	Salix
Chêne	Quercus	Hêtre	Fagus sylvatica	Sorbier	Sorbus aucuparia
Chêne P	Quercus robur	Houx	Ilex aquifolium	Sureau	Sambucus
Chêne Pub	Quercus pubescens	Mélèze	Larix decidua	Tilleul	Tilia
Chêne R	Quercus rubra	Merisier	Prunus avium	Tremble	Populus tremula
Chêne S	Quercus petraea	Noisetier	Corylus avellana	Troène	Ligustrum vulgare
Chêne T	Quercus pyrenaica	Noyer	Juglans	Tsuga	Tsuga heterophylla
Chêne V	Quercus ilex	Orme	Ulmus		

Tableau 1.3 – Liste des essences échantillonnées dans la base Régénération.

La richesse en espèce et les indices de diversité par dispositif seront développés au paragraphe 4.2.



## 1.1.2 Sa répartition géographique

### 1.1.2.1 Répartition en France

La figure 1.2 fournit la répartition des dispositifs (numéros encadrés en blanc sur la carte) dans les sylvoécocorégions de la France métropolitaine. Dans cette figure, l'intensité de vert est proportionnelle au nombre de dispositifs installés dans la sylvoécocorégion. Elle permet de constater que la nouvelle région administrative Grand Est est assez bien couverte et que certaines sylvoécocorégions (Saône, Bresse et Dombes par exemple) sont bien représentées. Les raisons sont à la fois historiques (les régions Bourgogne et Franche-Comté ont été les premières partenaires du réseau) et aussi pédagogiques car en 1991, les interrogations concernaient avant tout la faisabilité du traitement irrégulier avec les chênes sessile et pédonculé.

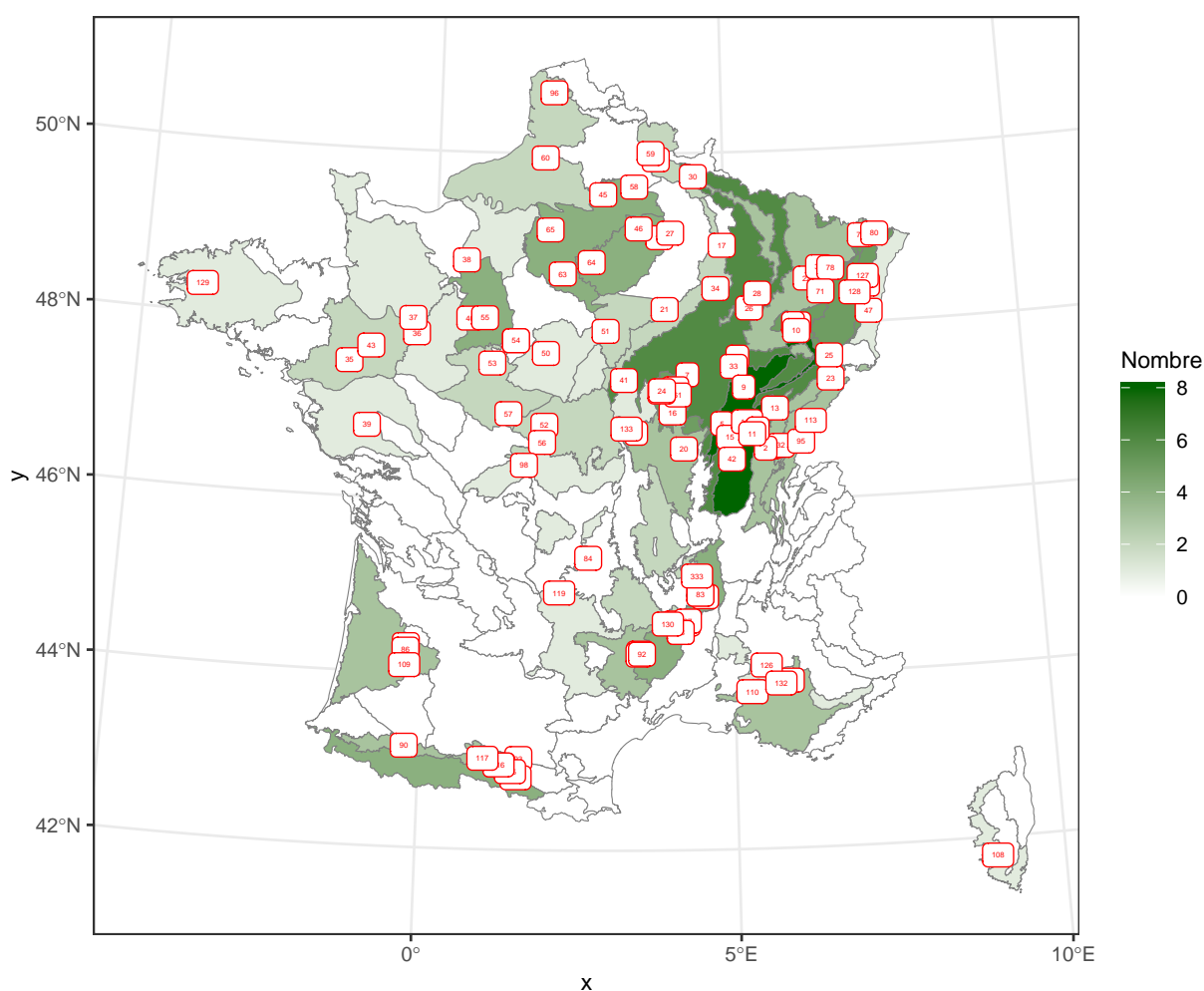


Figure 1.2 – Répartition en France métropolitaine des dispositifs AFI par sylvoécocorégions.

La figure 1.2 croisée avec la carte du taux de couverture forestière et avec les interrogations des gestionnaires de terrain permet de souligner les problématiques que le réseau devra aborder dans les années futures. Les peuplements à base de chêne pubescent ou de pin d'Alep, en zone méditerranéenne, ont ainsi déjà été identifiés.

### 1.1.2.2 Répartition en Europe

La figure 1.3 fournit la répartition actuelle du réseau AFI en Europe. Elle permet de constater que la façade atlantique commence à être assez bien représentée, mais gagnerait à être complétée par l'implantation de dispositifs en Galice et au Portugal. Elle permet également de constater un déficit de dispositifs situés en contexte méditerranéen.

Douze nouveaux dispositifs doivent être installés dans le nord de l'Allemagne. Ils apporteront des peuplements plus riches en résineux. Ils apporteront également une vision du traitement irrégulier avec une approche plus peuplement qu'arbre. C'est le cas principalement des forêts publiques, les forêts privées retenues ayant une stratégie arbre, voisine de celle des gestionnaires français.

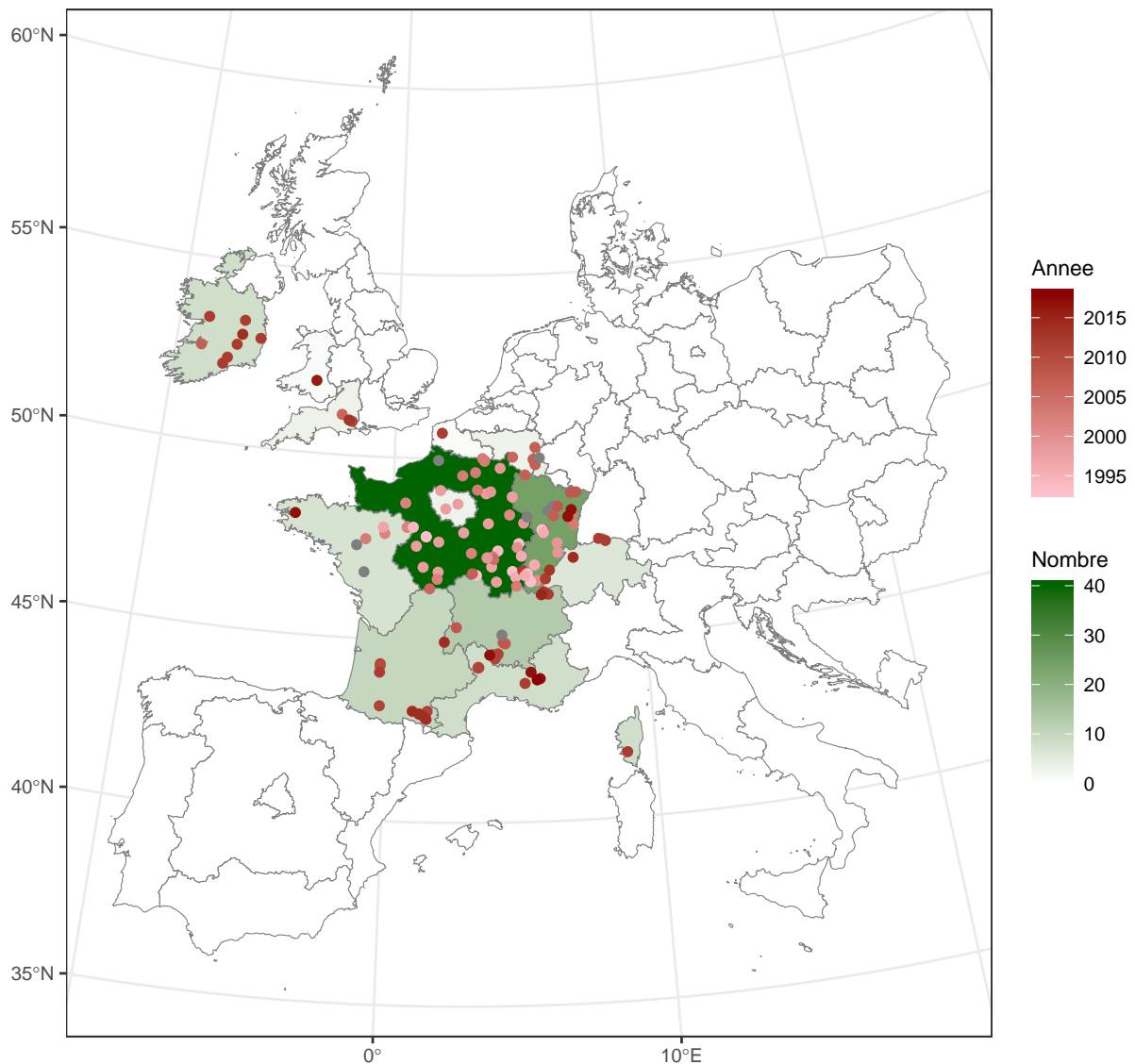


Figure 1.3 – Répartition des dispositifs AFI dans les grandes régions européennes.

L'AFI dispose d'une cinquantaine de dispositifs hors de France, installés avec la collaboration de forestiers engagés pour le traitement irrégulier, dont les plus anciens ont 10 ans de suivi. Ces dispositifs installés dans des peuplements feuillus, résineux ou mélangés montrent que le traitement irrégulier est pratiqué dans d'autres pays européens.

Chaque pays a ses propres spécificités, qu'elles soient juridiques, fiscales, ou de cours du bois. Il conviendrait donc de les analyser séparément, mais leurs installations sont pour la plupart récentes. Cependant, leurs résultats d'inventaires sont intégrés dans le bilan dendrométrique et sylvicole (chapitre 2).

### 1.1.3 Sa répartition climatique

Le bilan hydrique, différence entre le besoin en eau de la végétation et la pluviométrie est le principal facteur explicatif de la croissance et de la composition en essences. L'évapotranspiration potentielle (ETP) a comme objectif de mesurer ce besoin en eau. Un bilan hydrique peu défavorable durant la période de végétation pourra plus facilement compenser une faible réserve utile du sol. Plusieurs formules ont été proposées pour calculer cette évapotranspiration potentielle. La plus simple car ne nécessitant que la connaissance de la température est celle de Thornthwaite. La formule de Penman est plus complète car elle intègre le rayonnement solaire reçu en un point donné mais cette information n'est souvent pas disponible. MétéoFrance ne fournit des valeurs de l'ETP que dans les stations météorologiques les plus équipées (de type 1) peu fréquentes à proximité des massifs forestiers. Par ailleurs les données de l'ETP de Penman ne sont souvent pas disponibles en continuité, et lorsqu'elles sont présentes ne sont pas gratuites.

Heureusement d'autres sources de données sont disponibles. La NASA par le biais de son programme MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) met à disposition gratuitement des données climatiques et en particulier des valeurs d'ETP avec une résolution spatiale de 250 m<sup>1</sup>. Elles ont l'avantage d'être disponibles pour l'ensemble de la planète, ce qui est un atout pour le réseau AFI qui devient de plus en plus international. Un test de comparaison de moyennes entre les ETP de Modis, Penman et Thornthwaite pour les mois de juin à août inclus, sur 6 dispositifs proches de station de type 1 de MétéoFrance, s'avère significatif (les valeurs sont différentes) mais non pertinent car les écarts sont inférieurs à 10 %. A titre d'exemple, la figure 1.4 illustre l'absence de continuité des ETP de Penman pour le dispositif 2 et la bonne cohérence des données issues du programme Modis.

---

1. Voir à l'adresse suivante pour plus d'informations : <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/index.php>

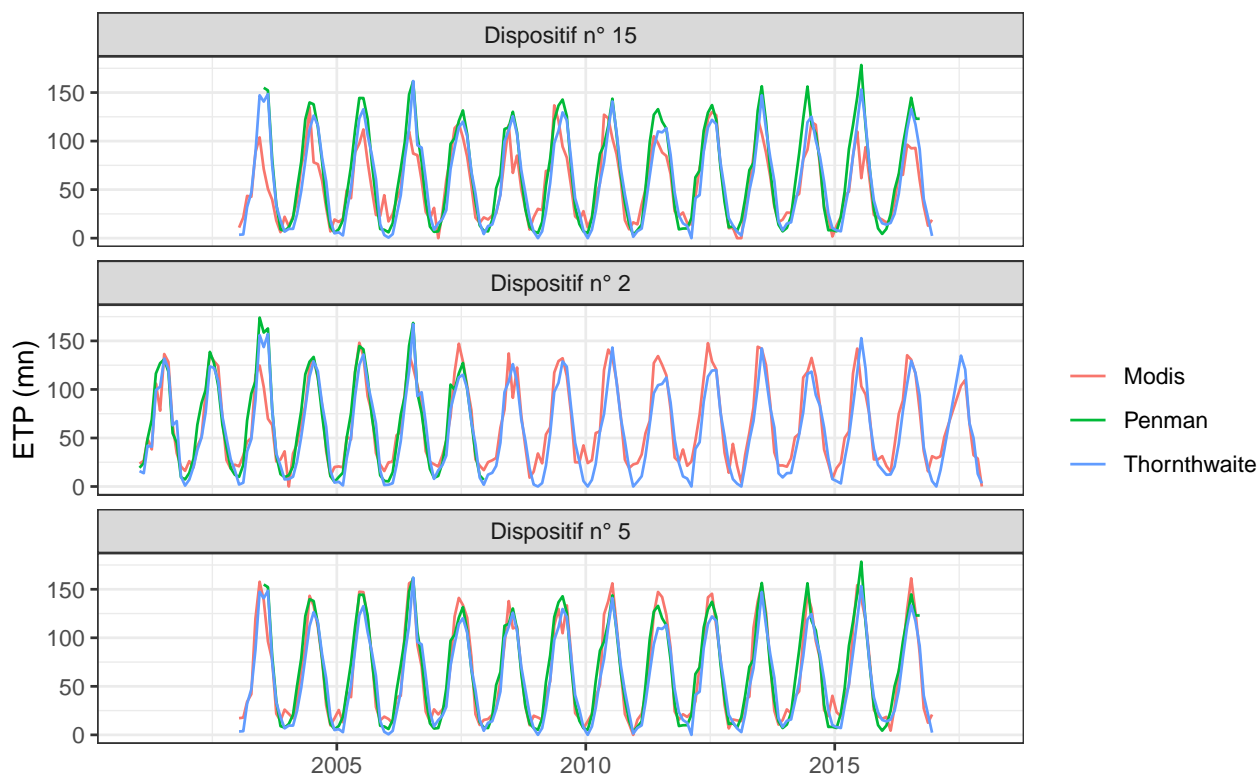


Figure 1.4 – Comparaison des ETP Modis, Penman et Thornthwaite.

Le WSL, institut suisse de recherche forestière héberge une base de données climatiques, CHELSA (Climatologies at High resolution for the Earth's Land Surface Areas<sup>2</sup>). La figure 1.5 fournit une carte possible du réseau AFI, celle des précipitations moyennes entre 1979 et 2013 pour les mois de juin, juillet et août. Les éventuels déficits de précipitations des mois d'avril et mai sont en général facilement compensés par la réserve utile du sol.

2. <http://chelsa-climate.org/downloads/>

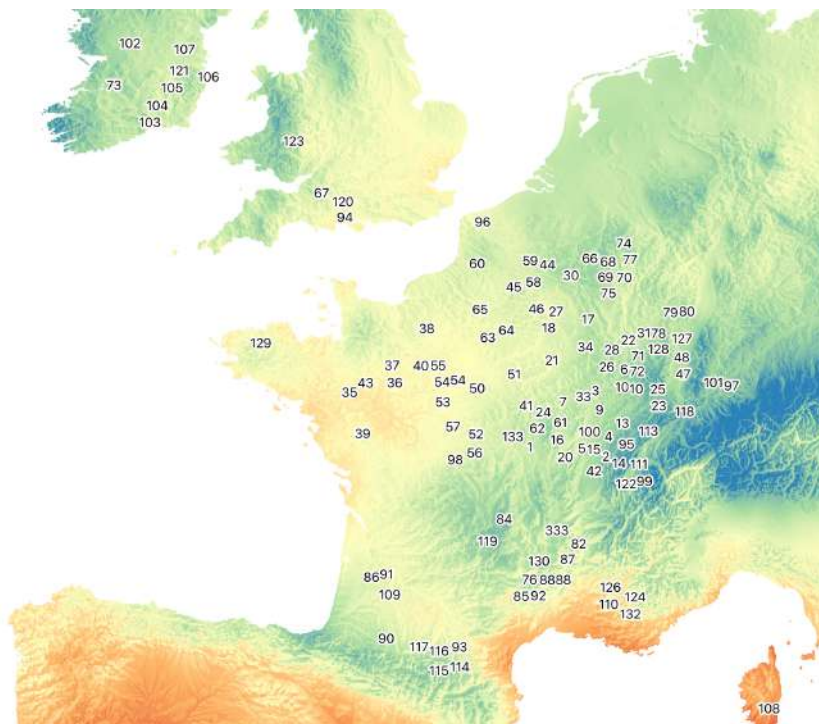


Figure 1.5 – Carte des précipitations moyennes sur la période 1979-2013 cumulées sur les mois de juin à août. Les numéros sur la carte situent les dispositifs AFI.

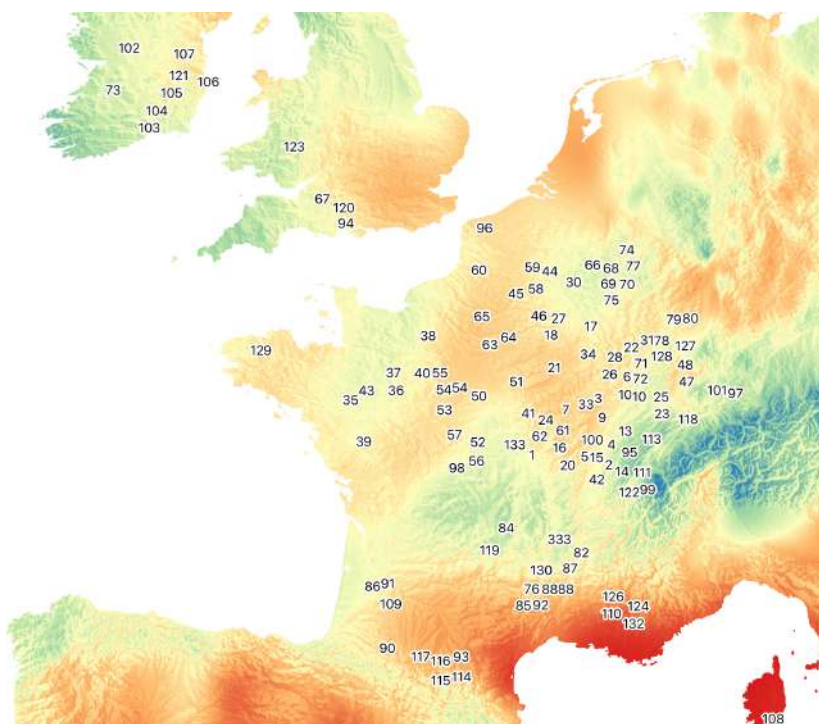


Figure 1.6 – Carte des précipitations pour l'année 2003 cumulées sur les mois de juin à août.

Les figures 1.5 et 1.6 utilisent la même échelle de couleur : des moyennes de précipitations importantes (bleu) à des moyennes de précipitations faibles, c'est-à-dire une période de végétation sèche (rouge).

La figure 1.5 a été construite à partir de la base CHELSA. Elle représente les précipitations cumulées depuis le rouge (très faibles précipitations) au bleu (fortes précipitations). Elle montre que le réseau AFI est peu représenté dans les régions à faibles ou très faibles précipitations. Elle peut être complétée par la figure 1.6 qui montre la variabilité de la sécheresse subie durant l'année 2003. Certains dispositifs tels les numéros 1, 14 ou 37 ont peu souffert de l'année 2003.

Le traitement irrégulier peut être mis en œuvre avec un grand nombre d'essences. Le premier bilan climatique réalisé grâce à des données accessibles par internet méritera d'être poursuivi et approfondi dans le contexte des changements globaux (voir paragraphe 1.2.1). Ce sera également un élément important lors des réflexions sur l'extension du réseau AFI.

## 1.2 Stratégies et perspectives

Certains dispositifs sont suivis depuis plus de 25 ans, beaucoup de données y ont été récoltées. Ce nouveau bilan est l'occasion de présenter d'autres résultats rendus pertinents par l'augmentation mécanique de l'âge des premiers dispositifs, mais est également l'occasion de s'interroger sur l'avenir du réseau, sur la meilleure manière d'optimiser l'apport de nouveaux dispositifs tout en pérennisant certains anciens et sur la manière d'utiliser ce réseau pour progresser sur les questionnements actuels. Ce paragraphe présente quelques pistes de réflexion de l'AFI, certaines étant pour l'instant plus développées que d'autres.

### 1.2.1 Les changements globaux

La notion de changement global a le mérite d'être plus large que celle de réchauffement climatique. Elle rappelle la complexité des interactions entre espèces et milieu, que l'augmentation de nos besoins se heurte au côté fini de nos ressources actuelles, que la recherche d'un contrôle de plus en plus grand de notre environnement s'avère beaucoup plus difficile que prévu, que nous vivons dans un monde connecté, que nos actions ont des conséquences à des échelles de temps et d'espace qui peuvent être assez grandes.

Alors que de tous temps les dommages liés au vent, aux bris de neige ou de glace, aux attaques parasitaires étaient subis, ils n'étaient pas intégrés par les anciennes méthodes d'aménagement que sont celles par affectation, celle du groupe strict ni même par celle du groupe élargi. Pour toutes ces méthodes basées sur le contrôle des surfaces régénérées, le calcul de l'effort de régénération est fait sans tenir compte de l'ensemble de ces perturbations qui compromettent la rentabilité économique, mais surtout le respect du principe de la recherche de l'équilibre des surfaces par classe d'âge. En revanche en montagne, l'existence de chablis réguliers a conduit très tôt à opter pour la résilience du traitement jardiné et à intégrer ce risque lié au vent dans le calcul de la possibilité volume.

L'histoire de la gestion forestière montre que la prise en compte des risques n'est pas une nouveauté, mais la sensibilité aux risques a fortement augmenté ces 30 dernières années. Cette évolution a plusieurs origines.

- Une « impression » d'augmentation de la fréquence des grandes perturbations : les tempêtes de 1982, 1987, 1990, 1999, de janvier 2009 sur le massif Landais, mais aussi par exemple les attaques de scolytes dans les pays de Savoie entre 2002 et 2006 qui ont concerné environ 1,5 millions de mètres cubes, la sécheresse de 2003, ... Tous ces événements ont marqués aussi bien la forêt que les mentalités. Les données actuelles ne permettent pas forcément de valider cette impression d'augmentation de la fréquence des grandes tempêtes : selon Météo-France le nombre et l'intensité des tempêtes ont peu évolué sur la période 1950-1999 (Bessemoulin, 2002) <sup>3</sup>.

Le tableau 1.4 rappelle les principales tempêtes <sup>4</sup> qui ont fortement secoué la forêt française ou européenne. Face à ces millions de mètres cubes, des tempêtes d'ampleur plus faible, comme par exemple celle du 10 février 2009 qui a généré plus de 100 000 m<sup>3</sup> de chablis sur la seule région Bourgogne, considérées il y a seulement quelques

3. Météo-France développe depuis 1999 une « Base de Données d'Événements Marquants »  
Le site <http://www.keraunos.org> fournit des cartes de risques.

4. Le qualificatif de « tempête » s'applique pour des vents moyens à 10 m (moyennés sur 10 minutes) compris entre 89 et 102 km/h (force 10), celui de forte tempête à la gamme 103 à 117 km/h (force 11) et celui d'ouragan (force 12) au-delà. La notion de tempête implique également une certaine extension spatiale (Bessemoulin, 2002).

années comme très conséquentes, finissent par passer inaperçues.

Année	France	Europe
1999	165	>250
1996	1,5	
1990	9	100
1987	7,5	8
1984	3,6	11
1983	0,5	
1982	12	12
1976	2	
1972	0,7	35
1967	3,6	13
1958	1,2	
1952	0,7	
1930		6
1902	1,2	
1894		10
1870		12
1868		16

Tableau 1.4 – Volume de chablis en millions de mètres cubes (extrait de Bessemoulin,2002).

- La forêt française augmente en surface et en volume. A vitesse de vent comparable, il est logique que les dégâts augmentent en valeur absolue. Il n'est donc pas nécessaire que la fréquence augmente pour que le problème devienne de plus en plus préoccupant.

- **Le traitement irrégulier, en concentrant la production sur des arbres à fortes valeurs marchandes, oblige à se préoccuper simultanément de tous les risques, non seulement ceux liés aux perturbations climatiques, mais aussi à se préoccuper davantage des risques d'altération de la qualité interne du bois, de dépérissement ou de retournement de marché.**

- **Les incertitudes liées aux changements globaux contribuent également à la recherche de modes de production peu risqués.**

Les enjeux ayant augmenté, il n'est pas nécessaire que l'aléa augmente pour que le risque soit plus grand. La gestion de la qualité fait que les valeurs de consommation des peuplements augmentent. Or les cotisations d'assurance sont proportionnelles en totalité ou pour partie à cette valeur. Malgré une augmentation des revenus, le taux d'assurance trop élevé (en général 3 ‰) risque d'être dissuasif.

### Les variations déjà constatées : cas du stress hydrique

La figure 1.7 fournit la variabilité sur plusieurs années des bilans hydriques cumulés durant la période de végétation (somme des bilans hydriques des mois de mai à septembre de chaque année). Les dispositifs 1, 36, 37, 40, 55 ont été choisis pour représenter l'ouest de la France ainsi que la région Centre, les dispositifs 5, 7, 9, 15 et 21 le quart Nord-Est de la France. Sur cette figure, chaque point représente une année dont la couleur dépend de la valeur du bilan hydrique calculé. **Les mois de mai, juin, juillet, août et septembre 2003 sont représentés en rouge pour chaque dispositif.** Cette année qui se caractérise par l'été le plus chaud jamais observé en France depuis 1950, n'est pas forcément l'année avec le plus fort déficit hydrique (dispositifs 21 et 36). **Les points bleus représentent l'année la plus favorable en terme de bilan hydrique, basé sur celui du mois de juin.** La figure 1.7 montre que l'année la plus favorable a une réalité très locale car celle-ci est différente d'un dispositif à l'autre (2016 pour le dispositif du Bois des Brosses ou 2000 pour la Forêt de Montmirail).

La figure permet de retrouver le fait que le régime continental se caractérise par des variations inter-annuelles fortes, et que les déficits hydriques peuvent y être très marqués (jusqu'à -400 pour certains dispositifs).

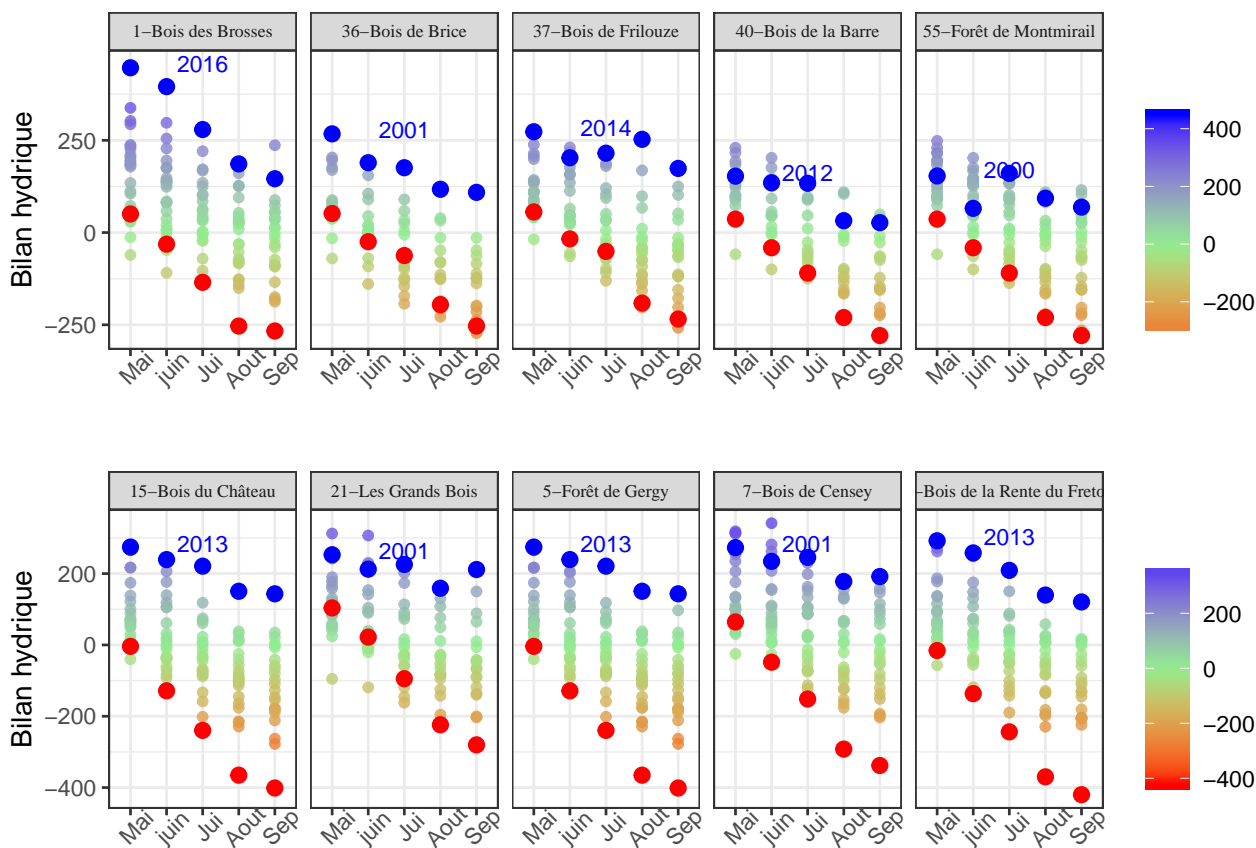


Figure 1.7 – Variabilité des bilans hydriques cumulés durant la période de végétation. L’année 2003 est représentée en rouge. L’année la plus favorable pour le mois de juin est représentée en bleu.

Il est connu que les données climatiques associées au contexte stationnel font partie des variables les plus explicatives de la croissance des arbres. **La figure 1.8 montre que la gestion peut également modifier les conditions de croissance.** Elle illustre également la difficulté à séparer les différents paramètres qui influent sur la croissance en diamètre. Elle met en vis-à-vis par essence et période d’une part l’écart de l’accroissement sur le diamètre par rapport à l’accroissement moyen calculé sur l’ensemble de la période suivi du dispositif, et d’autre part le bilan hydrique annuel ou celui pendant la période de végétation. Il est bon de rappeler que l’accroissement sur le diamètre est calculé par période de 5 ans, alors que le bilan hydrique est annuel. Des couleurs permettent de visualiser les différentes périodes.



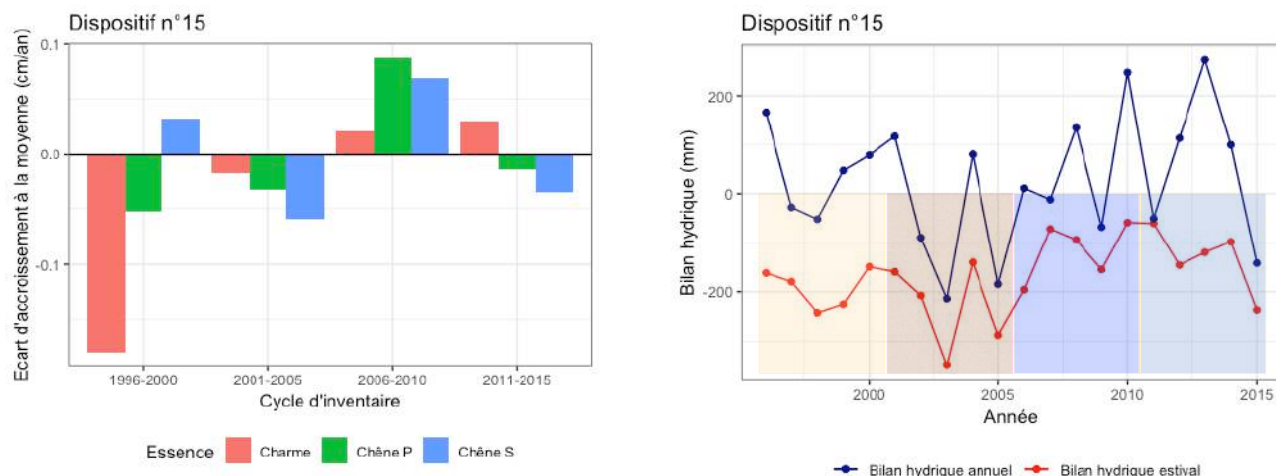


Figure 1.8 – Liens entre bilan hydrique et accroissement sur le diamètre.

Le dispositif n°15 est un bon exemple pour illustrer l'impact de la gestion sur les conditions de croissance (voir figure 1.8). A son installation il se caractérisait par une hydromorphie forte avec des indices élevés de présence de molinie dans les zones les plus planes. Progressivement le gestionnaire a laissé augmenter le matériel sur pied, la surface terrière des arbres précomptables passant en 20 ans de 10 à 19 m<sup>2</sup>/ha, assainissant au passage le sol par augmentation de la quantité d'eau transpirée. Le charme sensible à l'excès d'eau dans le sol est un bon indicateur de cette transformation. Le graphique de gauche de la figure 1.8 montre une nette amélioration de la croissance des charmes de franc-pied même si une part de l'importante augmentation lors de la seconde période est aussi liée à la réduction de la concurrence des brins de taillis. Un autre indicateur non présent dans la figure 1.8 mais visible sur le terrain est la présence actuelle de semis de merisier dans les zones planes alors qu'elle était auparavant limitée dans les zones plus pentues. La croissance plus forte des trois essences (chêne sessile et pédonculé, charme) lors de la troisième période peut être imputée aux bilans hydriques plus favorables.

## 1.2.2 Apport des données numériques

De plus en plus d'organismes mettent à disposition des données numériques de nature très diverse comme par exemple des modèles numériques de terrain ou de surface, des données satellitaires, climatiques, de densité de populations, d'occupation du territoire, de composition en essence d'arbres, etc. Ces données souvent géoréférencées peuvent être sous format vectoriel ou raster<sup>5</sup>. Parmi les fournisseurs français, on peut citer entre autres l'IGN, le BRGM ou le muséum d'histoire naturelle. Les données les plus anciennes sont en général gratuites, les données plus récentes et plus précises étant payantes.

Des régions ou des départements ont créés des coopératives de données pour faciliter leur mise à disposition. C'est le cas de la région Grand-Est par le biais de son service CIGAL. **Pour l'AFI, les possibilités ouvertes par les données numériques méritent d'être étudiées puisqu'elles pourraient permettre de se procurer des données non mesurées sur le terrain ou encore trop chronophages.**

5. Ces deux formats permettent de stocker des données géographiques. Le raster est une image composée d'une matrice de cellules (ou pixels). A chaque cellule correspond une valeur qui contient une information. Un vecteur n'est pas composé de pixels, c'est une entité graphique qui représente un objet du monde réel que l'on veut observer/représenter sous forme de point, ligne ou polygone.

Certaines collectivités territoriales mettent à disposition des gestionnaires de l'espace des données du type Modèle Numérique de Surface (MNS) issues d'un traitement LIDAR ou photogrammétrique. A titre d'exemple la figure 1.9 fournit les informations nécessaires pour se connecter au serveur FTP du CIGAL <sup>a</sup>.

Ayant récupéré le MNS auprès du CIGAL et à condition de posséder un Modèle Numérique de Terrain (MNT) suffisamment précis (celui à une résolution de 5 convient parfaitement), il est possible de calculer par différence un Modèle Numérique de Hauteur (MNH = MNS - MNT). Ces modèles MNH peuvent être utilisés pour extrapoler des informations dendrométriques obtenues à partir d'inventaires en plein ou par placettes, aux espaces environnants.

<sup>a</sup>. Créé à l'origine par la région Alsace, les deux départements et les trois principales communautés urbaines, le CIGAL rassemble et met à disposition des données numériques pour l'ensemble de la nouvelle région Grand-Est

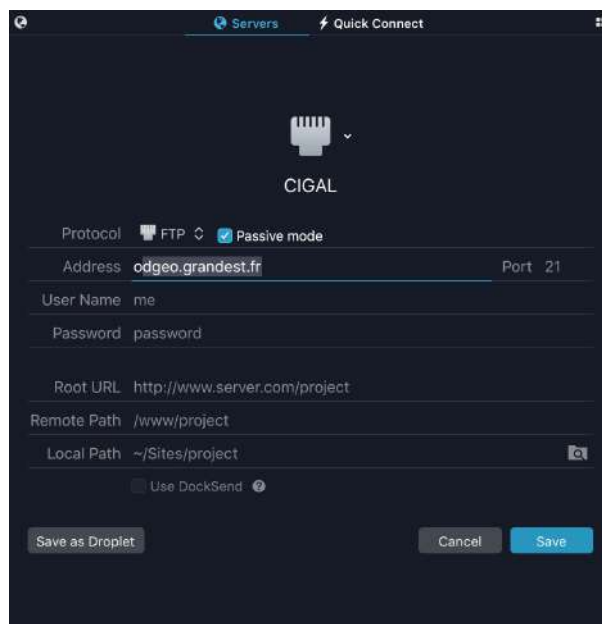


Figure 1.9 – Informations permettant de se connecter au serveur FTP du CIGAL.

A titre d'exemple, la figure 1.10 permet de visualiser le MNH du dispositif n°17 (Belval) de l'AFI. L'échelle à droite est celle des hauteurs.

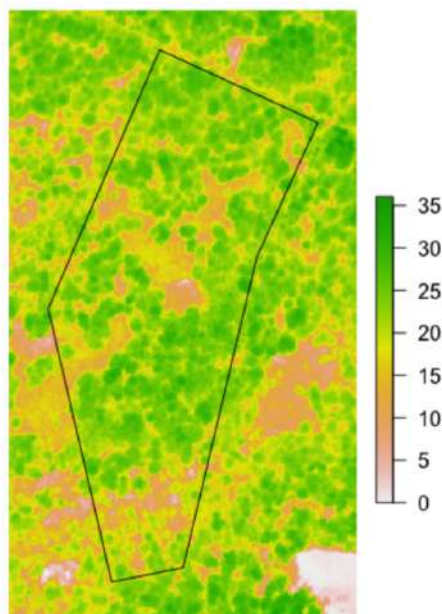


Figure 1.10 – Modèle Numérique de Hauteurs (MNH) - dispositif AFI n°17 (Belval).

Les outils conçus pour analyser des nuages de points lidar peuvent être utilisés pour individualiser des arbres. Ils sont basés sur la recherche d'apex. Les informations recueillies lors des mesures AFI servent à calibrer ces outils. Le résultat est présenté figure 1.11.

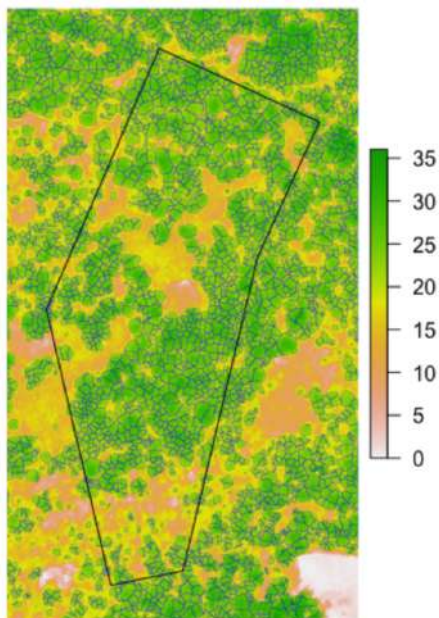


Figure 1.11 – Exemple d’individualisation des arbres à partir du MNH - dispositif AFI n°17 (Belval).

Au lieu de vouloir individualiser des tiges, une autre approche consiste à rechercher des corrélations entre les caractéristiques dendrométriques mesurées sur les placettes AFI et le nuage de points lidar. Le résultat est présenté figure 1.12. L’échelle à droite est exprimée en  $m^2/ha$  et représente la surface terrière.

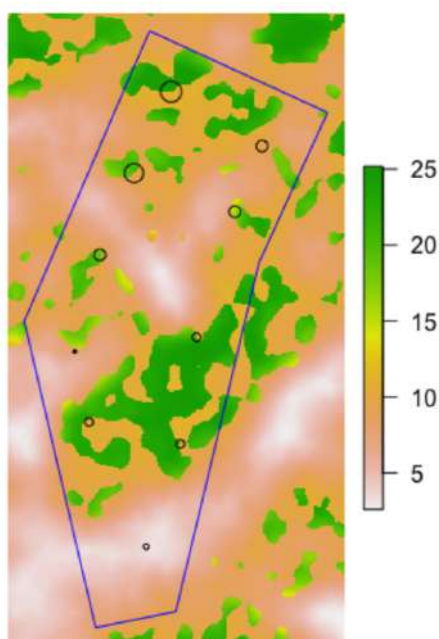


Figure 1.12 – Exemple de cartographie de la surface terrière à l’hectare - dispositif AFI n°17 (Belval).

D’autres questionnements actuels tels que la gestion des peuplements de frêne touchés par la chalarose seront développés plus loin dans le document.

## Chapitre 2

# Bilan dendrométrique et sylvicole

Pour la majorité des propriétaires, l'écosystème forestier est d'abord un capital source de revenus provenant de la production de matériau bois, s'inscrivant ainsi dans les préoccupations de la filière. Ce capital forestier évolue d'une part sous l'action de son accroissement naturel, et subit d'autre part des interventions humaines mais aussi des perturbations naturelles d'intensités variables. Il présente une grande diversité de situations stationnelles, historiques et il évolue en quantité (surface terrière, volume) et en qualité (valeur de consommation ou potentielle). L'art de la gestion forestière consiste à faire fructifier au mieux ce capital variable, à en récolter les fruits et à le pérenniser dans ses aspects de production et de services écosystémiques.

*« Rien de plus clair assurément que le problème de la sylviculture. Une forêt est un capital qui produit de lui-même l'intérêt qu'il rapporte. Toute la question est de déterminer cet accroissement et les conditions dans lesquelles il sera avantageux de le prélever par exploitation, sans nuire au capital et sans compromettre la reconstitution de l'intérêt, c'est-à-dire son nouvel accroissement dans l'avenir »* (Gurnaud, 1890).

Cette conception de la sylviculture reste d'actualité, même si Gurnaud la sous-entendait en volume alors qu'avec le traitement irrégulier il faut l'appliquer en valeur.

Ce chapitre fait un bilan sur les caractéristiques dendrométriques et sylvicoles des peuplements en s'intéressant à la gestion du capital sur pied, des prélèvements et de la régénération, dans la logique de la recherche d'un peuplement idéal, moteur des méthodes d'aménagement en futaie jardinée, mais principe également utile, même si ce n'est que pour partie, pour le traitement en futaie irrégulière. Disposant de moins de données et de recul sur les dispositifs résineux, les analyses seront davantage détaillées pour les dispositifs feuillus. Mais, des premiers enseignements pourront quand même être tirés de ces dispositifs.

## 2.1 Différentes phases de la conversion en futaie irrégulière

### 2.1.1 Anciens taillis-sous-futaie

S'il existe un état d'équilibre en système irrégulier, caractérisé par une production régulière, un renouvellement continu et un écosystème stable, il y a peu de peuplements et encore moins de forêts répondant aujourd'hui à cette configuration. Ils se trouvent le plus souvent dans des états intermédiaires, plus ou moins proches de cet état idéal théorique. Le réseau AFI a mis en évidence trois stades d'évolution de peuplements anciennement gérés en taillis-sous-futaie et en conversion vers de la futaie irrégulière. La figure 2.1 permet de visualiser un modèle théorique expliquant la succession de ces trois phases.

Les anciens taillis-sous-futaie se caractérisent en général par une biomasse globale élevée mais contenant une très grande part de volume de faible qualité (taillis, houppiers, tiges de petite dimension et de faible qualité) et à contrario un volume de bois d'œuvre relativement faible et majoritairement de qualité moyenne. Dans la figure 2.1 le stock à un instant donné peut être exprimé en volume ou en surface terrière, la valeur est celle de consommation, calculée avec la mercuriale de prix fixes afin de ne pas être tributaire des variations du cours des bois (voir paragraphe 3.4.1).

Les trois phases de la conversion en futaie irrégulière d'un taillis-sous-futaie illustrées par la figure 2.1 sont les suivantes :

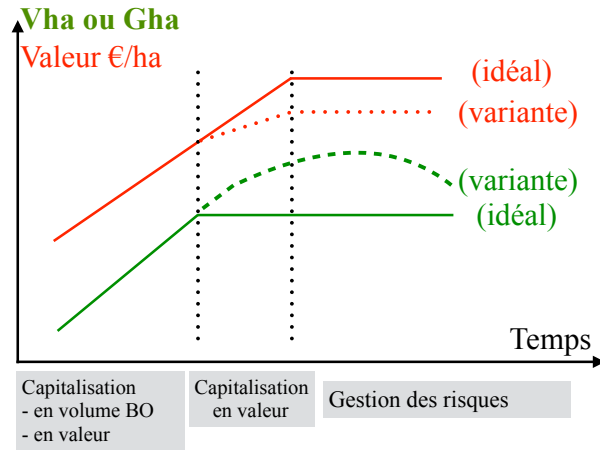


Figure 2.1 – Modèle théorique d'amélioration des anciens taillis-sous-futaie.

**Phase 1 :** Le stade initial dépend fortement de l'historique de la gestion antérieure, mais majoritairement le peuplement présente un capital producteur insuffisant et il y a lieu de porter la part de bois d'oeuvre à un niveau approprié au regard de la station et de l'essence objectif. **Ainsi, cette phase se caractérise par une augmentation de la part de bois d'oeuvre et une concentration de la production sur les tiges de qualité.** Cette phase est souvent nécessaire pour maximiser la diversité des essences et des strates afin de se rapprocher d'un écosystème le plus complexe possible. Cette première phase d'augmentation du capital bois d'oeuvre, dans la majorité des cas, s'arrête lorsqu'un seuil de volume a été atteint. Ce seuil doit permettre la cohabitation entre une régénération diffuse et continue, la survie d'essences moins compétitives, des accroissements individuels sur le diamètre suffisant pour garantir le maintien de la qualité et soutenir l'accroissement en valeur.

**Phase 2 :** C'est une phase intermédiaire vers une stabilisation de ce volume idéal et une poursuite de l'augmentation de la valeur du peuplement en conservant lors de chaque martelage en priorité les tiges ayant le meilleur potentiel, quel que soit le diamètre. Ce scénario est «idéal» d'un point de vue dendrométrique et sylvicole : maintien de l'accroissement en diamètre de toutes les classes de diamètre, bonne composition et dynamique de la régénération. Cependant, si le dispositif est riche en bois moyens ou jeunes gros bois de qualité, le seuil de volume devra être dépassé car autrement vouloir le contenir conduirait à des sacrifices d'exploitabilité. Dans ce scénario alternatif, l'importance du dépassement sera fonction de l'équilibre entre besoins de trésorerie du propriétaire, sacrifices d'exploitabilité, pertes d'accroissement sur les diamètres, impacts sur la régénération, perte de qualité liée à un matériel trop fort, diminution de la capacité de réaction suite à une trop forte compression des houppiers. Avec le temps, les sacrifices d'exploitabilité diminuant, il sera alors temps d'augmenter les récoltes pour se rapprocher du volume «idéal».

**Phase 3 :** Le capital a atteint son optimum de production matière et valeur. Les coupes délivrent plus de bois de qualité. Mais lorsque le capital valeur atteint ce niveau, les pertes liées à d'éventuels dégâts augmentent. La perception du risque étant très variable selon les propriétaires et/ou gestionnaires, il existera de nombreux seuils possibles pour ce capital valeur «optimal». Certains dispositifs AFI ont atteint cette troisième phase. Les prochaines coupes y prélèveront donc moins de bois de faible qualité. **La question du renouvellement qui a pu être mise de côté lors de la phase 2 retrouve son importance.**

Ces trois phases nécessitent des niveaux croissants de technicité. La première consiste à repérer les arbres de meilleure qualité quel que soit leur diamètre et à les aider. La part de qualité dans les peuplements anciennement traités en taillis-sous-futaie, en attente d'une possible conversion en futaie régulière mais dans une situation intermédiaire entre ces deux traitements, est en général assez faible. Lors des martelages les choix du prélèvement se feront entre deux arbres de moindre qualité. Cette première phase fait appel à la qualité principale du sylviculteur qui est de repérer y compris dans des peuplements «médiocres» les tiges relativement les plus «belles». La seconde phase est plus technique. Elle nécessite de fixer le niveau de matériel optimal, choix principal dans

l'aménagement des futaies jardinées mais qui dans le cas des futaies irrégulières se complexifie car il peut être décidé de s'écarter de ce niveau optimal. La connaissance du volume idéal pour une station et une composition en essence données est nécessaire pour connaître les risques à s'en écarter ! Les ordres de grandeur publiés dans les différents documents AFI et repris dans les SRGS ou les SRA servent de direction durant la première étape de la conversion. Lorsque les peuplements auront un volume proche de ces ordres de grandeurs, le gestionnaire pourra décider de continuer la capitalisation en volume en fonction de la répartition de la qualité et de la structure du peuplement. Il devra être conscient du fait qu'une capitalisation trop forte aura des conséquences en terme de quantité et de qualité de la régénération, de croissance en diamètre, etc. Avec l'augmentation de la part d'arbres de qualité, en martelage, les choix deviennent plus délicats.

La troisième phase devient encore plus technique car elle nécessite de prendre en compte les risques de production (risque climatique, volatilité des cours du bois etc).

### 2.1.2 Cas particulier des peuplements capitalisés

Ces peuplements très riches en nombre de tiges peuvent correspondre à un perchis, une jeune futaie feuillue ou résineuse (Bois du faussé - dispositif 62), à une plantation âgée de douglas (Forêt de Folin - dispositif 16), à une conversion avancée d'un ancien taillis-sous-futaie, par exemple des peuplements de chêne avec une surface terrière supérieure à 30 m<sup>2</sup>/ha, etc. Ces peuplements peuvent être divers mais moins fréquents que le cas précédent.

Ils souffrent en général d'un déficit d'éclaircie. Par rapport à la figure 2.1, le gestionnaire aura la volonté de décapitaliser ces peuplements, surtout en volume. Pour se faire, puisque les arbres ont subi une compétition forte pour l'accès à la lumière ou à l'eau, le gestionnaire commencera par prélever prudemment les individus qu'il estime les moins aptes à réagir. Puis en fonction de la réaction des arbres voisins, il pourra progressivement accélérer la transition vers des niveaux de volumes plus compatibles avec un accroissement sur le diamètre satisfaisant et une régénération suffisante. Alors qu'il souhaite décapitaliser (limitation des risques), il pourra être contraint de passer par une phase de légère capitalisation afin de limiter les sacrifices d'exploitabilité ou bien d'attendre que certains arbres soient à nouveau en capacité de réagir favorablement à des éclaircies. Ce sera le cas des chênaies qui ont des capacités de réaction moindres que les hêtraies.

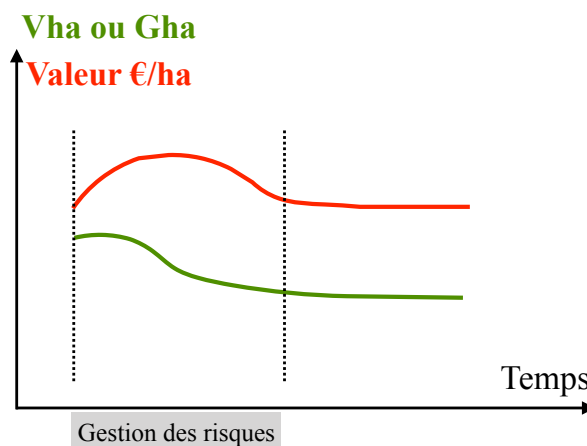


Figure 2.2 – Conversion théorique de peuplements capitalisés.

Dans la majorité des cas, le modèle théorique de conversion des anciens taillis-sous-futaie vers la futaie irrégulière contient 3 phases (capitalisation en volume, en valeur, puis gestion des risques) qui nécessiteront de la part des gestionnaires de plus en plus de technicité. Lors de la phase de capitalisation en valeur, la gestion de la qualité et l'objectif de limiter au maximum les sacrifices d'exploitabilité passent avant toute norme chiffrée de capital sur pied. L'arbitrage entre conserver un niveau de capital autorisant un bon accroissement individuel des tiges et leur qualité, assurer une durabilité de la production par le biais d'une régénération suffisante et de qualité, minimiser les sacrifices d'exploitabilité est une difficulté que les gestionnaires qui ont un peu de recul dans le traitement irrégulier doivent affronter.

Dans le cas des peuplements capitalisés, le gestionnaire sera immédiatement dans la situation de gestion des risques et cela d'autant plus que le diamètre des arbres sera élevé. Il pourra être contraint de passer par une phase de capitalisation qu'il s'efforcera de réduire avant de pouvoir réellement décapitaliser.



## 2.2 Gestion du capital sur pied : recherche d'un peuplement idéal

### 2.2.1 Evolution du capital sur pied

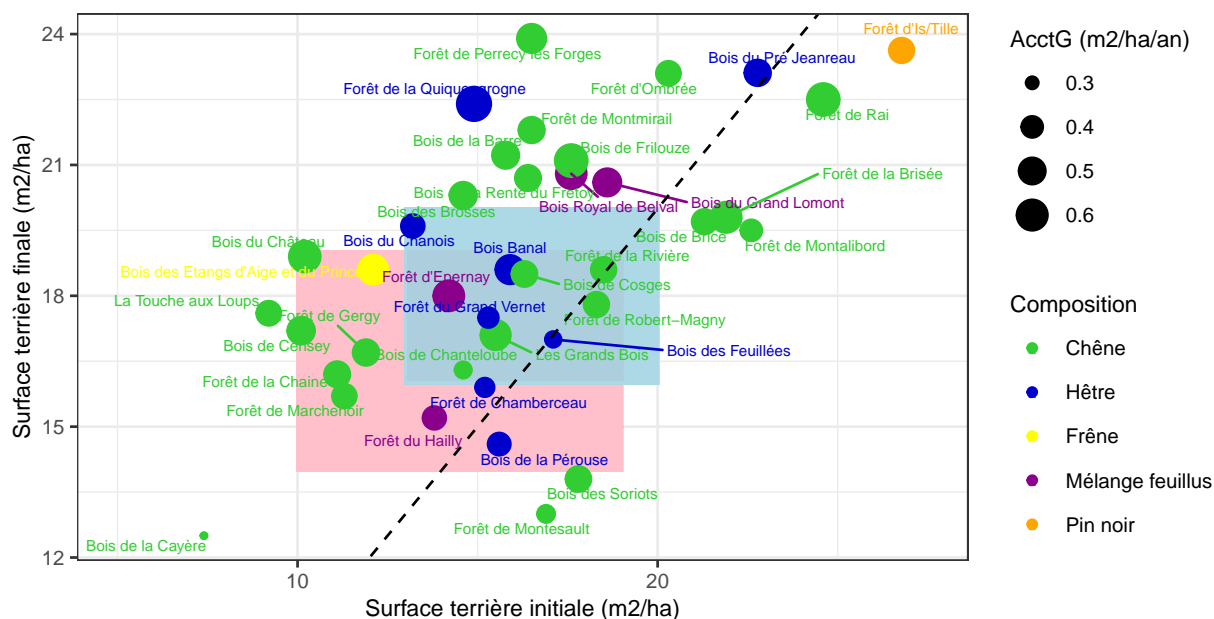


Figure 2.3 – Evolution des surfaces terrières sur la période.

La figure 2.3 permet d'apprécier l'évolution des stocks en surface terrière depuis la mise en place de chaque dispositif. Même si les graphiques en volume sont assez proches, la surface terrière a comme avantage de masquer le problème de la cohérence des tarifs de cubage. Dans cette figure, les valeurs de surface terrière sont celles constatées au moment de la mesure. Elles peuvent être assimilées à la moyenne des surfaces terrières avant et après coupe. La taille du dispositif est d'autant plus forte que l'accroissement en surface terrière est élevé. La ligne en pointillés correspond à l'égalité entre surface terrière en début et fin de période. Les dispositifs de douglas n'ont pas été représentés. En effet, ceux-ci ont des surfaces terrières initiales très élevées et ont été décapitalisés progressivement. Le dispositif de Folin (n°16) est passé de 52 m²/ha à 47 m²/ha en l'espace de 20 ans et le dispositif de la Métairie Rouge (n°49), de 47 m²/ha à 42,5 m²/ha en 15 ans.

La figure 2.3 montre que **quelles que soient les essences feuillues, les conditions stationnelles, le profil des gestionnaires, la gestion pratiquée conduit à des niveaux de matériel à l'hectare assez homogènes, entre 14 et 22 m²/ha.**

De plus, la figure permet de constater que :

- la grande majorité des dispositifs a fait l'objet d'une phase de capitalisation et les différences entre essence prépondérante chêne ou hêtre sont faibles. Le même raisonnement en distinguant par type de sol ne montre pas non plus de grande différence.
- dans le cas de peuplements de chêne considérés comme «satisfaisants», la surface terrière obtenue après au moins 15 ans de gestion irrégulière se situe entre 14 et 19 m²/ha de précomptables, 1 à 2 m²/ha de perches et 2 à 3 m²/ha de taillis. Cela permet le développement d'une régénération de chêne, par traitement du sous-étage (perches et taillis) amenant de la lumière.
- dans le cas de peuplements de hêtre, la surface terrière se situe plutôt entre 16 et 20 m²/ha, ce qui permet une régénération sans difficulté aussi bien dans un contexte calcaire ou eutrophe que dans un contexte acide. Au delà de 20 m²/ha, la régénération de hêtre est plus diffuse voire incertaine. A noter que les perches de hêtre remplacent progressivement le taillis dans son rôle d'éducation de la régénération et de maintien de la qualité des arbres.

A condition de rester dans des grands types de composition (feuillus, résineux), dans l'état actuel du réseau, le seuil de matériel à l'hectare vers lequel tendent les différents gestionnaires est peu dépendant de la station et légèrement différent selon la composition.

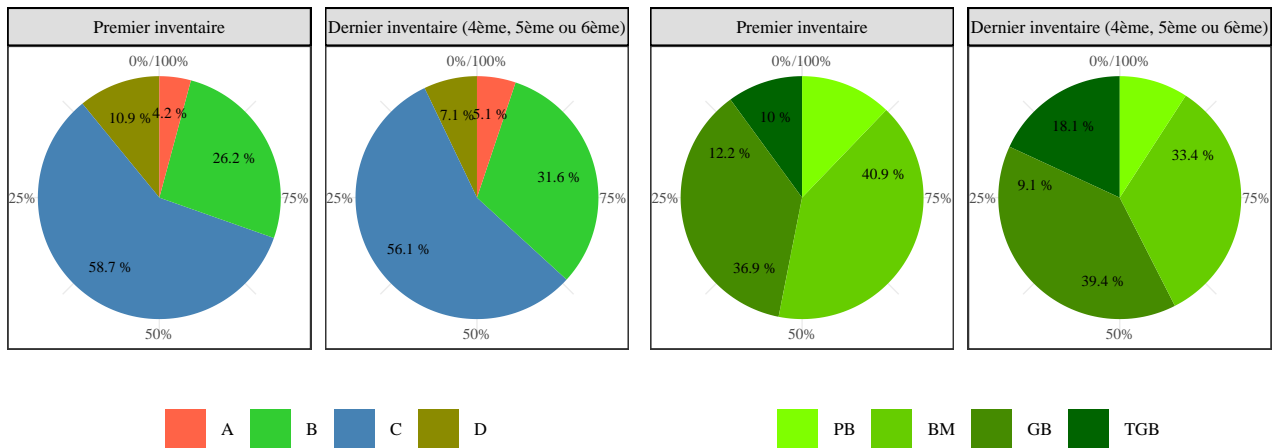


Figure 2.4 – Evolution du volume sur pied entre le début de la période de suivi et le dernier inventaire. Les deux graphiques de gauche détaillent le volume par qualités, ceux de droite par catégories de diamètre.

La figure 2.4 fournit l'évolution du volume sur pied des essences précomptables (feuillus et résineux) entre le début de la période de suivi et le dernier inventaire tous dispositifs confondus<sup>1</sup> (uniquement ceux ayant au moins 15 ans de suivi). Les deux graphiques de gauche détaillent le volume par qualités, ceux de droite par catégories de diamètre. Ils permettent de constater :

- une augmentation importante de la part en volume des gros bois et très gros bois. Ils représentent plus de 50 % du volume de bois d'œuvre sur pied ;
- une augmentation importante de la part en volume des arbres de qualité B, et une diminution de la part des individus de qualité D.

## 2.2.2 Accroissement en volume

L'accroissement en volume mais mieux encore son taux, ratio de l'accroissement en volume sur le volume, peuvent être utilisés chaque fois qu'il est nécessaire de prévoir l'évolution des stocks (business plan, rentabilité d'un investissement), ou bien par exemple dans le contexte des changements globaux pour simuler les stockages de carbone (voir chapitre 5).

Le traitement irrégulier recherche un compromis (ce n'est pas tout à fait le cas en Allemagne) entre la maximisation de l'accroissement en volume à l'échelle du peuplement et l'accroissement maximal sur le diamètre des arbres qui le composent. Il n'est pas possible d'obtenir ces deux objectifs simultanément. Or pour la très grande majorité des essences un accroissement fort sur le diamètre, avec un seuil maximum variable selon les essences mais rarement observé, est synonyme de qualité. Le gestionnaire essaiera de ne pas trop perdre en production totale tout en créant les conditions pour que chaque tige puisse exprimer son potentiel. Dans ce cas, accroissement en volume et volume sur pied restent encore fortement corrélés, avant que l'accroissement en volume commence à plafonner. Cette relation restera vraie pendant toute la phase de capitalisation des anciens taillis-sous-futaie (voir paragraphe 2.1).

La figure 2.5 présente l'accroissement en volume en fonction du volume pour des peuplements dont l'essence majoritaire est le chêne, le hêtre ou un mélange de feuillus, en distinguant 4 types de sols. Les dispositifs ayant au moins 3 inventaires ont été sélectionnés, soit au moins 10 ans de suivi. La liaison entre accroissement en volume et volume sur pied est globalement linéaire mais avec une forte variabilité. Les droites en pointillés ont

1. Les volumes du premier inventaire et du dernier inventaire tous dispositifs confondus ont été additionnés selon la qualité



une pente qui va de 1,5 % à 4,5 % par pas de 0,5 %. Elles permettent de dire que **dans le réseau AFI, les peuplements où le chêne est majoritaire ont un taux d'accroissement en volume compris entre 1,5 et 3,5 %**.

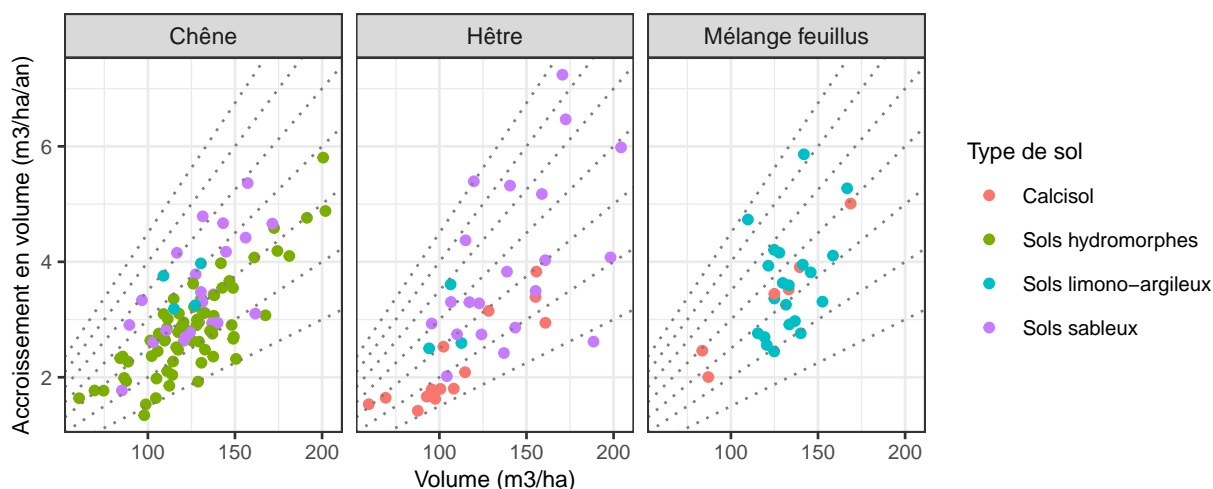


Figure 2.5 – Accroissement absolu en volume en fonction du volume pour des peuplements dont l'essence majoritaire est le chêne, le hêtre ou un mélange de feuillus, en distinguant 4 types de sols.

La figure 2.6 fournit directement le taux d'accroissement en volume. Elle montre la variabilité des résultats. **Les points rouges correspondent aux moyennes.** En première approximation, des taux d'accroissement en volume compris entre 2 et 3 % sont réalistes.

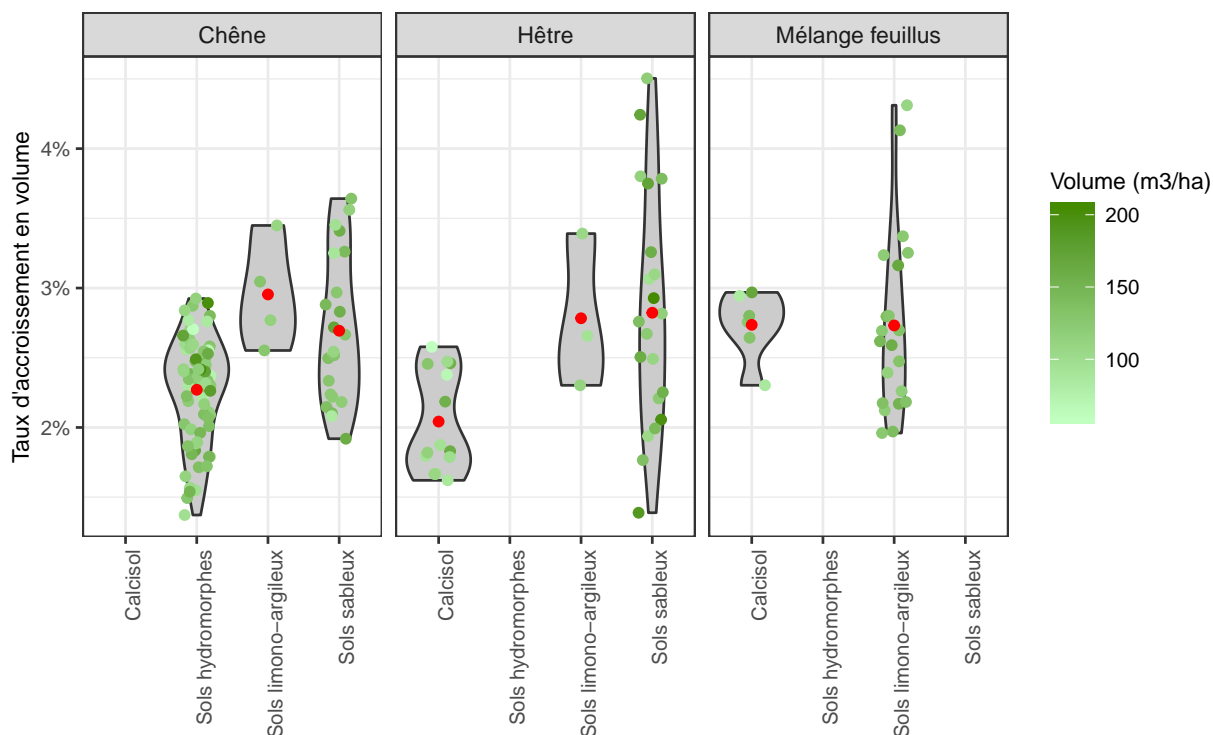


Figure 2.6 – Accroissement relatif en volume selon des grands types de sols et pour 3 essences principales.

### 2.2.3 Analyses des prélèvements en volume

Dans le protocole AFI sont notés "C" les arbres chablis (souche renversée ou soulevée). Les autres arbres qui ne sont plus présents lors d'une remesure sont considérés comme exploités et notés "E" même s'il peut s'agir de volis. L'analyse des prélèvements développée ci-après porte sur les chablis et les arbres exploités renseignés lors des inventaires, pour des dispositifs ayant au moins 4 inventaires, soit 15 ans de suivi.

#### 2.2.3.1 Taux de prélèvements sur la période

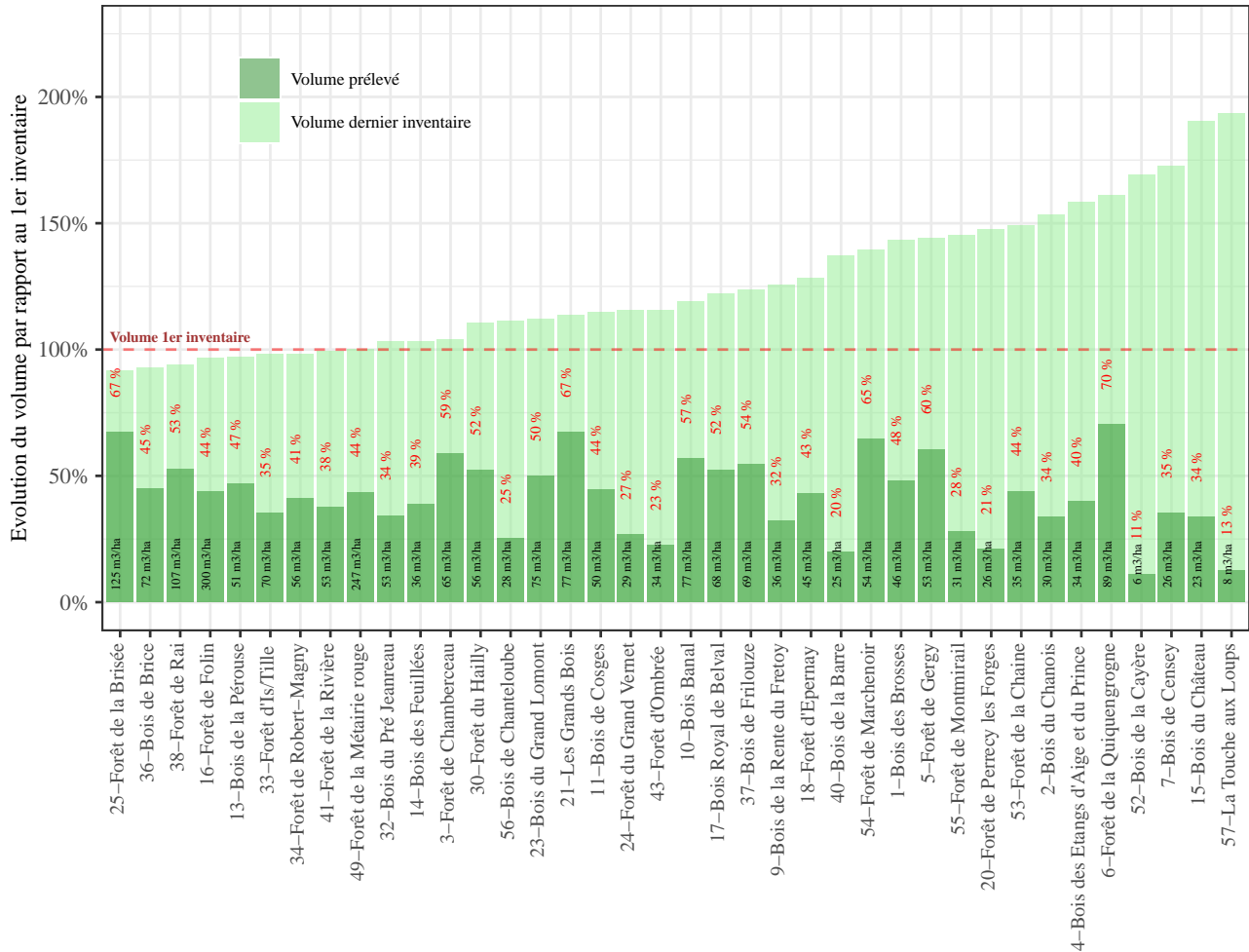


Figure 2.7 – Evolution relative du volume par rapport au premier inventaire. Le prélèvement absolu est indiqué en noir, le prélèvement relatif en rouge.

La figure 2.7 permet pour chaque dispositif dont la période de suivi est d'au moins 15 ans (au moins 4 inventaires), de comparer le volume sur pied inventorié lors du dernier inventaire par rapport au volume initial. Ce choix permet de représenter l'ensemble des dispositifs sans que les dispositifs de douglas perturbent la lecture en raison de leur fort volume.

La figure 2.7 est triée par écart croissant entre le volume final et initial. Ainsi le dispositif de Folin a été faiblement décapitalisé en pourcentage, mais ramené à son volume, cela se traduit par l'un des écarts les plus importants parmi tous les dispositifs (300 m<sup>3</sup>/ha prélevés en 15 ans). **Elle fournit également la somme des prélèvements effectués dans chaque dispositif en valeur absolue (en noir sur la figure) et relative (en rouge sur la figure).** Les prélèvements relatifs ou absolus sont également à mettre en regard avec la période de suivi du dispositif (voir tableau 1.1).

La figure 2.7 permet de constater qu'une majorité de dispositifs est dans une phase de capitalisation en volume. Elle peut également servir à calculer l'accroissement moyen sur la période ainsi que le temps de retour<sup>2</sup> du capital volume (voir figure 2.8) à partir des volumes réellement coupés et non pas à partir de l'accroissement en volume.

### 2.2.3.2 Temps de retour du capital volume

Sur la figure 2.8, la valeur de 33 ans qui sert souvent de référence pour le temps de retour du capital volume d'un peuplement ou d'une forêt en équilibre permet de distinguer les dispositifs qui ont un temps de retour supérieur ou inférieur à cette référence (voir 3.2.6 pour plus de détails sur la notion de temps de retour). Les temps de retour sont compris entre 23 et 49 ans. Les temps de retour les plus faibles correspondent aux peuplements où le capital initial des arbres précomptables était faible (Bois du Château, Forêt de la Quiquengrogne), les temps les plus forts aux dispositifs à fort capital initial (forêt de Folin) ou bien à des accroissements en volume faibles (Bois des Feuillées).

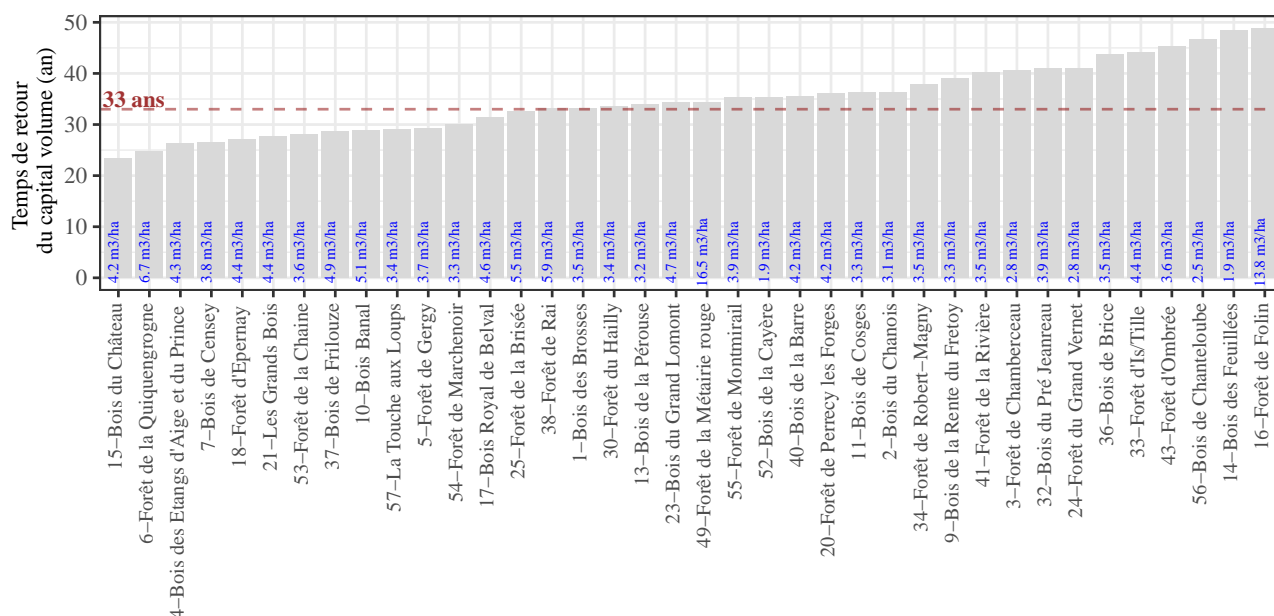


Figure 2.8 – Temps de retour du capital volume. L'accroissement moyen en volume sur la période est indiqué en bleu.

2. Le volume sur pied pouvant évoluer de manière importante durant la période de comparaison assez longue, le temps de retour est calculé à partir de la formule suivante :  $Temps = (V_2 + V_1) / 2 / AcctV$

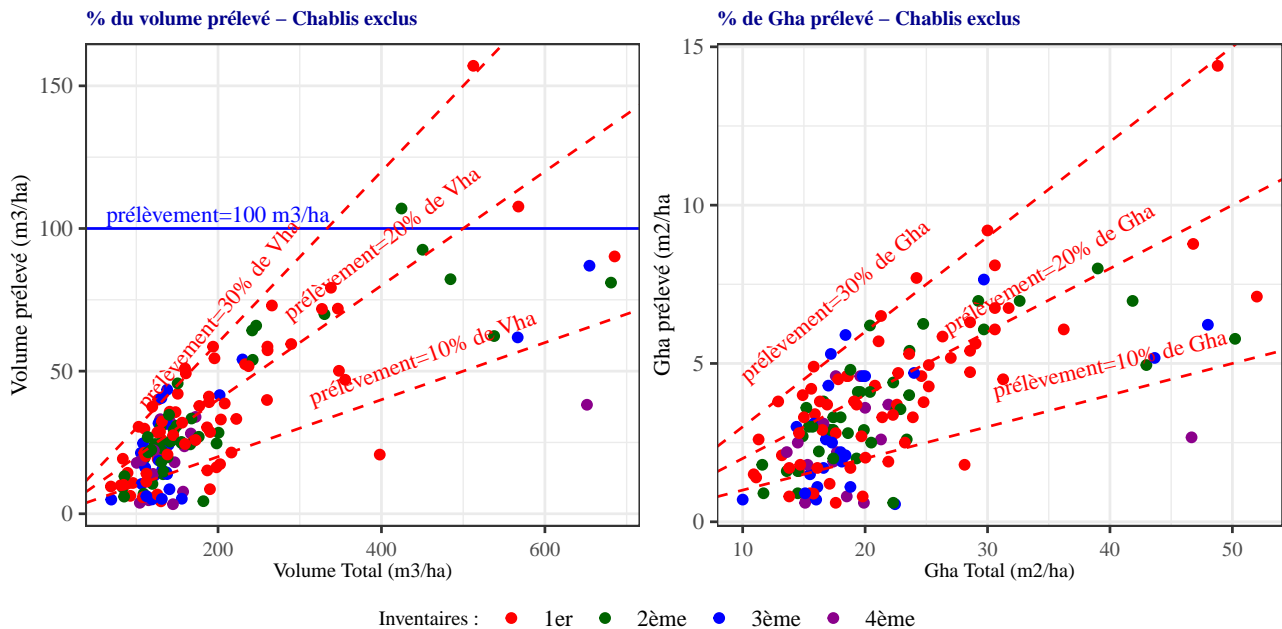


Figure 2.9 – Analyse des taux de prélèvement, chablis exclus

La figure 2.9 représente le matériel enlevé à chaque passage en éclaircie en volume et en surface terrière. Les chablis sont exclus de l'analyse. Les pentes des courbes en pointillés correspondent à des taux de prélèvement. Les seuils de 10, 20 et 30 % sont représentés à titre d'exemple. Le seuil de 100 m<sup>3</sup>/ha à éviter y compris pour les résineux est également indiqué.

La figure 2.9 a le mérite de fournir des ordres de grandeur des prélèvements. Elle montre que pour les dispositifs représentés, à chaque passage en éclaircie, le matériel prélevé est souvent compris entre 10 % et 30 % du matériel total. A titre indicatif, la valeur de 20 % de taux de prélèvement, en moyenne, est souvent conseillée comme repère. Il ne semble pas y avoir de différence selon l'ancienneté du dispositif. Les faibles valeurs de prélèvement correspondent à des dispositifs en phase de capitalisation forte. Le graphique en surface terrière fournit des informations analogues.

La figure 2.10 fournit le taux de prélèvement de chaque dispositif retenu par référence à l'accroissement en volume bois d'œuvre des arbres, en distinguant la part liée à l'exploitation des chablis de celle résultant d'une exploitation normale.

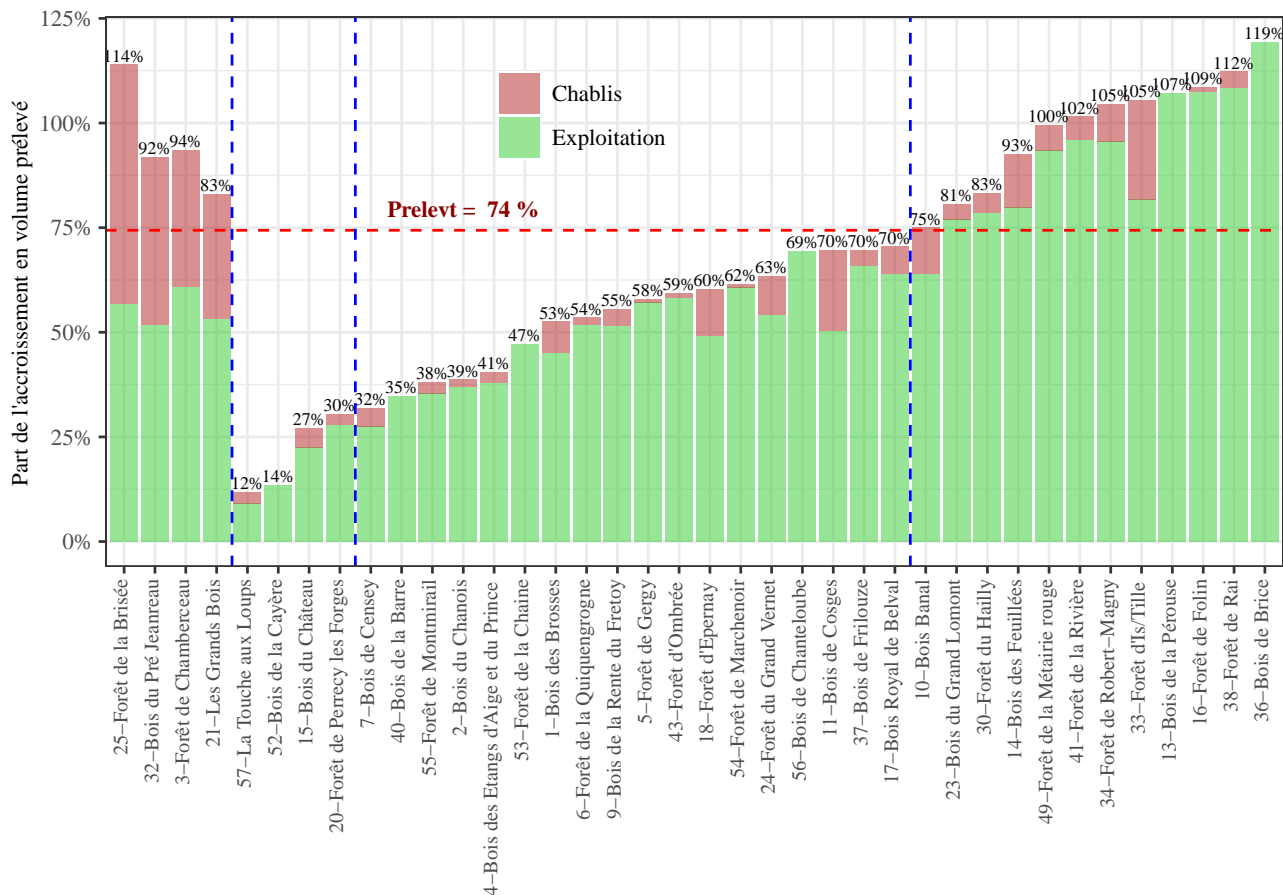


Figure 2.10 – Analyse du prélèvement en volume sur une période d’au moins 15 ans.

Les différents dispositifs peuvent être divisés en 4 groupes (voir figure 2.10). En partant de la droite vers la gauche on distingue :

- les dispositifs où le gestionnaire a volontairement décapitalisé progressivement le volume sur pied. C’est le cas des dispositifs du Bois Banal (décapitalisation faible) jusqu’au Bois de Brice (décapitalisation forte) ;
- les dispositifs où les gestionnaires ont réalisé une capitalisation forte (seuls 32 % de l’accroissement ont été récoltés au Bois de Censey) à faible (70 % de l’accroissement ont été récoltés au Bois de Frilouze ou Belval) ;
- les dispositifs où les gestionnaires ont réalisé une capitalisation très forte comme par exemple au Bois du Château. Lors du dernier passage, le capital volume a encore augmenté. Cette stratégie peut être entièrement assumée, mais elle commence à entraîner une baisse de l’accroissement sur le diamètre des petits bois de chêne ;
- les dispositifs où une part importante du prélèvement a eu lieu sous forme de chablis.

Globalement, le prélèvement moyen est de 74 % de l’accroissement en volume (ligne rouge sur le graphique).

Pour la majorité des dispositifs les gestionnaires, en accord avec le propriétaire, ont ressenti le besoin de capitaliser le volume bois d’œuvre. Cela correspond à la première phase évoquée au paragraphe 2.1. Les martelages ont comme principal objectif de favoriser la croissance des plus belles tiges en essayant de se rapprocher d’un volume optimal dont le seuil peut être affiné par la méthode du contrôle de Gurnaude.

### 2.2.3.3 Nature des prélèvements

La figure 2.11 permet de visualiser la distribution des prélèvements globaux en distinguant <sup>3</sup> :

- le bois énergie associé au bois d'industrie (BEBI) : ces informations proviennent des archives des gestionnaires. Pour ce type de produit ces informations sont plus précises que celles issues des placettes permanentes.
- le bois d'œuvre (BO) : l'information provient des placettes permanentes. Elle peut être calculée de 2 façons différentes. La première (BO1) est la simple division du volume récolté divisé par la durée de la période d'étude. La seconde (BO2) correspond à la division du volume récolté par un multiple de la rotation des coupes. Avec le temps les deux façons de calculer le prélèvement devraient converger. Sur des périodes courtes, la seconde est théoriquement meilleure. C'est elle qui sera retenue.

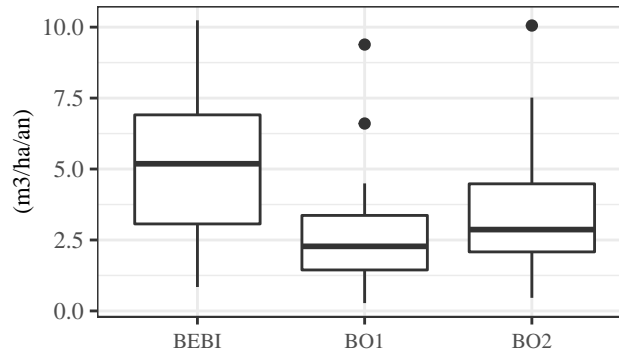


Figure 2.11 – Importance du prélèvement en BEBI et BO pour tous les dispositifs dont le début de suivi est antérieur à 1999.

Pour tous les dispositifs dont le début de suivi est antérieur à 1999, le prélèvement moyen en bois d'œuvre a été de 3.4 m<sup>3</sup>/ha/an soit 74 % de l'accroissement en bois d'œuvre, auquel il faut ajouter les prélèvements sous forme de bois industrie ou bois énergie, soit 5.3 m<sup>3</sup>/ha/an et donc au total 8.7 m<sup>3</sup>/ha/an.

La plupart des dispositifs étudiés sont d'anciens taillis-sous-futaie en phase 1 et 2 de conversion vers une futaie irrégulière, entraînant ainsi l'évacuation des taillis et ainsi, des prélèvements en majorité en bois énergie et bois d'industrie.

La conversion d'anciens taillis sous futaie vers des futaies irrégulières, contrairement à celle vers des futaies régulières, se traduit par une mobilisation importante de volume à destination des filières bois énergie et industrie, et par une mobilisation non négligeable vers la filière bois d'œuvre, même si elle s'accompagne d'une rétention temporaire des arbres de meilleure qualité.

## 2.2.4 Le martelage : raisons et analyses

L'analyse des prélèvements lors du martelage développée ci-après porte uniquement sur les arbres notés "E". N'ont été retenues que les coupes qui prélèvent au moins 30 m<sup>3</sup> sur l'ensemble de la parcelle, ce qui permet d'éliminer les coupes non représentatives de la gestion comme par exemple celles motivées par la récolte de quelques arbres dépérissants. De même, pour que l'analyse reflète la gestion pratiquée n'ont été retenus que les dispositifs ayant eu au moins 2 coupes. Ont ainsi été retenues 45 coupes, soit 2954 arbres qui serviront de support à l'analyse des prélèvements.

3. Le graphique illustré par la figure 2.11 est une boîte à moustache. Elle permet de représenter visuellement les caractéristiques statistiques d'une série :

- La boîte à moustaches est séparée en quatre quartiles (25 %)
- Les deux extrémités de la boîte à moustaches, soient «les moustaches», renseignent sur l'étendue des valeurs prises par la série étudiée
- la largeur des deux parties de la boîte rend compte de la dispersion des valeurs de la série autour de la médiane, soit le deuxième et troisième quartile
- La médiane est donc le centre de la boîte à moustaches, et nous renseigne sur le milieu de la série, c'est-à-dire que 50 % des valeurs se situent avant et 50 % après.

### 2.2.4.1 Sacrifices d'exploitabilité

Ils sont générés lorsqu'une tige est exploitée avant son terme d'exploitabilité, lorsque sa valeur potentielle est supérieure à sa valeur de consommation. A condition que cette perte ne soit pas trop forte, ce sacrifice peut être justifié par la volonté d'améliorer un arbre voisin plus utile au fonctionnement du peuplement.

La figure 2.12 fournit la somme du sacrifice d'exploitabilité générée par l'ensemble des coupes d'un dispositif et exprimée en pourcentage de la valeur potentielle constatée lors du dernier cycle. Les dispositifs sont triés par importance croissante du sacrifice. Elle permet de constater que ce sacrifice est négligeable pour un grand nombre de dispositifs. La figure 2.12 a permis de sélectionner 6 dispositifs illustrant un degré de sacrifice d'exploitabilité croissant. Ils sont présentés sur la figure 2.13.

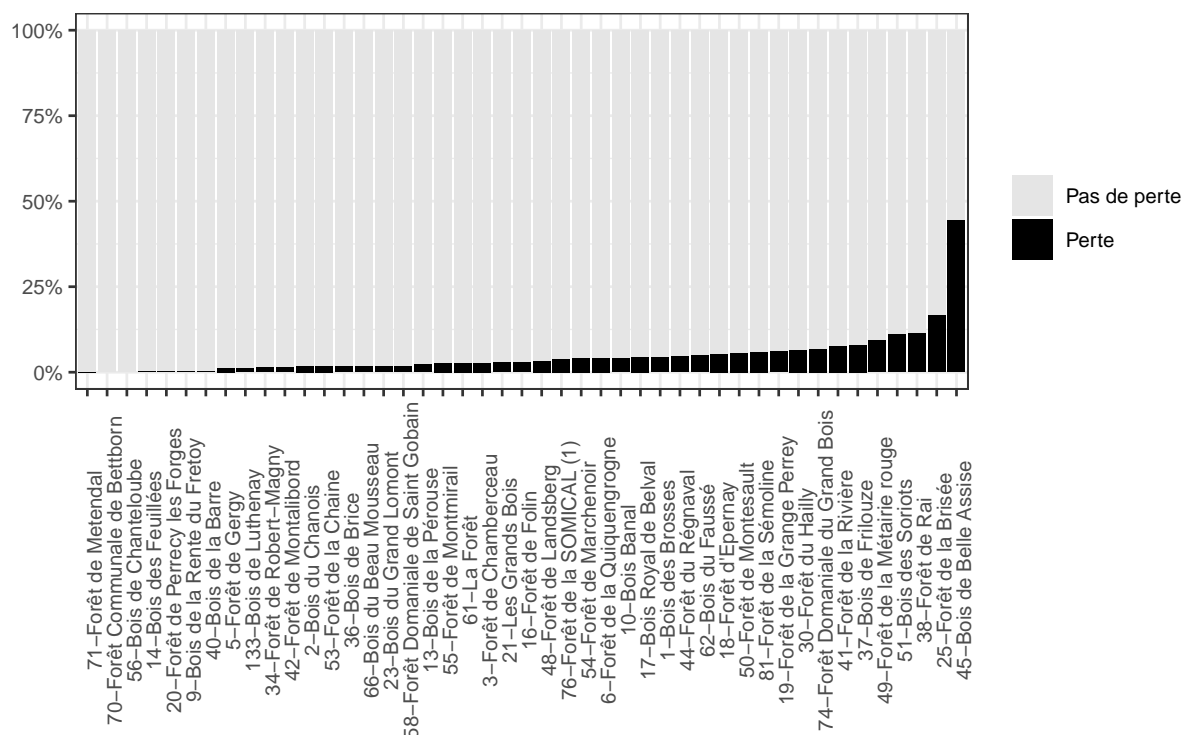


Figure 2.12 – Part du sacrifice d'exploitabilité générée par l'ensemble des coupes d'un dispositif et exprimée en pourcentage de la valeur potentielle constatée lors du dernier cycle.

La figure 2.13 complète la figure 2.12. Au delà d'un éventuel sacrifice d'exploitabilité global elle fournit la distribution des tiges coupées par importance de leur différence entre valeur potentielle et de consommation. Si cette différence est négative, cela signifie qu'il n'y a pas sacrifice d'exploitabilité et qu'au contraire l'arbre était disponible à l'exploitation. Sa disponibilité était d'autant plus ancienne que la différence est négative. Il a pu être conservé pour de multiples raisons : rôle d'éducateur, de stabilisateur, de protecteur, prélèvement suffisant et d'autres tiges étaient prioritaires, pour son intérêt écologique, etc. Dans la figure 2.13 les classes correspondantes sont coloriées en vert. Les classes où la perte pour un arbre est supérieure à 5 € correspondent à un réel sacrifice d'exploitabilité. Elles sont coloriées en rouge avec une intensité proportionnelle à la perte.

Le dispositif n°45 (Bois de Belle Assise) où le sacrifice d'exploitabilité est le plus élevé, est majoritairement constitué de châtaignier. Actuellement, le sacrifice d'exploitabilité n'intègre pas les risques liés à la rouille. Si c'était le cas, le sacrifice d'exploitabilité serait moindre.

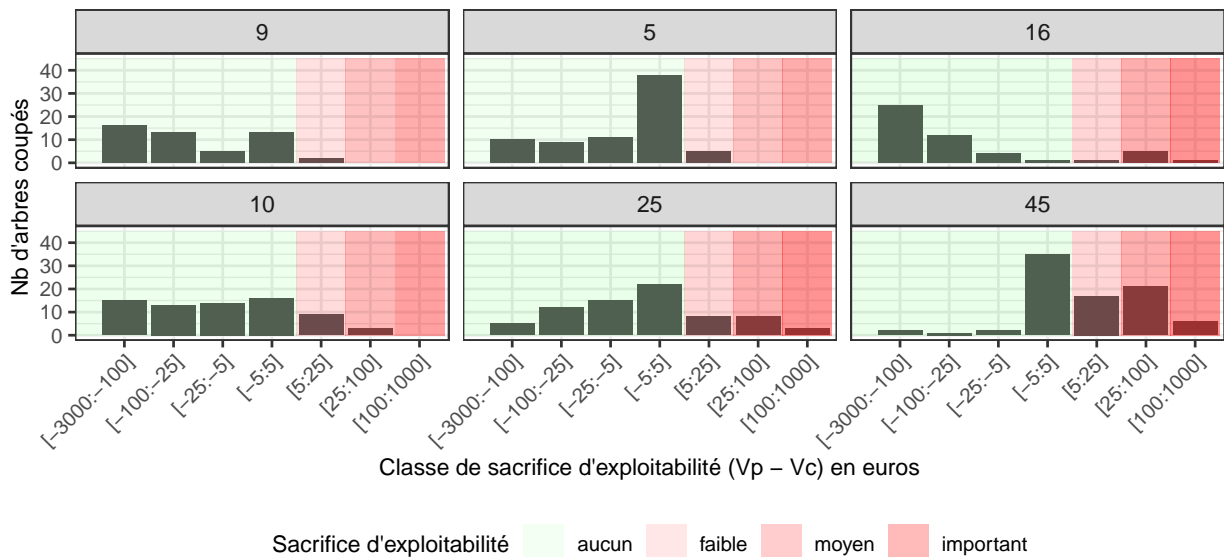


Figure 2.13 – Répartition des arbres coupés par classe de sacrifice d'exploitabilité pour quelques dispositifs.

#### 2.2.4.2 Régression logistique : analyse des stratégies de martelage

Pour cette analyse n'ont été retenus que les dispositifs qui ont fait l'objet d'au moins 2 coupes et dont la récolte hors chablis (somme du volume des arbres codifiés "E" dans le protocole) est supérieure à 30 m<sup>3</sup> à l'échelle du dispositif. Ces seuils ont été fixés afin que les données retenues caractérisent au mieux la sylviculture pratiquée.

Lors des remesures, le protocole AFI permet de connaître les caractéristiques de l'arbre coupé. La variable Coupe étant binaire (oui ou non) une régression logistique permet d'essayer de comprendre les raisons du prélèvement de chaque tige. Dans cette première analyse n'ont été retenues comme variables explicatives que celles qui caractérisent la tige et son contexte, telles que le sacrifice d'exploitabilité (qui traduit la fonction d'amélioration et de perspectives de recette future et qui intègre l'essence, la qualité et la dimension), la valeur de consommation (qui traduit la fonction de récolte), le numéro de dispositif (qui traduit à la fois le contexte stationnel et le gestionnaire) et un regroupement d'essence (seules les essences représentant plus de 5 % de la surface terrière continuent à être individualisées).

Cette analyse peut être faite sur les dispositifs 5, 7, 15, 20 et 34 qui peuvent être considérés comme des représentants des chênaies de l'Est de la France (voir figure 2.14). Elle peut également être faite sur les dispositifs 1, 36, 37, 40, 43, 54 qui seront considérés comme des représentants des chênaies de l'Ouest et du Centre de la France (voir figure 2.15), ou bien sur les dispositifs 16, 49 et 62 pour des peuplements de douglas (voir figure 2.16).

Les figures 2.14, 2.15 et 2.16 montrent que **la notion de sacrifice d'exploitabilité est celle qui permet le mieux de prédire la probabilité de couper une tige**. En effet, la probabilité que des arbres dont le sacrifice est positif soient coupés est très faible. Lorsque le sacrifice d'exploitabilité devient négatif, indiquant que les tiges deviennent exploitables, la probabilité de coupe augmente mais présente une variabilité faible dans la figure 2.15 ou bien forte dans les figures 2.14 ou 2.16 indiquant que **le choix de couper un arbre dépend également des arbres voisins, du niveau global de prélèvement, etc.**

Les figures 2.14 et 2.15 montrent que **les tiges ayant une forte valeur de consommation ont tendance à être conservées (probabilité de coupe faible)**. Dans le cas des douglasaies (figure 2.16), le martelage enlève prioritairement les tiges de gros diamètres et donc de fort volume, mais aussi fortement branchus. Les faibles variations de prix unitaires font que ces tiges font également partie des plus fortes valeurs de consommation.



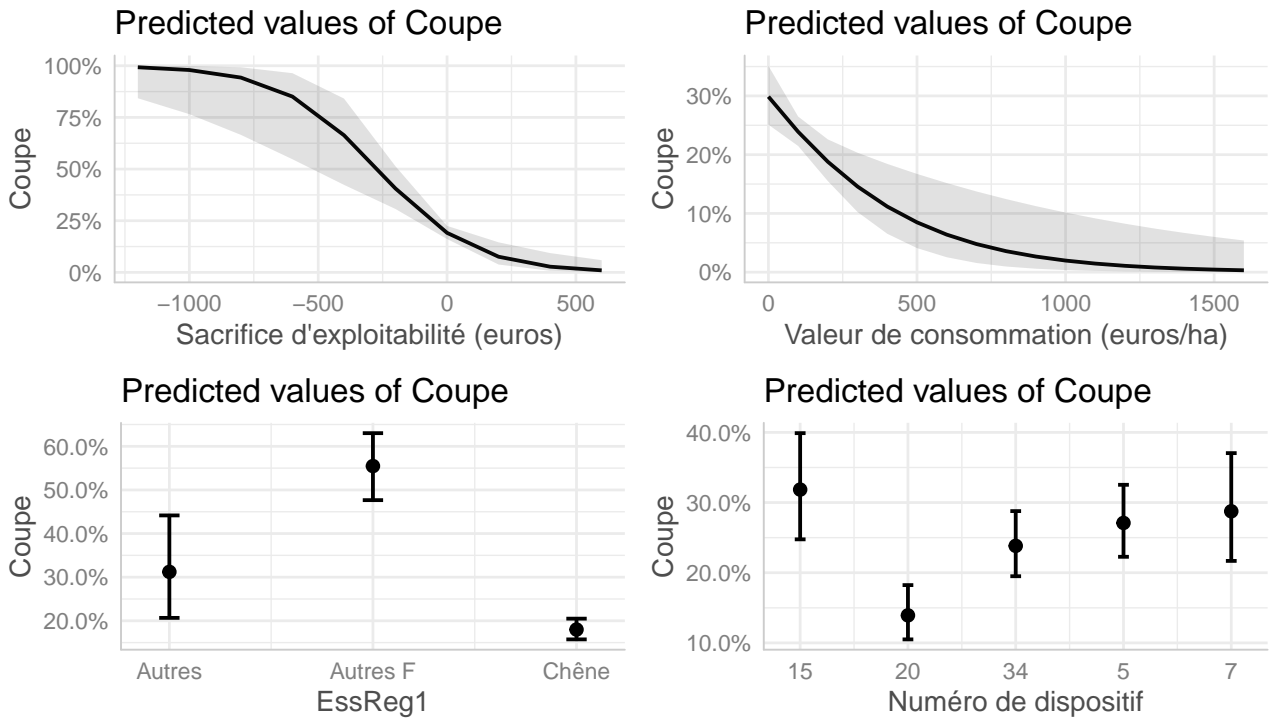


Figure 2.14 – Prédiction de coupe par régression logistique du Chêne Est.

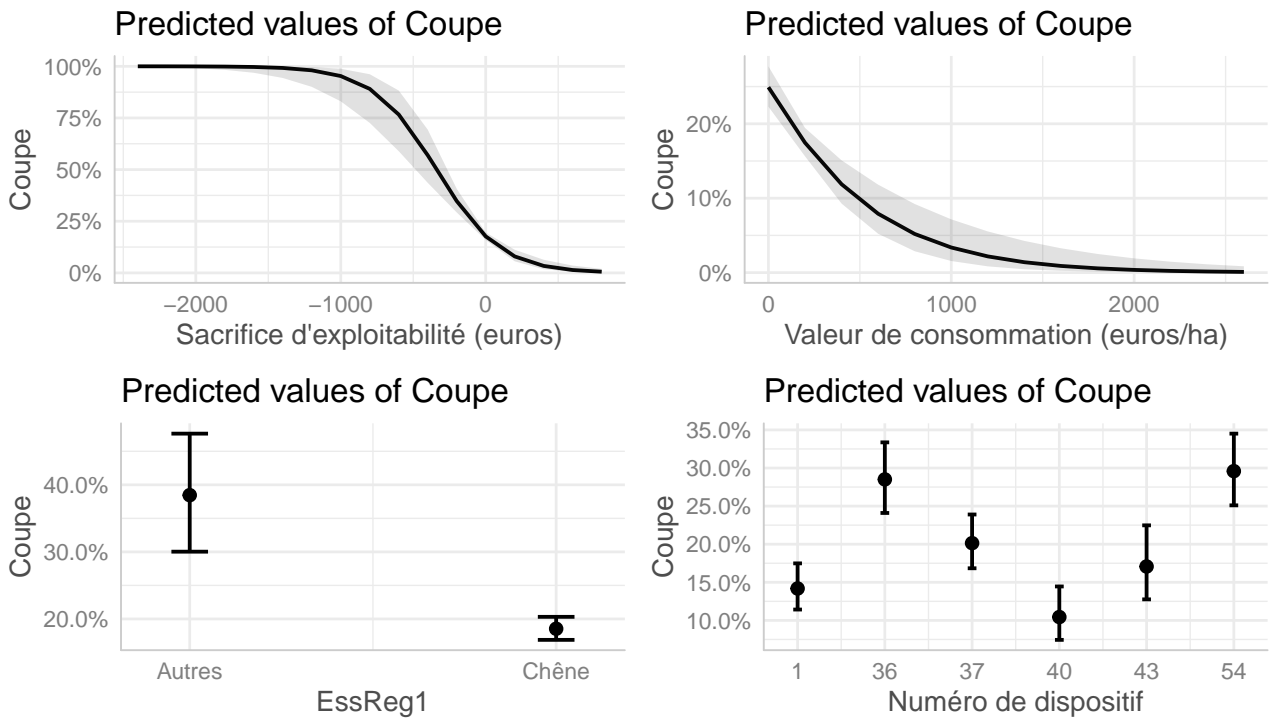


Figure 2.15 – Prédiction de coupe par régression logistique du Chêne Ouest.

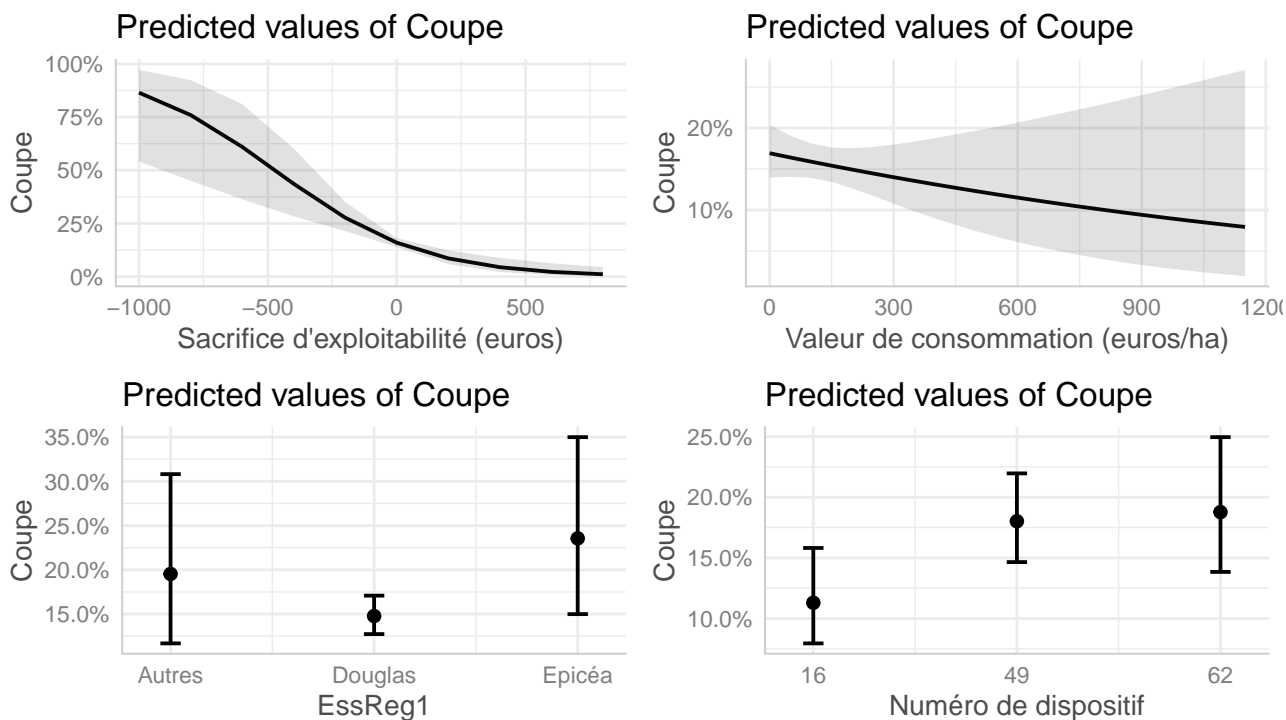


Figure 2.16 – Prédiction de coupe par régression logistique du Douglas.

Dans la figure 2.14, les dispositifs 5, 7, 20 et 34 ont le même gestionnaire. Le dispositif n°20 est particulier sans doute parce qu'il se trouve dans la phase n°2 (voir paragraphe 2.1), plus complexe à gérer que les dispositifs 5, 7 et 34. En revanche, la figure 2.15 confirme que les dispositifs présentés sont gérés par des gestionnaires différents.

La variable EssReg1 désigne les essences dont la part en surface terrière représente plus de 5 %, sinon elles sont regroupées sous le terme «Autres». Dans les trois figures, si la tige considérée est une tige de chêne (figures 2.14 et 2.15) ou une tige de douglas (figure 2.16), sa probabilité de coupe est faible (inférieure à 20 %). Contrairement aux essences secondaires, dont les probabilités de coupe sont plus élevées (de 30 % à 55 %). **Cela signifie que dans les trois groupes étudiés, l'essence prépondérante est préservée.**

Les variables caractérisant la tige et son contexte devront être complétées par les caractéristiques des arbres voisins et aussi par la connaissance de la surface terrière totale.

## 2.2.5 Renouveau

### 2.2.5.1 Importance en surface

Pour cette analyse n'ont été retenus que les dispositifs dont l'étude stationnelle est complète. La figure 2.17 montre l'évolution de la part de surface régénérée au cours du temps selon les 4 grands contextes stationnels. Seules sont comptabilisées<sup>4</sup> les essences valorisables et les semis dont la hauteur est supérieure à 50 cm.

La figure 2.17 permet de constater que :

- le seuil de 20 % de surface régénérée suffisant pour assurer la durabilité de l'état forêt est atteint dans un grand nombre de cas.
- certains dispositifs ont eu une progression très forte (le Bois du Chanois par exemple) et ont atteint un niveau tel que la régénération ne peut que diminuer. Le dispositif de Bois Banal est également dans ce cas.
- certains dispositifs n'ont pas ou très peu de régénération, mais ce n'est pas forcément un problème car ils ne sont pas dans un stade de développement où la régénération doit être engagée (stade 1 de la conversion vers une futaie irrégulière). Le dispositif Bois du Faussé par exemple est constitué d'une jeune futaie de douglas et aucune

4. Le noisetier ou le houx ne sont pas considérés comme valorisables au sens de producteur de bois. La liste des essences valorisables est arrêtée par station.

des sous-placettes échantillonnées n'est considérée comme régénérée. L'obtention d'une régénération n'est pas d'actualité. C'est aussi le cas du dispositif de la Queue de Boué constitué d'une jeune futaie de feuillus.

- la richesse chimique des sols intervient peu, or les stations riches chimiquement sont réputées pour, dès que les conditions de lumière le permettent, faciliter l'obtention d'une régénération. Toutes les statistiques de régénération concernent des semis de plus de 50 cm de hauteur et donc "installés". **Le facteur limitant devient alors la lumière disponible.**

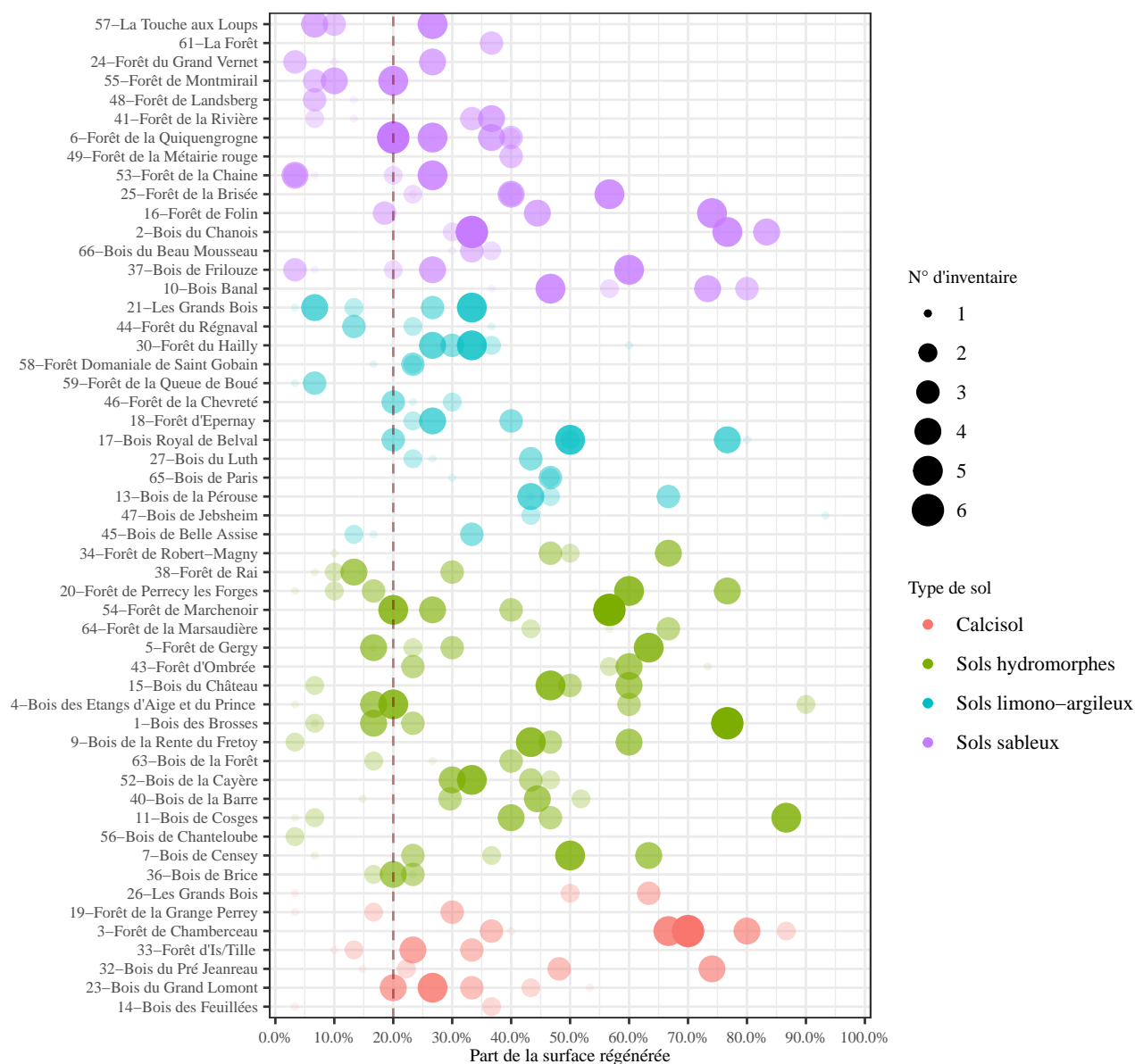


Figure 2.17 – Importance de la régénération exprimée en pourcentage de surface régénérée.

### 2.2.5.2 Importance par classe de dimension

La figure 2.18 fournit pour les premiers dispositifs l'importance de la régénération par classe de dimension (classe 1 = de 50 cm à 1,5 m de haut, classe 2 = de 1,5 m de hauteur à 2,5 cm de diamètre, classe 3 = de 2,5 à 7,5 cm de diamètre). Les lignes horizontales en pointillés représentent les niveaux considérés comme suffisants pour chacune des classes de semis. Il suffit qu'une des classes de semis atteigne le niveau en pointillés pour que la régénération soit considérée comme suffisante.

**Attention :** le nombre de semis à l'hectare sur l'axe des ordonnées est représenté avec une échelle logarithmique. Cela améliore la lisibilité des graphiques mais cela peut conduire à sous-estimer les écarts par rapports aux seuils proposés en pointillés.

Pour la majorité des dispositifs représentés, les semis de classes 2 et 3 sont apparus 5 ou 10 ans après le début du suivi. Le dispositif n°16 (Folin) se caractérise par un laps de temps assez long avant l'apparition de semis de classe 2 (10 ans) ou 3 (15 ans).

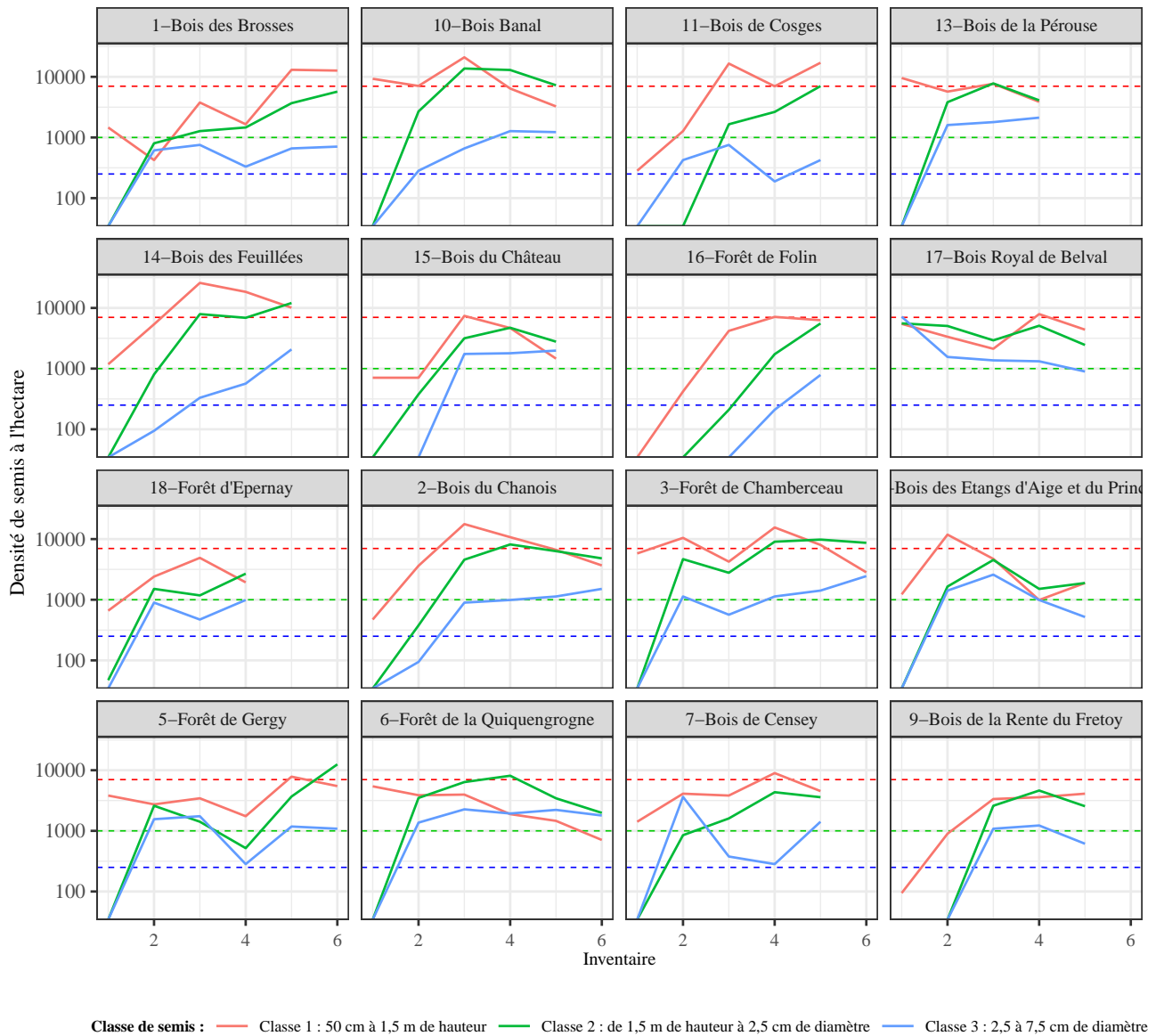


Figure 2.18 – Importance de la régénération par classe de dimension et par inventaire.

### 2.2.5.3 Urgence à régénérer

La figure 2.19 est un indicateur de l'urgence à régénérer. Elle permet de visualiser tous les dispositifs dont les gros bois et très gros bois représentent plus de 50 % du volume et de la valeur au dernier inventaire. Ils ont été classés en trois catégories avec un code couleur pour traduire le niveau d'urgence : faible (vert), moyen (orange), fort (rouge). Cette dernière classe correspond aux dispositifs dont la part des gros bois et très gros bois est supérieure à 75 % du volume et à 90 % de la valeur de consommation. Parmi ceux-ci les dispositifs n°16 et 49 sont composés principalement de douglas. Le dispositif n°16 a volontairement été retenu pour mesurer les difficultés d'obtention d'une régénération dans des douglasaies âgées. Cependant, au dernier inventaire (2017), la part de surface

considérée comme régénérée était de 56 % avec toutefois, un déficit de perches, petits bois (< 1% de la surface terrière) et de bois moyens, représentant 9 % de la surface terrière. Le cas du dispositif n°71 sera détaillé au paragraphe 3.3.1 mais la part de gros bois et très gros bois de chêne n'a cessé d'augmenter entraînant une baisse dans les semis et jeunes bois. Le dispositif n°66 est le seul réellement urgent car principalement composé de hêtre.

La figure 2.19 permet également de faire ressortir les dispositifs se situant à peine sous la première bissectrice représentée par une ligne pointillée. Ce sont les dispositifs 75 et 38. Ils se caractérisent par le fait que leur part en volume est supérieure à leur part en valeur.

Cette analyse se concentre uniquement sur la part des gros bois et très gros bois en volume et en valeur, même si certains dispositifs ont déjà de la régénération. Par exemple, sur le dispositif n°66 où l'urgence est considérée comme élevée, la régénération naturelle inventoriée en 2016 était bien présente, de l'ordre de 7 000 semis/ha pour 1/3 de la surface régénérée mais avec un déficit de perches, petits bois (3 % de la surface terrière) et de bois moyens (9 % de la surface terrière). Les dispositifs 49 et 74 sont tous deux des peuplements à dominance de douglas avec une structure régularisée dans les gros bois et très gros bois, les petits bois et bois moyens représentant respectivement 2 % et 16 % de la surface terrière. Mais, contrairement au dispositif 49 où seulement 3 % de la surface est considérée comme régénérée, la régénération est assez bien implantée pour le dispositif 74 (17 % de la surface).

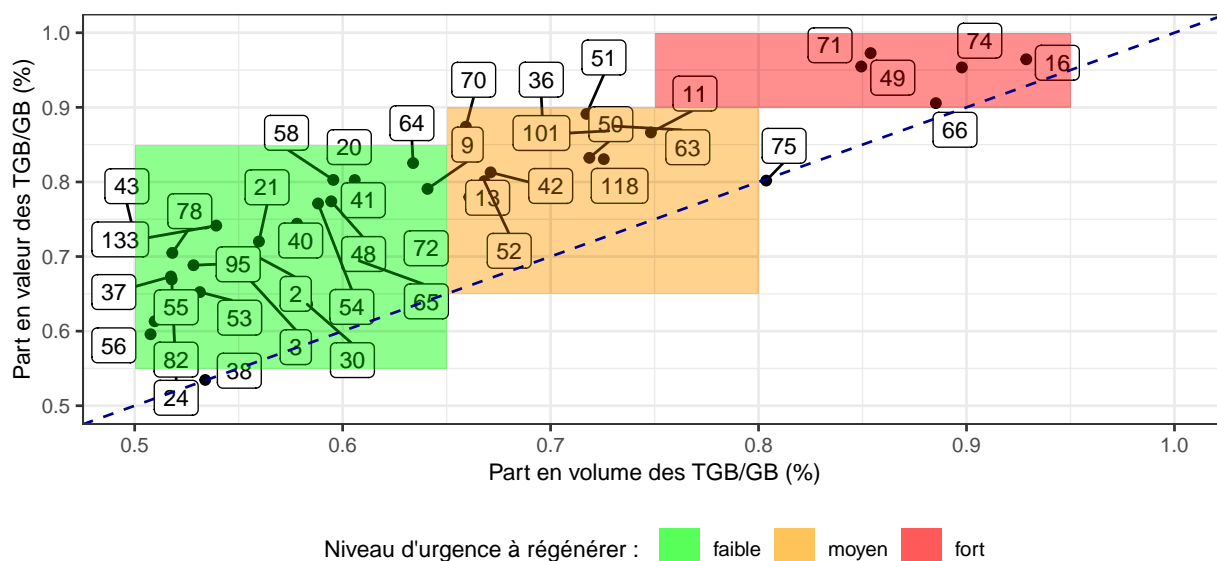


Figure 2.19 – Urgence à régénérer.

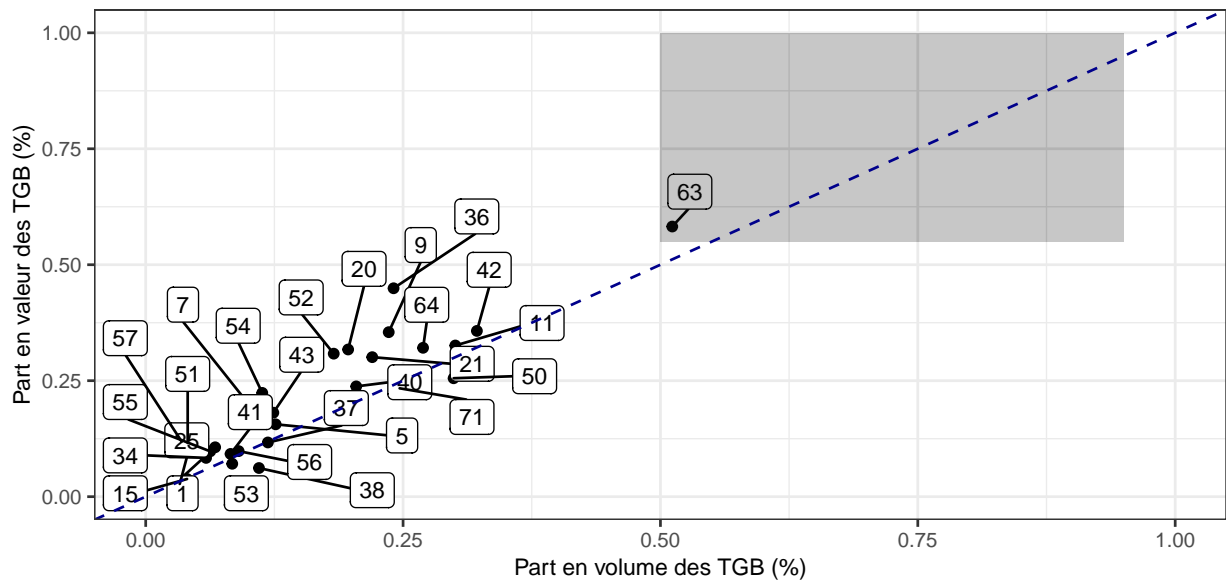


Figure 2.20 – Urgence à régénérer pour les dispositifs de chêne.

La figure 2.20 poursuit le même objectif que la figure 2.19 mais puisqu'elle se concentre sur les dispositifs où le chêne est l'essence majoritaire, l'urgence sera mesurée non pas par la part de gros et très gros bois mais uniquement par les très gros bois. En effet, si le peuplement est dominé par les gros bois de chêne le niveau d'urgence à régénérer ne sera pas le même qu'un peuplement de gros bois de hêtre. Elle permet de visualiser pour tous les dispositifs de chêne, la part des très gros bois en volume et en valeur.

Le rectangle gris sur la figure 2.20 représente le dispositif pour lequel la part des très gros bois représente plus de 50 % du volume et de la valeur du peuplement. Seul le dispositif 63 est concerné, et si l'on se replace dans les niveaux définis dans la figure 2.19, l'urgence est considérée comme faible.

## Chapitre 3

# Bilan économique

Ce chapitre présente un bilan économique des dispositifs du réseau AFI. Dans un premier temps, l'analyse économique portera sur les flux financiers, c'est-à-dire recettes et dépenses issues des bases de données des gestionnaires, mais aussi, des informations issues des placettes permanentes (pour les recettes de bois uniquement). Ensuite, l'évolution du capital financier des dispositifs sera étudié à travers l'analyse des variables économiques. L'évolution du capital financier étant lié aux caractéristiques dendrométriques et sylvicoles, des liens seront faits avec le chapitre précédent. Pour finir, l'évolution du capital valeur sera analysée en considérant la volatilité des cours du bois. Pour cette analyse n'ont été retenus que les dispositifs dont le début du suivi économique est antérieur à 1998, soit une durée de suivi supérieure ou égale à 20 ans. Toutes les recettes et les dépenses sont converties en euros constants 2018.

A titre d'introduction les diagrammes de la figure 3.1 permettent de visualiser, pour l'ensemble des 41 dispositifs retenus, l'évolution de la valeur des peuplements entre le début de la période de suivi et le dernier inventaire (au minimum 4 inventaires). La valeur des peuplements s'évalue selon deux variables économiques : la valeur de consommation et la valeur potentielle. Ces deux notions seront détaillées plus loin dans ce chapitre sur l'exemple des dispositifs AFI et pour plus de détails concernant leur définition, se reporter à l'annexe D.

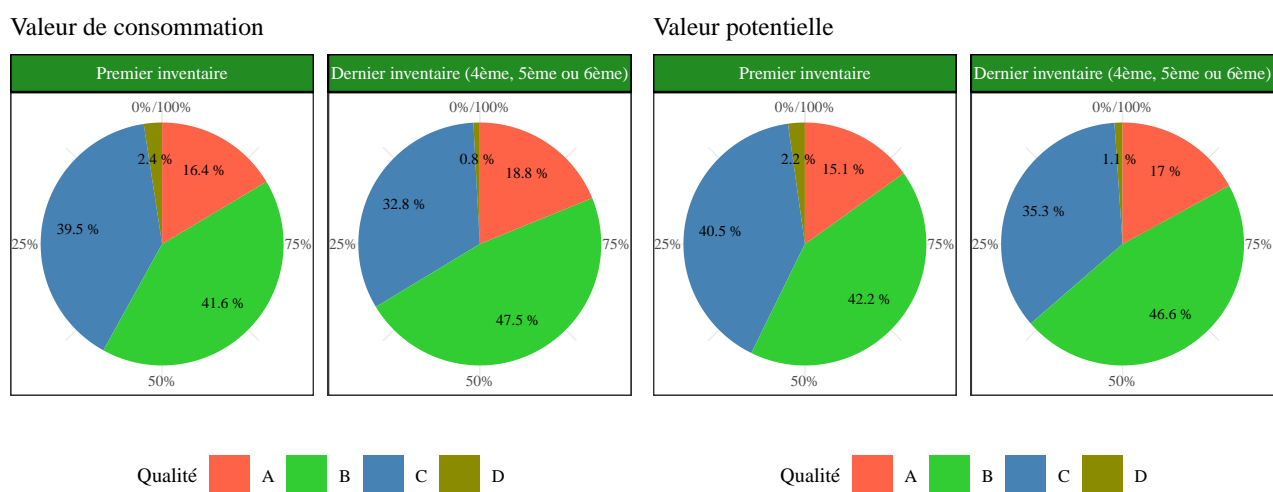


Figure 3.1 – Evolution de la valeur des peuplements entre le début de la période de suivi et le dernier inventaire. Les deux graphiques de gauche correspondent à la valeur de consommation, ceux de droite à la valeur potentielle.

La figure 3.1 permet de constater que, pour l'ensemble des 41 dispositifs analysés :  
- entre le début du suivi et le dernier inventaire, la part globale des qualités A ou B dans les valeurs de consommation et potentielle a augmenté. Les arbres de qualité A contribuent plus à l'augmentation de la valeur de consommation qu'à celle de la valeur potentielle. Leur gestion sera basée sur le risque lié à leur maintien (altération de toute nature y compris celle d'un retournement du marché du bois) et sur le différentiel d'accroissement

en valeur par rapport aux arbres voisins ;

- ce sont les valeurs de consommation et potentielle des arbres de qualité B qui ont le plus progressé, ce qui est logique car les arbres de qualité A sont beaucoup moins fréquents. Dans le même temps la part des arbres de qualité C et D continue de diminuer ;
- pour ces 2 indicateurs, lors du dernier inventaire, les qualités A et B représentent pratiquement les 2/3 des valeurs totales de consommation et potentielle des peuplements.
- en relation avec la figure 2.4, l'augmentation importante de la part en volume des arbres de qualité B explique les augmentations de la part de la valeur de consommation mais surtout potentielle constatées dans la figure 2.4.

## 3.1 Analyse des recettes et des dépenses

### 3.1.1 Recettes

#### 3.1.1.1 Recettes globales

Elles peuvent être analysées à partir de 2 sources :

- les comptes d'exploitation annuels qui fournissent les recettes réelles bois et non bois. Elles sont exprimées en €/ha/an en divisant par la surface de la parcelle et par le laps de temps écoulé depuis l'année de départ du suivi économique.
- les placettes permanentes qui permettent d'estimer les recettes bois (coupe et chablis) à partir de la mercuriale des prix de l'AFI.

La figure 3.2 fournit la répartition des recettes en €/ha/an par dispositif dont le suivi est de minimum 20 ans. Dans cette figure, les recettes provenant des chablis et des coupes de bois ont été calculées à partir des placettes permanentes et en utilisant la mercuriale de prix fixe (pas de variabilité des cours du bois) de l'AFI. L'ensemble des recettes «hors bois» (chasse, dégât de gibier, truffe, graine, etc.) ont été regroupées.

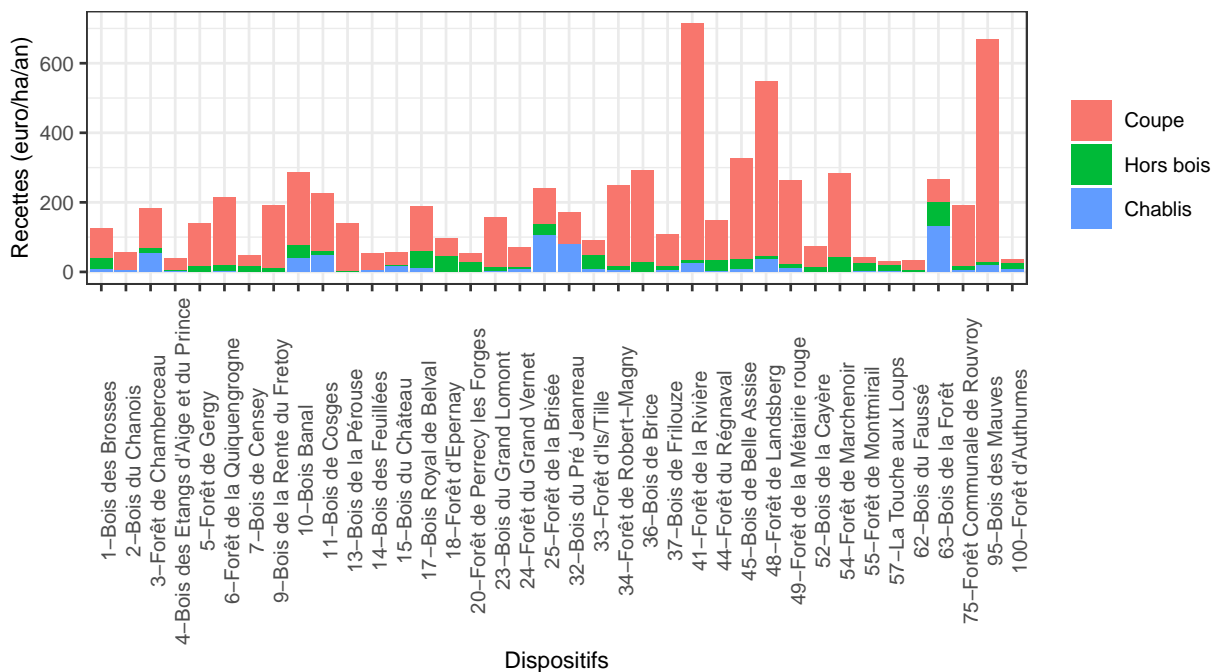


Figure 3.2 – Répartition des recettes.

La figure 3.2 montre que les revenus bois constituent l'essentiel des recettes dans une large gamme de recettes brutes, entre 30 et 600 €/ha/an. Les plus grosses recettes résultent de facteurs spéciaux tels que les chablis ou



la volonté de décapitaliser un peuplement trop riche. C'est le cas des dispositifs 3, 10, 11, 25, 32 et 63 qui ont été fortement impactés par des chablis.

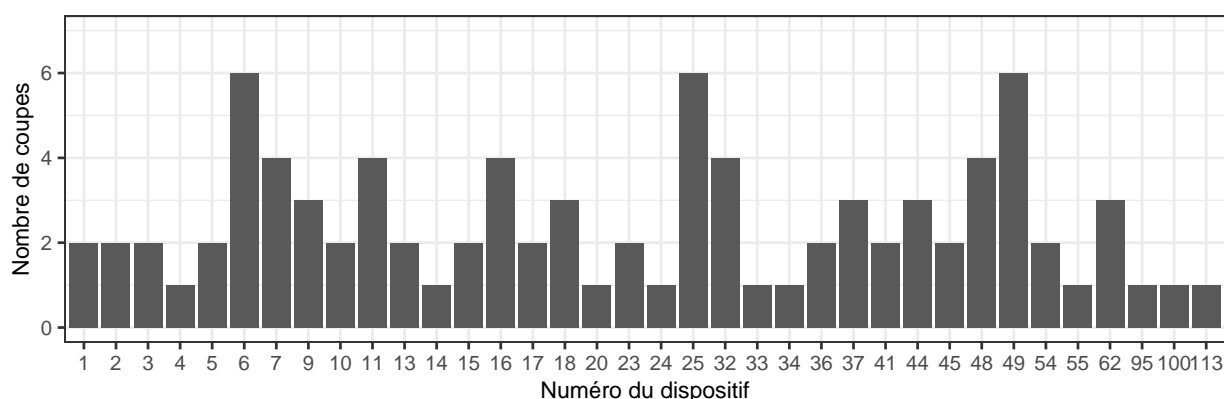


Figure 3.3 – Nombre de coupes de récolte et d'amélioration pour les dispositifs ayant plus de 20 ans de suivi

La figure 3.3 montre pour les dispositifs ayant plus de 20 ans de suivi, le nombre de coupes réalisées sur leur période de suivi, hors coupe de bois exceptionnelle (chablis, volis). Les dispositifs de résineux, ayant des rotations plus courtes que les dispositifs feuillus ont plus de probabilité d'avoir une coupe de bois entre deux inventaires (six coupes pour le dispositif 49). Les revenus faibles observés dans la figure 3.2 peuvent s'expliquer par l'absence de coupes sur la période d'étude du dispositif et une volonté de capitaliser, comme c'est le cas du dispositif 57, ou par des coupes d'amélioration (exemple du dispositif 55). D'autres dispositifs comme le 41, ont deux coupes de récolte dans des gros bois de chêne sur la période d'étude expliquant des recettes élevées.

La figure 3.4 permet de comparer les revenus calculés à partir des placettes permanentes à l'aide de la mercuriale de prix fixe de l'AFI et ceux réellement constatés lors de la mise en vente sur le marché. Sur cette figure, les numéros sont ceux des dispositifs. Une majorité de dispositifs a fait mieux que la mercuriale de prix fixe de l'AFI. Pour les dispositifs situés en-dessous de la bissectrice, cela signifie que les prix de vente du marché ont été plus bas que ceux calculés avec la mercuriale de prix fixe.

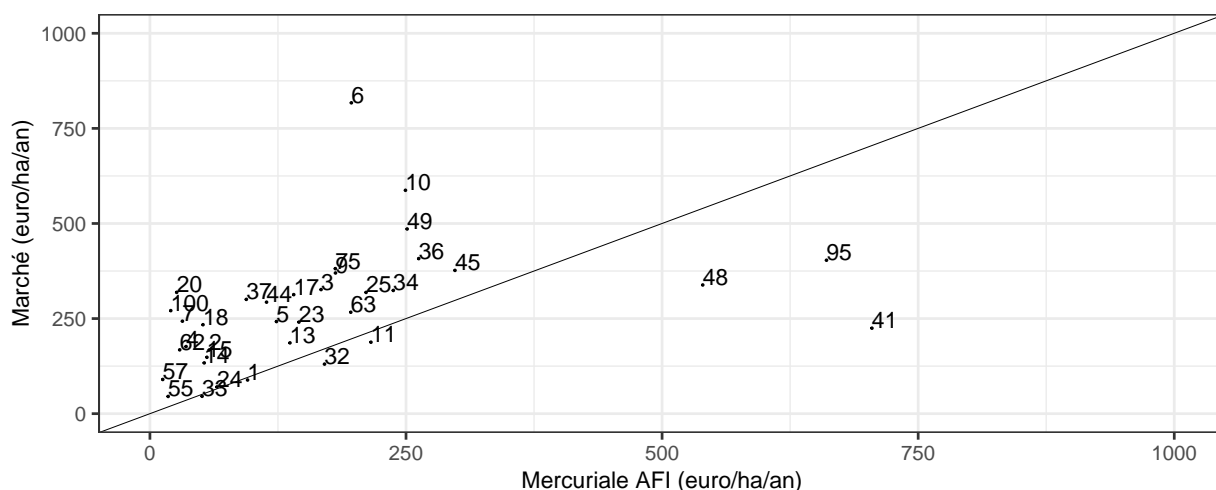


Figure 3.4 – Comparaison recettes bois calculées à partir des placettes (mercuriale de prix fixe de l'AFI) et celles proposées par le marché.

Le dispositif n°32 est un peuplement mixte avec une dominance du hêtre et du sapin, où plusieurs prélèvements ont été effectués sur la période étudiée. La majorité des bois sortis étaient des sapins dont certains chablis issus

de la tempête de 1999 et quelques sapins secs. Les prix du marché ont donc certainement été moins bons que les prix de la base AFI, établie en 1995.

Le dispositif n°95 est un peuplement d'épicéa avec quelques hêtres et sapins en mélange. Les coupes intervenues sur la période ont principalement récolté des épicéas arrivés à maturité et quelques petits bois pour améliorer le peuplement. Une intervention en 2015 a retiré des épicéas secs. La chute des prix des bois d'épicéas, qui ne transparaît pas dans la mercuriale de prix fixe de l'AFI peut expliquer que ce dispositif se situe en-dessous de la bissectrice.

### 3.1.1.2 Recettes issues des coupes de bois : analyse en valeur des prélèvements

#### Taux de prélèvement en valeur

Les prélèvements en valeur sont comparés aux données moyennes d'accroissement sur la période afin de déterminer pour chaque dispositif les taux de prélèvement.

La figure 3.5 fournit le taux de prélèvement par référence à l'accroissement en valeur en distinguant la part liée à l'exploitation des chablis de celle résultant d'une exploitation normale.

Comme pour le prélèvements en volume (voir paragraphe 2.2.3.1), les différents dispositifs peuvent être également divisés en 4 groupes (voir figure 3.5). Les quatre dispositifs ayant subi des dégâts de vent forment toujours un groupe à part. Par rapport au graphique sur les prélèvements en volume (voir figure 2.10), les principales différences sont les suivantes :

- le nombre de dispositifs où le gestionnaire a volontairement décapitalisé en valeur diminue ;
- le nombre de dispositifs où les recettes sont très faibles augmente.

Tout ceci explique le fait que globalement, le prélèvement moyen en valeur n'a été que de 41 % de l'accroissement brut en valeur estimé à 355 €/ha/an.

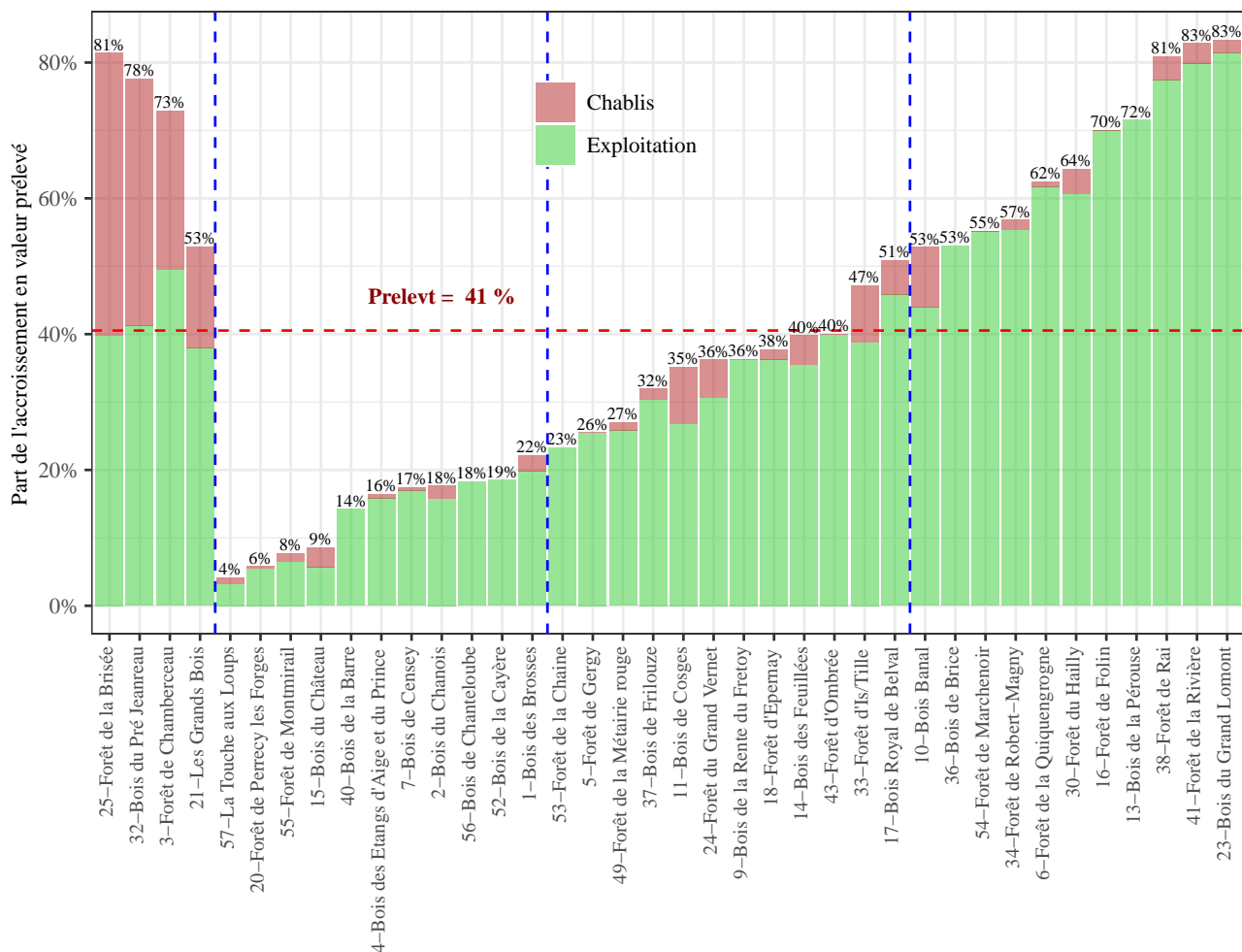


Figure 3.5 – Analyse du prélèvement en valeur sur une période d'au moins 15 ans.

### Analyse croisée des prélèvements en volume et valeur

La figure 3.6 permet de synthétiser cette analyse croisée. Sur chacun des axes X et Y sont représentés les taux de prélèvements (respectivement en valeur et en volume). Les dispositifs dont les taux de prélèvements en volume et en valeur sont supérieurs à 80 % apparaissent avec leur numéro.

La figure 3.6 montre que :

- la plupart des dispositifs se trouvent au-dessus de la première bissectrice, ce qui signifie que la gestion pratiquée se caractérise plus par des opérations d'amélioration que de récolte ;
- la grande majorité des dispositifs ont des prélèvements en volume ou en valeur inférieurs à 100% et sont donc dans une phase de capitalisation ;
- certains dispositifs ont des taux de prélèvements très faibles. C'est le cas du dispositif 15 qui se caractérise par de nombreux petits bois et bois moyens d'avenir. C'est, pour les dispositifs feuillus, celui qui a eu la plus forte progression en matière de valeur de consommation et potentielle. Il illustre les limites d'une gestion basée uniquement sur des seuils de surface terrière lorsque les peuplements ont une forte valeur potentielle.

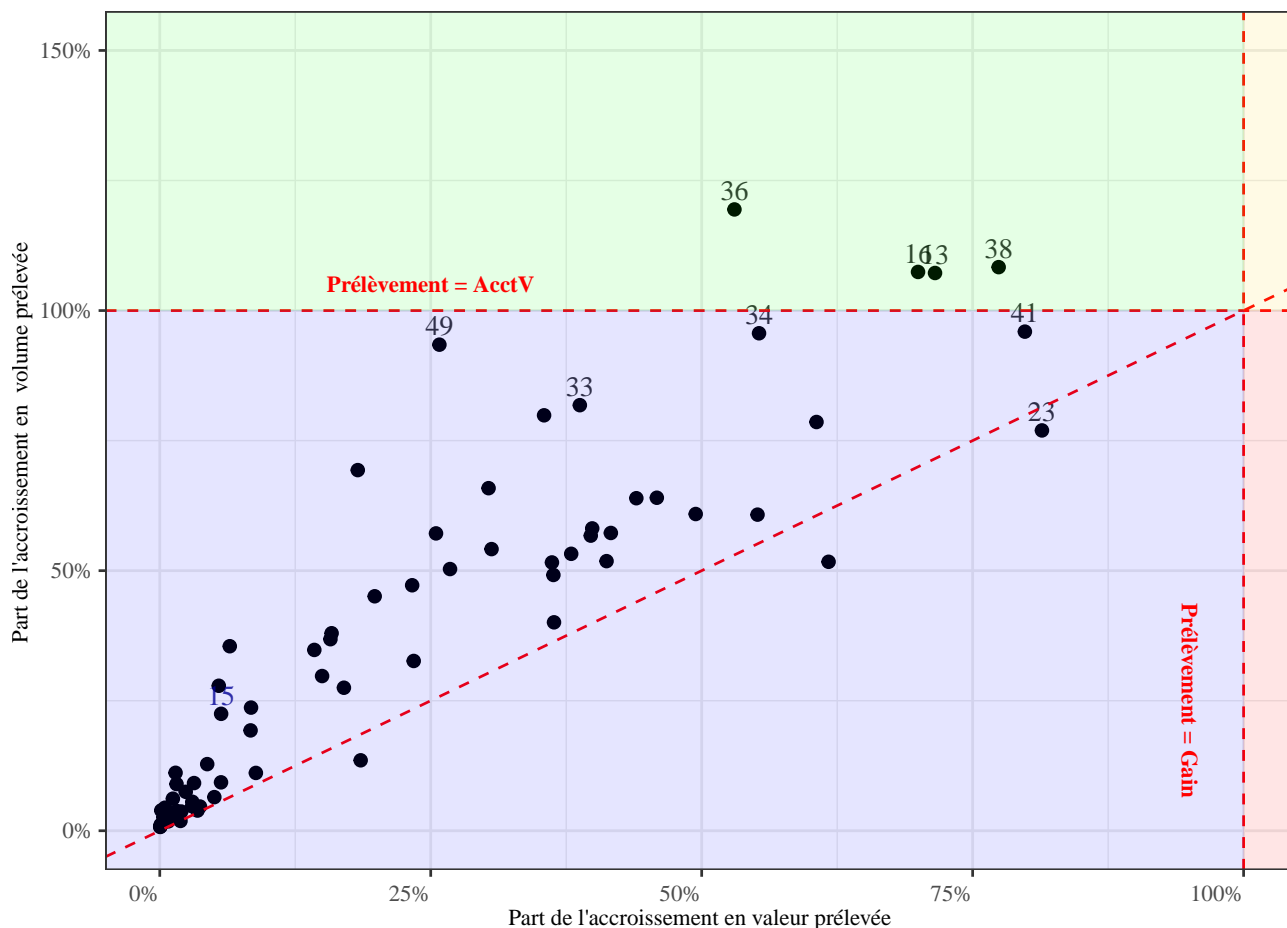


Figure 3.6 – Analyse croisée des prélèvements en volume et en valeur sur une période d’au moins 15 ans

### Nature des prélèvements en valeur par qualité

La figure 3.7 illustre sur les 109 dispositifs présents dans la base de données, tous cycles confondus, la répartition du prélèvement au sein de chaque qualité. Certains de ces dispositifs sont en début de suivi, d’autres sont plus anciens. Cette analyse est faite en volume et valeur.

La figure 3.7 montre que :

- les taux de prélèvements (en valeur et volume) des qualités A sont supérieurs à ceux des qualités B et C, ce qui traduit le fait d’opérations de récolte ;
- les taux de prélèvements sont croissants depuis la qualité B vers les qualités C et D, ce qui traduit le fait que les martelages sont principalement orientés vers l’amélioration des peuplements ;
- l’ordre de grandeur du prélèvement moyen est d’environ 20 % ;
- La figure présente par niveaux de bleu, la répartition des prélèvements par qualité. La qualité C, majoritaire dans les peuplements, constitue fort logiquement la très grosse part des prélèvements.
- En revanche l’analyse en valeur montre un rééquilibrage, avec une augmentation importante de la part des qualités A et B et une diminution de celle de la qualité D ;
- le graphique du prélèvement en valeur est assez proche de celui en volume, la principale différence étant dans la répartition des recettes, mais qui s’explique par des prix unitaires supérieurs des qualités B ou A.

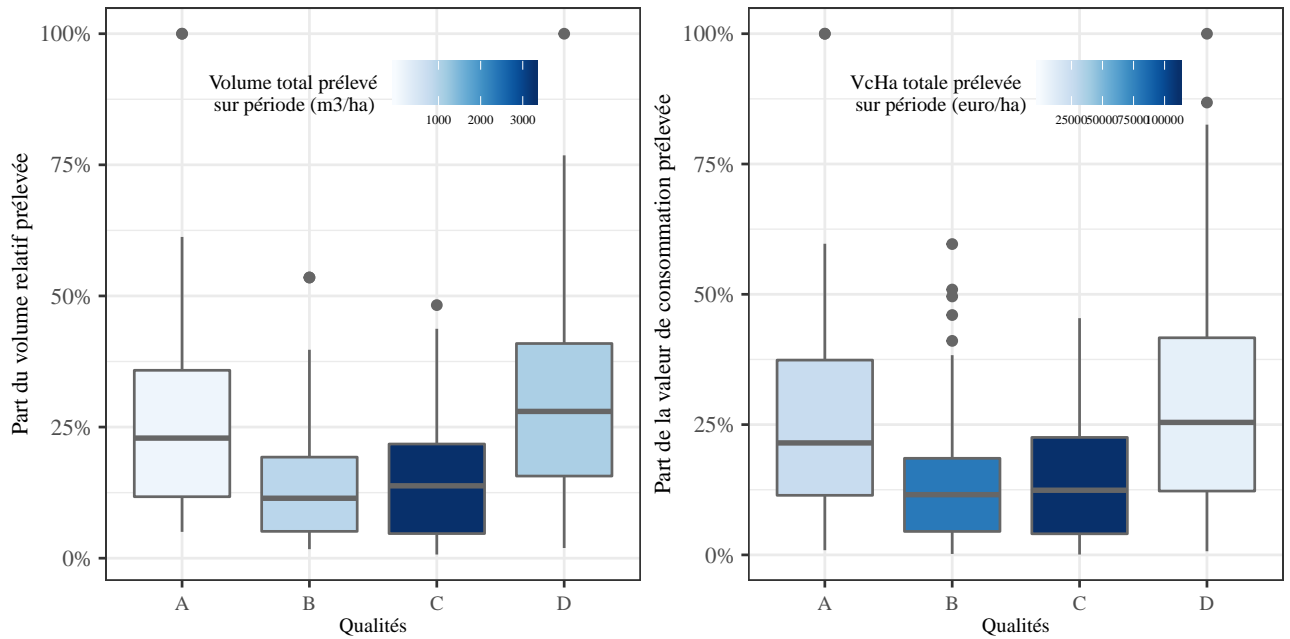


Figure 3.7 – Analyse des taux de prélèvements par qualités

Alors que sur l'ensemble des prélèvements, les qualités A et B ne représentent que 20 % du volume prélevé, elles constituent 47 % des recettes.

### Nature des prélèvements en valeur par classes de diamètre

La figure 3.8 étudie sur **une période de 15 ans les volumes mobilisés par classe de diamètre et qualité (partie gauche)** et **le volume sur pied à 15 ans par classe de diamètre et qualité**. Ainsi, n'ont été retenus que les dispositifs qui ont eu au moins 4 cycles de mesures et des coupes depuis le début de suivi jusqu'au quatrième inventaire, soit 41 dispositifs. Les deux graphiques sont nécessaires car les prélèvements doivent être analysés en fonction des stocks.

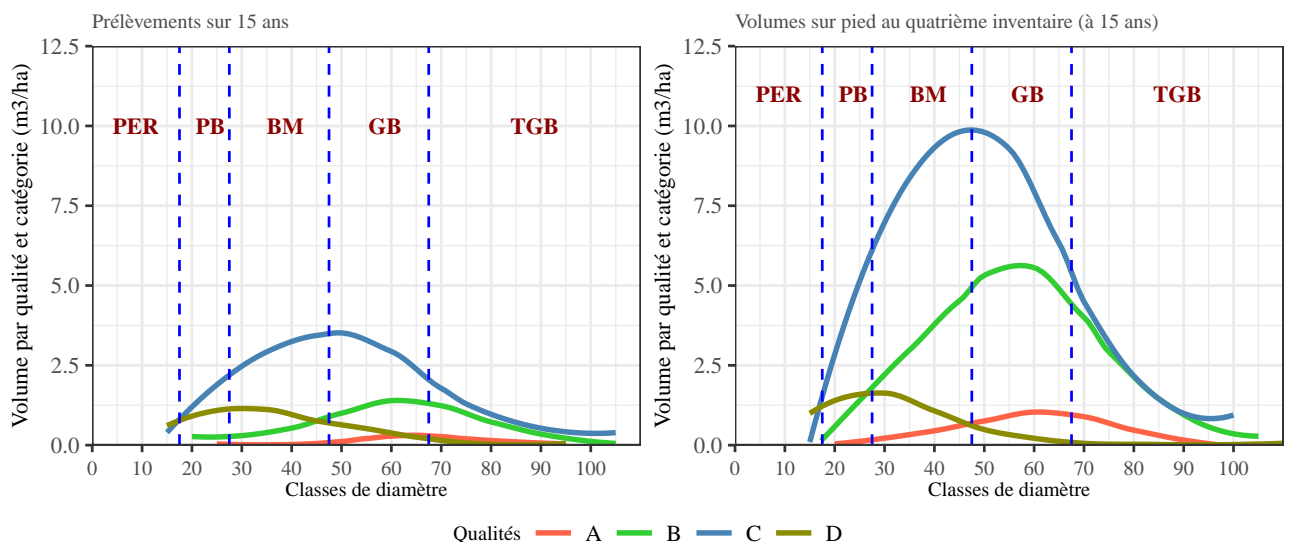


Figure 3.8 – Répartition des prélèvements en volume entre les classes de diamètre

La figure 3.8 permet de retrouver les résultats de la figure 3.7 en les complétant :

- la récolte en volume est majoritairement concentrée dans la qualité C, dans les classes de diamètre de 30 à 70 ;
- le diamètre moyen des arbres exploités augmente avec leur qualité. Les arbres de meilleure qualité sont conservés plus longtemps, les arbres de qualité D sont rapidement prélevés et ne sont présents dans les peuplements que dans les faibles dimensions ;
- La notion de sacrifice d'exploitabilité s'applique également à la qualité D : ils ne sont majoritairement exploités que lorsqu'ils atteignent au moins la catégorie des bois moyens.

Ces résultats vérifient la bonne utilisation du principe de baser le diamètre d'exploitabilité sur la valeur potentielle des arbres.

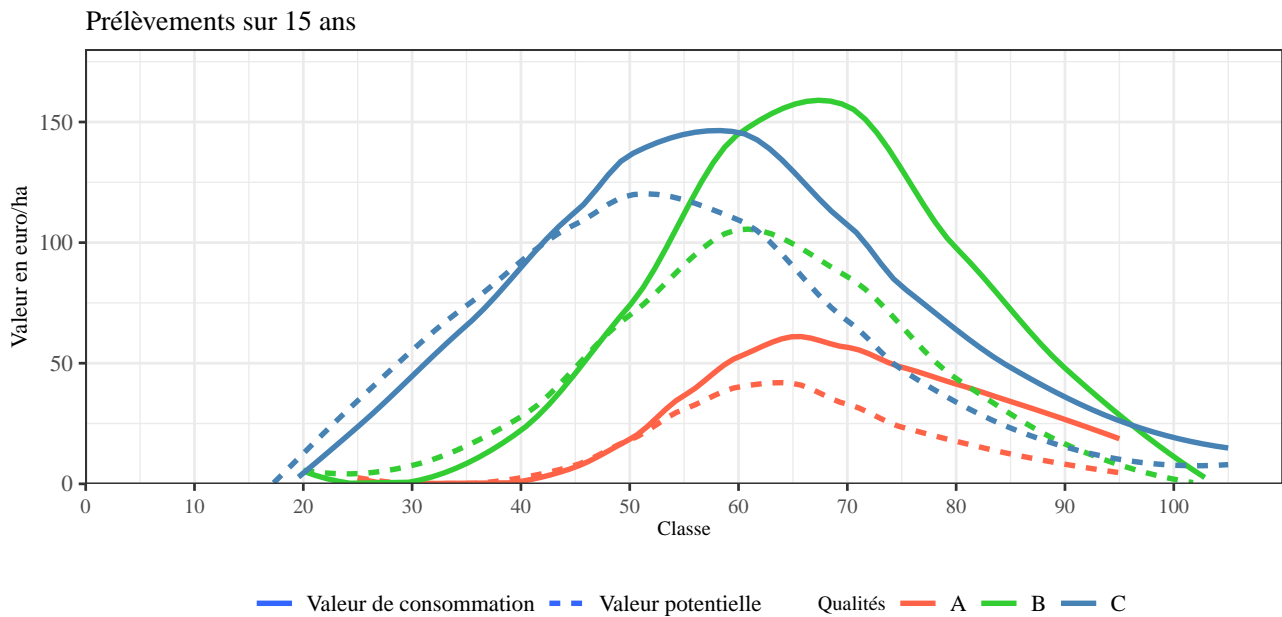


Figure 3.9 – Répartition des prélèvements en valeur entre les classes de diamètre

La figure 3.9 représente la répartition du prélèvement sur 15 ans en valeur de consommation et potentielle en fonction des classes de diamètre. Elle doit être rapprochée de la figure 3.8. Dans cette figure, lorsque la valeur de consommation est supérieure à la valeur potentielle, cela signifie qu'il n'y a pas de sacrifice d'exploitabilité. C'est le cas, excepté pour les arbres de qualité C et de diamètre inférieur à 60 cm. Pour cette catégorie de diamètre majoritaire, la récolte de certaines tiges peut être justifiée par un besoin d'éclaircie en faveur de tiges de meilleure qualité.

La figure 3.9 montre que le diamètre modal pour la qualité A varie entre 60 et 70 cm et entre 50 et 60 cm (voire 70 cm) pour les qualités B et C. Ces résultats sont à considérer uniquement avec les hypothèses de calcul, notamment le taux d'actualisation de 4 %. En effet, si le taux d'actualisation était plus faible, la valeur potentielle serait plus élevée et la notion de sacrifice d'exploitabilité différente.

## Conclusion

Les figures 2.10, 2.11 et 3.5 méritent d'être analysées ensemble. Elles montrent que dans la phase de transition entre un ancien taillis-sous-futaie et une futaie irrégulière (phase 1 de la conversion), les indispensables opérations de «nettoyage» nécessitent de mobiliser un volume important de bois d'industrie et d'énergie. Durant cette période, le volume de bois d'œuvre mobilisé est loin d'être négligeable même si le prélèvement en valeur n'est pas proportionnel. Cet écart entre la part d'accroissement en volume et celle en valeur est une garantie pour le propriétaire car cela est synonyme d'amélioration des peuplements. Cela va se traduire à moyen terme (15 à 20 ans) par un accroissement de la valeur de son capital et par une augmentation future de ses revenus.

Les figures 3.8 et 3.9 caractérisent la sylviculture pratiquée. Elles permettent de constater que les prélèvements évitent les sacrifices d'exploitabilité.

### 3.1.2 Dépenses

La figure 3.10 fournit les dépenses nécessaires à l'avenir des peuplements. Il y a bien sûr les soins aux peuplements, mais aussi les martelages car, avant d'être commercial, le martelage est avant tout une action sylvicole et doit donc être inclus dans les soins sylvicoles. Ont aussi été rajoutés les frais de gestion forestière car pour certains gestionnaires les martelages sont inclus dans les frais de gestion. Les soins aux peuplements sont généralement inférieurs à 20 €/ha/an.

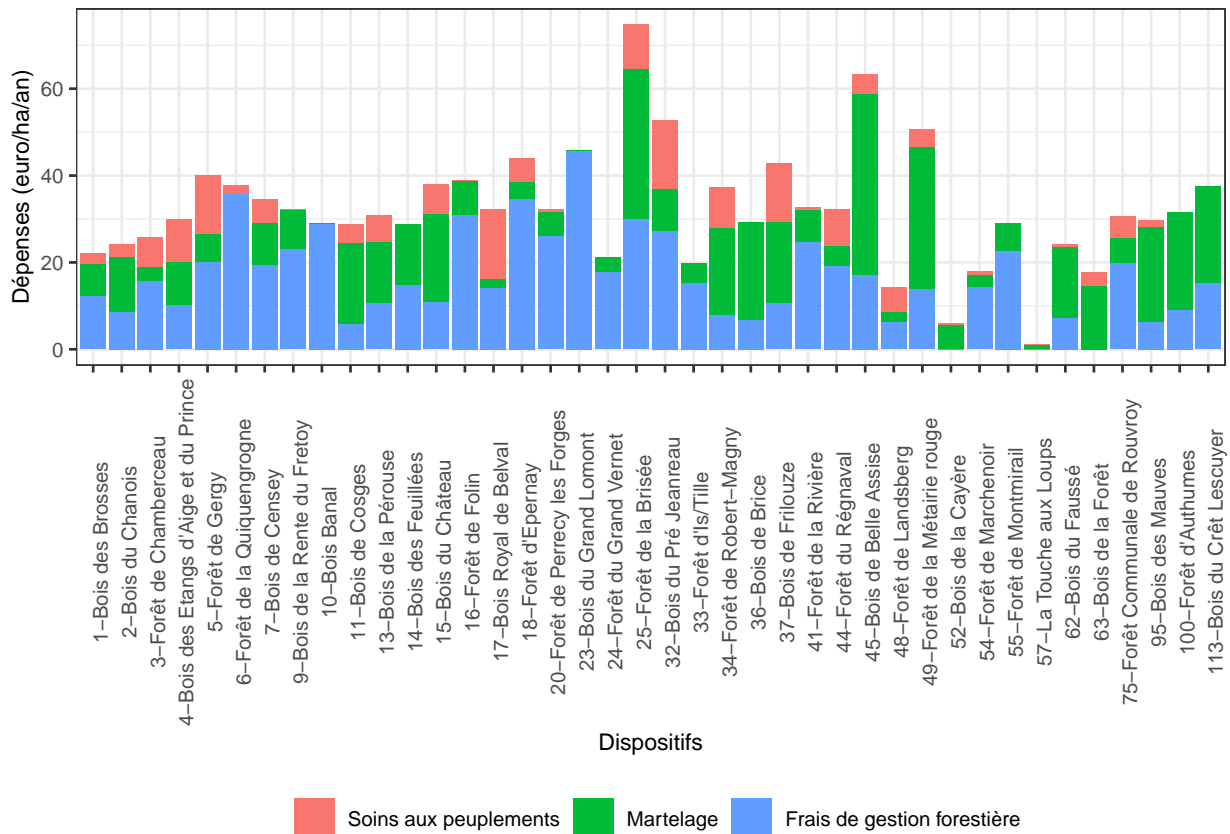


Figure 3.10 – Répartition des dépenses.

Sur la figure 3.10, on constate qu'une majorité des dispositifs engendrent des dépenses comprises entre 20 €/ha/an et 40 €/ha/an, même entre dispositifs situés dans des contextes écologiques différents. Environ 45 % des dispositifs présentent des dépenses qui n'excèdent pas 30 €/ha/an.

Seuls 4 dispositifs dépassent les 50 €/ha/an de dépenses, montants qui sont à mettre en regard avec les recettes correspondantes (les récoltes lourdes génèrent des travaux de renouvellement plus conséquents). Les dépenses sont aussi dépendantes du type de peuplement. Entre les peuplements de résineux et ceux feuillus, les dépenses liées aux martelages seront plus importantes dans le premier cas car les rotations étant généralement plus courtes, le gestionnaire y passe plus souvent.

La figure 3.11 décline les dépenses par grands contextes bioclimatiques.

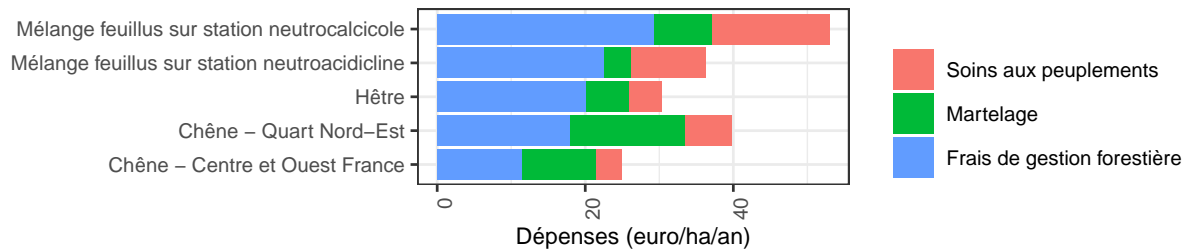


Figure 3.11 – Répartition des dépenses par grands contextes bioclimatiques.

## 3.2 Evolution du capital financier d’après une mercuriale de prix fixe

### 3.2.1 Evolution de la valeur de consommation

Rappel : la valeur de consommation d’un arbre correspond à sa valeur à la vente. Elle est le produit du volume de l’arbre par son prix unitaire issu de la mercuriale de prix de l’AFI. La valeur de consommation d’un dispositif s’obtient par sommation de tous les arbres.

La figure 3.12 fournit, pour chacun des dispositifs retenus, classés par essence prépondérante, des ordres de grandeur de la valeur de consommation (superficie) ainsi que l’évolution de cette valeur au cours du temps exprimée en €/ha. Pour plus de lisibilité, pour chaque essence feuillue prépondérante, seulement le dispositif ayant la plus forte valeur de consommation au dernier inventaire et celui ayant la plus faible valeur de consommation (au dernier inventaire) ont été mis en évidence. Pour les essences résineuses, un seul dispositif correspondait aux vingt ans minimum de suivi. Les autres dispositifs sont représentés en pointillés gris. Cela permet à la fois de voir l’amplitude des valeurs par essence et également les évolutions de la valeur de consommation par essence dominante.

Elle montre qu’une très grande majorité des gestionnaires a souhaité une augmentation du capital valeur, sans que cela entraîne automatiquement une augmentation du volume ou de la surface terrière sur pied.

Le dispositif qui atteint 16 000 € est celui de la Métairie Rouge principalement constitué de douglas. Sa valeur de consommation est passée de 8934 €/ha à 10624 €/ha pour atteindre 16011 €/ha en l’espace de 10 ans. Au dernier inventaire, soit en 15 ans, la valeur de consommation était de 19757 €/ha.



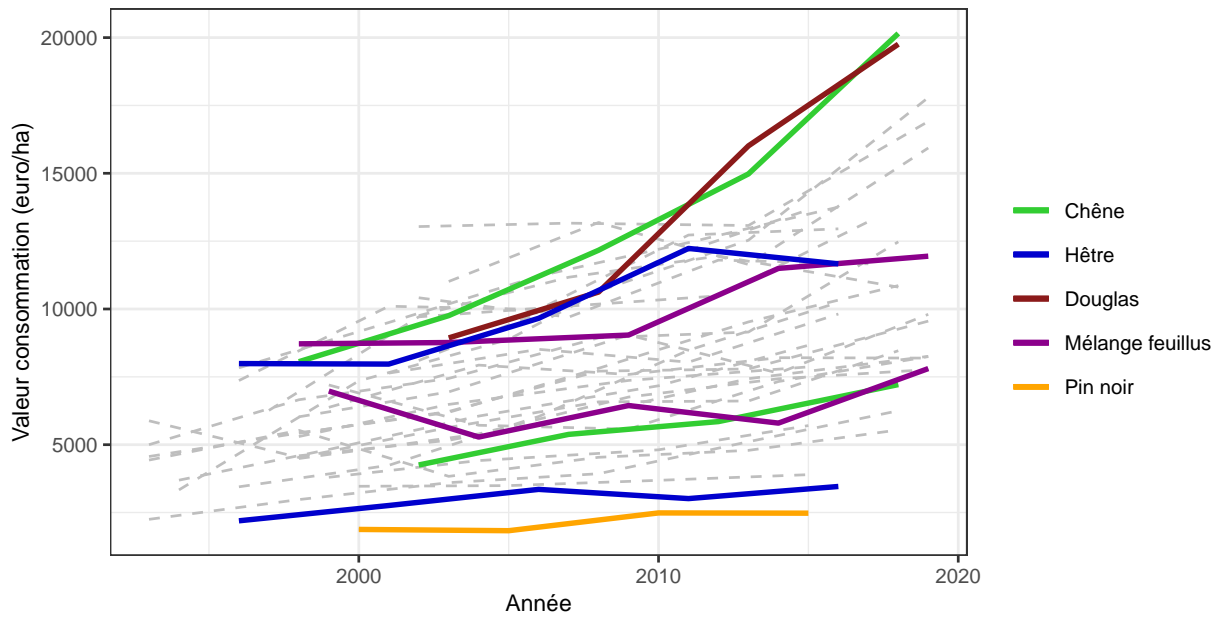


Figure 3.12 – Evolution de la valeur de consommation, chaque ligne correspondant à un dispositif.

Cette volonté de capitaliser en valeur est plus visible sur la figure 3.13 pour laquelle par convention, la valeur de consommation est fixée à 1 au moment de l'installation du dispositif. Puisque les gestionnaires récupèrent une propriété dans un état donné, il est plus intéressant de regarder de quelle façon ils la font évoluer. C'est l'objectif de la figure 3.13. Elle représente l'ensemble des dispositifs en distinguant en bleu les 6 qui ont eu la hausse mais aussi la baisse la plus forte de leur valeur de consommation depuis le premier inventaire.

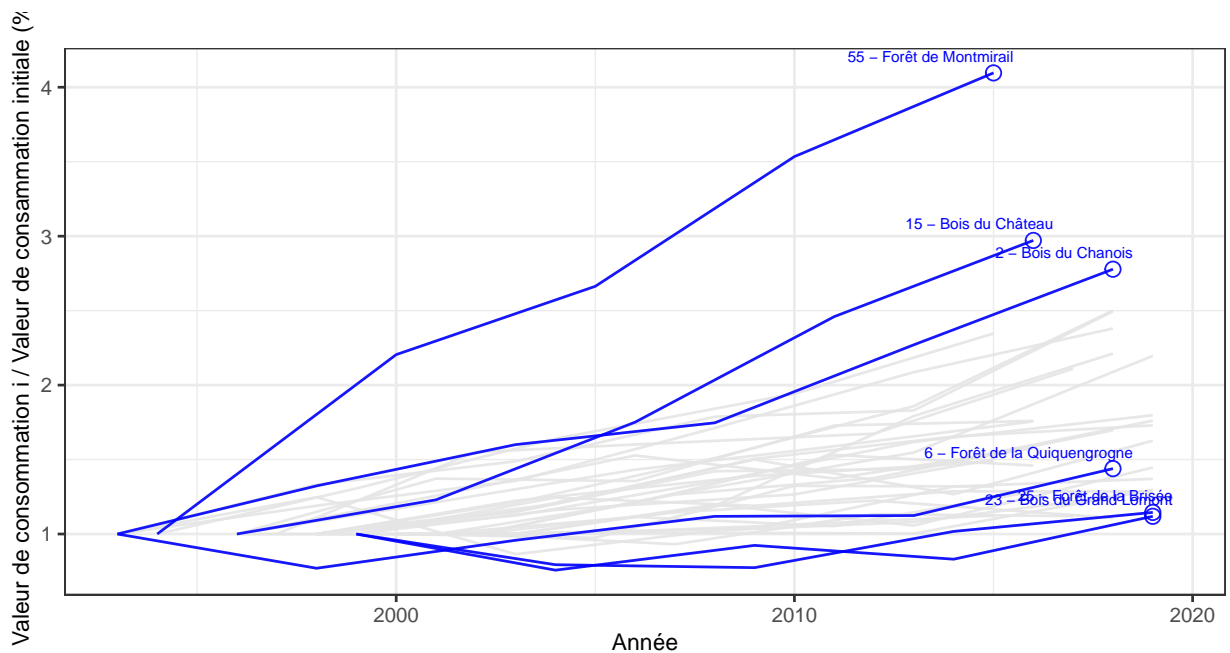


Figure 3.13 – Evolution relative de la valeur de consommation.

La figure 3.13 doit être interprétée avec précaution et replacée dans le cadre du réseau, représentant majoritairement des phases de transition entre taillis-sous-futaie et futaie irrégulière présentées au paragraphe 2.1. Le

dispositif n°55 (Montmirail) a eu la plus forte évolution avec un quadruplement de sa valeur de consommation en 20 ans, mais sa valeur initiale était assez faible. A l'inverse le dispositif n°6 (Quiquengrogne) a vu sa valeur de consommation rester pratiquement stable car le gestionnaire considère que le peuplement a atteint son niveau d'équilibre.

La figure 3.13 doit donc être complétée par l'introduction d'une nouvelle variable, le ratio valeur de consommation sur surface terrière présenté à la figure 3.14. Cet indicateur constitue une sorte de mesure de l'efficacité de la stratégie qui consiste à concentrer l'accroissement sur les arbres de meilleure qualité. Afin d'en améliorer la lisibilité, n'ont été représentés que les dispositifs majoritairement à base de chêne, hêtre ou d'un mélange de feuillus. La figure 3.14 fait apparaître de fortes variabilités pour toutes les essences mais une tendance à l'augmentation de ce ratio dans le cas des chênes. Les évolutions les plus contrastées ont été individualisées (dispositifs n°36 et 32).

La figure 3.15 décline ce ratio par grand contexte pour les principales essences. Elle confirme que c'est dans le cas des chênaies que la marge de progression est la plus grande, avec une différence entre l'Est et l'Ouest de la France. L'intégration des variations du cours du bois devrait encore augmenter cet écart. Le traitement en futaie irrégulière des chênes sessile et pédonculé doit permettre de valoriser cet énorme potentiel des forêts françaises.

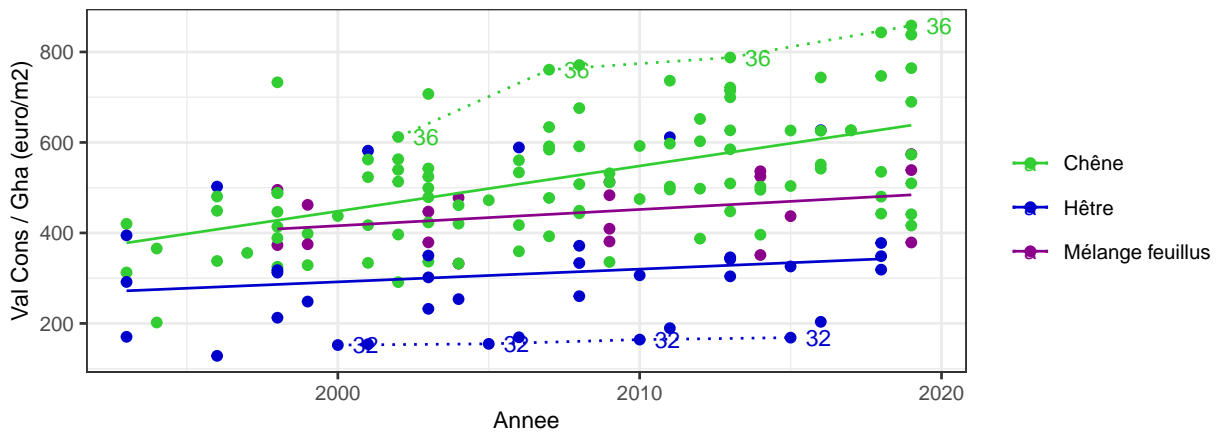


Figure 3.14 – Evolution du ratio valeur de consommation sur surface terrière par dispositif.

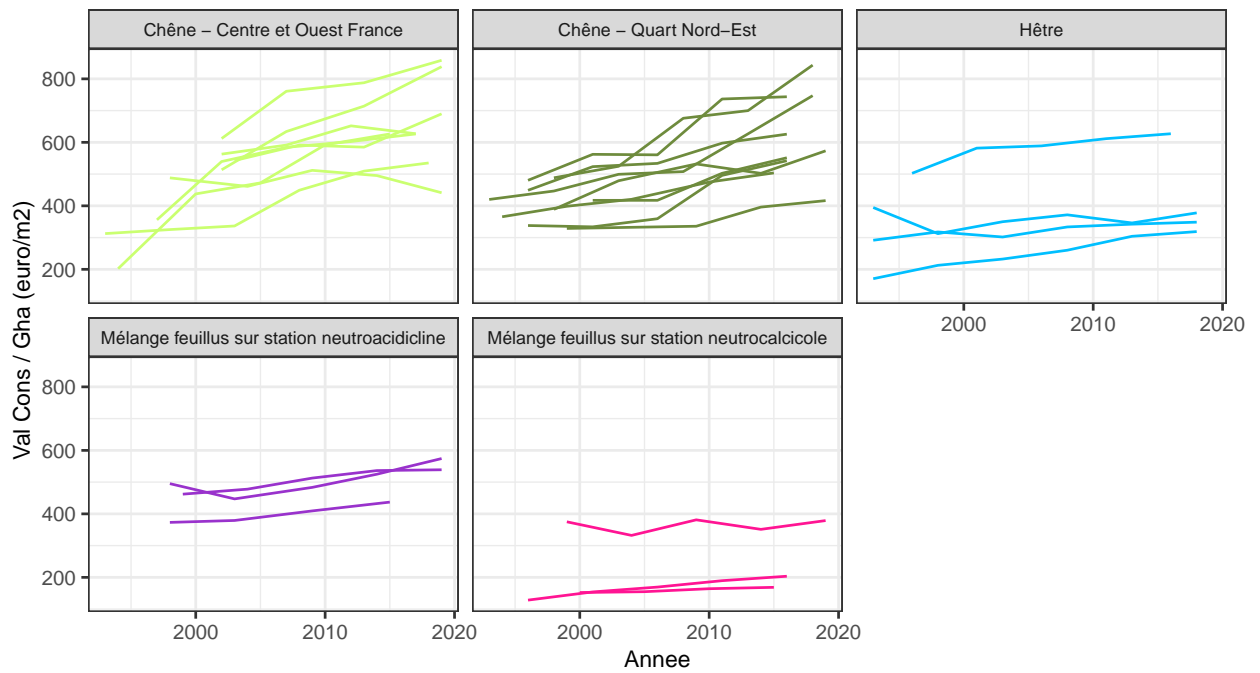


Figure 3.15 – Evolution du ratio valeur de consommation sur surface terrière par dispositif et grand contexte.

La stratégie de concentrer l'accroissement sur les gros bois de qualité permet d'améliorer les revenus du propriétaire (voir 3.1.1) tout en fournissant au marché un volume proche de l'accroissement biologique. Le ratio valeur de consommation sur surface terrière permet de mesurer l'efficacité de cette stratégie.

La figure 3.16 permet d'apprécier l'évolution de la valeur de consommation depuis la mise en place de chaque dispositif. Dans cette figure, la taille du dispositif est d'autant plus forte que l'accroissement en valeur est élevé. La ligne en pointillés correspond à l'égalité entre la valeur de consommation en début et fin de période. Les dispositifs de douglas n'ont pas été représentés.

Dans la figure 3.16, l'écart à la première bissectrice (courbe en pointillés) correspond à l'augmentation de la valeur de consommation. Certains dispositifs et plus particulièrement ceux à base de chênes, ont eu une très forte augmentation de leur valeur de consommation. La comparaison avec la figure 2.3 montre que l'évolution du capital valeur a été beaucoup plus forte que celle du capital volume.

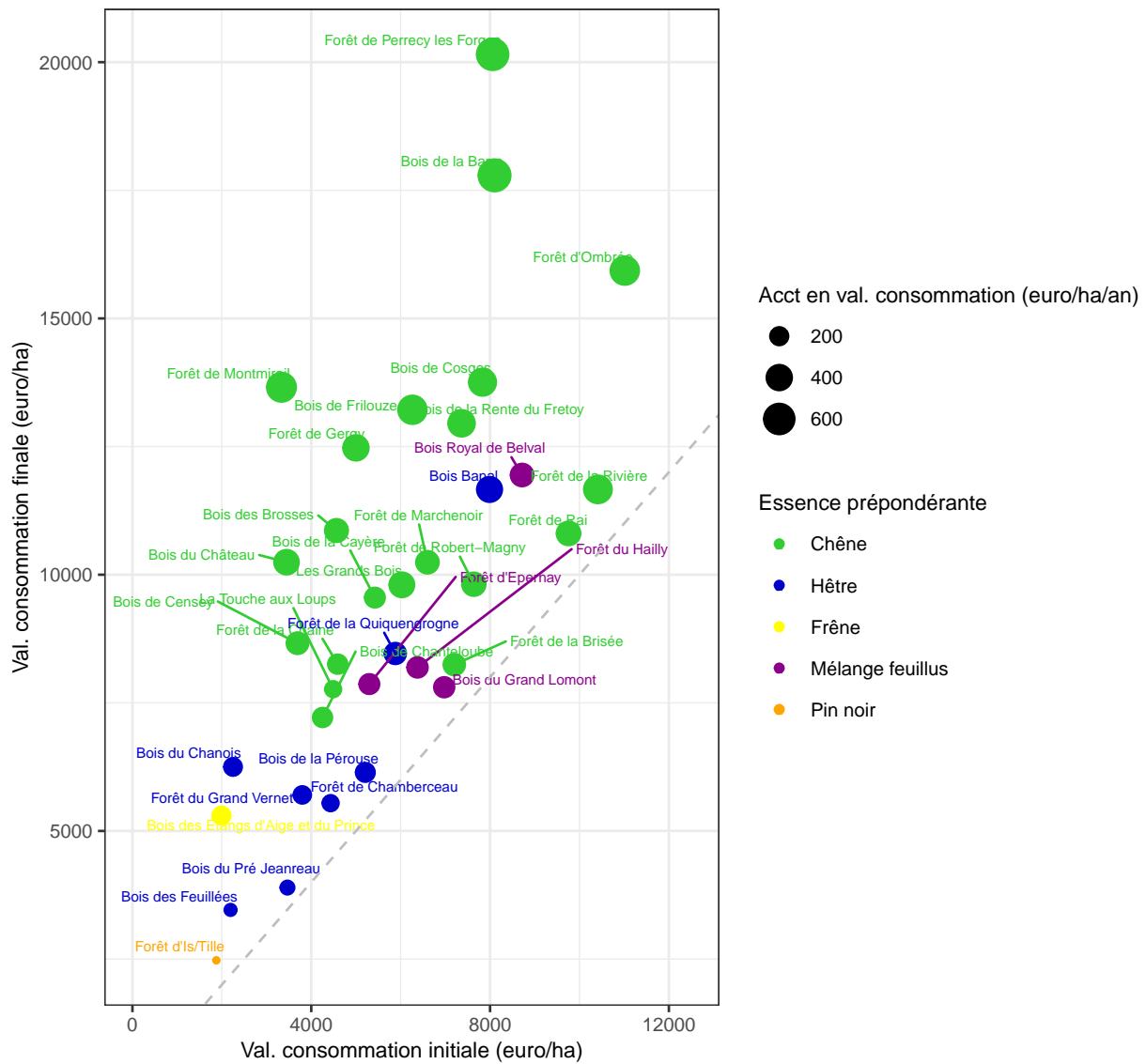


Figure 3.16 – Evolution des valeurs de consommation sur la période.

### 3.2.2 Evolution de la valeur potentielle

#### Rappels :

Le calcul classique de valeur d'avenir est peu adapté au traitement en futaie irrégulière. C'est pourquoi a été proposée la notion de valeur potentielle ( $V_p$ ) qui permet d'estimer la valeur d'un arbre de manière légèrement différente. Elle est obtenue en divisant son accroissement en valeur par un taux d'actualisation ( $r$  égal à 4 % à l'AFI). Elle correspond au capital qui, placé au taux  $r$ , fournit un revenu correspondant à l'accroissement en valeur (gain). Elle est également équivalente au capital obtenu en sommant une infinité de gains annuels identiques et actualisés. Reposant sur le gain, cette estimation prend en compte l'accroissement futur en valeur sur une courte période (temps de franchissement d'une classe de diamètre).

L'annexe D fournit des rappels plus complets sur la notion de valeur potentielle.

La figure 3.17 fournit l'évolution de la valeur potentielle au cours du temps. Seuls les dispositifs ayant la plus faible ou la plus forte valeur potentielle au dernier inventaire ont été mis en évidence pour plus de lisibilité. Les autres dispositifs sont représentés en pointillés gris. Elle montre une variation plus forte que celle de la valeur de consommation.

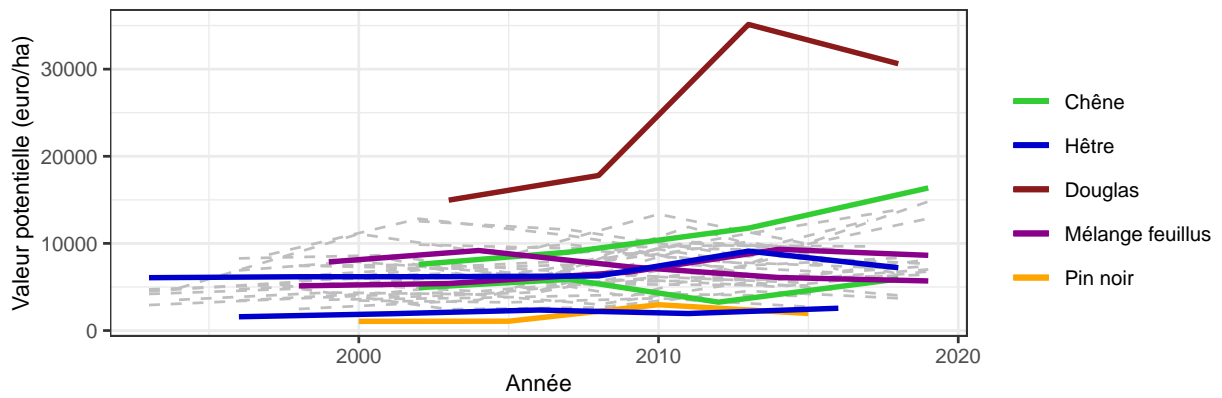


Figure 3.17 – Evolution de la valeur potentielle.

Dans la même logique que la figure 3.14, la figure 3.18 est un autre indicateur de l'efficacité de la stratégie de gestion de la qualité. La valeur potentielle étant directement corrélée à l'accroissement en diamètre, la figure 3.18 montre que certains dispositifs ont été sensibles à la sécheresse de 2003, d'autres non. Les courbes de régression (en plein) représente l'évolution moyenne de l'indicateur selon le type de peuplement, tous dispositifs confondus. Les différents points représentent des dispositifs, deux sont mis en valeur : le dispositif n°55 et le dispositif n°14. Une baisse de l'indicateur est observé entre 2000 et 2005 pour le dispositif n°55, période qui comprend la sécheresse de 2003. L'effet climatique peut aussi être avancé pour la baisse observée à l'année 2015. Cet effet climatique se voit moins sur le dispositif n°14, où les accroissements sur le diamètre ont été sensiblement les mêmes tout au long de la période de suivi. Les valeurs de l'indicateur de l'efficacité de la stratégie de gestion sont meilleurs pour le chêne puis viennent ensuite les peuplements mélangés et les peuplements de hêtre.

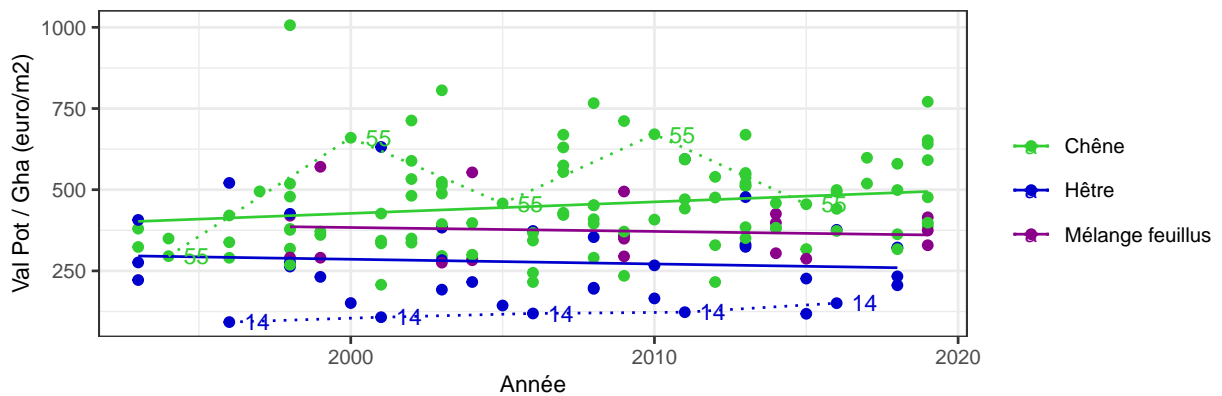


Figure 3.18 – Evolution du ratio valeur potentielle sur surface terrière.

La figure 3.19 décline ce ratio par grand contexte. Elle montre que l'écart entre les chênes et les autres essences est moins grand. La valeur potentielle étant très sensible à une bonne concentration de la qualité dans les bois moyens (surtout pour les essences autres que les chênes), ou les jeunes gros bois (cas des chênes), une essence comme le hêtre peut faire jeu égal avec les chênes. Elle montre également un effet sécheresse 2003.

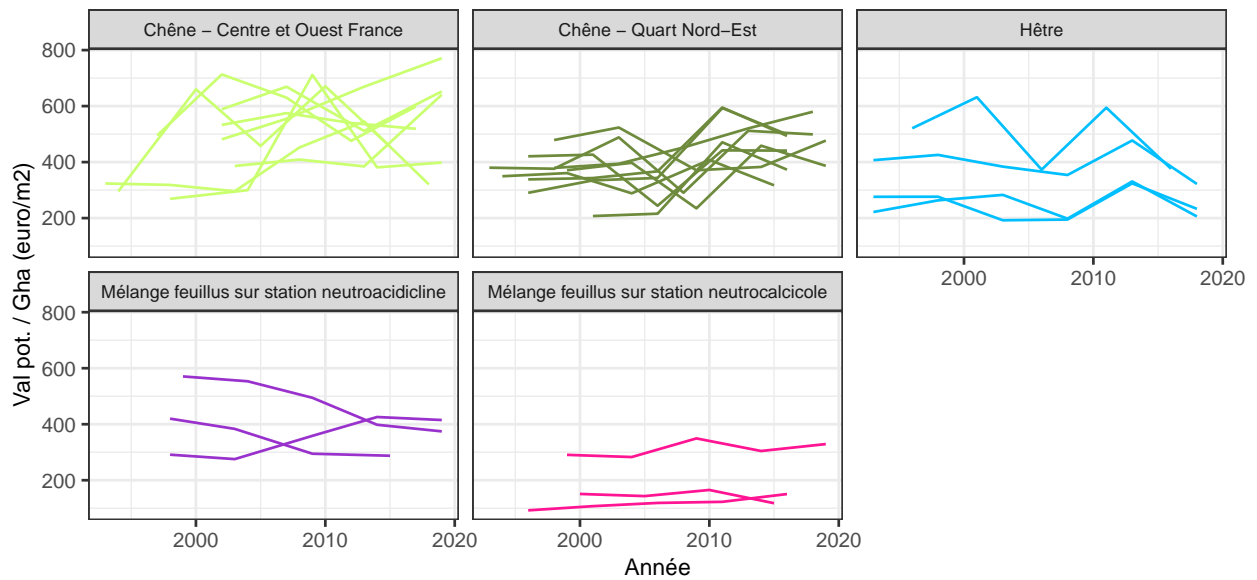


Figure 3.19 – Evolution du ratio valeur potentielle sur surface terrière par dispositif et par grand contexte.

### 3.2.3 Comparaison des valeur de consommation et potentielle

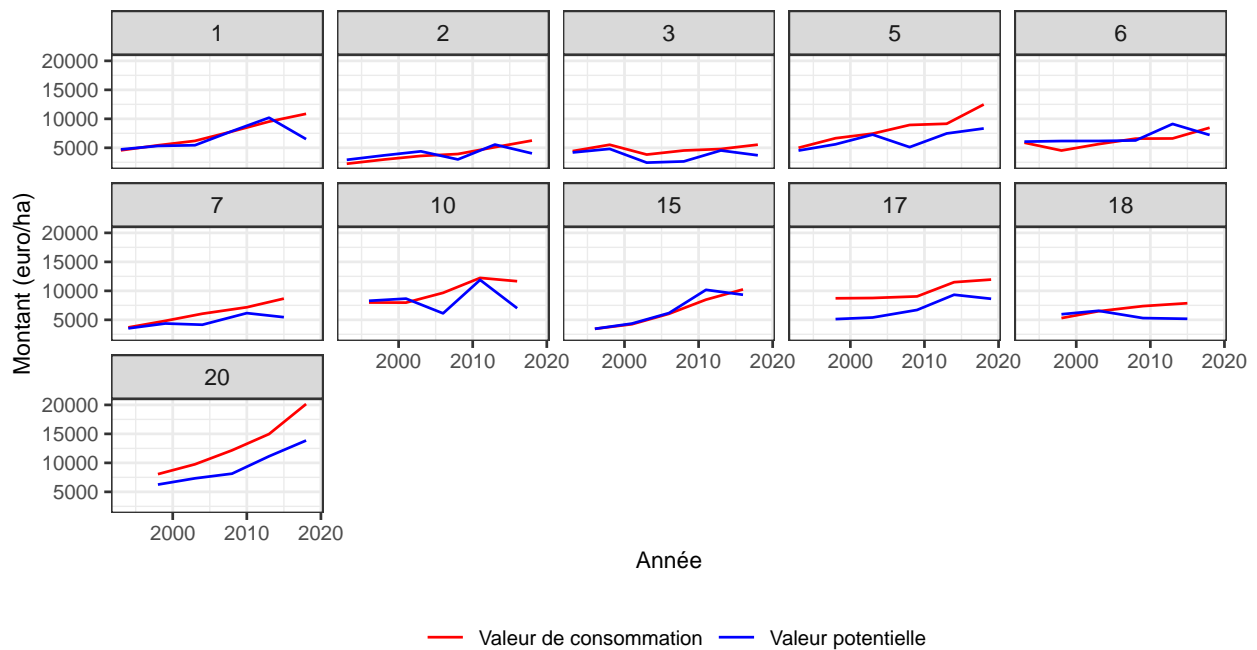


Figure 3.20 – Comparaison de l'évolution de la valeur de consommation et potentielle pour quelques dispositifs.

La figure 3.20 permet à titre d'exemple de comparer l'évolution des valeurs de consommation et potentielle de quelques dispositifs. Elle suscite les commentaires suivants :

- forte progression des valeurs de consommation et potentielle des dispositifs 1 et 15.
- forte progression également pour les dispositifs 17 et 20 mais le taux d'actualisation de 4% est sans doute trop

fort pour ces deux dispositifs, même si pour le dispositif 17 les deux valeurs tendent à se rapprocher.

- Le dispositif n°5 a été fortement impacté par la sécheresse de 2003, le n°3 par la tempête de 1999. Pour ce dernier la cicatrisation en terme d'accroissement en valeur a eu lieu au bout de 15 ans.

- Pour le dispositif n°6, malgré une coupe forte conséquence de la tempête de 1990, la valeur potentielle est restée quasiment stable.

- Le dispositif n°18 présente un décrochement entre les deux valeurs.

### 3.2.4 Accroissement brut en valeur

La figure 3.21 représente les accroissements bruts en valeur par dispositif et calculés par cycle (entre deux inventaires). L'accroissement en valeur dépend de l'accroissement en diamètre, qui peut se calculer dès lors que l'on a deux inventaires.

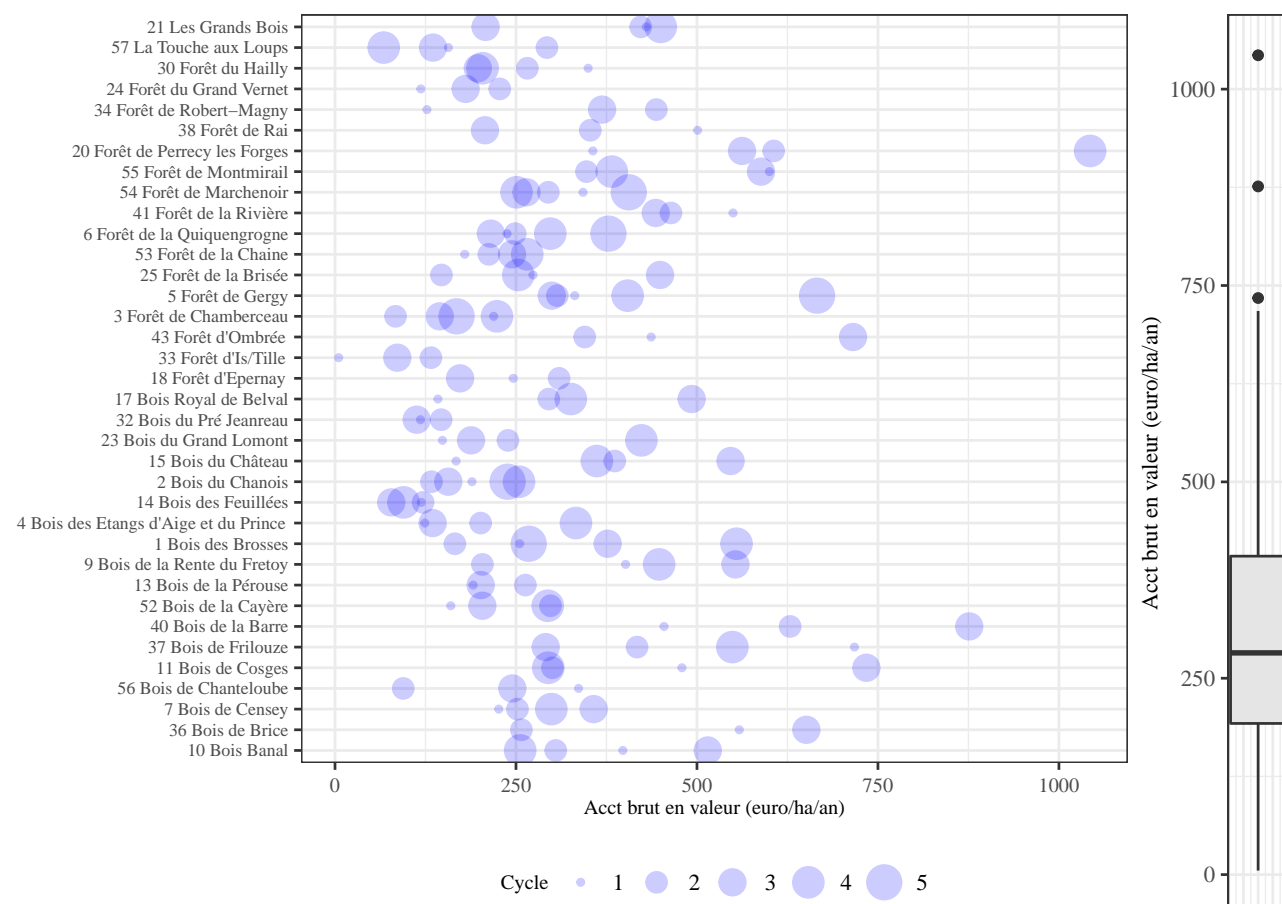


Figure 3.21 – Evolution de l'accroissement brut en valeur au cours du temps.

Elle montre d'une part les accroissements pour chaque dispositif et pour chaque cycle (graphique à gauche) et d'autre part, l'ensemble des valeurs tous dispositifs confondus (boîte à moustache à droite). Sur l'ensemble des dispositifs, les accroissements bruts en valeur sont dispersés entre des accroissements faibles (moins de 100 €/ha/an) et d'autres très élevés (plus de 750 €/ha/an). Toutefois, la plupart des dispositifs ont des accroissements bruts en valeur compris entre 200 et 400 €/ha/an (50 % des accroissements calculés). Les variations observées des accroissements en valeur entre les différents cycles sont liées aux variations sur l'accroissement en diamètre, l'accroissement en prix unitaire étant constant car le calcul se base sur la mercuriale de prix fixe de l'AFI.

### 3.2.5 Accroissements en valeur par m3 produit

Les figures 3.22 et 3.23 montrent que pour l'indicateur «accroissement en valeur par m3 produit» les peuplements à base de chêne sont les plus efficaces. Cet indicateur met en lien l'accroissement en valeur sur un cycle par

rapport à l'accroissement en volume sur ce même cycle. Les accroissements sont en moyenne de 80 €/m<sup>3</sup> à 160 €/m<sup>3</sup> produit pour les dispositifs de chêne les plus efficaces. Les dispositifs de hêtre sont moitié moins efficaces par rapport aux dispositifs de chêne puisque les accroissements en valeur ne sont que d'environ 40 à 80 €/m<sup>3</sup>. Du strict point de vue de cet indicateur, le hêtre doit avoir une production double de celle du chêne pour être compétitif.

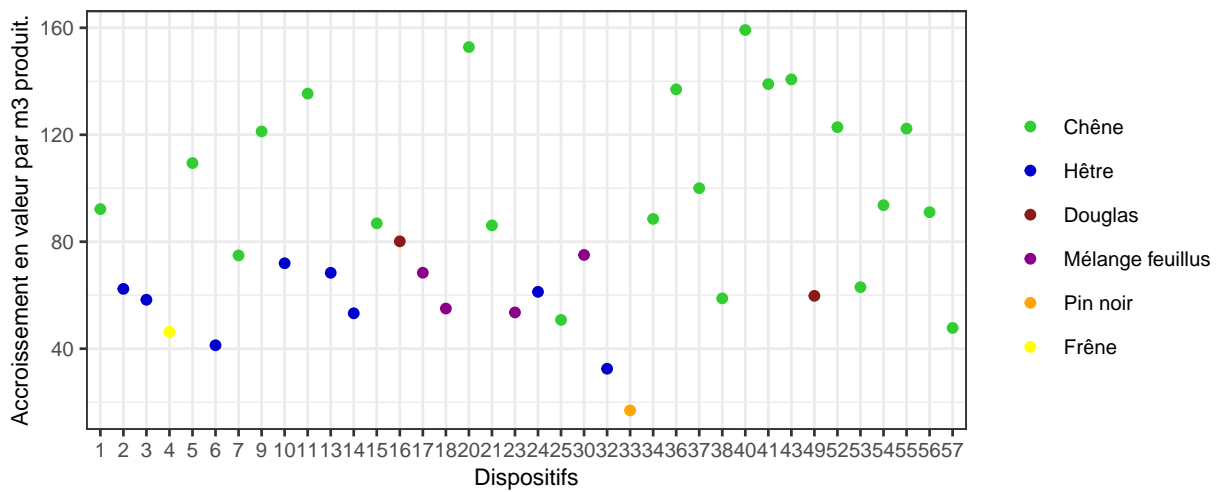


Figure 3.22 – Accroissement en valeur par m3 produit et dispositif.

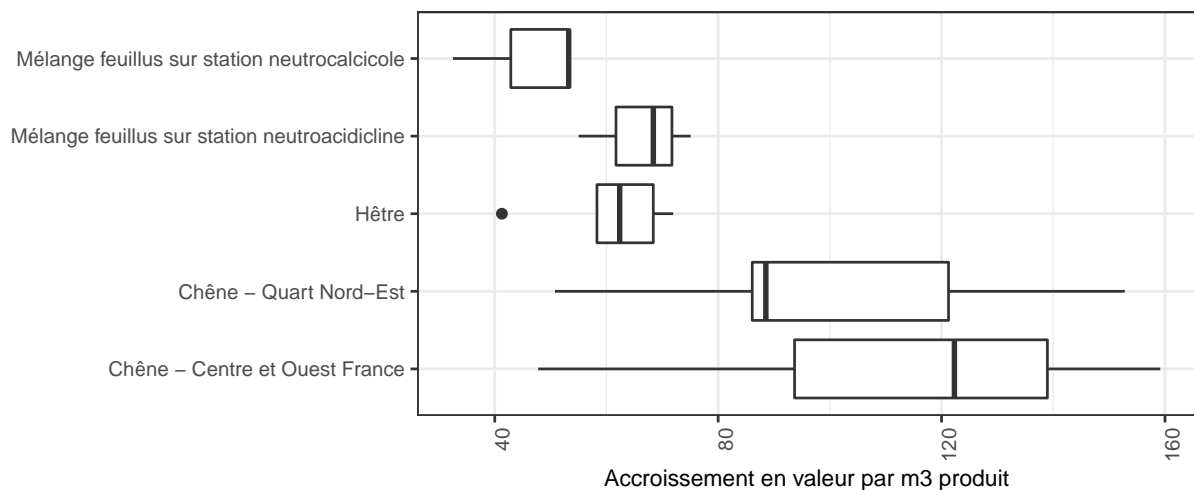


Figure 3.23 – Accroissement en valeur par m3 produit et contexte.

Les dispositifs de chêne situés dans le centre et ouest de la France sont en moyenne plus efficaces que les dispositifs de chêne du quart nord-est si l'on considère la médiane des accroissements en valeur par m<sup>3</sup> produit de ces deux séries.

### 3.2.6 Temps de rotation du capital valeur

Face à la vitesse du changement climatique, il est important de rappeler la notion de temps de rotation introduite au paragraphe 2.2.3.1. Cet indicateur peut être calculé pour tout type de traitement sylvicole, mais il est particulièrement adapté aux traitements irréguliers dont le principe d'aménagement associé consiste à trouver le peuplement objectif ou de manière moins restrictive la plage de niveau de matériel à l'hectare optimale autour



de cet objectif. La prise en compte du temps de rotation du capital valeur et volume est fondamentale dans la compréhension du mode de traitement en irrégulier.

La question posée devient alors : quel est le temps de rotation de ce matériel ? Il peut se calculer de 2 façons :

- temps de rotation du capital volume (temps mis pour récupérer en coupe un volume équivalent au volume initial tout en ayant à la fin ce même volume). Il est, quelle que soit l'essence, de l'ordre de 35 ans pour une unité de gestion en équilibre (parcelle en futaie jardinée ou en futaie irrégulière, forêt en futaie).
- temps de rotation du capital argent (temps mis pour récupérer en coupe une somme équivalente au capital initial tout en ayant à la fin ce même capital).

La figure 3.24 présente les temps de rotation du capital argent par cycle (temps entre deux mesures d'un dispositif), par dispositif et selon l'essence dominante.

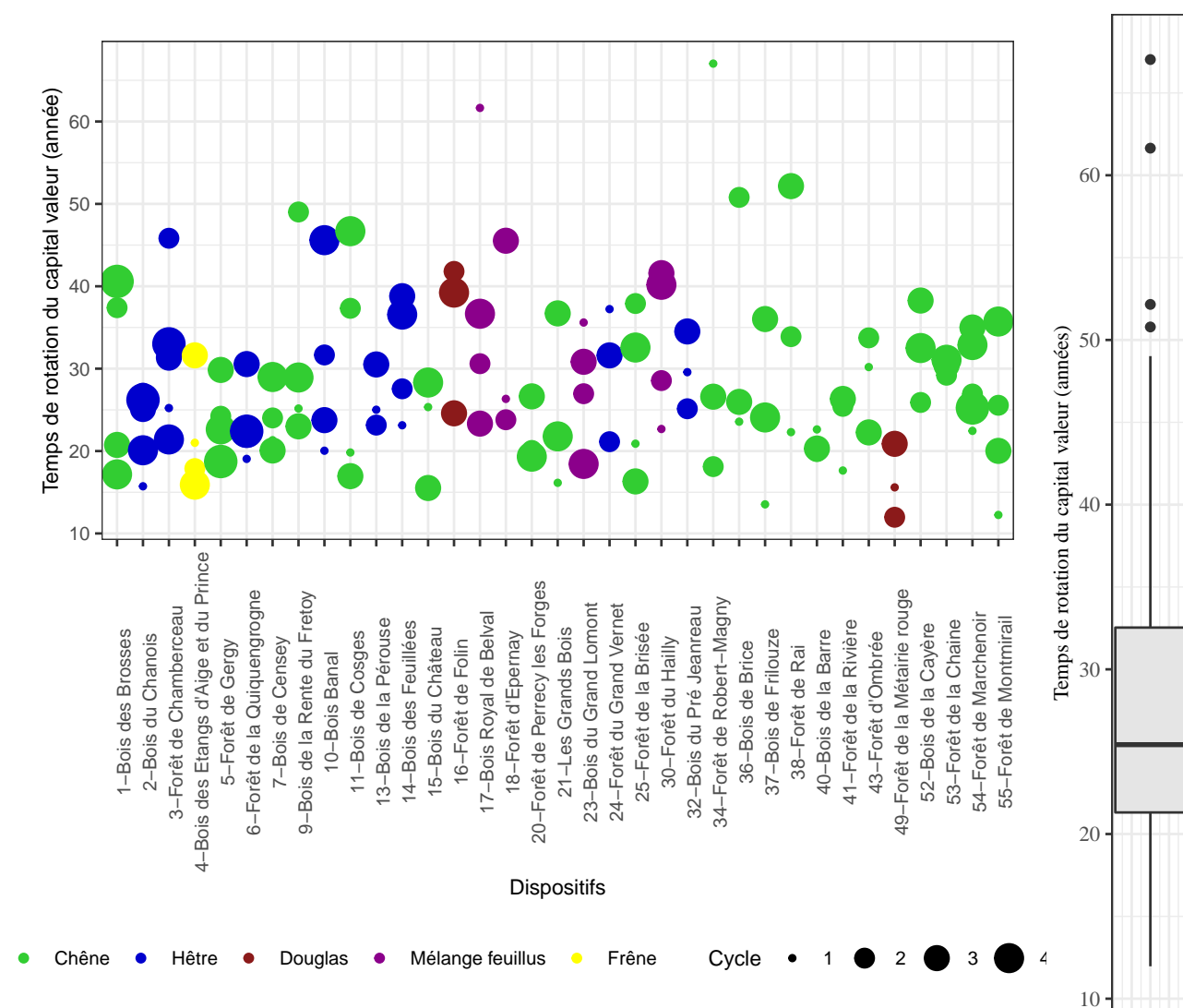


Figure 3.24 – Temps de rotation du capital valeur.

La boîte à moustache permet de représenter pour l'ensemble des dispositifs, tous cycles confondus, la dispersion de la variable temps de rotation du capital argent. Sur l'ensemble des valeurs calculées, 50 % se trouvent entre 21 et 33 ans de temps de rotation du capital valeur, quelque soit l'essence principale du peuplement. Autrement dit, il faut entre 21 à 33 ans pour récupérer la valeur de consommation initiale du peuplement.

Le temps de rotation du capital valeur correspond au nombre d'années nécessaires pour récupérer, sous forme de revenu brut ou d'augmentation de capital sur pied, la valeur de consommation initiale. Il est d'autant plus favorable que ce temps est court.  
 Le temps de rotation du capital (volume ou valeur) permet de mesurer la vitesse de réaction potentielle de la forêt face aux éventuelles perturbations climatiques.

### 3.3 Analyse croisée en volume et en valeur sur quelques dispositifs

Les exemples qui suivent permettent d'illustrer les notions abordées au paragraphe 2.1 et de montrer que l'étude du capital matière et celle du capital valeur peuvent difficilement être séparées.

#### 3.3.1 Les dispositifs du Bois du Château et de la Forêt de Gergy

La figure 3.25 permet de comparer deux dispositifs à base de chênes, situés dans la même région naturelle sur des stations similaires. Lors de leur première mesure les dispositifs étaient assez différents. Celui de Gergy était plus riche en gros bois et le gestionnaire avait démarré les processus de régénération en chênes. Celui du Bois du Château était plus riche en perches, petit et moyens bois de chêne rendant secondaire la préoccupation de la régénération. L'état de départ étant différent, les recettes durant les 20 dernières années le sont également. Le dispositif de Gergy a rapporté au propriétaire 4 fois plus que celui du Bois du Château.

La figure 3.25 montre que le dispositif de Gergy a dépassé la première phase après le deuxième cycle de mesure pour être dans la seconde phase de stabilisation du volume, avec des variations liées aux prélèvements, et sans doute une amorce de troisième phase avec début de stabilisation du capital valeur. Dans le cas du Bois du Château cette figure permet de constater une importante augmentation de la valeur de consommation. Son volume sur pied se rapproche de celui de Gergy et son augmentation ralentit. Les deux dispositifs ont actuellement une structure proche. Le gestionnaire du Bois du Château va devoir décider s'il stoppe ou non la capitalisation en volume.

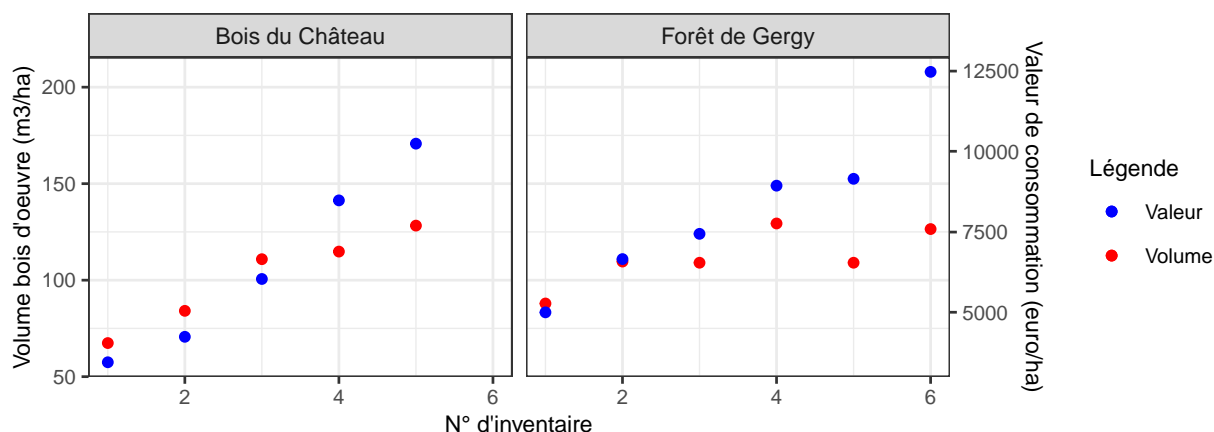


Figure 3.25 – Evolution du capital volume et valeur. Exemple des dispositifs de Gergy (n°5) et du Bois du Château (n°15). Chaque cycle de mesure est séparé de 5 ans.

#### 3.3.2 Le dispositif de Métendal

Le choix inhérent aux deux dernières phases peut être également commenté en se servant par exemple du dispositif n°71 (Metendal). Pour ce dispositif, même si la surface terrière a globalement baissé entre 2007 et 2014, puisqu'elle est passée de 24,7 à 22,8 m<sup>2</sup>/ha, celle en gros bois a continué d'augmenter. Or ces deux informations restent supérieures aux recommandations générales publiées par l'AFI en matière de gestion des chênes sessile et pédonculé. La division par 5 du nombre de semis de chêne, la baisse de l'accroissement en diamètre des jeunes bois moyens de chêne, la légère baisse de la qualité, sont autant d'éléments qui viennent confirmer la justesse des

recommandations générales. Malgré ces indicateurs en baisse, la figure 3.26 permet de comprendre les raisons qui ont poussé le gestionnaire à maintenir un niveau de matériel à l'hectare élevé pour un peuplement de chênes. Elle montre une part remarquablement élevée de qualité, des diamètres majoritairement compris entre 50 et 70 cm de diamètre. Pour des chênes de qualité, ce sont des «jeunes tiges». Leur valeur potentielle est très supérieure à leur valeur de consommation. Les couper conduirait à de gros sacrifices d'exploitabilité et donc à des pertes financières pour le propriétaire. Dans le même temps, ne pas couper suffisamment le stock sur pied va entraîner une baisse de l'accroissement en diamètre et donc une baisse de la valeur potentielle.

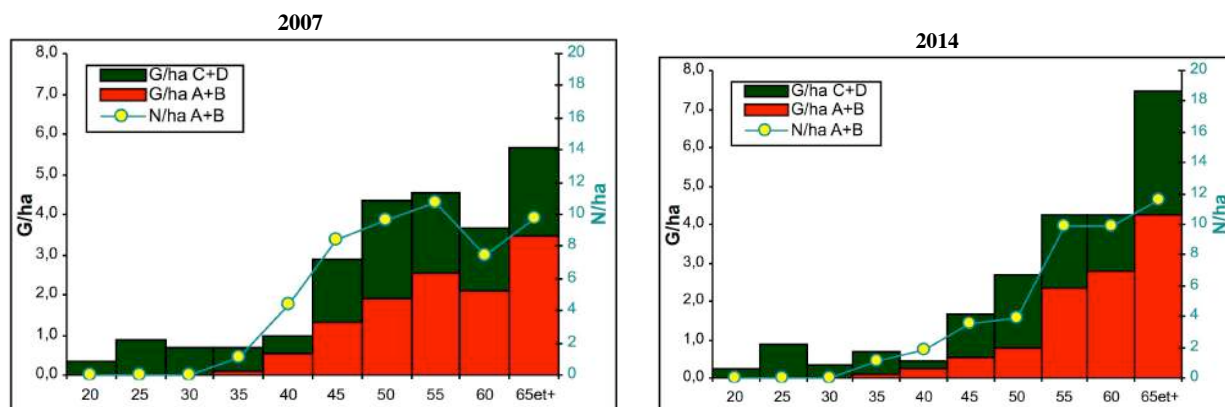


Figure 3.26 – Capitalisation en valeur ou surcapitalisation en volume? Exemple du dispositif de Metendal.

La conversion des anciens taillis-sous-futaie passe par trois phases. La première se traduit par une augmentation assez forte du volume de bois d'œuvre de qualité. C'est la phase la plus simple pour tout gestionnaire sensibilisé à la gestion de la qualité. La seconde nécessite d'arbitrer entre le sacrifice d'exploitabilité immédiat et les pertes à plus long terme : capacité de réaction des houppiers (accroissement sur le diamètre), diminution de la régénération en quantité et qualité, dégradation de la qualité. La dernière phase est plus subtile car la perception des risques ou bien le degré d'utilisation d'un marché porteur sont très personnels.

A une époque où la politique forestière française cherche à augmenter les prélèvements en forêts, la conversion des anciens taillis-sous-futaie en futaie irrégulière devrait convaincre plus facilement les propriétaires privés pas forcément désireux d'intervenir dans leurs peuplements, de le faire pour les raisons suivantes :

- valorisation du patrimoine existant auquel le propriétaire est fortement attaché ;
- à échéance de 15 à 20 ans, forte valorisation du patrimoine financier en limitant les sacrifices d'exploitabilité souvent invisibles ;
- faible perturbation du paysage. En concentrant l'accroissement sur les arbres de meilleure qualité, les prélèvements ultérieurs dans les gros bois vont mobiliser de forts revenus pour un volume et donc un impact faible ;
- recettes intermédiaires largement suffisantes pour payer les frais fixes ;
- mobilisation d'un volume important pour la filière.

Cette stratégie a le mérite de concilier les intérêts du propriétaire (amélioration du patrimoine), ceux de la filière bois (mobilisation du matériau bois) et ceux de la société (préservation de la biodiversité (chapitre 4).

#### Remarques :

- Les peuplements de chêne en mélange avec les feuillus précieux, situés sur sols limono-argileux profonds (représentant les stations fertiles) permettent d'obtenir des recettes brutes souvent supérieures à 200 €/ha/an.
- Les dispositifs résineux (douglas, épicéa et sapin) disposent souvent d'une bonne productivité.
- Les cours du bois font l'objet de fortes variations : chute des cours du hêtre après 1999, hausse de ceux du chêne après 2015 (voir paragraphe 3.4.2). La mercuriale de prix fixe qui permet d'évaluer la sylviculture n'est plus suffisante pour évaluer le capital financier.

## 3.4 Evolution du capital financier en intégrant la volatilité des cours du bois

### 3.4.1 Volatilité des cours du bois

Sur le plan strictement économique, le diamètre d'exploitabilité est fonction de l'essence considérée et des perspectives d'accroissement en valeur. Pour un arbre donné il dépend de l'essence, de la qualité et de son accroissement sur le diamètre. Mais le terme de production va également dépendre pour partie du marché du bois. La production forestière offre la souplesse de pouvoir décaler tout ou partie des coupes prévues pour pouvoir surmonter un marché à la baisse, comme par exemple lors de la crise financière de 2008-2009, ou bien augmenter les prélèvements pour répondre à une demande. C'est le cas par exemple de la forêt de la Quiquengrogne où après la tempête de 1999, le gestionnaire a pendant quelques années ralenti le prélèvement de hêtre et augmenté celui des chênes.

Cette souplesse de pouvoir décaler tout ou partie des coupes est cependant limitée par les impératifs sylvicoles, les contraintes d'exploitation et les besoins en trésorerie.

Les prix annuels utilisés sont issus du suivi des cours du bois publiés dans la revue forestière La Forêt Privée. Toutes les valeurs sont en euros constants rapportés à l'année 2018. La grille de prix publiée par la revue étant organisée différemment de la grille de prix fixes de l'AFI, des réajustements ont été nécessaires. Ceux-ci seront détaillés au paragraphe 3.4.2.

#### 3.4.1.1 Cas du chêne

La figure 3.27 fournit les variations des cours du chêne en prix unitaire constant. Elle permet de constater que les cours actuels sont en augmentation par rapport à ceux des années 1990, que la variabilité sur les 10 dernières années est assez forte et que les variations sont plus fortes pour les gros bois de qualité.

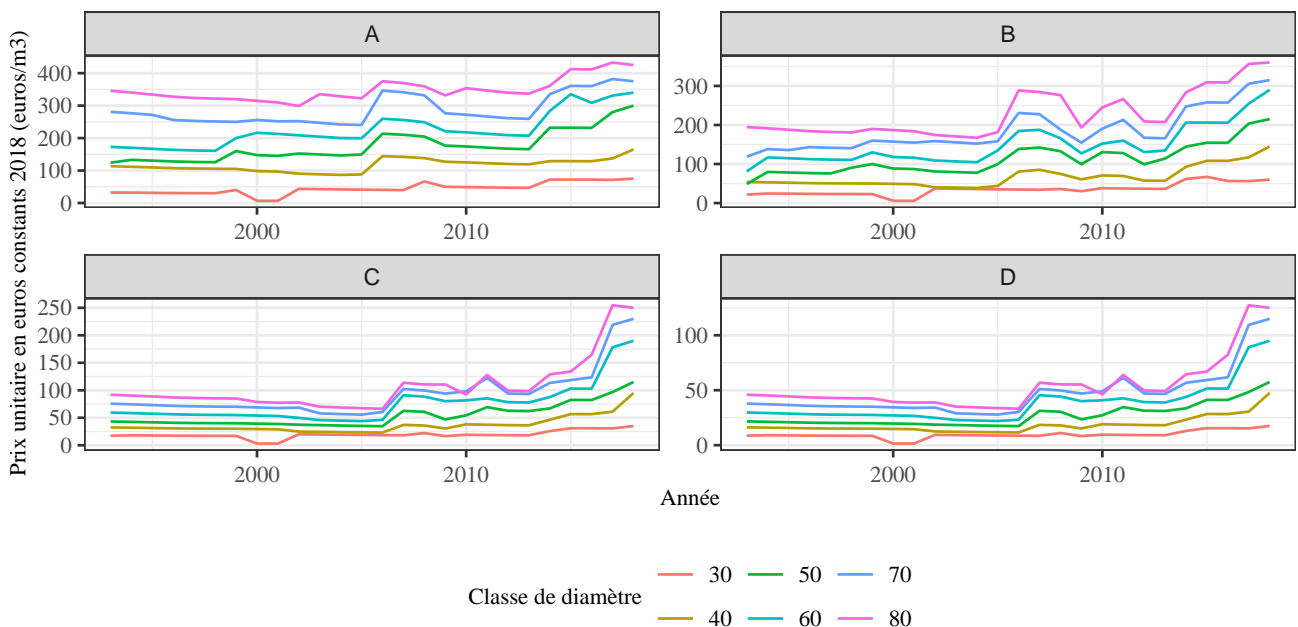


Figure 3.27 – Variation des cours du chêne en prix unitaire constant par qualité.

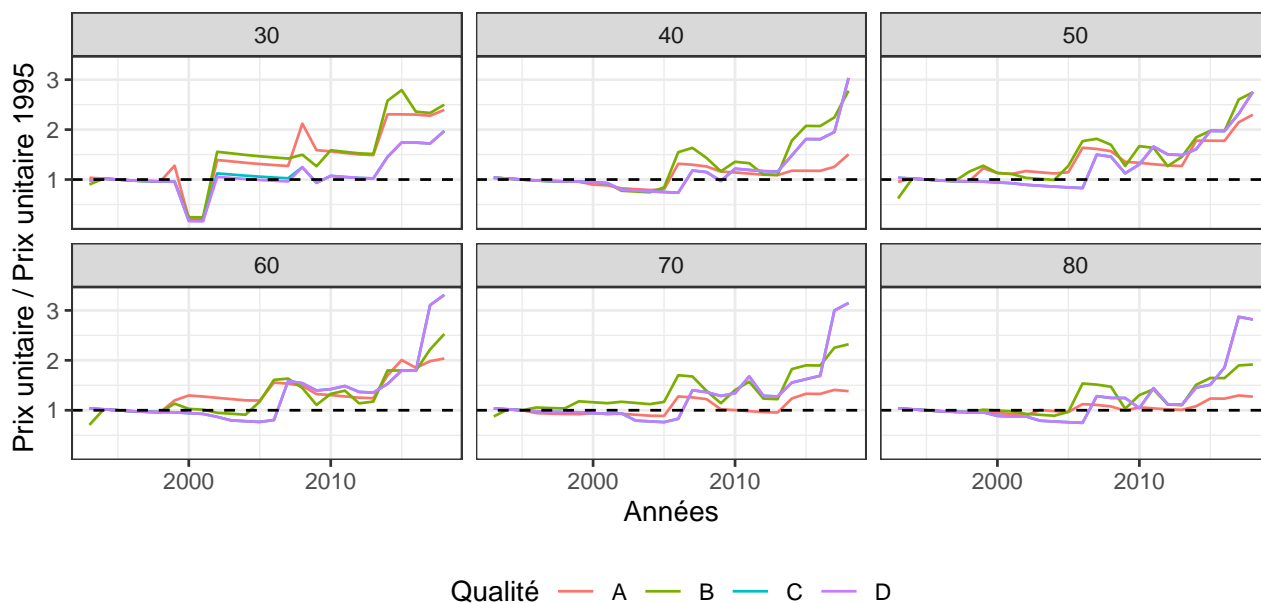


Figure 3.28 – Variation des cours du chêne par classe de diamètre, l'année 1995 servant de référence.

La figure 3.28 montre les variations relatives des prix du chêne par qualité et pour les classes de diamètre de 30 à 80 centimètres depuis l'année 1995, année de référence. Les prix du chêne ont baissé suite à la tempête de 1999 mais sont depuis le milieu des années 2000 à la hausse. Cette hausse s'est d'ailleurs accentuée depuis les cinq dernières années et ce quelles que soient la qualité ou les dimensions, atteignant jusqu'à trois fois le prix de 1995 pour les plus mauvaises qualités.

### 3.4.1.2 Cas du hêtre

La figure 3.29 fournit les variations des cours du hêtre en euros constants. Elle permet de constater une forte croissance vers le milieu des années 1990 avant une chute importante après la tempête de 1999. De même que pour le chêne, les variations sont plus fortes pour les gros bois de qualité.

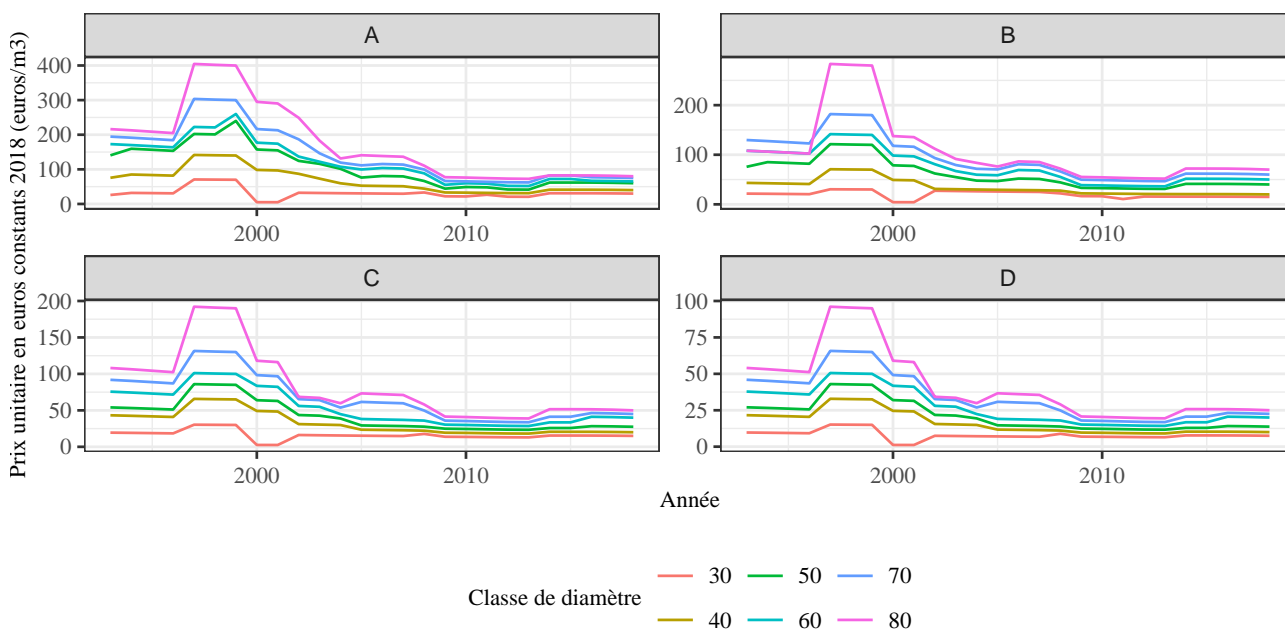


Figure 3.29 – Variation des cours du hêtre en prix unitaire constant par qualité.

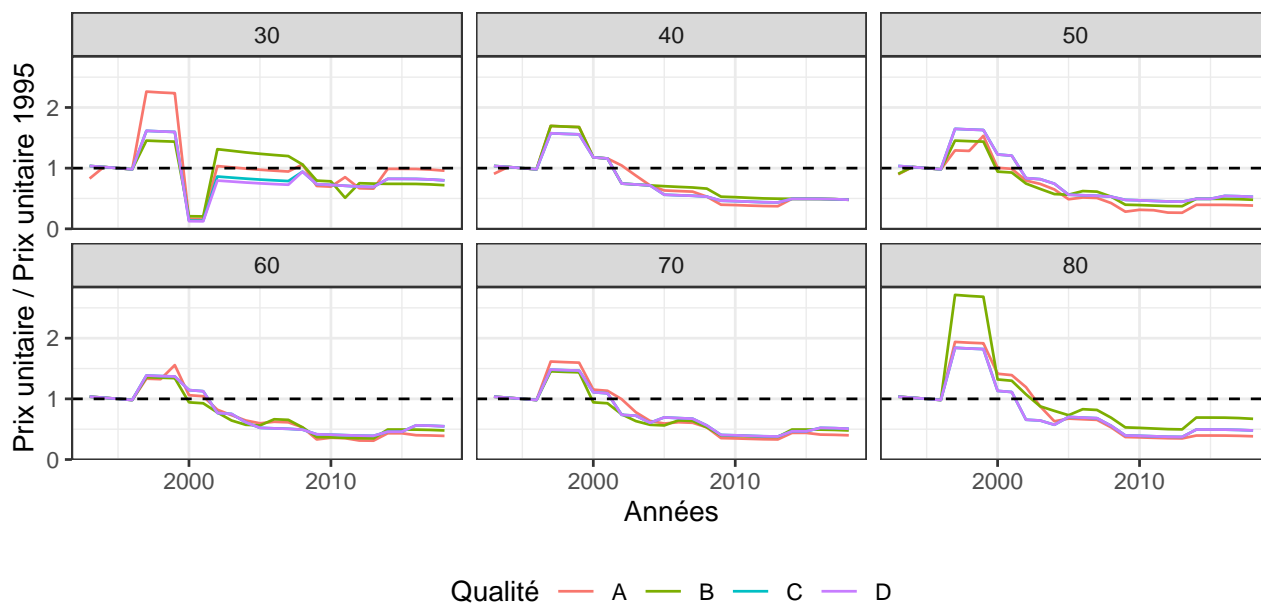


Figure 3.30 – Variation relative des cours du hêtre par rapport à l’année 1995 par classe de diamètre.

La figure 3.30 présente les variations relatives des prix du hêtre par qualité et par dimensions, à partir de 1995. Avant la tempête de 1999, les prix du hêtre étaient de 1,5 à 2,5 fois le prix de 1995. La mise sur le marché de volumes importants suite à la tempête a fait s’effondrer les prix quelles que soient les dimensions et qualités.

### 3.4.1.3 Cas de l’épicéa

La figure 3.31 fournit les variations des cours de l’épicéa en euros constants. Elle permet de constater une légère baisse au cours des années 2010 puis une augmentation soudaine entre 2010 et 2013. Le comportement est différent entre les petits diamètres (30-40) et les gros diamètres, notamment dans les bonnes qualités.

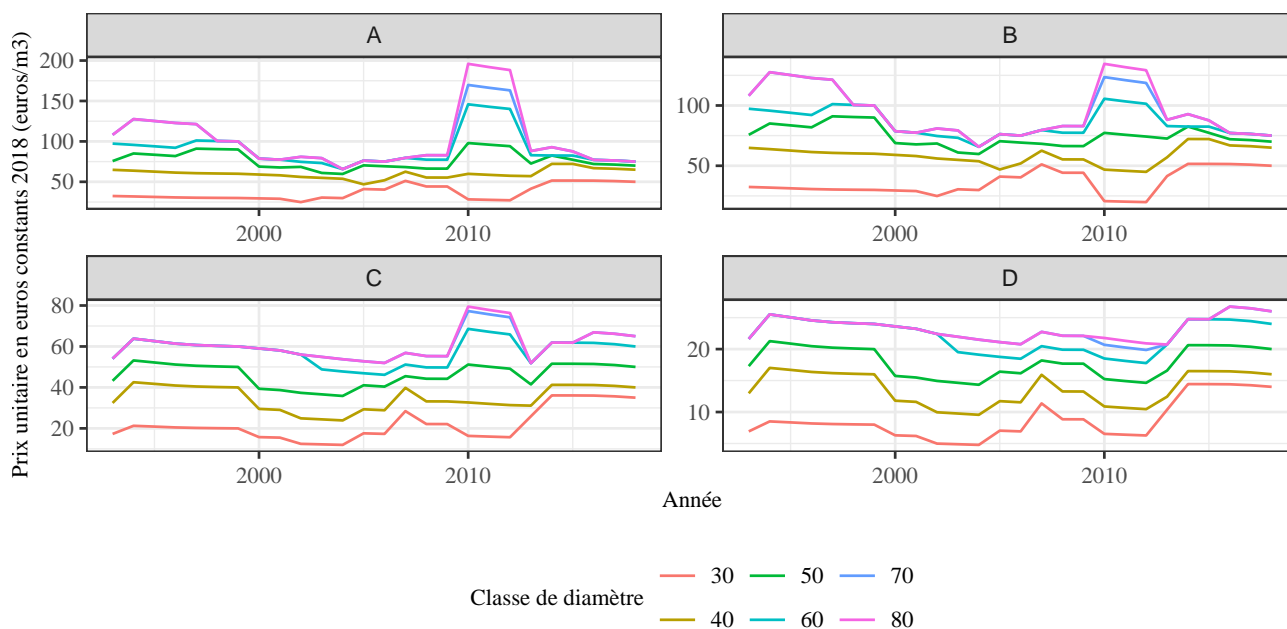


Figure 3.31 – Variation des cours de l’épicéa en prix unitaire constant par qualité.

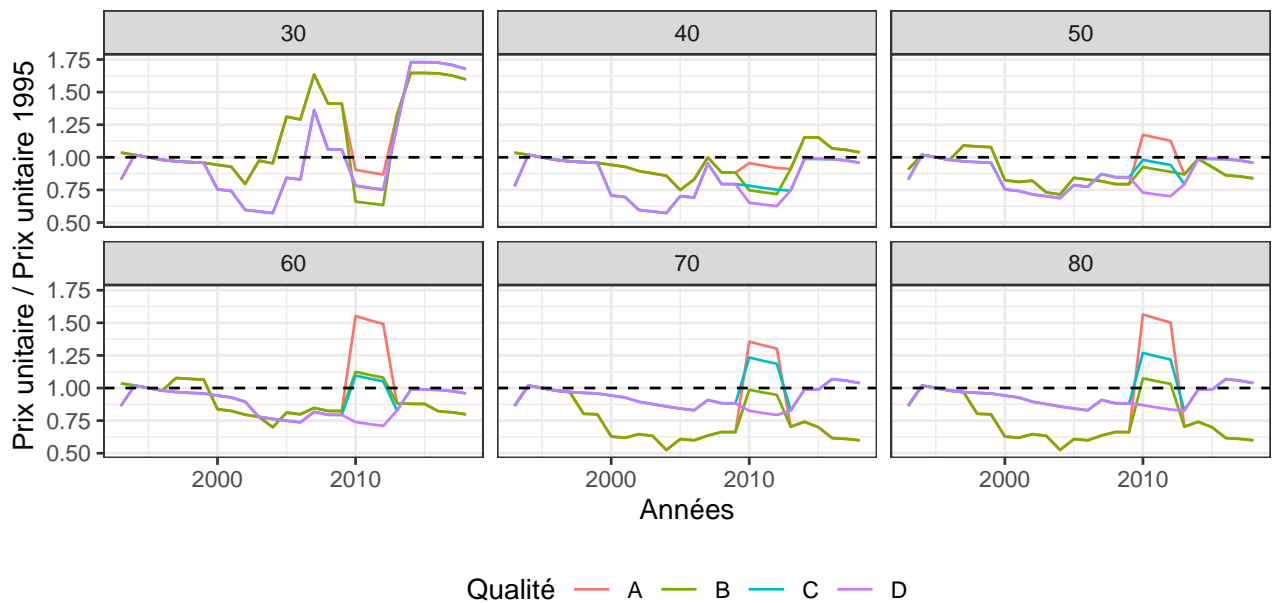


Figure 3.32 – Variation relative des cours de l'épicéa par rapport à l'année 1995 par classe de diamètre.

La figure 3.32 présente les variations relatives des prix de l'épicéa par qualité et par dimensions, à partir de 1995. Hormis en 2010, où les prix étaient de 1,5 fois plus élevés qu'en 1995, depuis cette date les prix ont été plus faibles, avec des différences selon le diamètre et la qualité.

#### 3.4.1.4 Intérêt des peuplements mélangés

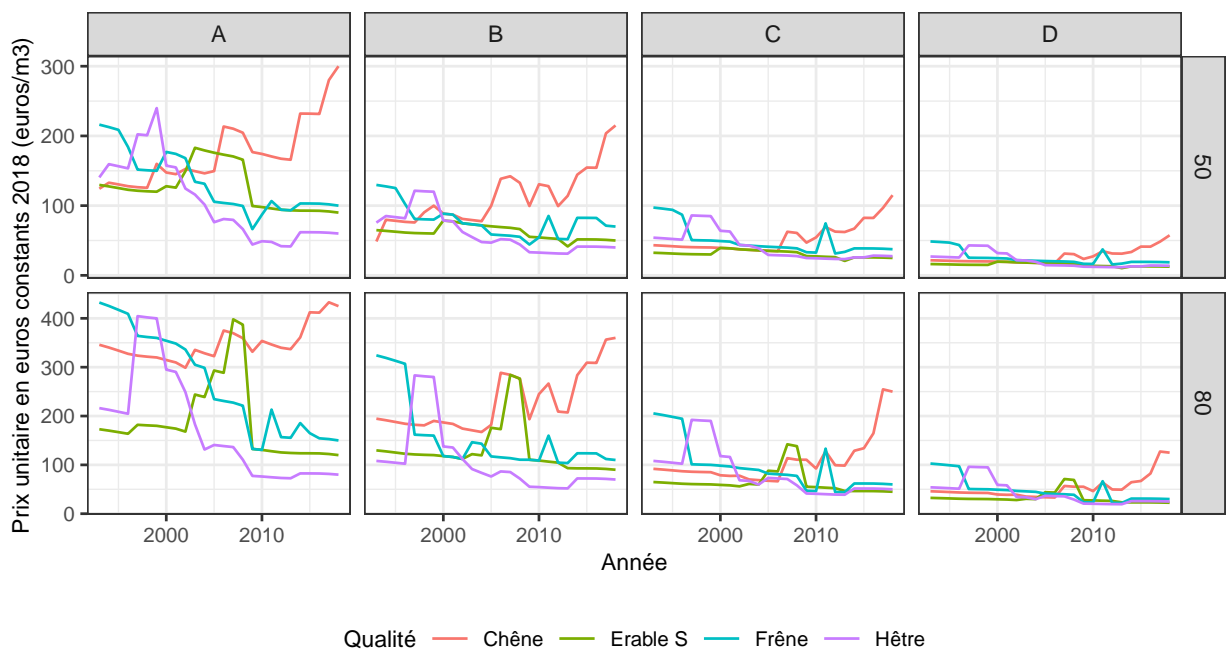


Figure 3.33 – Variation comparée du cours de 4 essences par qualité pour les classes de diamètre 50 et 80.

La figure 3.33 montre l'intérêt d'avoir des peuplements mélangés. Pour les arbres de qualité courante il y a d'abord eu la période où les cours du frêne étaient élevés (fin des années 1980, début des années 1990) suivie par une courte période où le hêtre se vendait bien, puis cela a été le cas de l'érable sycomore. Actuellement c'est le chêne qui se vend bien. Ce qui est intéressant dans cette analyse passée, c'est que les cours de ces 4 essences retenues ne sont pas corrélés.

### 3.4.2 Installation d'une double comptabilité

Pour les besoins de son suivi économique et en particulier afin de suivre l'évolution du capital en valeur, l'AFI a établi en 1995 une mercuriale fixe des prix du bois ventilée par essence, grosseur et qualité. Ces prix ont été fixés par consensus entre les experts membres de l'association, en considérant des prix moyens du marché de l'année 1995 qui depuis sert de référence. Les variables économiques telles que la valeur de consommation ou la valeur potentielle sont nécessaires pour suivre le patrimoine financier du propriétaire, mais ce sont également d'excellentes variables pour évaluer la sylviculture pratiquée à condition de les rendre indépendantes des variations du marché. En effet, lors des remesures il est important de distinguer dans l'évolution de la valeur financière la part liée aux variations du marché et celle résultant de la concentration de l'accroissement sur les tiges ayant le meilleur potentiel. Depuis 1995, la mercuriale de prix fixes retenue est la seule à avoir été utilisée. Pour pouvoir suivre les évolutions du patrimoine financier et de mettre en regard les choix de gestion avec les cours du bois, une mercuriale de prix variable a été créée.

#### 3.4.2.1 Suivi du cours des prix du bois issus de La Forêt Privée

En France, il existe de nombreux systèmes de suivi des cours du bois, chacun ayant ses propres spécificités et sa propre organisation.

La mercuriale de prix fixe de l'AFI est détaillée pour quarante-deux essences en fonction de la qualité (A, B, C et D) et de la classe de diamètre (10 à 120 avec un pas de 5 cm). Peu de systèmes de suivi existent qui détaillent à la fois la qualité et la classe de diamètre. La seule base de suivi des prix qui semble correspondre aux critères de l'AFI est la base publiée dans la revue La Forêt Privée. Elle recense les prix depuis 1958 en distinguant les essences par grosseur et qualité. Les données retenues pour l'étude sont les prix publiés chaque année pour les mois de novembre-décembre sur les ventes de bois sur pied. A chaque essence, la base de données de la Forêt Privée fournit un intervalle de prix unitaire en fonction de la classe de diamètre et éventuellement de la qualité.

Pour pouvoir faire correspondre les deux mercuriales de prix, des ajustements ont été nécessaires. Dans la base de la Forêt Privée, les diamètres commencent à la classe 25, puis vont de 30 à 80 et plus avec un pas de 10 cm. Les qualités sont distinguées pour quelques essences feuillues, chêne, hêtre et frêne en choix 1, 2 ou 3 et pour quelques essences résineuses en fonction de critères morphologiques "fût propre ou peu noueux" pour les meilleures qualités ou "branchus et mal élagués" pour les mauvaises qualités. De plus, depuis sa publication, la base de données publiée par le cabinet Chavet a subi des évolutions en termes de regroupement d'essences ce qui entraîne des discontinuités temporelles. Suite à des crises majeures, comme la tempête de 1999, ayant fortement impactées les cours du bois, certaines données peuvent être manquantes.

La mise en cohérence des deux bases a été faite de la manière suivante.

- Lorsque le détail des qualités était présent dans la base de données de la Forêt Privée, elles ont été rapprochées d'une qualité de l'AFI d'après l'intervalle de prix unitaire donné. Puis chaque essence, et qualité, présentes dans la base ont été associées, à dire d'expert, à une unique valeur de prix unitaire, qui peut être la moyenne, le minimum, le maximum ou une fraction de ces deux dernières valeurs.

- Lorsque les prix unitaires sont manquants pour une année donnée, les prix unitaires sont estimés avec les prix de l'année précédente, sauf pour l'année 2000 qui est assimilée à l'année 2001. Dans certains cas rares, où les prix unitaires manquaient sur plusieurs années consécutives, les prix de la mercuriale fixe ont été utilisés.

- Pour les classes de diamètres manquantes dans la base de la Forêt Privée, soit les prix de la base de l'AFI ont été utilisés (notamment pour les classes inférieures à 25 et supérieures à 80), soit pour les classes intermédiaires, un prix unitaire résultant de la moyenne des prix unitaires des classes inférieures ou supérieures a été attribué.

Tous ces choix ont été traduits sous forme d'un script R permettant de revenir sur les hypothèses ou d'actualiser la base de données.



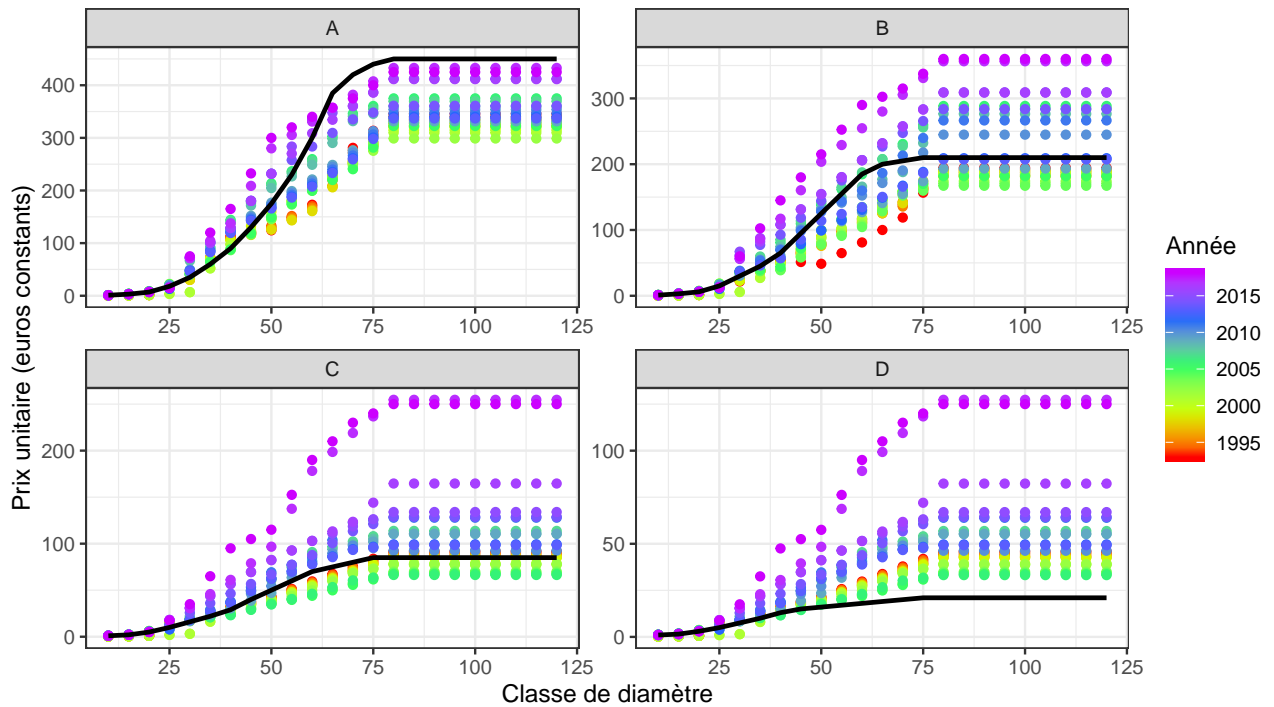


Figure 3.34 – Comparaison des deux mercuriales pour le chêne selon la qualité.

La figure 3.34 montre la correspondance entre les prix unitaires de la mercuriale de prix fixes (en noir) et de la mercuriale de prix variables pour le chêne. La mercuriale fixe de la qualité D est très en-dessous des prix issus de la Forêt Privée. Les prix de cette qualité ont beaucoup fluctué depuis la création de la mercuriale fixe de l’AFI. Les prix fixes des qualités C et B se situent dans la moyenne des prix observés depuis 1995. Les prix fixes de la qualité A se situent dans la moyenne jusqu’à la classe 60 puis sont supérieurs pour les classes suivantes.

### 3.4.2.2 Définition de nouvelles variables économiques intégrant la variabilité annuelle des cours du bois

Pour le suivi économique des dispositifs utilisant deux mercuriales de prix, l’une fixe et l’autre variable, la variation entre le prix d’une année donnée et le prix de l’année de référence, 1995 a été étudiée. Ce ratio (prix d’une année donnée/prix de l’année de référence) permet de voir les variations des cours du bois depuis la création du suivi économique de l’AFI en 1995 (voir figures au paragraphe 3.4.1). C’est ce coefficient de variation qui permet de calculer de nouvelles variables économiques intégrant les variations du cours du bois. Ainsi, la valeur de consommation calculée à partir de la mercuriale de prix variables devient :

$$V'_c = Vol \times PU_{fixe} \times \frac{PU_i}{PU_{1995}} = V_c \times Coef \quad (3.1)$$

De même, la valeur potentielle s’écrit :

$$V'_p = \frac{\delta'_{arbre}}{r} \quad (3.2)$$

où :

$$\delta'_{arbre} = Coef \times (\delta_{arbre} + \frac{\ln \frac{CoefSup}{Coef}}{5} \times V_c \times AcctD) \quad (3.3)$$

Ces nouvelles variables permettent de définir le patrimoine forestier des dispositifs en intégrant le marché du bois. Cette mercuriale variable peut également permettre d’analyser les recettes sous un autre point de vue. En effet, elles peuvent être analysées avec les données des placettes permanentes et comparées aux données réelles fournies par les gestionnaires.

### 3.4.2.3 Résultats à l'échelle du réseau AFI

Le paragraphe suivant montre les résultats de la prise en compte des variations du cours des bois sur le capital financier des dispositifs du réseau AFI, puis détaille pour quelques peuplements de chêne, hêtre et mélange feuillus, l'intérêt d'une double comptabilité.

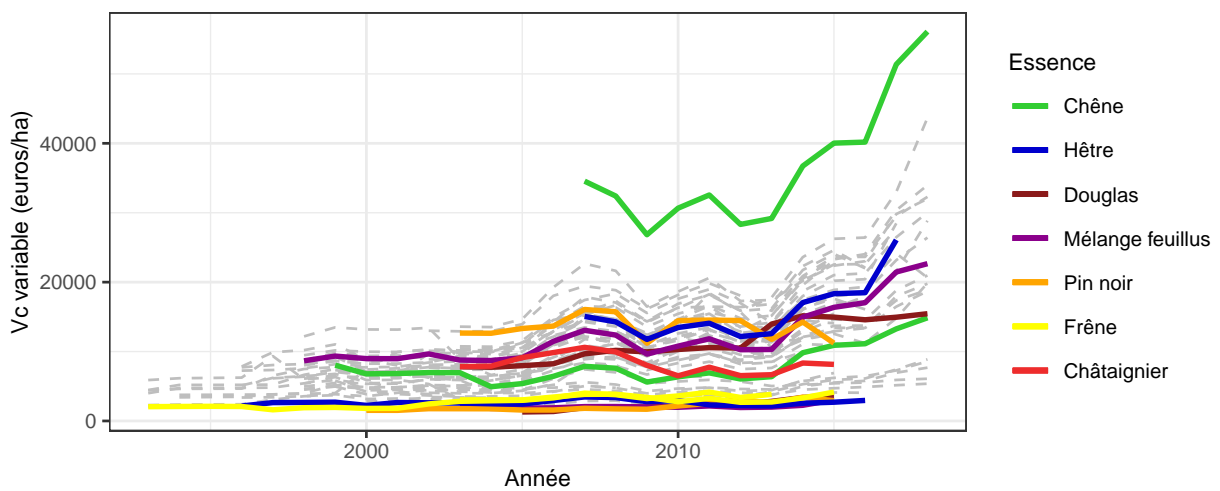


Figure 3.35 – Evolution de la valeur de consommation d'après la mercuriale de prix variables, chaque ligne correspondant à un dispositif.

La figure 3.35 montre l'évolution de la valeur de consommation pour quelques dispositifs différenciés par essence dominante. Seuls les dispositifs ayant la plus forte et la plus faible valeur de consommation au dernier inventaire ont été mis en évidence pour chaque essence. Les dispositifs de chêne sont les dispositifs avec les valeurs de consommation les plus élevées du réseau et les dispositifs de hêtre sont ceux avec un capital financier faible. Cette tendance est à mettre en lien avec les figures 3.28 et 3.30 où les cours du chêne depuis les années 2000 augmentent quels que soient le diamètre et la qualité et les cours du hêtre restent inférieurs mais sont assez stables sur la période. Par rapport à la figure 3.12 le dispositif de douglas qui avait des valeurs de consommation parmi les plus élevées du réseau, se retrouve dans la moyenne et ce sont dorénavant les dispositifs de chêne qui ont des capitaux en valeur élevés, engendrés par la hausse des prix du marché (voir figure 3.28).

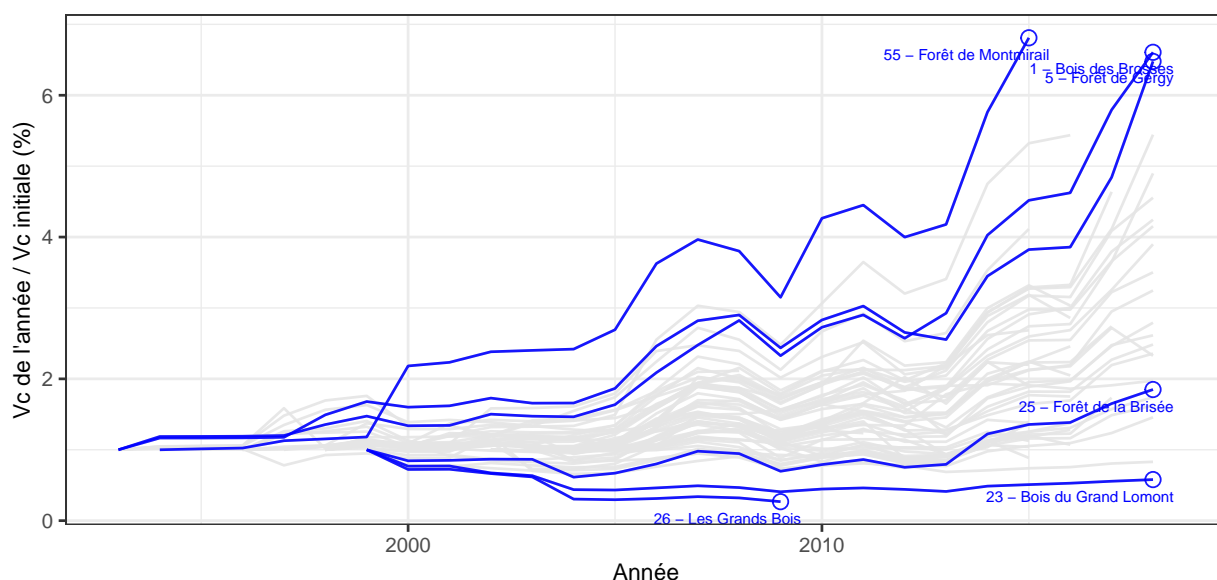


Figure 3.36 – Evolution relative de la valeur de consommation d'après la mercuriale de prix variables

Comme pour la figure 3.13, la figure 3.36 montre les dispositifs qui ont eu, en se basant sur les prix du marché, la plus forte hausse ou baisse. Les résultats sont un peu différents, mais le dispositif n° 55 reste l'un de ceux ayant la plus forte hausse de valeur et les dispositifs n° 25 et n° 23, les baisses de valeur les plus importantes. Les dispositifs n°23 et n°25 sont des peuplements mélangés avec une dominance du hêtre (respectivement 31 % et 41 % en 2019) dans les gros bois voire très gros bois. Les prix du hêtre ayant fortement baissés depuis les années 2000 (voir 3.30), cela a entraîné une baisse du capital valeur par rapport à l'année de début de suivi. Mais pour chaque dispositif, les essences secondaires en mélange permettent de compenser la chute de valeur des bois de hêtre.

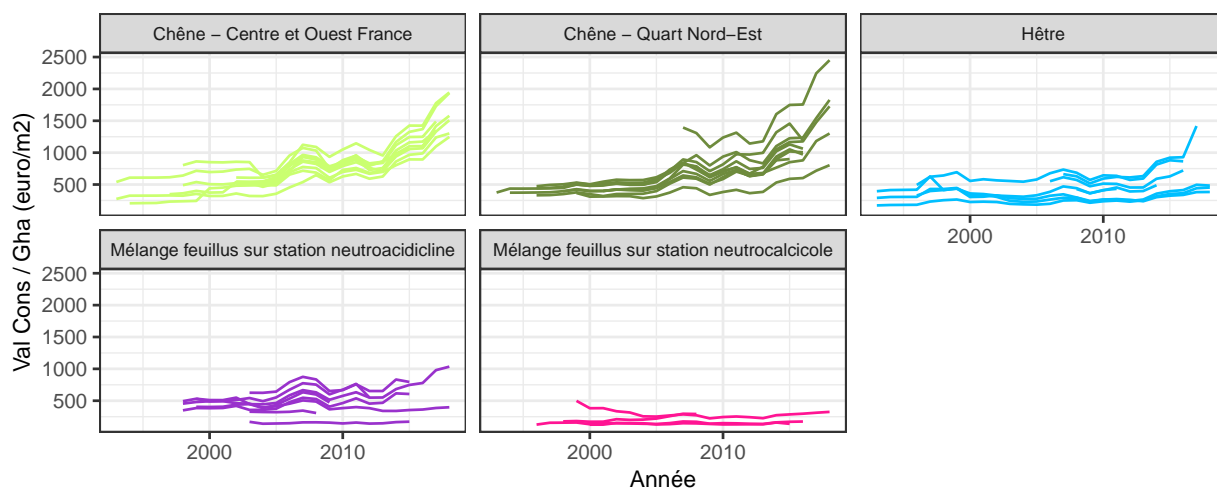


Figure 3.37 – Evolution du ratio valeur de consommation sur surface terrière par dispositif et grand contexte d'après la mercuriale de prix variables.

La figure 3.37 fait écho à la figure 3.15, mais en utilisant la mercuriale de prix variable pour les calculs de la valeur de consommation. La marge de progression la plus grande s'observe dans les peuplements de chêne avec une variabilité plus forte de ce ratio dans les chênaies du quart nord-est de la France. Contrairement à la figure 3.15, il y a de fortes disparités entre les peuplements à majorité de hêtre ou de mélange feuillus et ceux à base

de chêne.

### 3.4.2.4 Résultats particuliers : dispositifs de Gergy et du Bois du Château

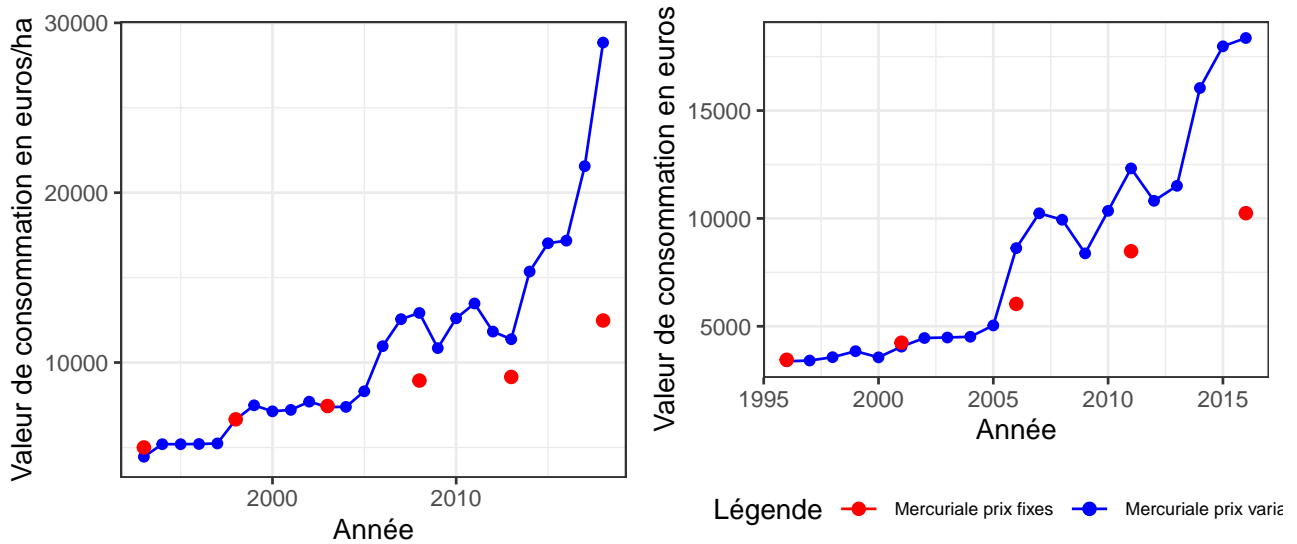


Figure 3.38 – Evolution de la valeur de consommation du dispositif 5 (à gauche) et du dispositif 15 (à droite).

La figure 3.38 permet de comparer l'évolution de la valeur de consommation des dispositifs 5 (à gauche) et 15 (à droite) calculée avec la mercuriale de prix variables (points bleus) et avec la mercuriale de prix fixes (points rouges).

Sur les dix premières années, de 1995 à 2005, les valeurs de consommation des deux mercuriales correspondent, la mercuriale de prix fixes établie par l'AFI est en accord avec les cours du bois. A partir de l'année 2005, les cours du chêne sont à la hausse ce qui accentue l'écart entre les deux estimations, la valeur de consommation obtenue avec la mercuriale de prix variable augmentant fortement. A l'installation des deux dispositifs (Gergy et Bois du Château), l'un était riche en gros bois (Gergy) et l'autre en petits et moyens bois, expliquant la différence de recettes entre les deux dispositifs. Cependant, dans les deux cas, l'effet du marché du chêne a fait considérablement augmenter la valeur de consommation.

L'existence des deux mercuriales permet de séparer dans l'évolution de la valeur de consommation la part liée au marché du bois de celle liée à la sylviculture.

### 3.4.2.5 Résultat particulier : dispositif de la Quiquengrogne

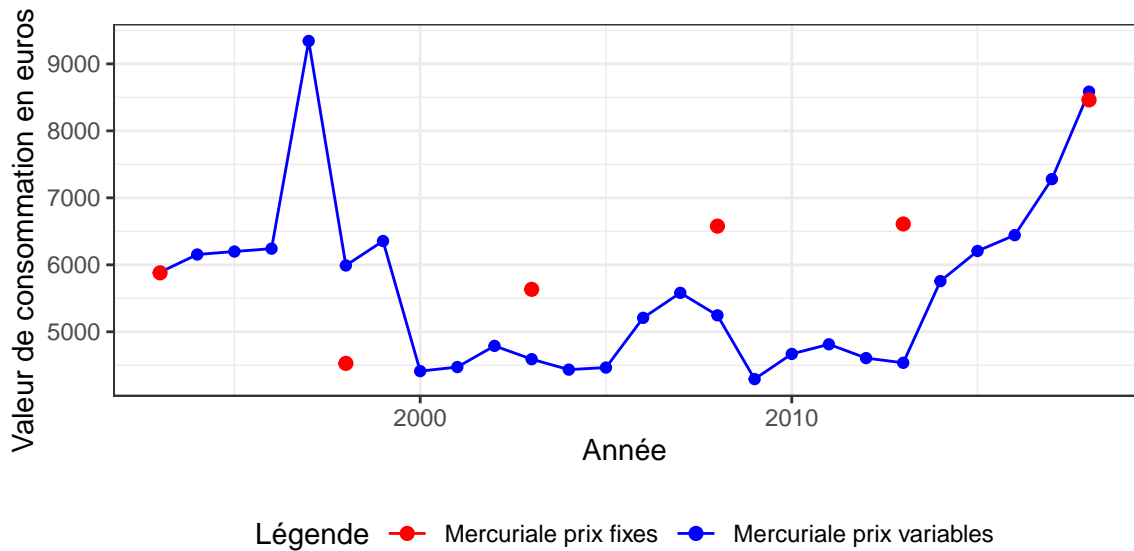


Figure 3.39 – Evolution de la valeur de consommation du dispositif 6

La figure 3.39 permet de comparer les valeurs de consommation calculées avec la mercuriale de prix variables (points bleus) et avec la mercuriale fixe (points rouges) pour le dispositif de la Quiquengrogne, dans un contexte stationnel très favorable au hêtre.

#### Commentaires

- La figure 3.39 permet de retrouver l'effondrement des cours du hêtre suite à la tempête de 1999. Depuis 2003 la valeur de consommation a fortement augmenté, à part à peu près égale entre la sylviculture et le marché du bois, le cours des chênes ayant contribué beaucoup plus fortement que le cours du hêtre.
- Malgré des évolutions différentes, les deux mercuriales conduisent à une estimation actuelle très proche.
- Après une baisse de la valeur de consommation, la mercuriale de prix fixes montre une augmentation de la valeur du peuplement grâce à une gestion qualitative du peuplement.

#### 3.4.2.6 Résultat particulier : dispositif du Bois du Grand Lomont

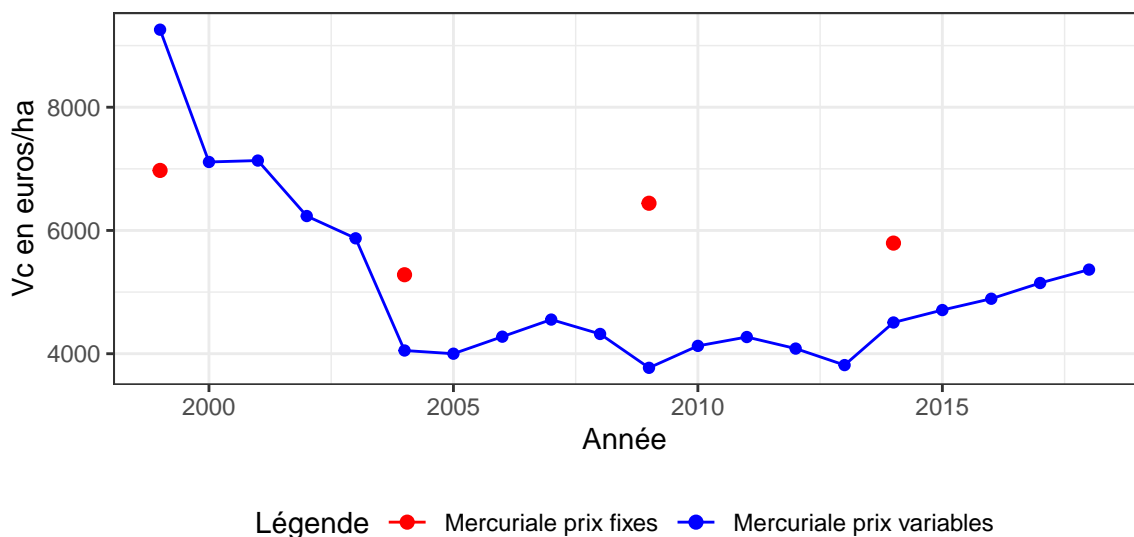


Figure 3.40 – Evolution de la valeur de consommation du dispositif 23

La figure 3.40 permet de comparer les valeurs de consommation calculées avec les deux mercuriales pour le dispositif du Bois du Grand Lomont, dans un contexte stationnel moins favorable au hêtre et aux autres essences d'accompagnement (sapin pectiné, frêne, érable, chêne). Moins riche en chêne et avec une réserve en eau plus faible que le dispositif n°6, le dispositif n°23 n'a pas encore atteint sa valeur de consommation initiale. Elle conforte l'hypothèse que la légère augmentation des cours du hêtre (voir figure 3.29) ne suffit pas à expliquer la forte augmentation de la valeur de consommation du dispositif n°6. Cette hypothèse est validée par la figure 3.41 qui présente la valeur de consommation différenciée par essence : chêne, hêtre et sapin pectiné.

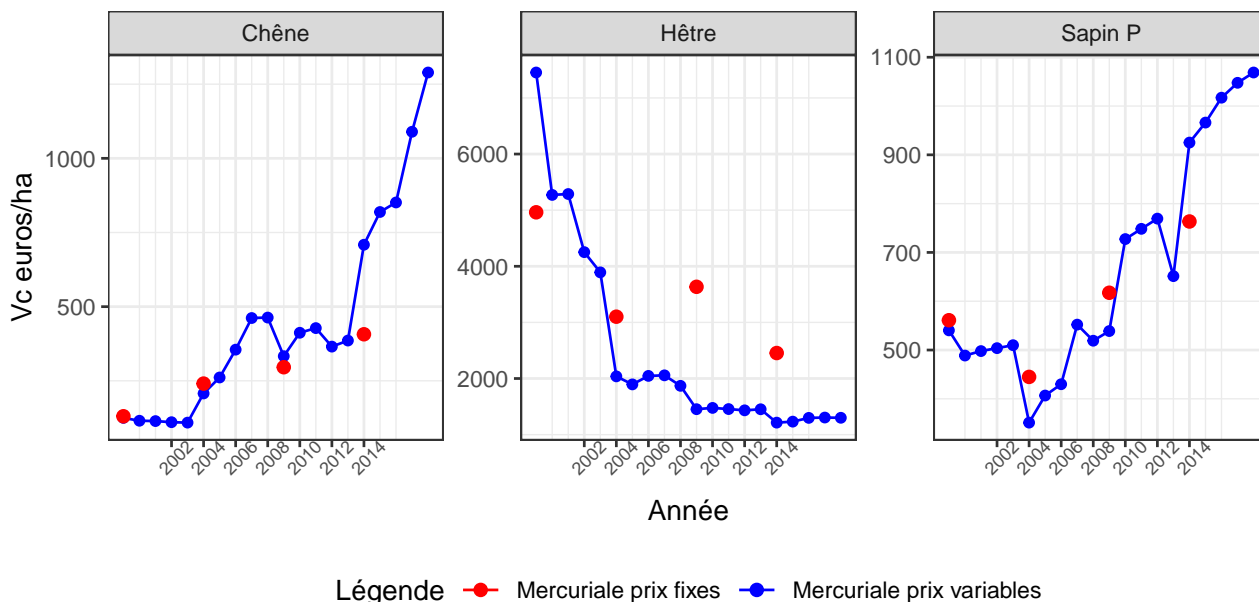


Figure 3.41 – Evolution de la valeur de consommation du dispositif 23 pour quelques essences

La figure 3.41 permet de montrer l'intérêt d'avoir des peuplements mélangés, dans les stations qui le permettent. Alors que les cours du hêtre se sont effondrés à partir des années 2000, faisant baisser la valeur du capital financier de ce peuplement, le mélange en chêne et sapin pectiné permet de faire face à cette baisse car les cours de ces deux essences sont en augmentation. Cela a pu compenser, en partie, la baisse sur le hêtre.

### 3.4.2.7 Discussion et conclusion

L'installation d'une double comptabilité au sein du réseau AFI permet d'apporter des éclairages nouveaux sur l'analyse économique du capital sur pied. Les résultats avec la mercuriale de prix variables permettent une meilleure adéquation aux réalités du marché, des estimations du capital financier des dispositifs. Cependant, la mercuriale de prix fixes reste d'actualité puisqu'elle permet de suivre l'effet de la gestion sur la valeur d'un peuplement, tout en s'affranchissant des cours du bois. L'AFI dispose donc de deux grilles qui répondent chacune à des exigences différentes : l'une à des enjeux économiques et l'autre à des enjeux sylvicoles.

La création d'une double comptabilité était devenue une nécessité surtout dans le cas des peuplements dont le chêne est l'essence prépondérante. La mercuriale de prix variable est venue compléter celle à prix fixe. Associées, elles permettent de distinguer dans l'évolution de la valeur de consommation la part qui est imputable à la sylviculture de celle qui est liée au marché. La mercuriale de prix variable permet de comparer les recettes liées aux ventes de bois avec les estimations de valeurs calculées à l'aide des placettes permanentes.

# Chapitre 4

## Bilan écologique

Il sera appréhendé sous l'angle de l'évolution de la diversité des espèces arborées par grands contextes stationnels, mais aussi sous celui de la naturalité dans ses composantes bois mort et importance des gros bois.

### 4.1 Suivi du bois mort

#### 4.1.1 Bois mort total

Le bois mort, qu'il soit au sol ou sur pied, est un habitat pour un grand nombre d'espèces animales ou végétales. C'est un indicateur de maturité et donc de naturalité de l'écosystème forêt. C'est par ailleurs un habitat qu'il est assez facile de quantifier <sup>a</sup>. Dans le protocole AFI, la décision de suivre cet habitat date d'environ une dizaine d'années (voir figure 4.1). Le bois mort y est caractérisé par son type (sur pied ou au sol), sa dimension et son stade de décomposition basé sur une note d'écorce et une de dureté. Les données relatives au bois mort sont disponibles sur l'ensemble des dispositifs du réseau mais seulement quelques uns ont fait l'objet de deux ou trois mesures (45 et 39 dispositifs ont fait l'objet respectivement de 2 et 3 mesures de bois mort au sol ou sur pied).

Le bois mort au sol peut être la conséquence d'un chablis, d'une exploitation ou de la chute totale ou partielle d'un bois mort sur pied.

<sup>a</sup>. Le bois mort sur pied peut être mesuré de manière assez efficace à l'aide de placettes PCQM, le bois mort au sol par le biais de placettes linéaires.

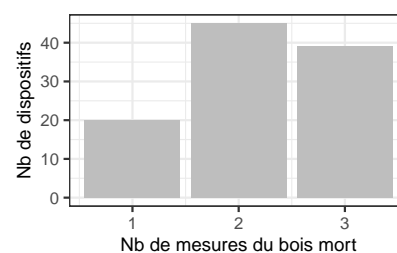


Figure 4.1 – Ancienneté de la mesure du bois mort : histogramme du nombre de dispositifs par nombre de mesures de bois mort, chaque mesure étant séparée de 5 ans.

Dans un arbre les éléments minéraux se trouvent principalement concentrés dans les parties fines, feuilles, rameaux, petites branches. L'apport régulier de bois mort au sol permet de maintenir sa fertilité et donc sa productivité sur le long terme. Sur les sols pauvres chimiquement comme par exemple les grès vosgiens, les producteurs savent qu'il est spécialement utile de laisser en forêt les rémanents (diamètre inférieur à 7 cm).

#### 4.1.1.1 Volume total

La figure 4.2 fournit des ordres de grandeur de l'habitat bois mort présent sur le réseau AFI, qu'il soit au sol ou sur pied. Elle cherche également à répondre à la question de l'évolution globale de ces deux types de bois mort. Elle permet de constater :

- que le bois mort au sol est beaucoup plus présent que le bois mort sur pied (attention les ordonnées ne sont pas à la même échelle) ;
- une forte variabilité entre dispositifs ;
- il y a eu peu d'évolution des stock de bois mort entre le début et la fin des périodes de suivi (entre 5 et 10 ans selon les dispositifs).

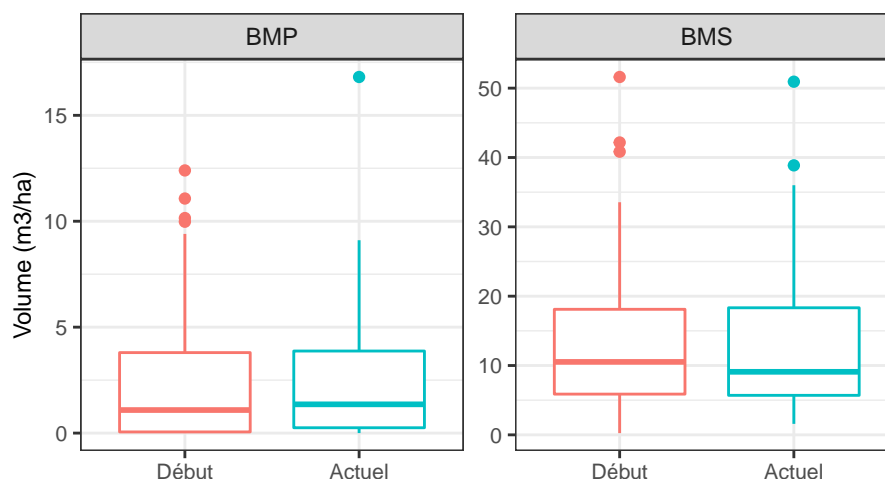


Figure 4.2 – Evolution de l'importance du volume de bois mort sur pied (BMP) et au sol (BMS).

La figure 4.3 confirme que la principale différence entre les réserves forestières (voir encadré ci-dessous) et les forêts gérées réside dans la plus faible quantité de bois mort sur pied de ces dernières. Les données des dispositifs situés en réserves forestières proviennent de la base de données PSDRF, fournie par l'association Réserves Naturelles de France. Les dispositifs peuvent avoir plusieurs modalités de gestion selon le statut de la réserve où ils sont localisés : dispositifs gérés, non gérés ou mixtes (possédant des placettes gérées et non-gérées). Le jeu de données utilisé portent sur les dispositifs situés hors réserve biologique, soit 62 sites. Dans cette figure, un dispositif AFI peut être présent plusieurs fois (fonction du nombre de fois où le bois mort a été inventorié).

Les réserves forestières regroupent des réserves biologiques (RB) et des réserves naturelles (RN). Les réserves biologiques sont un statut de protection spécifique aux espaces relevant du régime forestier. Les divers statuts de réserves naturelles sont en revanche applicables à tous types de statuts fonciers. La stratégie nationale de création d'aires protégées (SCAP) a confirmé la complémentarité des domaines d'emplois de ces deux grands statuts <sup>a</sup>. La typologie des RN repose sur l'autorité de classement : État pour les réserves naturelles nationales (RNN), Régions pour les réserves naturelles régionales (RNR), Collectivité territoriale de Corse pour les réserves naturelles de Corse (RNC). Pour les réserves biologiques (toutes créées par l'État), la dichotomie principale repose sur les principes de gestion : absence de toute exploitation pour les réserves biologiques intégrales (RBI), gestion conservatoire particulière pour les réserves biologiques dirigées (RBD). On regroupe communément sous l'intitulé « réserves forestières » la plupart des réserves biologiques, les réserves naturelles à dominante forestière ainsi que les réserves intégrales des Parcs Nationaux. La création d'une réserve forestière ne signifie pas nécessairement que l'exploitation de bois y est proscrite. Si c'est systématiquement le cas pour les réserves biologiques intégrales, l'exploitation de bois perdure dans une majorité des réserves naturelles. Ainsi, la base PSDRF présente-t-elle à la fois des peuplements en libre évolution (dont la date d'arrêt d'exploitation est variable) et des peuplements exploités (environ un tiers des placettes PSDRF).

<sup>a</sup>. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la mer, 2010. – Stratégie de création des aires protégées terrestres métropolitaines. Le choix des outils de protection en question. – 20 p.



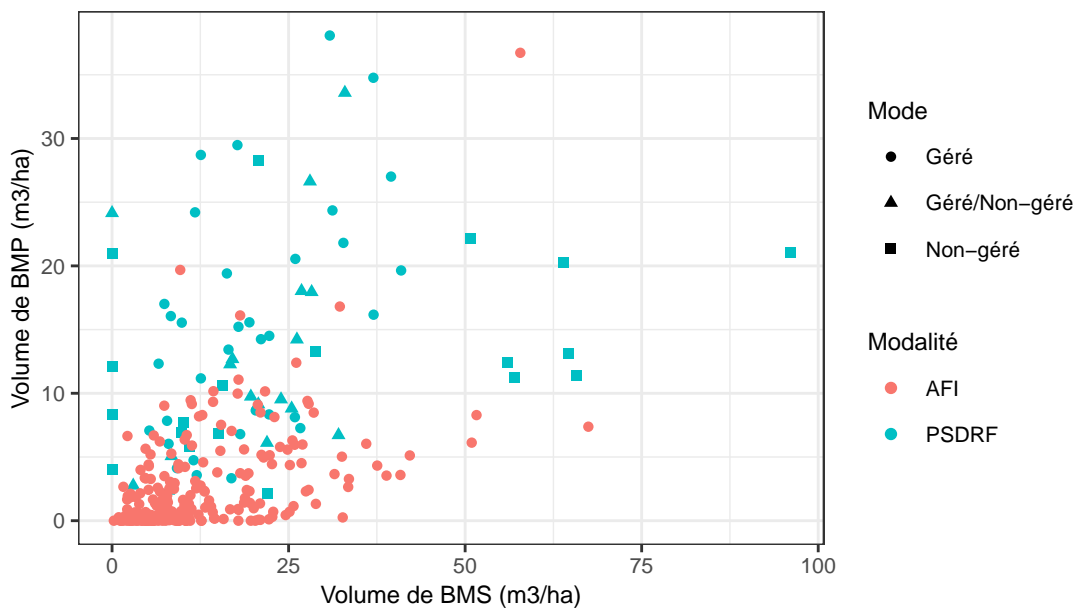


Figure 4.3 – Comparaison du volume de bois mort au sol et sur pied entre les dispositifs AFI et PSDRF.

#### 4.1.1.2 Volume des pièces supérieures à 30 cm

La figure 4.4 compare également pour les deux bases AFI et PSDRF les volumes de bois mort, mais uniquement pour les dimensions supérieures à 30 cm. Elle montre que les forêts gérées possèdent beaucoup moins de bois mort de grosse dimension, aussi bien au sol que sur pied. Elle montre également, pour les réserves forestières, une corrélation même si elle est faible entre bois mort au sol et sur pied. Dans les peuplements non exploités, s'il n'y a pas de chablis, le compartiment bois mort au sol est alimenté par des branches mortes ou par la chute de tout ou partie du bois mort sur pied.

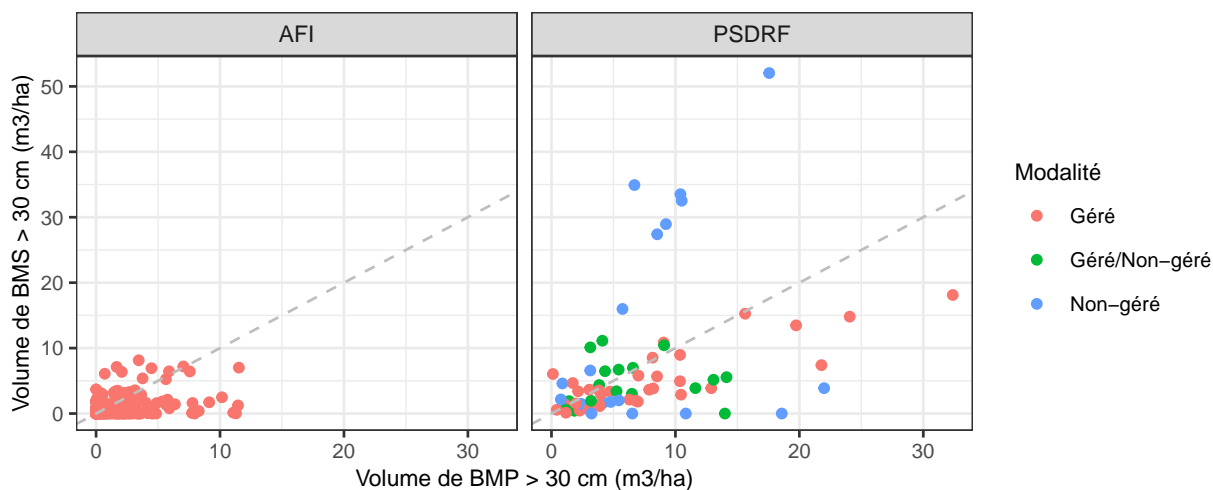


Figure 4.4 – Comparaison entre les dispositifs AFI et PSDRF du volume de bois mort au sol et sur pied de dimension supérieure à 30 cm. La droite en pointillé correspond à la première bissectrice.

La quantité de bois mort sur pied dans les forêts gérées étant faible, les paragraphes suivants ne concerneront que le bois mort au sol.

## 4.1.2 Bois mort au sol

Dans les forêts gérées, la conservation des rémanents lors des coupes permet facilement de réalimenter le compartiment bois mort au sol de petite dimension (diamètre inférieur à 7,5 cm). Par une action plus volontariste, le choix de garder des diamètres plus conséquents et en quantité suffisante permet également de maintenir ou développer le potentiel fongique du sol. Or les champignons sont les transformateurs les plus actifs de la lignine et donc contribuent au bon fonctionnement des sols. La question est : quels sont les seuils de bois mort, par dimension, en dessous duquel l'écosystème forêt devient moins «efficace» ?

### 4.1.2.1 Diamètres des bois morts au sol

La première partie de la figure 4.5 détaille, pour les trente premiers dispositifs, la biomasse morte au sol par classe de diamètre au dernier inventaire. La deuxième partie de la figure présente pour l'ensemble des dispositifs, la biomasse morte au sol au dernier inventaire par classe de diamètre.

Cette figure permet de constater une grande hétérogénéité des distributions de diamètre. Certains dispositifs, peu nombreux, ont des pièces de bois mort au sol de diamètre supérieur à 30 cm, mais cela reste encore très anecdotique. Le bois mort au sol est majoritairement de diamètre inférieur à 30 cm (ligne verticale en pointillés) y compris pour les dispositifs comme les numéros 16 et 18 qui ont un volume global de bois mort au sol assez élevé. Les volumes de bois mort au sol importants proviennent en général de chablis non exploités.

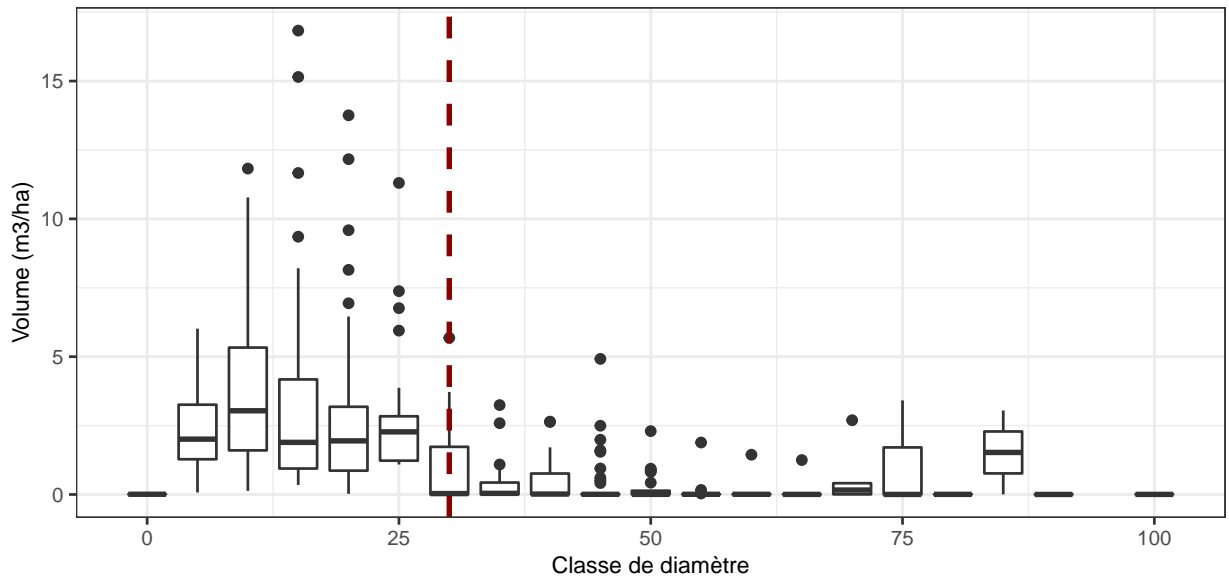
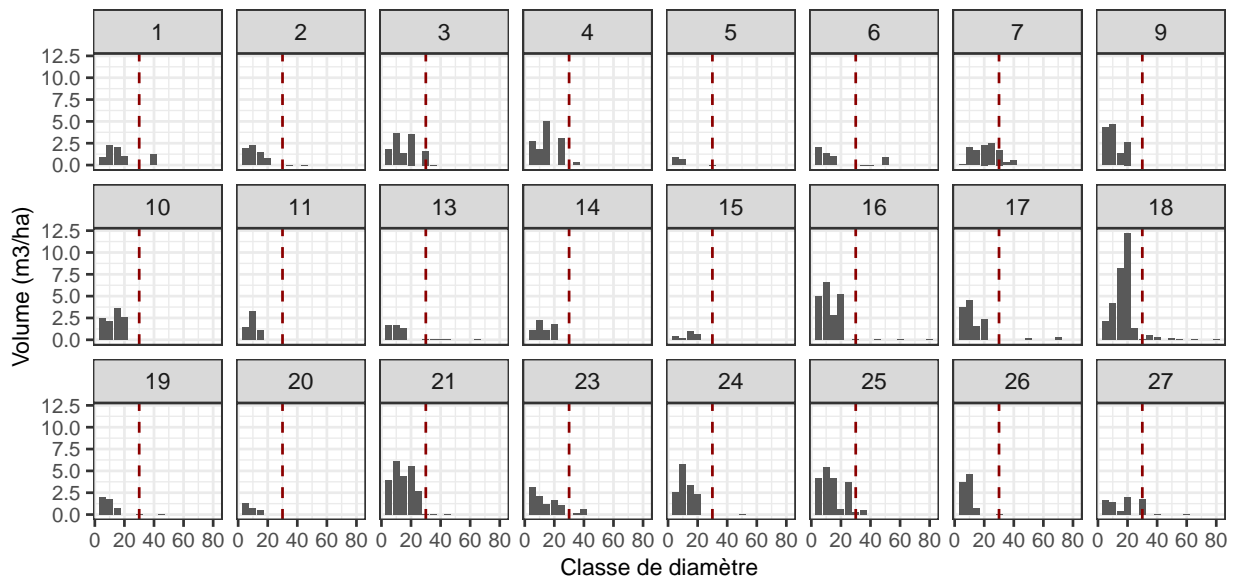


Figure 4.5 – Histogrammes du volume de bois mort au sol par classe de diamètre et dispositif.

La figure 4.6 concerne les dispositifs ayant fait l'objet de 2 ou 3 inventaires de bois mort. Sa partie gauche montre l'évolution des volumes de bois mort au sol par classe de diamètre entre le premier (courbe rouge) et le dernier inventaire (courbe bleue). La classe 30 est mise en évidence par un trait vertical. La période de suivi n'étant que de 5 ou 10 ans, les volumes de bois morts sont assez semblables.

Le graphique de droite de la figure 4.6 représente l'évolution des volumes de bois mort de plus de 30 cm de diamètre entre le premier et le dernier inventaire. Les volumes de bois mort sont moins hétérogènes au dernier inventaire qu'au premier (pas de valeurs extrêmes, de 3-4 m<sup>3</sup>/ha), mais sont aussi plus faibles. Le volume médian qui était de 0,5 m<sup>3</sup>/ha aux premiers inventaires, est quasi nul sur les derniers inventaires.

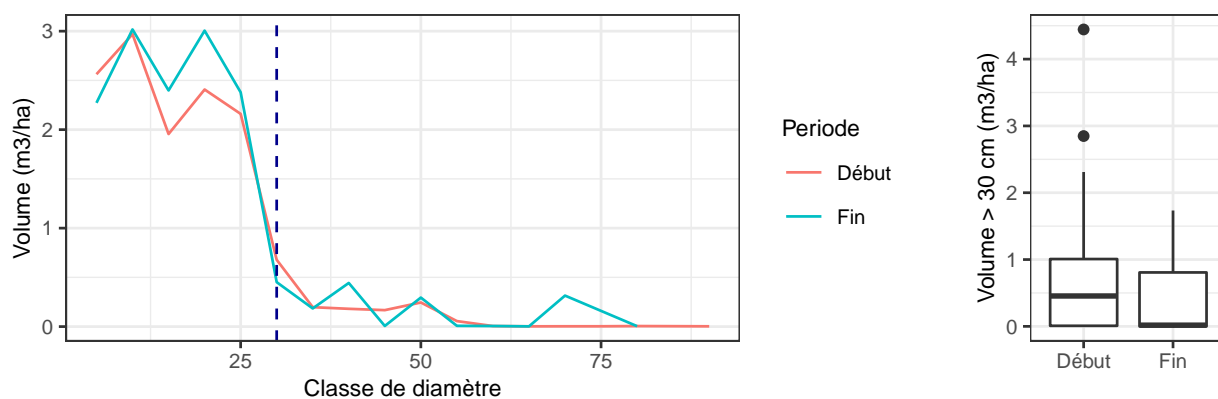


Figure 4.6 – Evolution moyenne du volume de bois mort au sol pour les dispositifs ayant fait l’objet d’au moins 2 mesures.

#### 4.1.2.2 Type de bois mort au sol

Les premiers stades de la décomposition concernent certaines espèces de champignons ou insectes. Après les recycleurs, viennent les détritivores (essentiellement des invertébrés) qui se nourrissent de matière organique plus évoluée. Toutes les espèces saproxyliques ayant un rôle à jouer à un stade donné, la diversité des stades contribue à la qualité de l’humus forestier.

L’idéal serait donc d’avoir une bonne représentativité des classes de décomposition et une bonne répartition spatiale des débris. Avec la sensibilisation de plus en plus forte des gestionnaires à conserver du bois mort en forêt, cette diversité des stades de dureté, même si elle soulève un problème d’étalonnage, mérite d’être suivie.

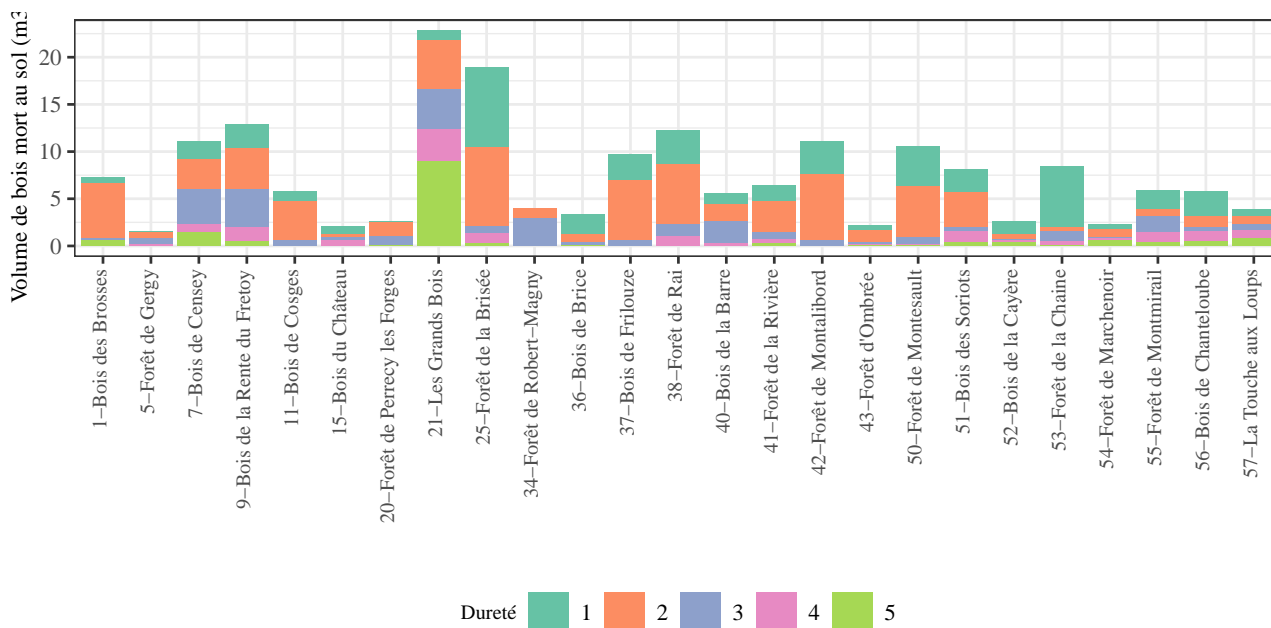


Figure 4.7 – Importance lors du dernier passage, du volume de bois mort au sol, par dispositif de chêne et classe de dureté.

La figure 4.7 détaille, pour les dispositifs ayant plus de 4 cycles de mesure et où le chêne est l’essence prépondérante, la biomasse morte au sol par classe de dureté constatée lors du dernier inventaire. Elle permet de constater qu’un nombre important de dispositifs ont moins de 5 m<sup>3</sup>/ha de bois mort au sol et que la majorité

en ont moins de 10 m<sup>3</sup>/ha, ce qui est faible. Les classes de dureté permettent de déterminer qualitativement le niveau d'altération du bois. A l'AFI, l'altération du bois est classée en cinq catégories : de la classe 1, bois dur et non altéré à la classe 5, pourriture du bois supérieure au 3/4 du diamètre.

La figure 4.8 s'intéresse au peuplement à base de hêtre. Les classes de dureté un peu plus évoluées (classe 3 et plus) sont légèrement plus présentes, mais pour les deux essences les pièces de bois mort au sol sont à des niveaux d'altération peu avancés.

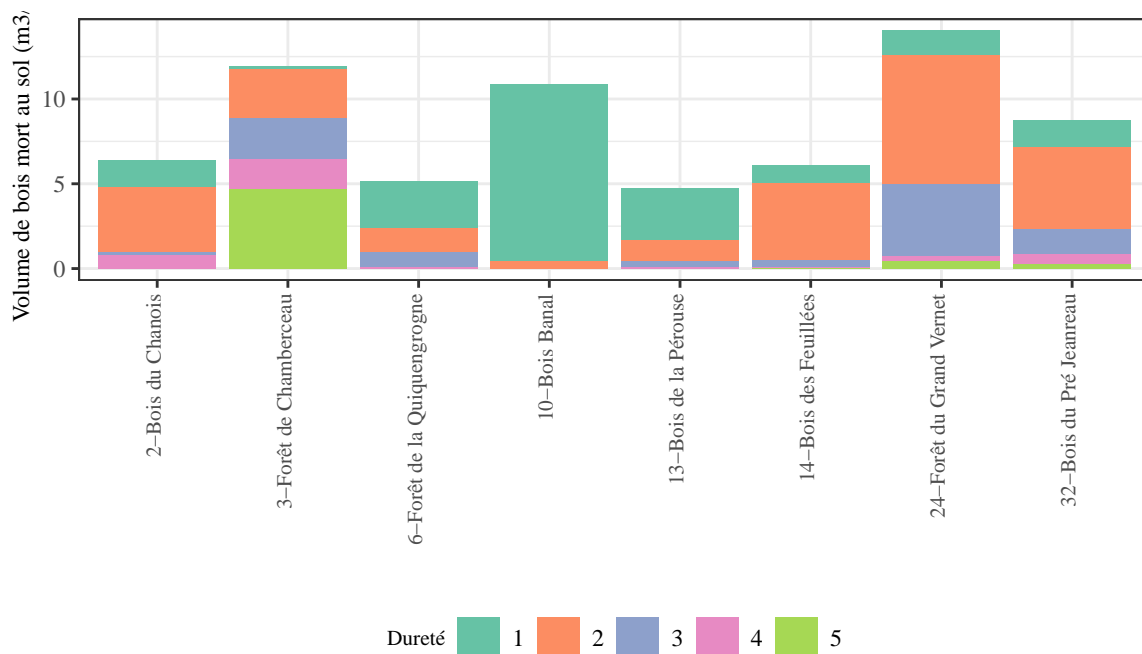


Figure 4.8 – Importance lors du dernier inventaire, du volume de bois mort au sol, par dispositif de hêtre et classe de dureté.

#### 4.1.2.3 Evolution du bois mort au sol

La figure 4.9 permet d'aller dans le détail des évolutions par dispositif AFI. Dans cette figure seuls les dispositifs ayant fait l'objet d'au moins deux campagnes de mesure de bois mort ont été retenus. Un dispositif peut donc être présent deux fois, s'il a eu trois inventaires. Elle montre qu'il existe une corrélation temporelle pour le bois mort au sol : le volume de bois au sol mesuré cinq ans plus tard est corrélé au volume mesuré initialement (la ligne en pointillé correspond à la première bissectrice). Ce résultat est logique dans la mesure où le laps de temps entre les deux séries de mesure est court.

Dans cette figure seuls les numéros des dispositifs ayant à l'origine plus de 5 m<sup>3</sup>/ha de bois mort au sol et situés 10 % au dessus de la première bissectrice ont été affichés. Les dispositifs 82, 95, 113 et 119 affichés en rouge ont vu leur stock de bois mort sur pied diminuer (voir figure 4.15).

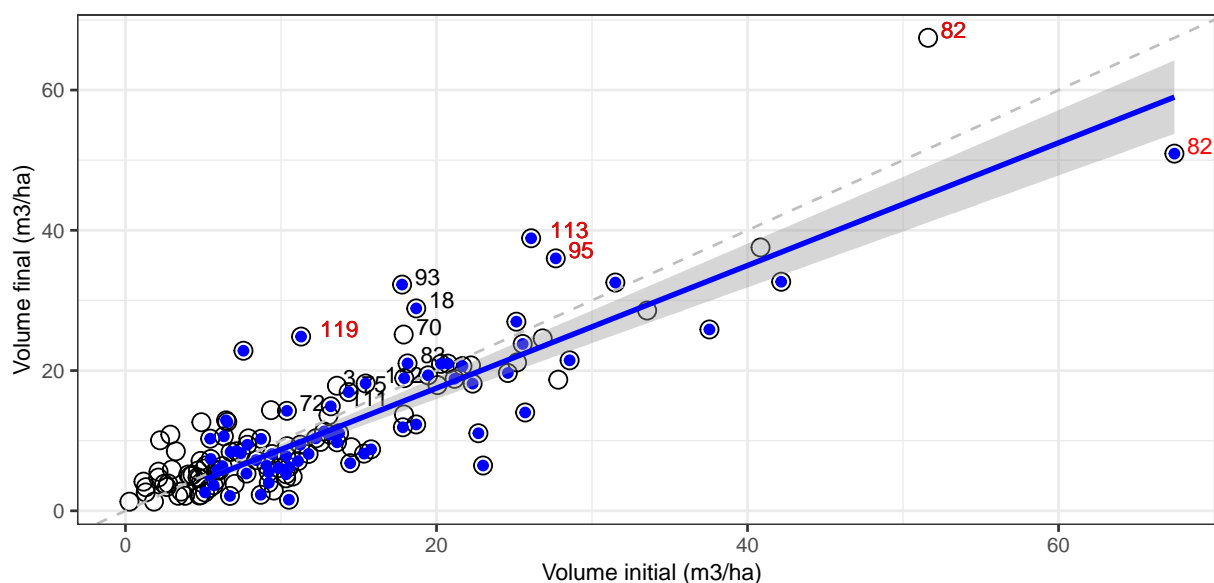


Figure 4.9 – Evolution du volume de bois mort au sol (BMS) entre l'état de départ et l'état 5 plus tard.

Dans la figure 4.9, les points en bleu correspondent aux dispositifs ayant à l'origine plus de 5 m<sup>3</sup>/ha de bois mort au sol et n'ayant pas eu de coupe sur la période. Dans ce cas, la variation du stock de bois mort au sol est le résultat de la différence entre les apports (éventuels chablis, chute de branches ou de bois morts sur pied) et les départs (diminution de la dimension des différents billons au sol). La pente de la courbe en bleu peut alors être une façon d'estimer sous forme de borne inférieure, la vitesse de disparition du bois mort au sol. Elle est d'environ 13 % en 5 ans, soit 2.6 % par an.

Le protocole de suivi du bois mort au sol pourrait être amélioré en notant la distance au centre du billon échantillonné. Cela permettrait de distinguer les billons nouveaux et donc de mieux approximer la vitesse de décomposition du bois mort au sol.

#### 4.1.2.4 Apport de bois mort au sol

La figure 4.10 fournit pour quelques dispositifs numérotés à la figure 4.9, l'apport en bois mort procuré par la coupe sous forme de valeurs absolues ou de ratios entre les valeurs des inventaires initiaux ou finaux. Cet apport varie entre 1.7 et 15.8 m<sup>3</sup>/ha de bois mort de diamètre supérieur à 7,5 cm. Son montant est très lié à la sensibilité du gestionnaire sur l'importance de cet habitat et de l'essence.

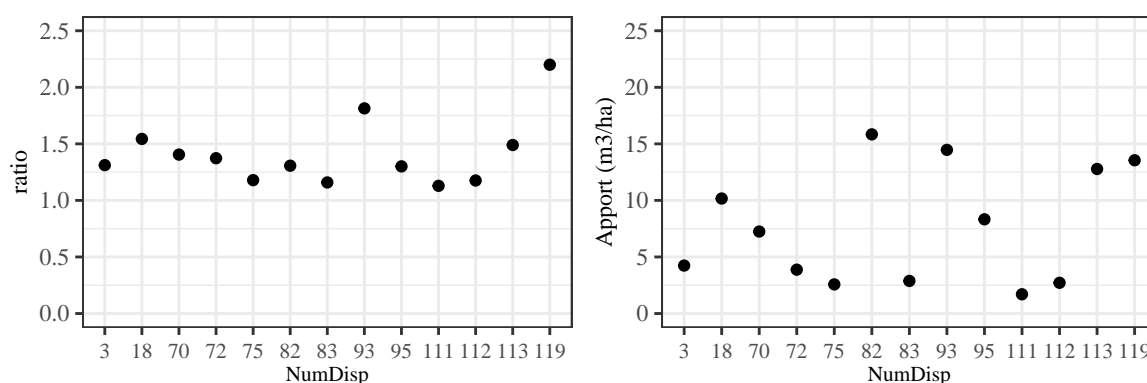


Figure 4.10 – Ratio et apport de volume de bois mort au sol entre l'état de départ et l'état actuel pour les dispositifs ayant fait l'objet d'une coupe.

### 4.1.3 Bois mort sur pied

#### 4.1.3.1 Diamètre du bois sur pied

La première partie de la figure 4.11 détaille la biomasse morte sur pied par classe de diamètre présente lors du dernier inventaire pour les dispositifs du réseau les plus récents et ayant eu un inventaire du bois mort sur pied. Cette figure permet de constater la très faible quantité de bois mort sur pied ainsi que la grande hétérogénéité des distributions de diamètre. Pour la plupart des dispositifs, le bois mort sur pied représente à peine plus de 2 m<sup>3</sup>/ha. Les valeurs extrêmes sont souvent issues de dispositifs ayant subi des tempêtes. Des regroupements par stations ou type de peuplement n'ont pas montré d'effet sur les volumes de bois mort sur pied.

La deuxième partie de la figure 4.11 présente la biomasse morte sur pied par classe de diamètre, au dernier inventaire, pour tous les dispositifs du réseau. Elle permet de constater que les résultats observés sur les premiers dispositifs, sont vrais pour l'ensemble du réseau (faible quantité de bois mort sur pied, hétérogénéité des distributions de diamètre).

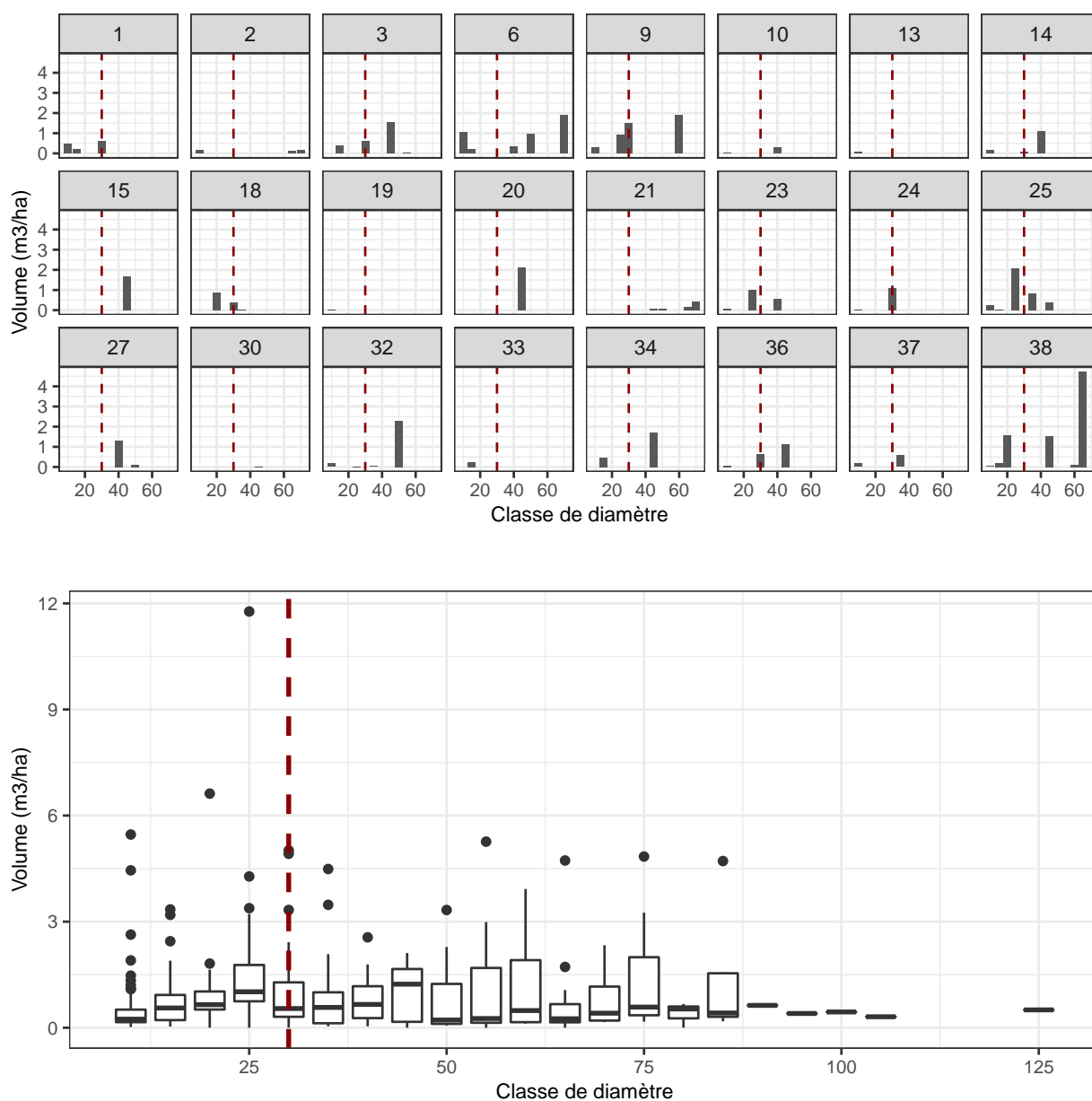


Figure 4.11 – Histogrammes du volume de bois mort sur pied par classe de diamètre et dispositif.

La figure 4.12 fournit pour les dispositifs ayant fait l'objet de 2 ou 3 mesures, les histogrammes moyens (tous dispositifs confondus) du volume de bois mort sur pied au début et à la fin de la période de suivi. La période de suivi n'étant que de 5 ou 10 ans, les 2 histogrammes sont proches, les différences étant non significatives.

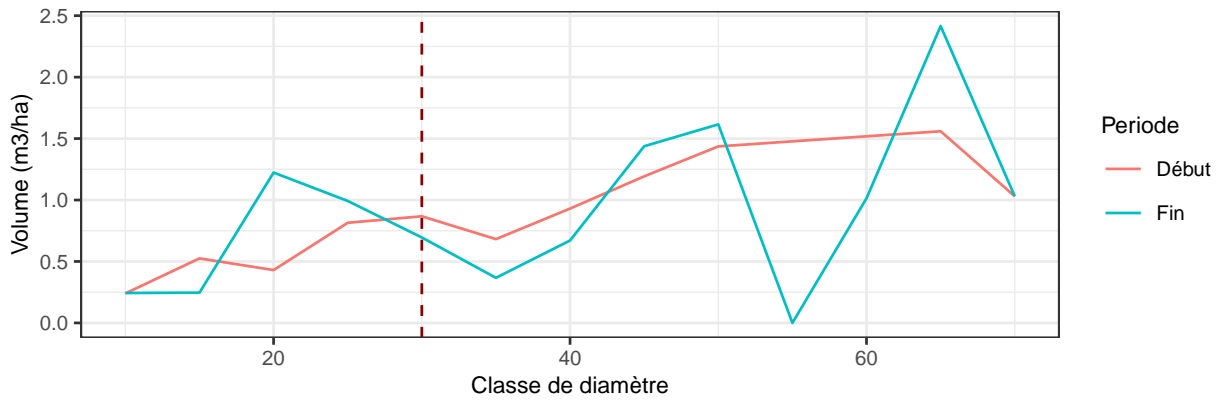


Figure 4.12 – Evolution moyenne du volume de bois mort sur pied pour les dispositifs ayant fait l'objet d'au moins 2 mesures.

#### 4.1.3.2 Type de bois mort sur pied

La figure 4.13 présente la répartition des bois morts sur pied par classe de dureté pour des peuplements riches en chênes. La grande majorité des bois morts sur pied est d'un niveau de décomposition faible voire moyen, la position du bois mort influant grandement sur la vitesse de décomposition. Le dispositif 38 a un volume de bois sur pied élevé comparé aux autres dispositifs, qui traduit une volonté du gestionnaire de laisser des bois morts.

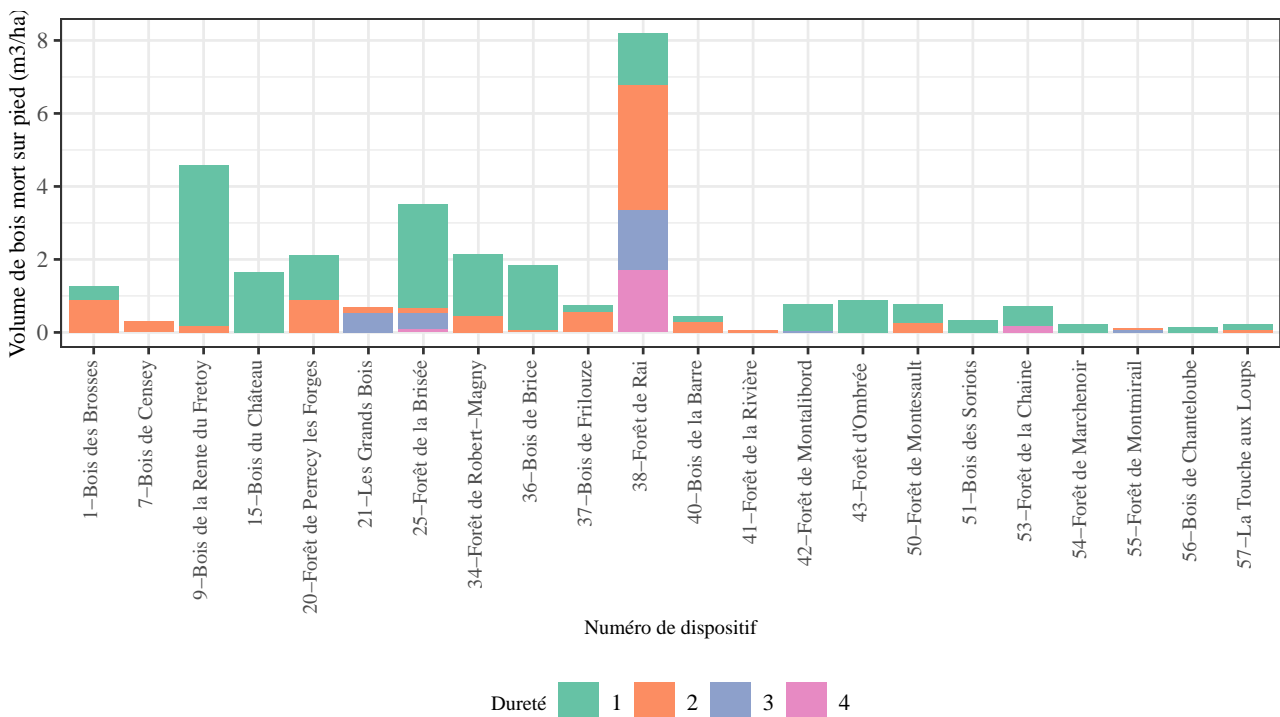


Figure 4.13 – Importance lors du dernier passage, du volume de bois mort sur pied, par dispositif de chêne et classe de dureté.



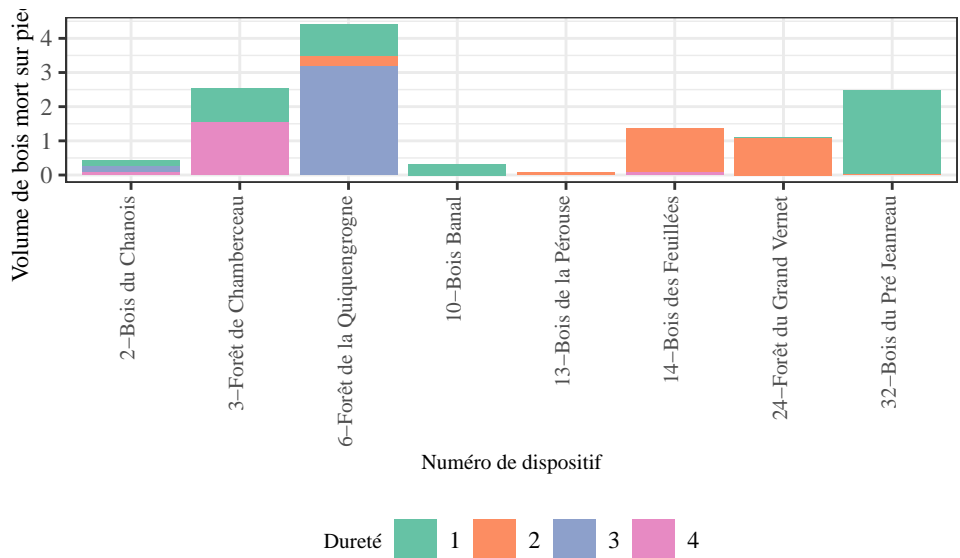


Figure 4.14 – Importance lors du dernier passage, du volume de bois mort sur pied, par dispositif de hêtre et classe de dureté.

#### 4.1.3.3 Evolution du bois mort sur pied

Sur la figure 4.15 ne sont représentés que les numéros des dispositifs ayant plus de 3 m<sup>3</sup>/ha de bois mort sur pied. Cette figure permet de constater que l'évolution du bois mort sur pied est beaucoup plus variable que celle du bois mort au sol. Les raisons peuvent être multiples : évolution normale de la tige qui se décompose et finit par tomber au sol, mais aussi partie du protocole à améliorer. Les nouvelles fiches de terrain permettent depuis quelques années de vérifier le devenir des arbres dénombrés bois mort au cycle précédent. Cette évolution du protocole devrait permettre de réduire l'effet opérateur (effort de recherche du bois mort sur pied).

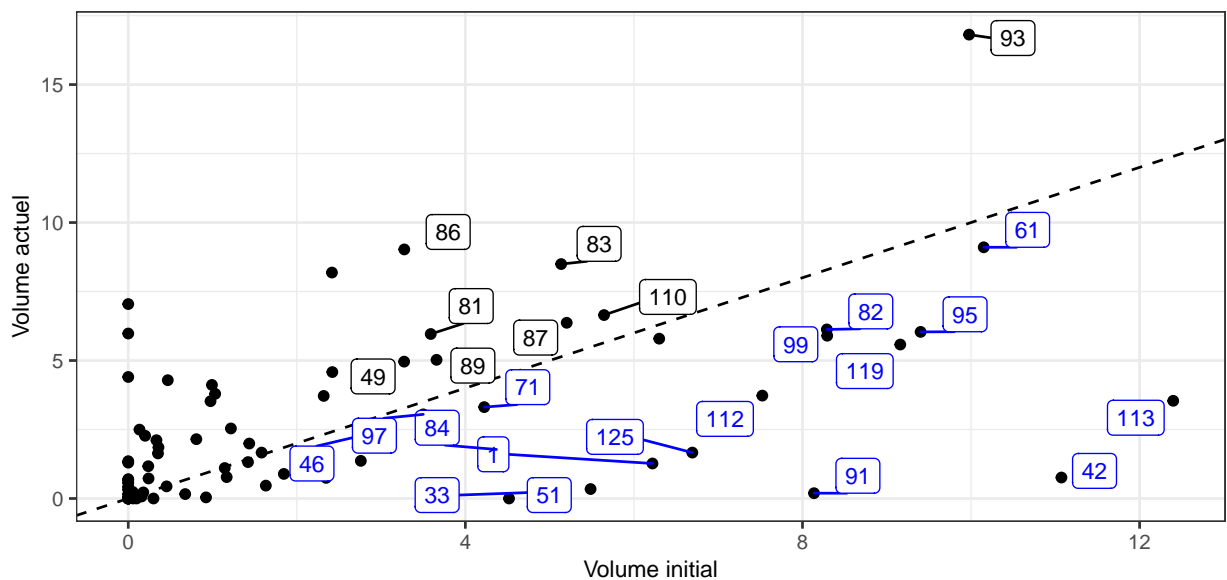


Figure 4.15 – Evolution du volume de bois mort sur pied (BMP) entre l'état de départ et l'état actuel.

#### 4.1.3.4 Ratio bois mort sur pied - bois vivant

La figure 4.16 permet de comparer l'importance relative du bois mort sur pied par rapport au bois vivant selon les essences. Les essences peu fréquentes ne sont pas représentées.

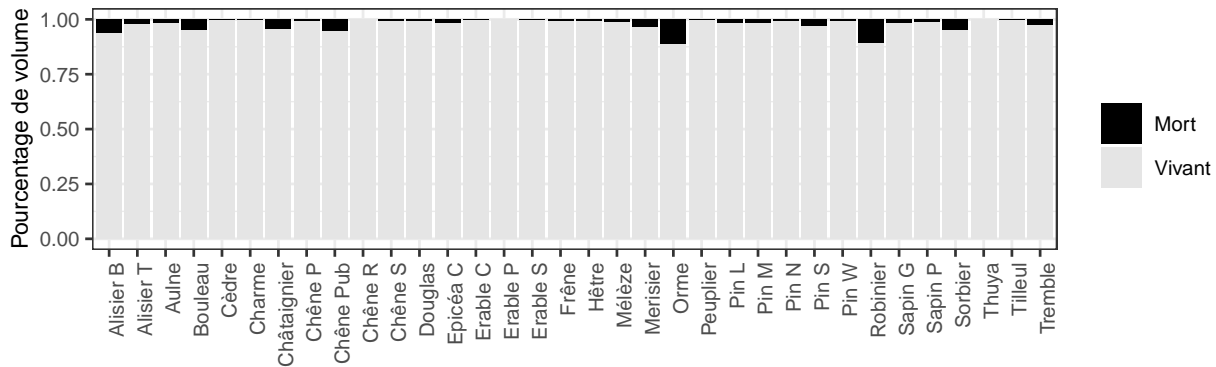


Figure 4.16 – Part de bois mort sur pied selon les essences.

L'orme, le robinier et l'alisier blanc sont les essences possédant la plus forte proportion de bois mort sur pied (entre 15 et 20 %). A l'inverse le bois mort sur pied des chênes sessile et pédonculé ne représentent qu'à peine 1% du volume vivant. Les essences sur lesquelles se portent les interrogations actuelles, hêtre dans le cadre des changements globaux, frêne pour la chalarose, ont peu de bois mort sur pied. Cela signifie que la mortalité de ces deux essences n'est pas assez forte pour que le gestionnaire soit dépassé.

#### 4.1.4 Bilan bois mort

Le réseau AFI permet de dresser un premier bilan sur la gestion du bois mort dans les parcelles échantillonnées. Les constats sont les suivants :

- La quantité de bois mort est relativement variable d'un peuplement à l'autre. Elle est davantage fonction de la gestion pratiquée, c'est-à-dire de la volonté du gestionnaire de maintenir une certaine quantité de bois mort, que du niveau de matériel sur pied ou de la composition du peuplement.
- Le ratio entre le volume de bois mort et le volume de bois total est un indicateur considéré par de nombreux naturalistes comme un indicateur plus significatif que la simple valeur absolue du volume de bois mort au sein d'un peuplement. Il est généralement admis qu'un peuplement présente une quantité de bois mort significative si elle représente plus de 10 % du volume total de bois. On peut retenir à titre indicatif que le volume de bois mort relevé au sein du réseau varie entre 5 et 50 m<sup>3</sup>/ha, avec des ratios compris entre 3 et 15 %.
- La quantité de bois mort au sol est toujours supérieure à celle du bois mort sur pied (rapport généralement de  $\frac{3}{4}$  -  $\frac{1}{4}$ ).
- Le bois mort de faible diamètre (inférieur à 30 cm) représente presque toujours l'essentiel du volume de bois mort inventorié. Il n'y a que rarement des chablis ou des billons de diamètres supérieurs à 30 cm.
- Les branches mortes des réserves ainsi que la mortalité des petits brins du sous-étage sont les principaux facteurs naturels qui viennent alimenter le volume de bois mort au sol. Le ramassage ou non des rémanents après coupe influe assez fortement sur ce volume.
- L'intervention d'une coupe semble être un élément d'apport de bois mort non négligeable via les rémanents laissés au sol.
- Pour le bois sur pied, c'est bien la volonté du gestionnaire de laisser des individus secs sur pied ou non qui influe sur ce volume.
- Si la surface terrière et la composition ne semblent pas influencer sur la quantité de bois mort, la structure semble parfois intervenir : le volume de bois mort sur pied de faible diamètre (inférieur à 30 cm) est fonction de la richesse du sous-étage (perches ou taillis).
- Les dispositifs AFI situés en zone montagneuse semblent présenter plus de bois mort, lié aux conditions d'exploitation plus délicates (plus de rémanents laissés au sol ainsi que de chablis non exploités).

La vitesse de décomposition du bois mort au sol est une donnée rare et le besoin de mieux la connaître est à l'origine des choix faits dans le protocole PSDRF. La base AFI est plus ancienne y compris en terme de mesure de bois mort, bien que moins détaillée pour son suivi. L'ordre de grandeur de la vitesse de décomposition (2.6 % par an) fourni par le réseau AFI est une première information intéressante. Ce premier résultat sur les flux de bois mort devra être conforté dans le temps et comparé à ceux issus de la base PSDRF. Une volonté de maintenir un capital bois mort suffisant (au moins 15-20 m<sup>3</sup> de bois mort au sol et 5 m<sup>3</sup> de bois mort sur pied), doit permettre à cette sylviculture de confirmer son action favorable sur l'habitat bois mort, primordial pour le fonctionnement de l'écosystème forêt. Cette volonté de maintenir ou encourager à laisser du bois mort sur pied doit aussi être réfléchi par rapport à la responsabilité du propriétaire et à la sécurité des personnes circulant dans la forêt.

## 4.2 Suivi d'indicateurs de naturalité

### 4.2.1 Diversité en essence

Même si la biodiversité ne peut se résumer à la diversité en arbres<sup>1</sup>, il est couramment admis que le mélange d'espèces arborées est le garant d'une forte diversité des autres communautés vivantes. Puisque arbres et espèces associées ont coévolué<sup>2</sup>, la diversité non artificielle<sup>3</sup> des arbres peut être considérée comme un indicateur de la qualité écologique d'un peuplement.

Par ailleurs il est utile de rappeler que l'un des objectifs de l'AFI est de concilier production de bois et état de conservation de l'écosystème forestier. La diversité des arbres au sein d'un même peuplement est aussi une sorte d'auto-assurance face aux risques de variations des cours du bois et des possibles dépérissements qu'ils soient liés ou non aux changements globaux.

La figure 4.17 présente une approche globale de l'évolution de l'indice de richesse<sup>4</sup> selon 4 grands contextes stationnels. Elle illustre l'évolution du nombre d'essences présentes depuis le début de la période de suivi jusqu'à la période actuelle (dernier inventaire). Elle montre que tous les dispositifs possèdent au moins deux essences et qu'en général le nombre d'essences est beaucoup plus élevé, certains en possédant plus d'une dizaine. Comme l'on pouvait s'y attendre, les dispositifs sur stations plus riches chimiquement (calcaires ou limono-argileux) ont en moyenne une diversité supérieure (vérifiée au niveau statistique) à celle mesurée sur les stations plus acides et/ou hydromorphes, même s'il peut y avoir des exceptions.

La figure 4.17 montre que la gestion pratiquée n'a pas simplifiée la diversité en arbres puisqu'en moyenne elle n'a pas diminuée. Dans le cas des calcisols la biodiversité a même augmenté durant la période de suivi. Sur stations hydromorphes, classiquement, les tentatives de gestion en futaie régulière entraînent des remontées de nappe qui ont conduit les gestionnaires de l'époque à introduire de nouvelles essences et donc à augmenter artificiellement la diversité en arbres. Les gestionnaires actuels qui pratiquent la conversion vers des futaies irrégulières, essaient de valoriser toutes les essences, y compris celles dont l'introduction n'était pas très judicieuse.

---

1. Les insectes représentent plus de la moitié de la diversité des espèces présentes sur Terre. On admet également que seulement 10% des espèces d'insectes présents sur Terre sont connus.

2. En biologie, la coévolution décrit les transformations qui se produisent au cours de l'évolution entre deux ou plus de deux espèces à la suite de leurs influences réciproques. Avec le regard du producteur de bois, ces dernières peuvent être négatives (système hôte-parasite) ou bien positives (mutualisme).

3. L'objectif n'est pas de fabriquer des arboretums.

4. La richesse est définie comme le nombre d'espèces sur une surface donnée, dans notre cas le dispositif (la parcelle).

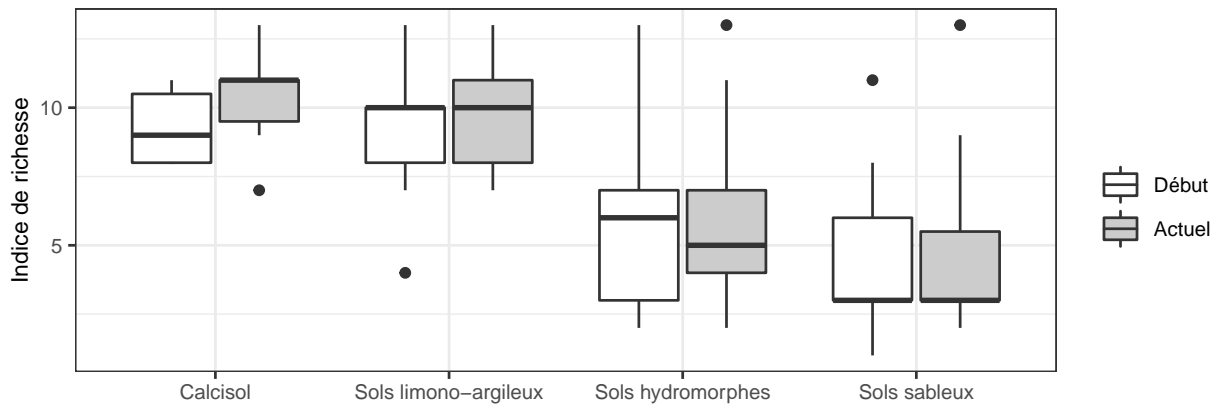


Figure 4.17 – Evolution de l'indice de richesse selon 4 grands types de sols.

Les figures 4.18 et 4.19 permettent de détailler cette analyse par dispositif et cycle de mesure. Elles montrent respectivement l'évolution au cours du temps de l'indice de richesse (figure 4.18) et celui de diversité de Shannon<sup>5</sup> (figure 4.19) entre le début du suivi et l'état actuel. Dans ces figures les flèches vertes correspondent à une augmentation, les rouges à une diminution.

L'indice de Shannon calculé sur les essences synthétise à la fois le nombre d'essences précomptables et leur répartition. Une valeur de l'indice de Shannon ( $H$ ) proche de zéro signifie que tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce, ou que chaque espèce du peuplement est représentée par un seul individu. L'indice est maximal lorsque le nombre d'espèces augmente et quand tous les individus sont répartis d'une façon égale entre ces espèces.

Il est possible de formuler comme hypothèse que les gestionnaires essaient d'utiliser au mieux toutes les essences présentes et qu'ils donnent en général un bonus à celles minoritaires. Cette stratégie conduirait à ce que l'indice de richesse varie peu et que l'indice de diversité de Shannon augmente légèrement au cours du temps.

5. L'indice de diversité de Shannon est donné par la formule  $H = -\sum p_i \log_2(p_i)$  où  $p_i$  correspond au pourcentage de l'essence. Il est calculé en pourcentage de surface terrière.

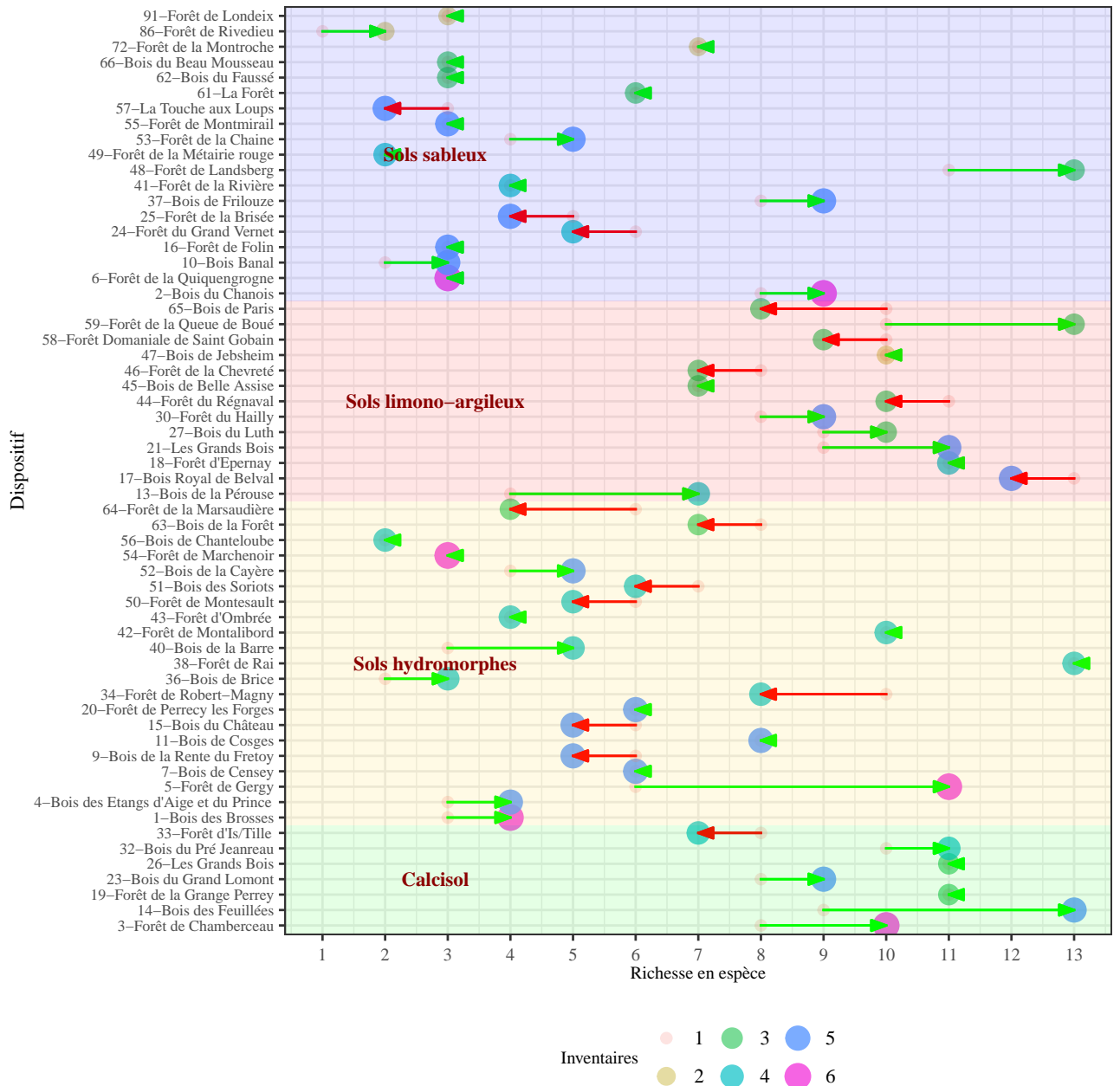


Figure 4.18 – Détail de l'évolution de l'indice de richesse selon 4 grands types de sols.

Les figures 4.17, 4.18 et 4.19 montrent que cette hypothèse est globalement vraie, même si certains dispositifs peuvent la contredire partiellement.

- Sur sols hydromorphes, en moyenne la richesse est restée identique, mais il y a eu plus de dispositifs qui ont baissé que de dispositifs qui ont augmenté.

- Les dispositifs n°34 (Robert Magny), 64 (Marsaudière) et 65 (Bois de Paris) sont les seuls dont l'indice de richesse a baissé de plus d'une essence : perte du tremble et du bouleau dans le cas du dispositif 64, épicéa et bouleau pour le dispositif n°34.

- Le dispositif n°5 (Gergy), situé sur sol hydromorphe a vu sa richesse particulièrement augmenter. Cela s'explique par l'introduction dans le passé de résineux qui atteignant le stade de perche deviennent précomptables.

- Le dispositif n°38 (Forêt de Rai) est différent : il contient un grand nombre d'essences feuillues (dont le châtaignier) mais aussi des résineux dont certains comme le sapin est un écotpe particulier dénommé sapin de l'Aigle ou de Normandie. C'est un dispositif particulièrement riche en essence.

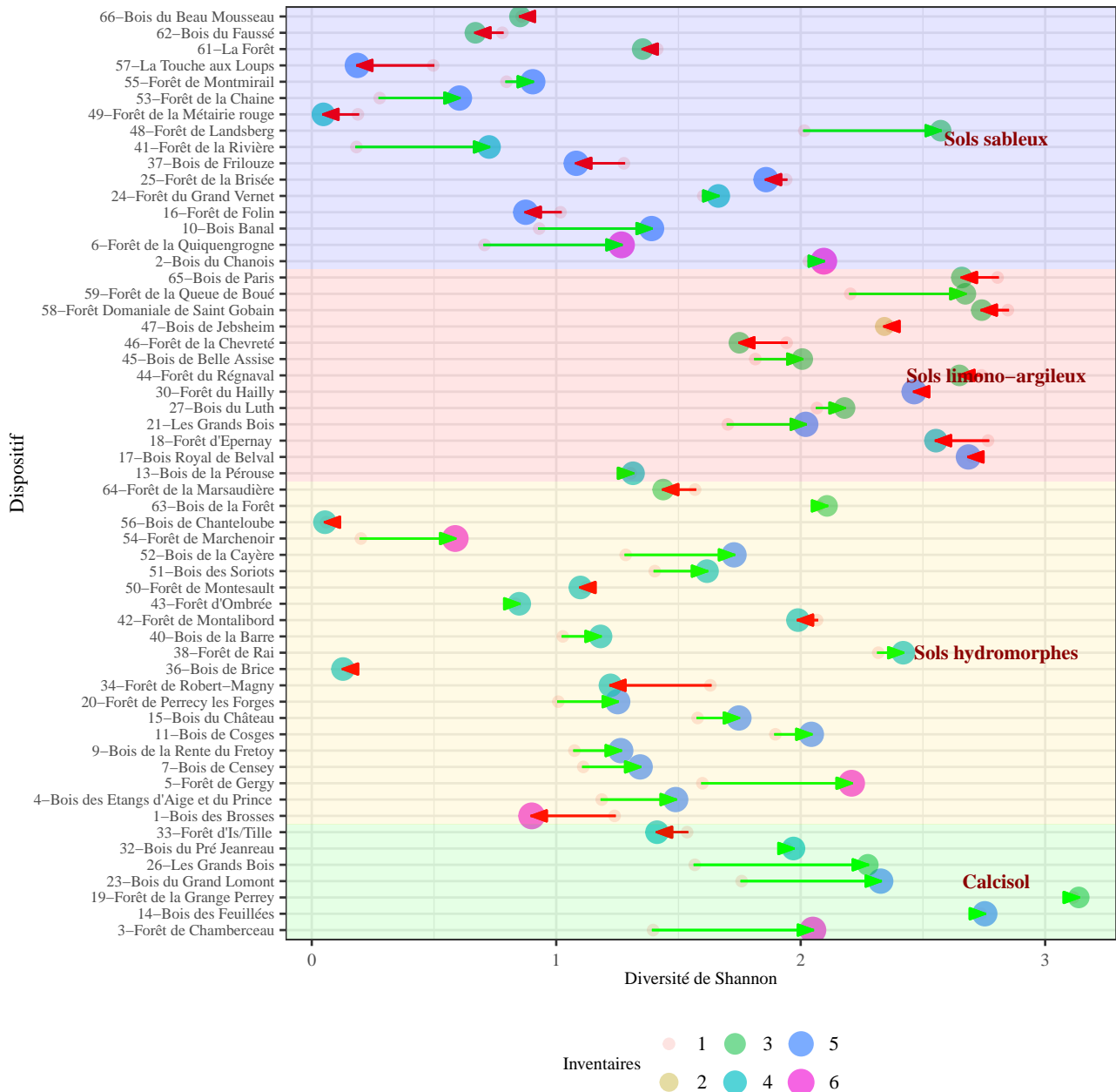


Figure 4.19 – Détail de l'évolution de l'indice de diversité de Shannon selon 4 grands types de sols.

La figure 4.19 permet également de constater que les gestionnaires cherchent à valoriser la forte diversité potentielle des calcisols, mais plus étonnant celle des sols hydromorphes. En effet, entre le premier et le dernier inventaire, l'évolution de l'indice de Shannon a été positive (flèche verte). Alors que sur ces derniers l'indice de richesse baisse assez souvent, l'indice de Shannon augmente<sup>6</sup>.

Dans les deux autres contextes stationnels, il y a eu à peu près autant d'augmentation que de diminution de l'indice de Shannon.

6. Rappel : l'indice de Shannon intègre la richesse en espèce, mais aussi la régularité de leur répartition.

### Commentaires

Vouloir maximiser la richesse en espèce d'un peuplement n'a pas forcément du sens. Lorsque l'on cherche à quantifier la biodiversité, la question de l'indigénat des espèces et de la quantité d'habitats ou de dendro-microhabitats naturellement présents dans un écosystème se pose assez rapidement. S'intéresser à la naturalité doit permettre d'apprendre à satisfaire la fonction économique des forêts tout en minimisant les intrants et les impacts. Ce glissement vers la naturalité n'est pas une remise en cause du concept de biodiversité. La biodiversité doit être une conséquence de la naturalité, une naturalité élevée étant synonyme de biodiversité non artificiellement élevée. Un arboretum possède une grande diversité d'arbres mais une très faible naturalité. Parmi les indicateurs de naturalité nous allons nous intéresser à ceux liés à la maturité : importance du bois mort au sol ou sur pied, importance des gros bois vivants et présence de dendro-microhabitats.

## 4.2.2 Etat de conservation des habitats

La figure 4.20 reprend une partie de la méthodologie proposée par la commission scientifique du groupe forêt de Réserves Naturelles de France<sup>7</sup> pour évaluer l'état de conservation des habitats.

Cette méthodologie nécessite de connaître le volume de bois mort, or cette variable n'a été mesurée que récemment. Cette figure ne correspond donc pas à l'évolution de l'état de conservation au cours du temps. Cette figure prend en compte plusieurs critères de structure désignés d'intérêt pour évaluer l'état de conservation d'un habitat :

- La structure horizontale du peuplement, notamment à travers la présence des différentes catégories de diamètre. La meilleure note étant attribuée aux habitats dans lesquels l'ensemble des catégories de diamètre est observé. Mais aussi, par la proportion de très gros bois qui permettent la présence d'une faune et flore spécifique et offrent de nombreux dendro-microhabitats. La note maximale est attribuée aux habitats où les TGB représentent au moins 15 % de la surface terrière.

- Le bois mort qui est essentiel car il offre habitat et nourriture pour une faune et flore nombreuses. Il s'évalue par le ratio volume bois mort/volume bois total qui exprime une potentialité en fonction de la productivité du peuplement, par la présence de bois mort supérieur à 30 cm de diamètre et par la diversité des stades de décomposition présents.

Pour faire un réel diagnostic de l'état de conservation des habitats, d'autres critères entrent en compte, mais ne seront pas développés ici, tels que la composition et la fonctionnalité des habitats.

La figure 4.20 a été construite en sélectionnant tous les dispositifs du réseau AFI ayant au moins quatre inventaires. Pour chaque cycle, les notes attribuées à chaque critère de structure résultent d'une moyenne des notes de chaque dispositif. Cette figure permet de présenter des peuplements très divers, tant au niveau de l'historique de gestion que d'habitats. Sur les premiers cycles, les notes relatives au bois mort sont mauvaises, contrairement aux critères dendrométriques. Ces peuplements montrent des forêts gérées ayant un objectif de production qui ne prêtent pas d'attention particulière à conserver du bois mort. Les dispositifs suivis depuis longtemps (5 ou 6 inventaires) et avec du recul sur la gestion en traitement irrégulier ont en moyenne, des notes relatives au bois mort meilleures. La gestion pratiquée permet à la fois la production de bois tout en laissant du bois mort.

7. Evaluation de l'état de conservation (habitats forestiers et éco-complexes alluviaux). Cahier RNF n°2. 2013, 72 p.

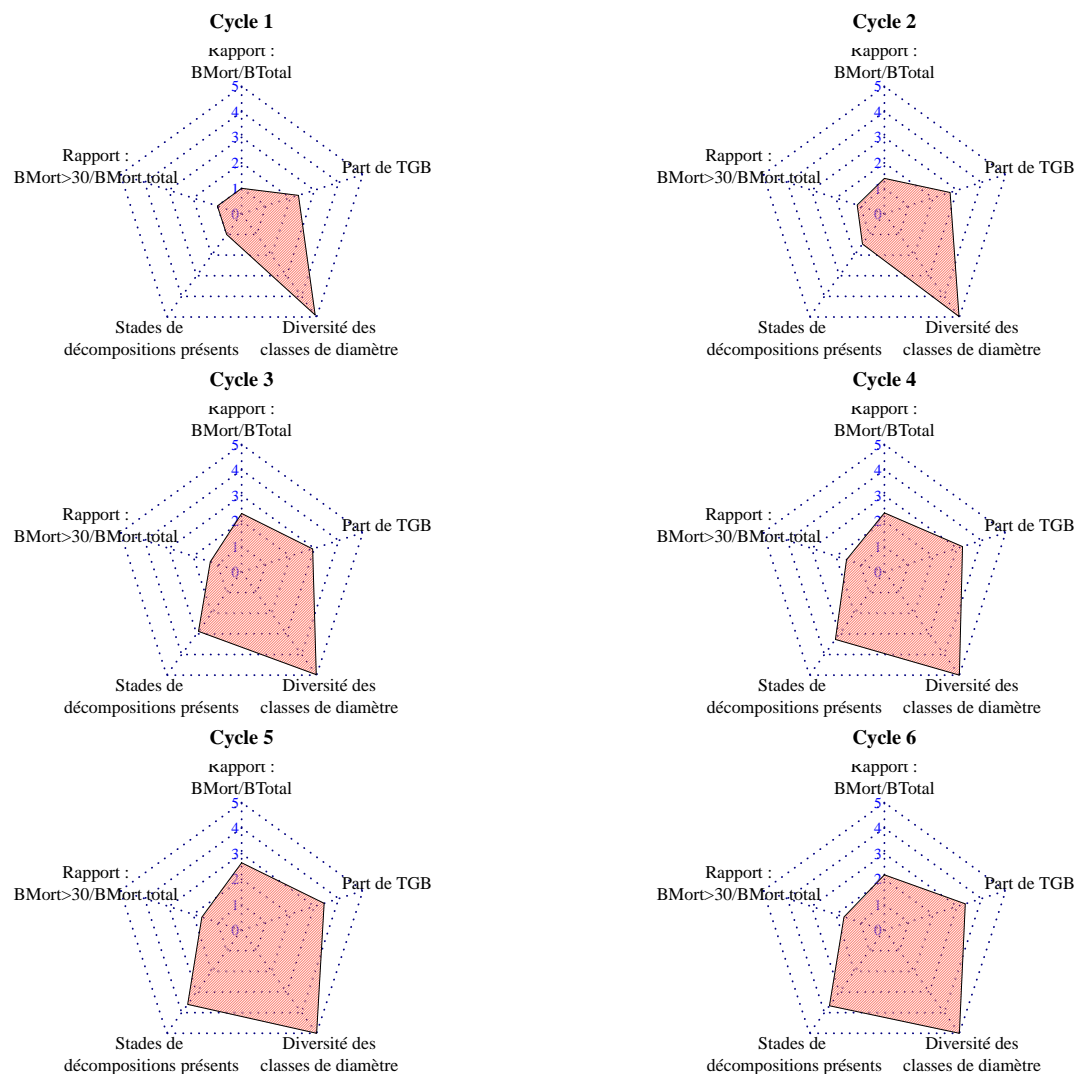


Figure 4.20 – Etat de conservation des habitats

### 4.2.3 Part des gros bois

La conservation de gros et très gros bois est aussi importante que la conservation de bois mort, puisque les gros bois hébergent plus de microhabitats que les autres catégories de grosseur, et cela quel que soit le type d'essence.<sup>8</sup>

La figure 4.21 permet de constater que le volume de gros bois et très gros bois a progressé dans la quasi-totalité des dispositifs<sup>9</sup> et cela quels que soient les grands contextes stationnels. Les gros bois assurent l'essentiel des revenus du propriétaire mais ils constituent également une part essentielle du patrimoine écologique.

8. Etude menée dans les réserves naturelles françaises : *Nothing else matters ? Tree diameter and living status have more effects than biogeoclimatic context on microhabitat number and occurrence : an analysis in French forest reserves*, Y. Paillet et al., 2019

9. Afin d'améliorer la lisibilité des autres dispositifs, ceux à base de douglas (Folin et La Métairie rouge) ne sont pas représentés



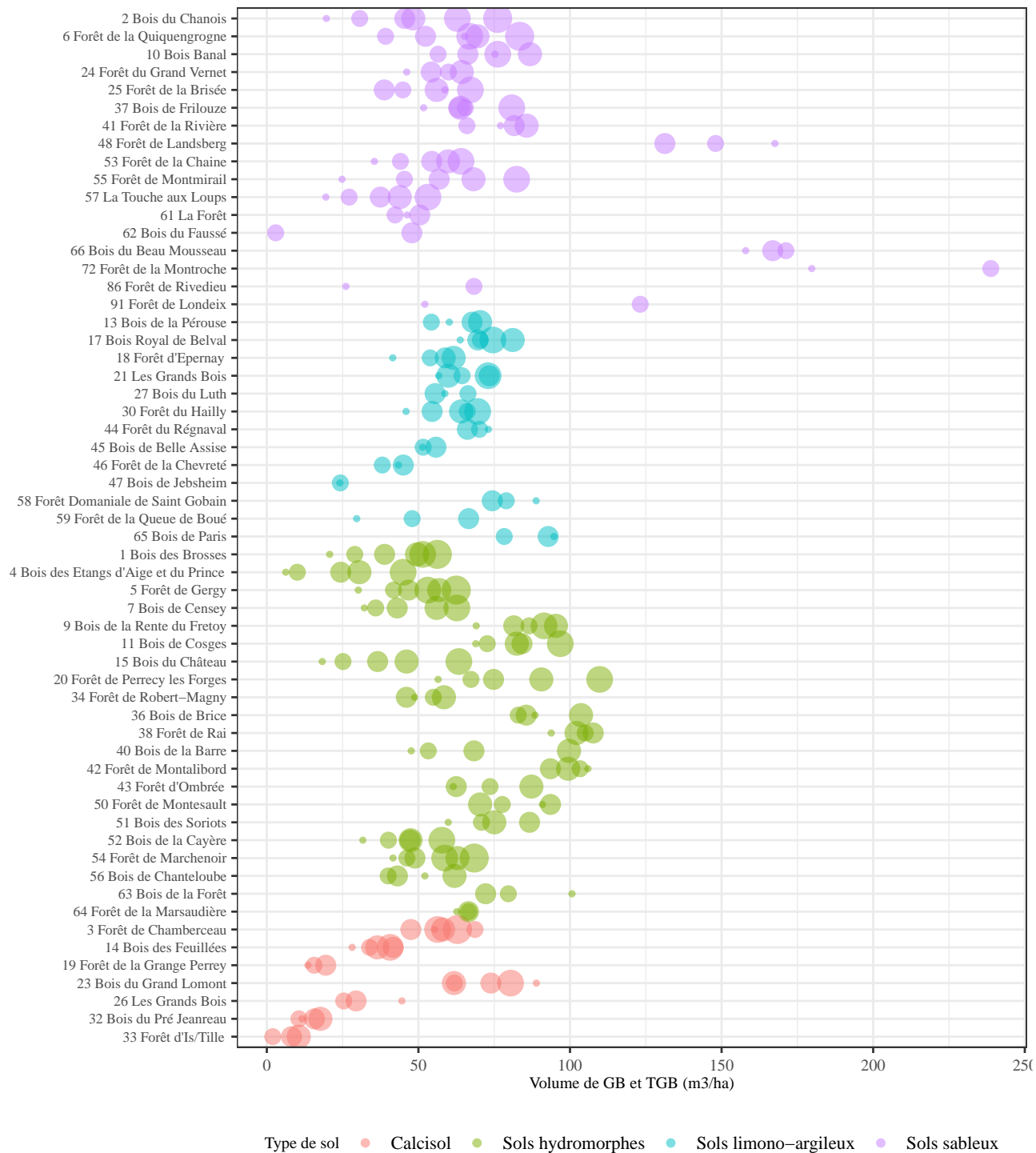


Figure 4.21 – Evolution de l'importance des gros bois au cours du temps. Le cercle est d'autant plus gros que le cycle est avancé.

L'évolution positive ou négative de la part des gros bois/très gros bois est essentiellement liée aux choix de gestion du gestionnaire (récolte de gros bois) ou la volonté de laisser des gros bois pour la biodiversité. Par exemple, certains dispositifs ont leur volume de gros bois qui a augmenté, correspondant à une volonté de capitaliser, comme c'est le cas du dispositif n°15 ou du dispositif n°1. Contrairement au dispositif n°48, où le volume de gros bois a diminué au cours du temps, car le gestionnaire a choisi de décapitaliser dans les gros bois au profit des bois moyens.

#### 4.2.4 Suivi des dendro-microhabitats

Les parcelles du réseau AFI sont dotées d'un suivi écologique, que ce soit en terme de bois mort, comme on l'a vu précédemment, mais aussi en terme de critères écologiques ou dendro-microhabitats.

Une liste de dendro-microhabitats a été définie par plusieurs naturalistes au début des années 2000, en fonction des communautés animales ou végétales étudiées (oiseau, chiroptère, insectes, etc). Ces critères très concrets comme les branches mortes, la mousse, le lierre, les cavités, les fentes ainsi que leur position sur l'arbre (au pied, sur le fût, dans le houppier) donne lieu à une codification qui est utilisée par les forestiers lors des inventaires AFI.

L'importance de chaque critère a également été définie par ces naturalistes, en leur attribuant une valeur (points allant de 0 à 4). Cela permet d'obtenir une «note écologique» à chaque arbre fonction du nombre et de l'importance de chaque dendro-microhabitat.

Les premiers résultats et éléments de réflexion issus des inventaires sont les suivants :

- La valeur écologique, quantifiée en «points écologiques par hectare» est assez variable d'un peuplement à l'autre : elle varie de 100 à plus de 800 points/ha, pour une moyenne de l'ordre de 250 points/ha.
- Ces valeurs ne sont pas à prendre dans l'absolu du fait du manque de référence, mais qu'il sera intéressant de suivre dans le temps pour connaître son évolution.
- La note écologique à l'hectare est plus élevée en peuplement feuillus que résineux.
- La note écologique est corrélée au **niveau de matériel sur pied**, d'où l'intérêt de pondérer la note écologique par la surface terrière. L'indicateur synthétique ainsi créé semble assez performant pour caractériser l'état écologique du peuplement, plus que la note absolue. Sur les dispositifs échantillonnés, il ressort en moyenne une valeur de 15 points écologiques pour 1 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière.
- La diversité des critères écologiques relevés est fonction de la **diversité en essence**. En effet, certains critères écologiques sont particulièrement corrélés à une essence : en peuplement de chêne, les critères largement minoritaires sont les branches mortes, en peuplement à base de hêtre, les critères majoritaires sont les cavités au pied. Les branches mortes sont plus rares.

#### Remarques

- Certains peuplements sont caractérisés par la présence de lierre, qui semble être plus liée aux conditions stationnelles qu'aux essences.
- Deux peuplements présentant une note écologique identique peuvent se distinguer dans la **répartition de cette note**. Pour cela, en plus du niveau écologique global d'un peuplement, il est intéressant de connaître la part des individus qui présentent une forte valeur écologique (note supérieure à 3) de ceux qui présentent une valeur écologique moindre (note comprise entre 1 et 3).
- Un même niveau écologique peut être constitué soit par un grand nombre d'individus présentant une faible valeur écologique ou bien un nombre d'individus plus restreint, mais présentant chacun une plus forte valeur écologique. Le deuxième cas de figure semble plus intéressant pour concilier écologie et économie, puisque la valeur écologique est concentrée sur un nombre plus faible d'arbres.
- La part de la note écologique constituée par individus ayant une forte valeur écologique est en moyenne d'un tiers. Cela signifie que parmi les individus ayant une valeur écologique particulière, un tiers d'entre eux ont un fort intérêt écologique (cela correspond en général pour un individu au cumul de plusieurs critères écologiques).

La figure 4.22 présente pour les arbres récemment inventoriés (dernier cycle de chaque dispositif) ceux qui sont porteurs ou non de dendro-microhabitats (DMH). Les arbres de plus gros diamètres sont en proportion, les plus nombreux à avoir des DMH (classe 60 à 80). A partir de la classe de diamètre 100, les données ne sont pas affichées car les classes de diamètre ne sont pas assez représentées dans les inventaires.

Il est intéressant de croiser la note écologique avec la qualité des tiges. Cela permet de relativiser le cas échéant l'impact sur la fonction de production de valeur de la note écologique si elle ne porte que sur des individus de qualité moyenne à médiocre, ou au contraire de mettre en avant la population des arbres dite «à conflits», c'est-à-dire présentant à la fois une forte valeur économique et une forte valeur écologique. Cette population d'individus est relativement restreinte sur les dispositifs AFI échantillonnés.

Par exemple, au dernier inventaire du dispositif de Gergy, la part d'individus ayant une forte note écologique (supérieure à 3) et une qualité A + B est de 27 % si l'on considère tous les arbres ayant un critère écologique

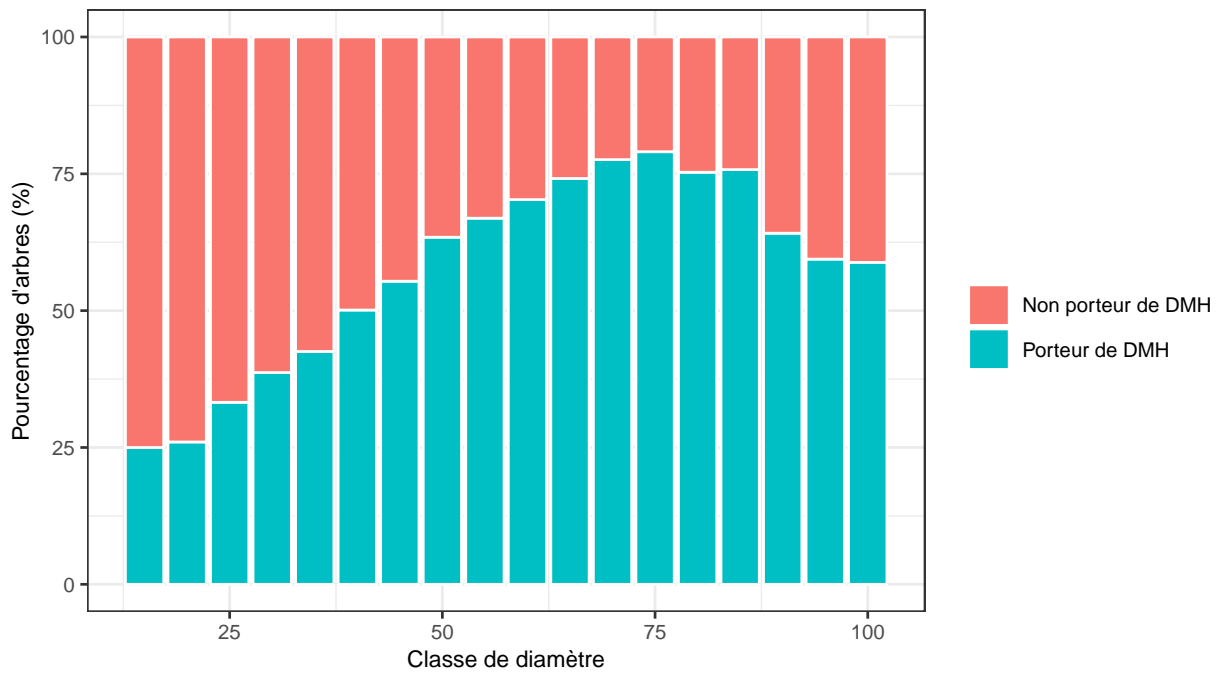


Figure 4.22 – Répartition des arbres porteurs de dendro-microhabitats par classe de diamètre

particulier. Pour le dispositif de Métendal, environ un tiers des arbres ayant un critère écologique particulier, présentent à la fois une forte valeur écologique et une qualité  $A + B$ .

De manière générale, les niveaux écologiques caractérisés par les critères actuellement relevés devraient pouvoir augmenter sans pour autant entraver la production forte de volume de qualité. Il est en effet possible d'obtenir au sein d'un même peuplement des individus de grand intérêt économique côtoyant des individus de qualité moindre mais de forte valeur écologique. Pour preuve, bien qu'une bonne partie des individus d'un peuplement présente un critère écologique particulier, seulement un faible pourcentage d'individus de qualité A ou B présente une forte valeur écologique où un arbitrage serait éventuellement à faire.

Enfin, il semblerait y avoir une légère corrélation entre le volume de bois mort et la valeur écologique du peuplement relevé par l'intermédiaire des critères écologiques (à confirmer dans l'avenir).

# Chapitre 5

## Bilan carbone

Les écosystèmes forestiers jouent un rôle important dans le cycle du carbone : séquestration par les arbres, stockage dans les sols et dans les produits bois, substitution à des énergies non renouvelables ou à des matériaux plus énergivores. En 2018, les écosystèmes forestiers français métropolitains captaient l'équivalent de 15 % des émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de la France.

Le stock de carbone dans les écosystèmes forestiers se répartit quasiment en deux parts égales entre la biomasse (aérienne et souterraine) et les sols. La figure 5.1 fournit selon différentes études la répartition du carbone dans les 3 principaux compartiments, biomasse aérienne, souterraine et sols. En première approximation la biomasse aérienne stocke environ 40 % du stock total et la biomasse souterraine, 10 %. La figure 5.1 permet également d'affiner la répartition.

	Dupouey & al., 2000		Buchholz & al., 2014		Luysaert & al., 2008		Taverna & al., 2007		Lecocq & al., 2008	IFN, 2010
<b>Biomasse aérienne</b>	<b>42 %</b>		<b>37 %</b>		<b>46 %</b>		<b>47 %</b>		<b>42 %</b>	<b>36 %</b>
	<i>Bois fort, branches</i>	32 %	<i>Tronc, écorce</i>	23 %	<i>Biomasse aérienne</i>	17 %	<i>Tronc</i>	41 %		
	<i>Feuilles</i>	2 %	<i>Feuille, branches</i>	10 %	<i>Litière, bois mort au sol*</i>	29 %	<i>Bois mort debout</i>	4 %		
	<i>Sous-étage, nécromasse</i>	2 %	<i>Bois mort debout</i>	2 %			<i>Litière, bois mort au sol*</i>	1 %		
	<i>Litière*</i>	6 %	<i>Litière, bois mort au sol*</i>	2 %						
<b>Biomasse souterraine</b>	<b>7 %</b>		<b>9 %</b>				<b>12 %</b>		<b>15 %</b>	<b>10 %</b>
	<i>Racines</i>	7 %	<i>Racines</i>	9 %						
			<i>Racines mortes</i>	1 %						
<b>Sol</b>	<b>51 %</b>		<b>54 %</b>		<b>54 %</b>		<b>42 %</b>		<b>43 %</b>	<b>54 %</b>
	<i>0-10 cm</i>	26 %	<i>Horizons organiques</i>	10 %	<i>Horizons organiques, racines</i>	54 %				
	<i>10-20 cm</i>	16 %	<i>0-20 cm</i>	20 %						
	<i>20-30 cm</i>	9 %	<i>&gt; 20 cm</i>	24 %						

Figure 5.1 – Répartition du carbone dans les différents compartiments forestiers selon différents auteurs.

La politique française de réduction des émissions de gaz à effet de serre a récemment intégré les écosystèmes forestiers dans le label Bas-Carbone. Les peuplements irréguliers ne sont actuellement pas éligibles.

### 5.1 Stock de carbone dans les sols

Le site <http://54.229.242.119/GSOCmap/> permet de télécharger la carte mondiale du carbone organique contenu (COS) dans les premiers 30 cm de sol. Elle est présentée figure 5.2 à titre d'exemple (internet permet de

télécharger d'autres cartes de concentration de COS à différentes profondeurs<sup>1</sup>) et réduite à la France métropolitaine. Elle permet d'avoir une première image sur la teneur en carbone à l'échelle de la France métropolitaine, qu'il est possible de décliner pour quelques dispositifs AFI (voir figure 5.3).

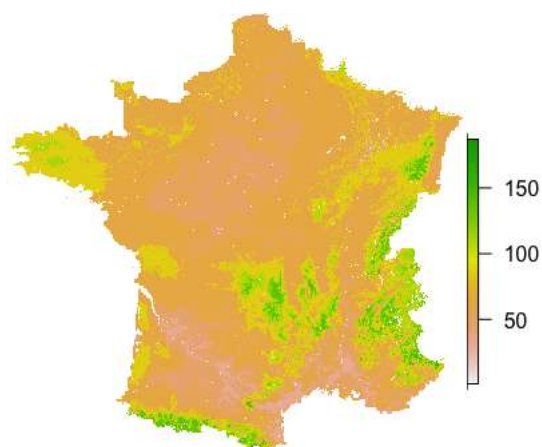


Figure 5.2 – Cartographie de l'importance du carbone dans les premiers 30 cm de sol (en tC/ha).

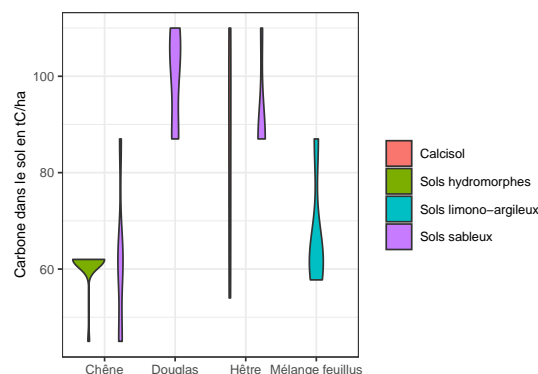


Figure 5.3 – Quantité de carbone dans les sols suivant l'essence principale.

## 5.2 Stock de carbone dans la biomasse

Le calcul de la quantité de carbone dans la biomasse aérienne prend en compte le volume de bois, son infradensité et un taux de carbone.

$$Quantite_{carbone} = Volume \times Infradensite \times Taux_{carbone} \quad (5.1)$$

Dans la formule 5.2 :

- L'infradensité est une donnée propre à chaque essence. Elle permet de passer de mètres cube de bois à des tonnes de matière sèche. Elle varie en fonction de l'âge et de la largeur de cerne, mais une valeur unique et spécifique à chaque essence est souvent utilisée. Les infradensités retenues sont celles préconisées par l'IGN pour les essences françaises.
- Le taux de carbone dans la biomasse est une donnée difficile à estimer, variant de 45 à 55 % selon l'essence, mais les auteurs utilisent souvent une valeur moyenne de 47,5 % ou 50 %. Les taux de carbone moyens retenus par essence, ou par type d'arbres si la donnée était manquante, sont issus de la base de données de Thomas et Martin (2012).
- Pour l'ensemble des dispositifs de l'AFI, le volume retenu est un volume bois fort arbre.
- La biomasse souterraine correspondant au système racinaire est difficile à estimer de manière précise. Elle est calculée par l'intermédiaire de la biomasse aérienne en utilisant l'équation de Cairns pour les forêts tempérées.
- La biomasse morte au sol et sur pied stocke également du carbone, mais à plus long-terme car elle est ensuite immobilisée dans les sols forestiers, même si une partie est perdue par la respiration des organismes intervenant dans la décomposition du bois. Le calcul de la quantité de carbone dans ce compartiment est plus délicat, l'infradensité et le taux de carbone moyen des bois évoluant au fur et à mesure de la décomposition. Des études américaines<sup>2</sup> donnent par genre ou espèce des infradensités en fonction du stade de décomposition et des taux

1. <https://files.isric.org/soilgrids/data/>

2. Etudes de l'United States Department of Agriculture Forest Service publiées par Harmon et al. (2008, 2011, 2013)

de carbone moyens par type d'arbres (feuillus ou résineux) en fonction du stade de décomposition. Le calcul de la quantité de carbone dans le bois mort a permis de valoriser les données de décomposition relevées par l'AFI.

Pour les besoins du suivi des stocks de carbone, des durées de vie du carbone exporté ont été proposées. Elles intègrent la qualité du bois (voir paragraphe 5.3.5).

## 5.3 Résultats à l'échelle du réseau AFI

### 5.3.1 Stock de carbone total

La figure 5.4 donne la répartition des quantités moyennes de carbone de peuplements feuillus ou résineux du réseau AFI. Elle montre que les résineux stockent plus de carbone, mais la répartition dans les différents compartiments est pratiquement identique aux feuillus. Pour ces derniers, le stock de carbone dans la biomasse se répartit en pourcentage comme suit : 4 % dans le bois mort, 70 % dans la biomasse aérienne et 26 % dans la biomasse racinaire. Pour les peuplements résineux, la répartition est respectivement de 3 % dans le bois mort, 73 % et 24 % pour la biomasse aérienne et racinaire.

La figure 5.5 montre l'évolution au cours du temps du stock total de carbone contenu dans la biomasse (aérienne, souterraine et morte) par type de sols et dispositifs. Les différents cercles représentent les inventaires, leur taille étant croissante en fonction de leur numéro.

Le stock de carbone varie de 40 tC/ha jusqu'à plus de 250 tC/ha, pour le dispositif de Folin. Les dispositifs où les stocks de carbone sont les plus élevés correspondent aux peuplements résineux, notamment de douglas (dispositif de Folin). En effet, ces peuplements ont généralement des volumes sur pied importants par rapport aux peuplements feuillus. Les peuplements qui ont été capitalisés, ont vu leur stock de carbone augmenter tandis que les dispositifs ayant subi des coupes entre deux inventaires, ont vu leur stock de carbone contenu dans la biomasse aérienne diminué car celui-ci a été exporté dans les produits bois. C'est le cas des dispositifs de douglas (n°16, 49 et 62) ou des dispositifs tels que le n°72, 91...

Dans l'ensemble des dispositifs, le stock de carbone reste stable ou augmente au cours du temps, en corrélation avec l'évolution du matériel sur pied. La station ne semble pas intervenir. Les dispositifs qui ont la plus forte quantité de carbone à l'hectare sont situés sur des sols sableux mais sont majoritairement constitués de résineux. Ils correspondent à des douglasaies (dispositifs 16 et 49), des peuplements riches en sapin (dispositif 72) ou pratiquement pur en pin maritime (dispositif 91).

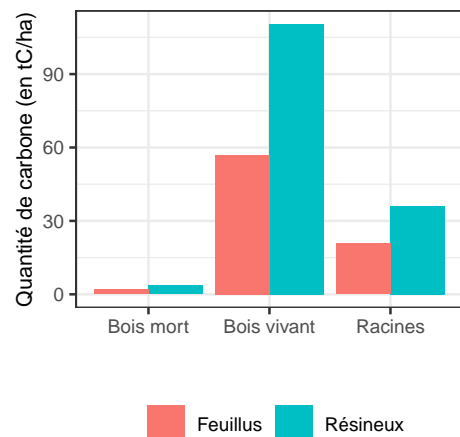


Figure 5.4 – Répartition des quantités moyennes de carbone de peuplements feuillus ou résineux du réseau AFI

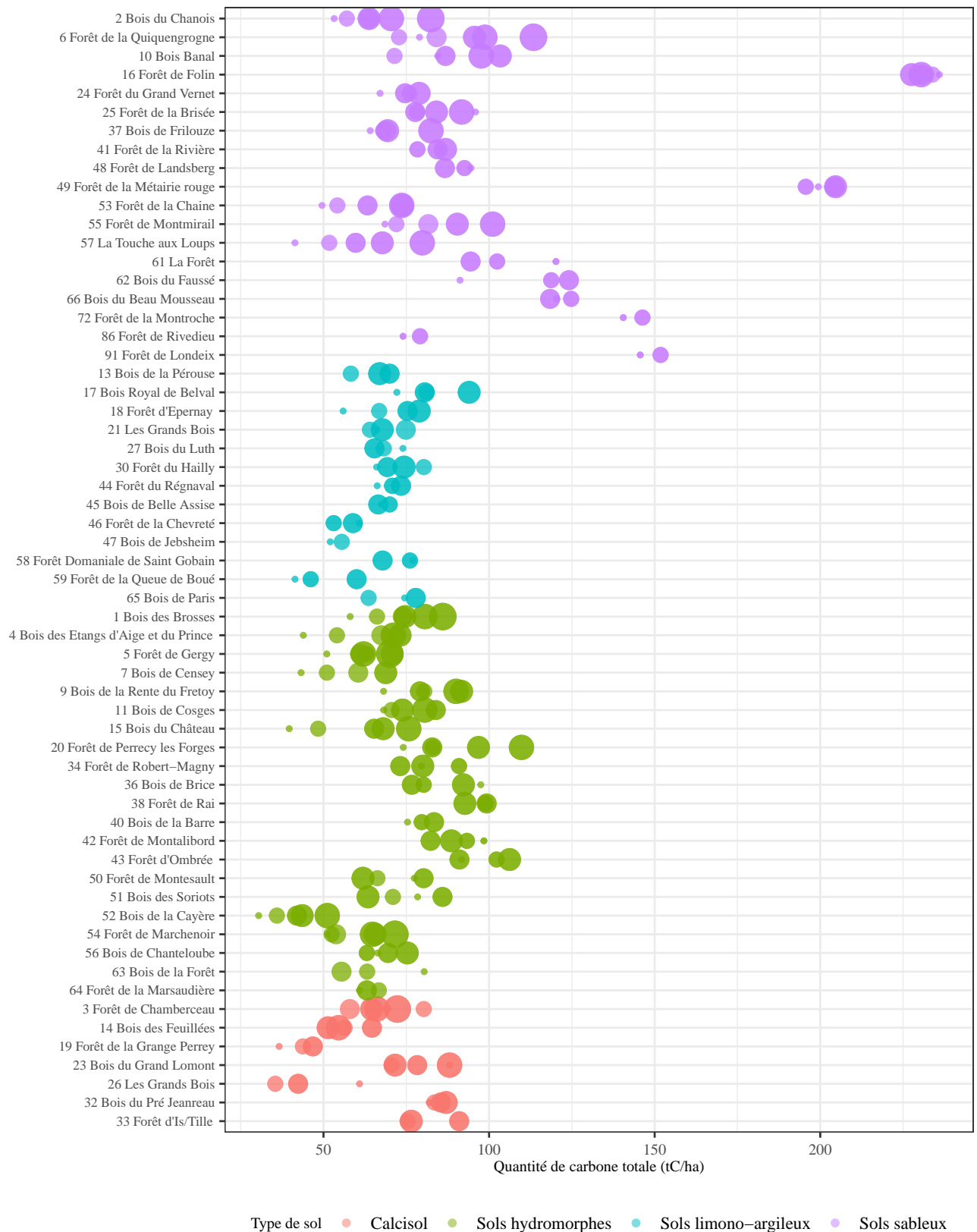


Figure 5.5 – Evolution du stock total de carbone dans la biomasse par type de sols et par dispositif.

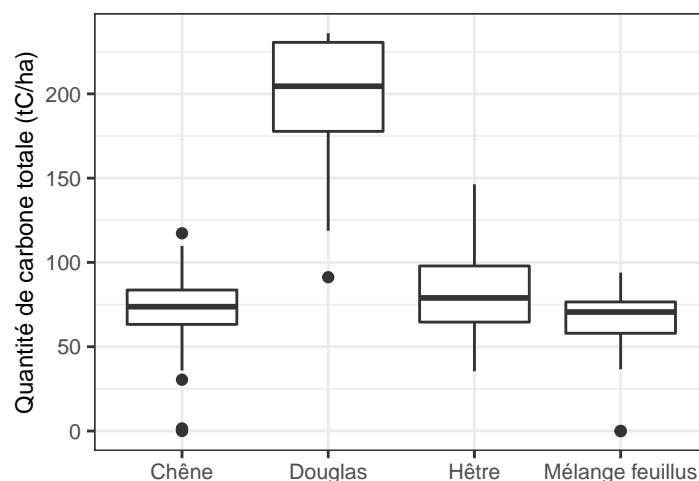


Figure 5.6 – Quantité de carbone stockée dans la biomasse par essence

La figure 5.6 donne la quantité de carbone moyenne ventilée par essence. Les peuplements de douglas ayant les plus forts volumes à l’hectare sont logiquement ceux qui présentent aussi des stocks de carbone les plus élevés.

### 5.3.2 Stock de carbone dans la biomasse aérienne

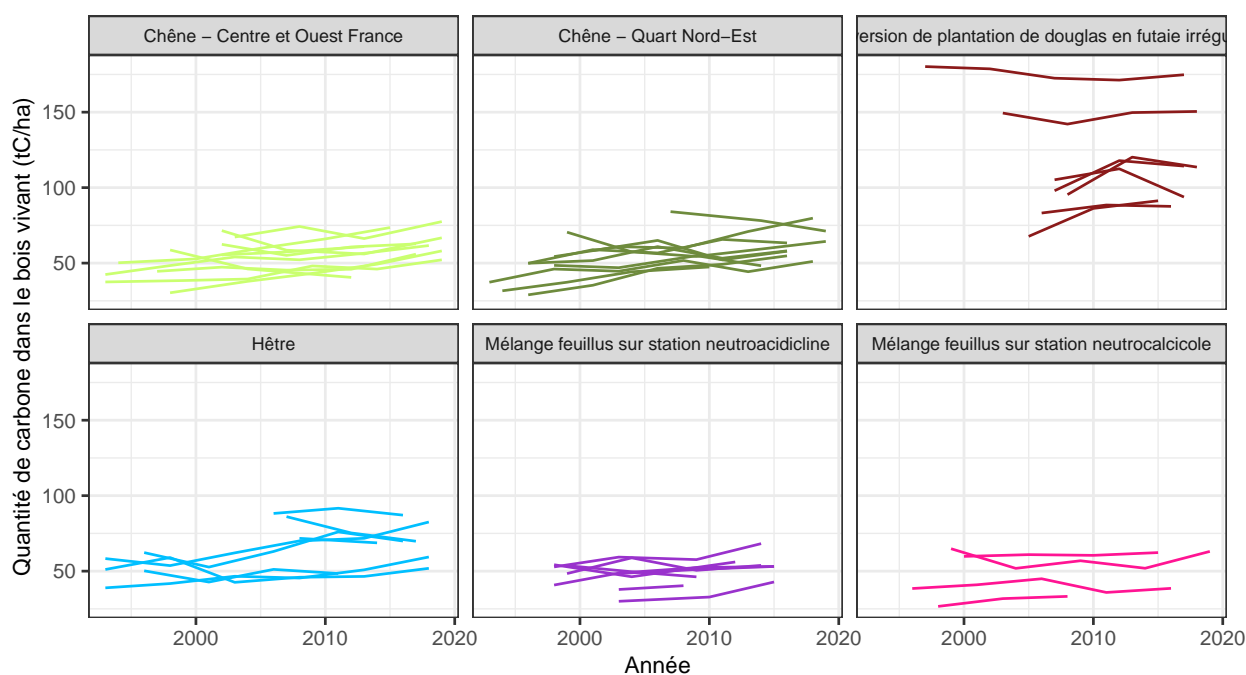


Figure 5.7 – Stock de carbone dans la biomasse aérienne par grands contextes.

La figure 5.7 illustre pour quelques grands contextes les quantités de carbone contenues dans la biomasse aérienne. Pour chaque contexte, les différentes lignes correspondent à un dispositif. Globalement, les stocks de carbone oscillent entre 40 - 60 tC/ha pour les peuplements mélangés et jusqu’à 80 tC/ha pour les peuplements



de chêne et hêtre. Les plus fortes valeurs s'observent dans les peuplements de douglas, où avant leur intégration dans le réseau AFI n'avaient quasiment pas subi d'interventions et avaient des volumes sur pied très élevés.

### 5.3.3 Stock de carbone dans le bois mort

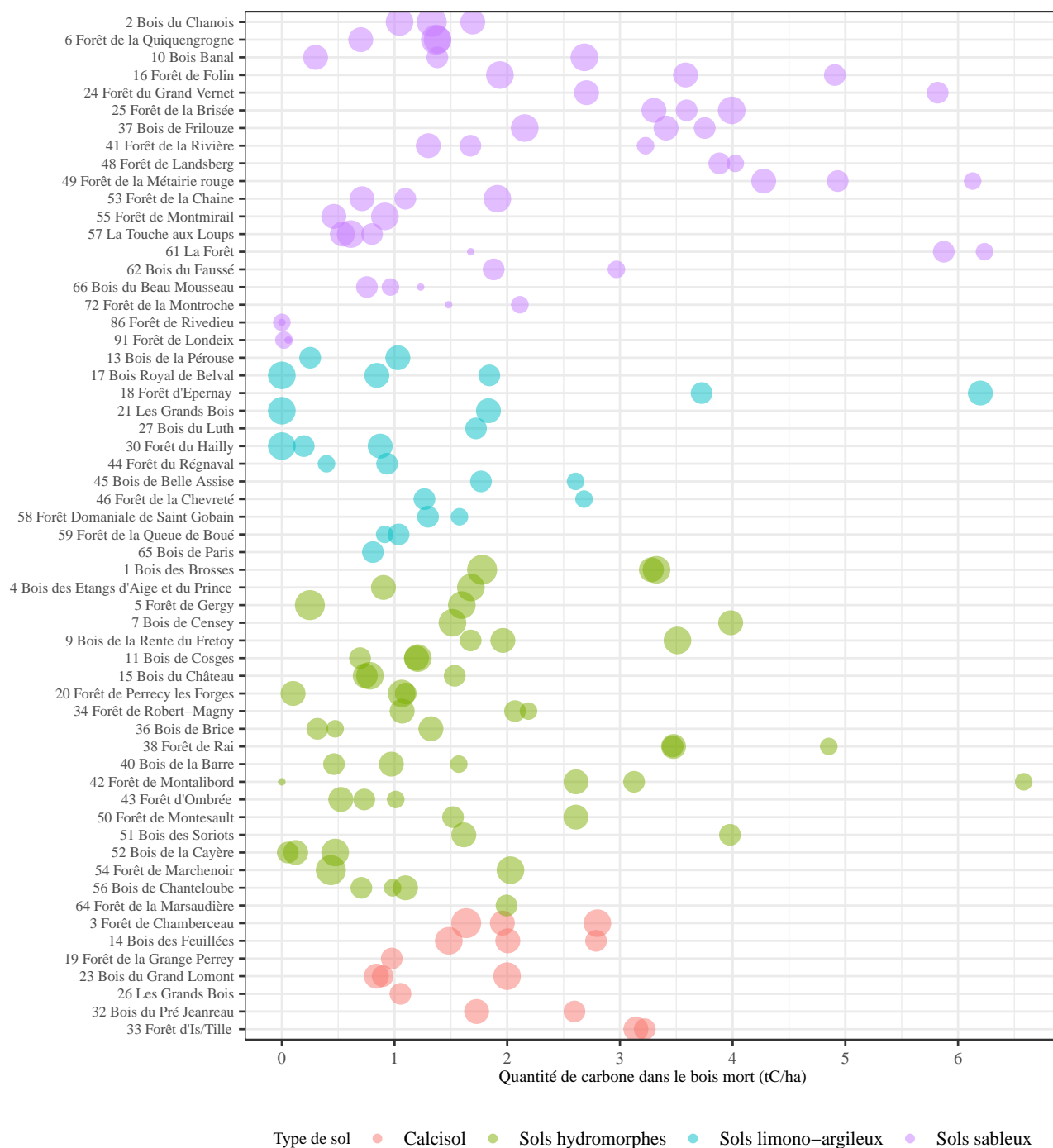


Figure 5.8 – Evolution du stock de carbone dans le bois mort par dispositif et type de sol.

La figure 5.8 donne par type de sol les quantités de carbone dans le bois mort au sol et sur pied par dispositif et cycle d'inventaire. La prise en compte du bois mort dans le protocole de relevés de l'AFI étant assez récente, les quantités de carbone dans le bois mort sont disponibles au maximum sur trois inventaires. Les stocks de carbone dans le bois mort sont fortement dépendants des volumes de bois mort et suivent leurs évolutions. En moyenne,

les stocks de carbone du bois mort oscillent entre 0 tC/ha et 5 tC/ha et plus rarement, dans les dispositifs où les volumes de bois mort sont plus importants, jusqu'à 6-7 tC/ha.

Le stock de carbone a été ici calculé sans tenir compte du carbone contenu dans les sols forestiers, qui représente près de la moitié du stock total de carbone dans les écosystèmes forestiers (voir paragraphe 5.1). Si l'on compare les données issues du réseau AFI avec celles disponibles dans la littérature (voir tableau 5.1), en ne tenant compte que de la biomasse aérienne et souterraine, le stock de carbone pour l'ensemble des dispositifs du réseau AFI se répartirait de la manière suivante : 1 à 2 % pour le bois mort (au sol et sur pied), 30 % pour la biomasse aérienne et 15 à 20 % pour la biomasse racinaire.

### 5.3.4 Flux de carbone

Sur la figure 5.9 seuls les dispositifs ayant au moins 20 ans de suivi sont comptabilisés. Afin à nouveau de rendre les graphiques plus lisibles, ne sont pas représentés les dispositifs de douglas de Folin et de la Métairie Rouge.

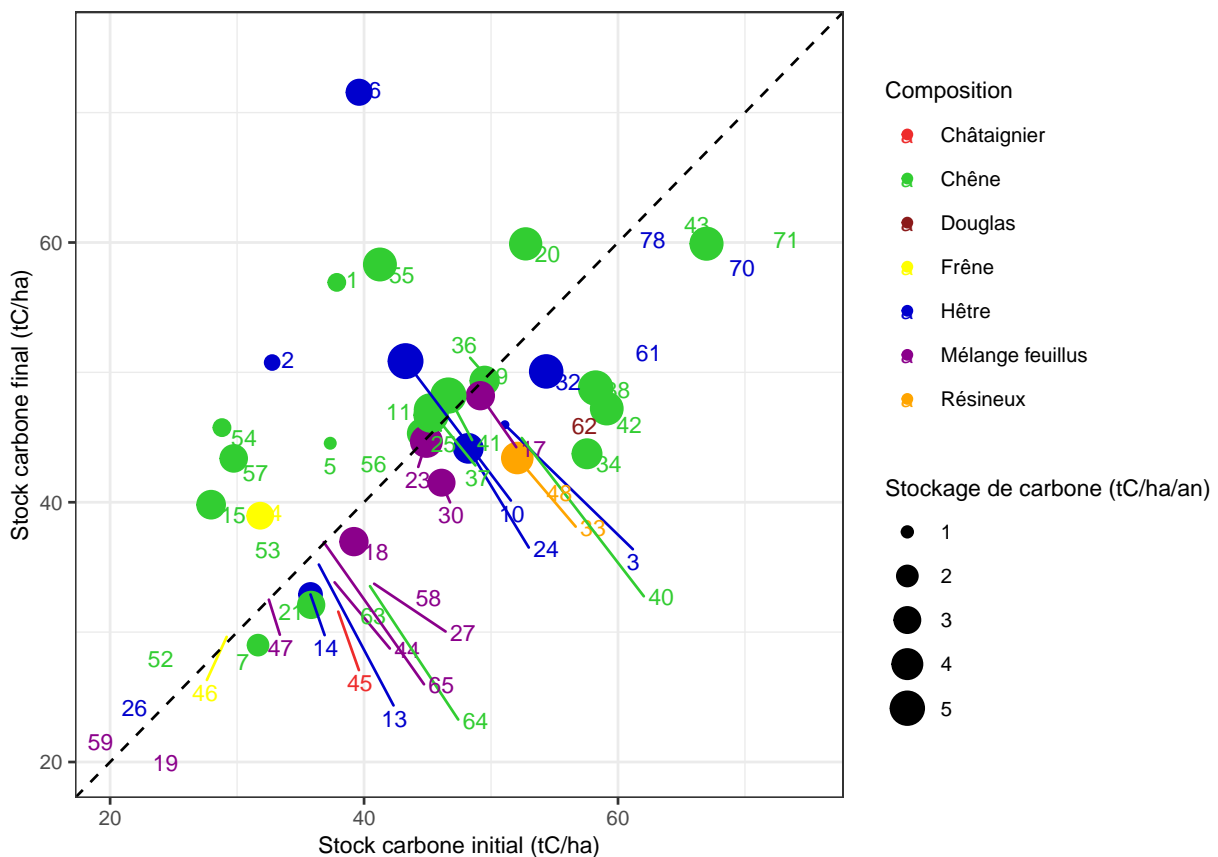


Figure 5.9 – Evolution du capital carbone par dispositif

La ligne en pointillés représente l'égalité entre le stock initial et final de carbone. Un dispositif situé au-dessus de cette ligne aura vu son stock de carbone augmenter. La taille des dispositifs est proportionnelle à leur gain en carbone par hectare et par an (différence entre le stock final et initial en ajoutant les stocks de carbone des chablis ou coupes éventuels sur la période).

La figure 5.10 complète la figure 5.9. Elle montre sur la période de suivi de chaque dispositif, la différence de carbone entre le premier et le dernier inventaire ainsi que le stock de carbone des produits exploités ou sous forme de chablis. Cette figure est triée par ordre décroissant de la différence de carbone stockée, les dispositifs à gauche correspondant à un stockage de carbone (différence positive), ceux de droite à une baisse (différence négative). Dans un peuplement irrégulier proche de l'équilibre, la variation carbone des bois sur pied devrait

être faible. L'essentiel des flux se concentre dans les volumes exploités. Augmenter leur durée de vie devient l'enjeu principal (voir figure 5.11).

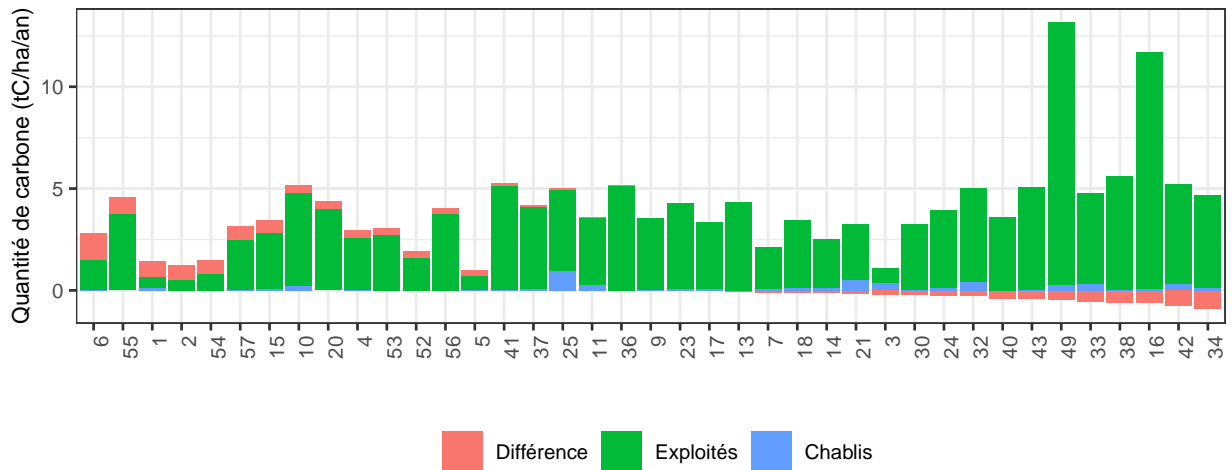


Figure 5.10 – Flux de carbone entre le premier et le dernier inventaire par dispositif

Le traitement en futaie irrégulière est basé sur la recherche du maintien d'un couvert permanent. A partir de la phase 2 présentée paragraphe 2.1, il permet de stabiliser les stocks de carbone sous forme de bois vivant (partie aérienne et sous-terrain), ceux-ci ne fluctuant que faiblement au gré des coupes de bois. En revanche la quantité de carbone stockée dans le bois mort ou dans leur sol peut augmenter. Une autre composante importante est la quantité de carbone stockée dans le bois exploité.

### 5.3.5 Stock de carbone dans les produits bois exploités

En plus de considérer le carbone dans l'écosystème forestier, il est intéressant de s'intéresser aux produits bois qui contribuent également à stocker du carbone plus ou moins durablement selon leur destination. La part des produits bois destinée à la filière bois d'oeuvre permet de stocker de façon durable le carbone.

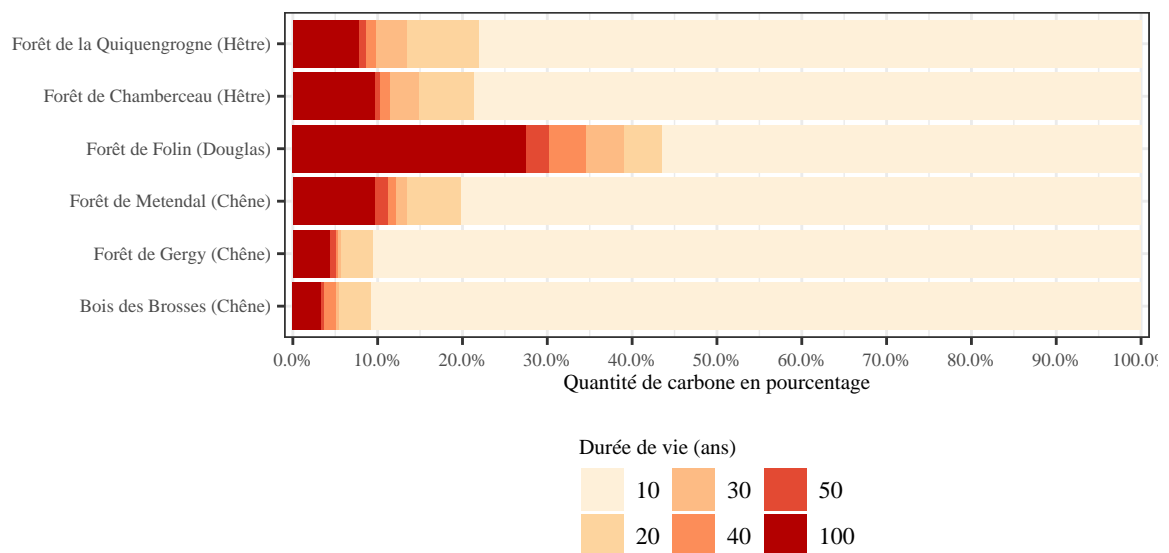


Figure 5.11 – Durée de vie des produits exploités par dispositif

La figure 5.11 présente pour quelques dispositifs de hêtre, chêne ou douglas, le pourcentage de carbone stocké dans les produits bois exploités en fonction de leur durée de vie. La durée de vie est calculée en fonction du diamètre et de la qualité de l'essence exploitée. Pour le dispositif de Folin, 30 % du carbone des produits exploités est stocké sur le long-terme (plus de 100 ans). Cela s'explique par le fait que les bois exploités à Folin étaient de gros diamètres et de belles qualités.

La forte quantité de produits ayant une durée de vie inférieure à 10 ans regroupe le volume du houppier, l'ensemble des produits de qualité D ainsi que les petits diamètres des plus belles qualités (en-dessous de 35 cm de diamètre pour les qualités A et B et 40 cm pour les qualités C). Pour nombre de dispositifs de l'AFI, l'augmentation de la qualité du capital producteur permet d'obtenir des produits bois à longue durée de vie, relarguant le carbone d'autant plus tard dans l'atmosphère.

## 5.4 Optimisation de la séquestration carbone : conversion d'une plantation de douglas en futaie irrégulière

L'un des objectifs de l'AFI est de vérifier que l'utilisation de la dynamique végétale apporte une réduction des coûts de production, permet d'améliorer le niveau de recettes et la qualité du capital producteur et préserve le plus possible la biodiversité.

L'AFI a installé trois dispositifs dans des anciennes plantations de douglas afin de démontrer qu'une alternative à la coupe rase et plantation est possible et intéressante sur les plans économique et écologique. Ils peuvent également être utilisés pour comparer l'impact sur le stockage de carbone de cette conversion en futaie irrégulière par rapport à un itinéraire plus fréquent à savoir coupe rase et plantation.

Les trois dispositifs sont situés dans le Morvan, région où la conversion des plantations de douglas en futaie irrégulière de douglas a été identifiée dans les différentes chartes forestières de territoire comme une évolution souhaitable. Ils ont été choisis pour illustrer l'impact de l'âge de la plantation au moment du choix de la conversion en futaie irrégulière sur les difficultés de sa mise en œuvre.

- Le dispositif de Folin est issue d'une plantation de 1927 en douglas et épicéa. La conversion en irrégulière a été entamée sur un peuplement âgé d'environ 70 ans et surcapitalisé.
- Le dispositif de la Métairie Rouge est une plantation de douglas d'une cinquantaine d'années au moment de l'installation du dispositif.
- Le dispositif du Bois du Faussé complète les deux autres dispositifs de douglas. C'était une plantation d'une trentaine d'années lors du premier inventaire.

Ces trois peuplements ont été comparés à des itinéraires de gestion classique du douglas avec différents âges d'exploitabilité afin de déterminer la méthode optimale de stockage de carbone. Cette comparaison s'appuie sur la méthode validée par le label Bas-Carbone. Elle intègre les compartiments forestiers suivants : le sol et la litière avec des valeurs par défaut, respectivement de 70 tC/ha et 10 tC/ha, la biomasse racinaire, dont le stock carbone est estimé à un quart du stock de la biomasse aérienne.

$$REA_{foret} = \min(\Delta S(30), \frac{1}{R} \times \sum_{t=1}^R S_{projet}(t) - S_{reference}(t)) \quad (5.2)$$

avec :

- $\Delta S(30)$  la différence de stock de carbone entre le projet et le scénario de référence à l'année 30
- $S_{projet}(t)$  le stock de carbone (en tCO<sub>2</sub>) total dans les compartiments forestiers à l'année t pour le scénario alternatif
- $S_{reference}(t)$  le stock de carbone (en tCO<sub>2</sub>) total dans les compartiments forestiers à l'année t pour le scénario de référence
- La période R correspond à la durée entre le début du projet et l'âge d'exploitabilité fixé dans le scénario d'une gestion en futaie régulière qui sert de référence. Si la coupe rase intervient dans les trente ans du projet, les calculs porteront sur deux parties de révolution. La notion de révolution de l'essence n'a de sens qu'en futaie régulière. En revanche une période d'observation de 30 ans a du sens en futaie irrégulière puisque cela correspond au temps de rotation du capital volume ou valeur (voir paragraphe 3.2.6).

Les itinéraires de référence sont issus de travaux du CRPF Bourgogne-Franche-Comté. Le premier est un itinéraire de gestion classique du douglas en futaie régulière avec une densité initiale de 1 300 tiges par hectare et un âge d'exploitabilité de 55 ans. Le deuxième itinéraire est quasiment le même que le premier, mais avec un allongement de la phase de production jusqu'à un âge d'exploitabilité de 70 ans. Le troisième itinéraire est un exemple de gestion intensive de type «Bois calibrés industriels» avec une densité initiale de 1 600 tiges par hectare et un âge d'exploitabilité à 45 ans.

La différence de stock carbone entre un projet et le scénario de référence est la valeur minimale entre la différence du stock à trente ans et la différence de stock moyen de carbone sur la révolution de l'essence plantée (voir équation 5.2).

Les données d'inventaire des dispositifs AFI ont permis de simuler l'évolution des volumes sur pied sur la durée des projets. Un volume à l'équilibre d'environ 500 m<sup>3</sup>/ha a été défini comme volume à l'équilibre, à partir duquel il a été considéré que seul l'accroissement biologique est prélevé.

Les résultats sont les suivants :

### Dispositif de Folin

- Scénarios de référence : au début du projet (peuplement de 70 ans), coupe rase et plantation de douglas avec des révolutions de 55 ans (scénario de référence n°1), de 70 ans (n°2) et 45 ans (n°3)
- Scénario du projet : conversion de la plantation en futaie irrégulière avec des prélèvements progressifs pour abaisser le matériel sur pied.

	Stock30	StockMoyen	Durée	REA forêt (tCO2/ha)
Folin	933	893	55	
Référence 1	667	604	55	266
Folin	933	871	70	
Référence 2	667	642	70	229
Folin	933	915	45	
Référence 3	713	589	45	219

Figure 5.12 – Réductions d'émissions anticipées (REA) générables forêt sur le dispositif de Folin

### Dispositif de la Métairie Rouge

- Scénario de référence n°1 : début du projet, plantation de 50 ans coupée à ras à 55 ans, puis deuxième révolution
- Scénario de référence n°2 : plantation de 50 ans coupée à ras à 70 ans puis deuxième révolution
- Scénario de référence n°3 : coupe rase de la plantation au début du projet puis plantation avec une révolution de 45 ans
- Scénario du projet : conversion de la plantation âgée d'une cinquantaine d'années au début de projet en futaie irrégulière.

	Stock30	StockMoyen	Durée	REA forêt (tCO2/ha)
Métairie Rouge	803	841	60	
Référence 1	587	637	60	205
Métairie Rouge	803	829	90	
Référence 2	354	685	90	143
Métairie Rouge	803	854	45	
Référence 3	713	589	45	90

Figure 5.13 – Réductions d'émissions anticipées (REA) générables forêt sur le dispositif de la Métairie Rouge

### Dispositif du Bois du Faussé

- Scénario de référence n°1 : plantation de 30 ans coupée à ras à 55 ans puis deuxième révolution
- Scénario de référence n°2 : plantation de 30 ans gérée en futaie régulière et coupée à ras à 70 ans
- Scénario de référence n°3 : plantation de 30 ans coupée à ras à 45 ans puis deuxième révolution
- Scénario du projet : conversion de la plantation âgée d'une trentaine d'années au début de projet en futaie irrégulière.

	Stock30	StockMoyen	Durée	REA forêt (tCO2/ha)
Bois du Faussé	804	761	80	
Référence 1	309	671	80	90
Bois du Faussé	804	718	40	
Référence 2	802	805	40	-87
Bois du Faussé	804	746	60	
Référence 3	431	664	60	83

Figure 5.14 – Réductions d'émissions anticipées (REA) générables forêt sur le dispositif du Bois du Faussé

Les stocks de carbone sont calculés à partir du volume sur pied total du peuplement. Les réductions d'émissions anticipées générables (REA) calculées sur les compartiments forestiers correspondent aux tonnes de CO<sub>2</sub> supplémentaires que les projets alternatifs permettent de stocker. Ce sont ces quantités qui peuvent ensuite être certifiées et financées. Dans le cadre des méthodes forestières, certains rabais s'appliquent à ces quantités, selon les hypothèses de travail (10 % de rabais si la classe de fertilité n'a pas été démontrée, 10 % pour les risques généraux difficilement maîtrisables etc).

Pour des plantations plus âgées converties en futaie irrégulière, les gains de stockage carbone sont assez importants, environ 200 tCO<sub>2</sub>. Les gains sont plus faibles dans le cas d'une plantation plus jeune (Bois du Faussé).

Ces premiers calculs tendent à montrer que sur les exemples traités, une gestion en irrégulier augmente la séquestration de carbone dans les compartiments forestiers (particulièrement dans la biomasse aérienne). Il est également possible de regarder si cette gestion optimise le stockage de carbone dans les produits bois. Dans l'ensemble d'un cycle de production, la part de produit à grande durée de vie est faible (quelques pourcents sur la totalité d'une cycle de futaie régulière). La gestion en irrégulier cherche à concentrer l'accroissement sur les arbres de qualité, ce qui a également comme conséquence d'augmenter la part de carbone stocké sur le long-terme (voir 5.11).

L'un des objectifs prôné par la gestion en irrégulier est la multifonctionnalité tout en assurant la pérennité du peuplement. Une bonne gestion de la structuration verticale du couvert apportera en plus des bénéfices sur l'équilibre de l'écosystème forestier, un meilleur stockage de carbone, grâce à l'interception par les strates basses du carbone relargué par le sol<sup>3</sup>.

Le carbone dans le sol, qui représente plus de la moitié du stock total de l'écosystème forestier, est peut-être difficile à estimer mais certaines pratiques sylvicoles peuvent impacter le stock de carbone plus ou moins durablement.

Les coupes rases et les plantations ont un effet négatif sur le carbone dans le sol, contrairement à des éclaircies (selon le prélèvement) et le renouvellement par régénération naturelle<sup>4</sup>. La récolte des houppiers et des rémanents posent aussi question quant à la durabilité des sols et impactent les stocks de carbone organique des sols.

## 5.5 Contribution à la création de nouveaux labels bas carbone

La majorité de la forêt française est constituée en plaine de peuplements anciennement traités en taillis-sous-futaie et pour la montagne de peuplements traités par différentes méthodes de jardinage. La forêt française se caractérise par un volume moyen d'environ 160 m<sup>3</sup>/ha. Sans prendre en compte son augmentation de surface, sa transformation totale en futaie irrégulière devrait permettre d'atteindre 220 m<sup>3</sup>/ha, soit augmenter d'un milliard de m<sup>3</sup> le stock sur pied. En considérant qu'un tiers des accroissements actuels serviraient à l'augmentation des stocks, il faudrait si tous les propriétaires étaient convaincus au minimum 30 ans pour atteindre cet objectif. Avec une politique incitative forte, il pourrait être atteint entre 50 et 100 ans.

### 5.5.1 Champ d'application : conversion des anciens taillis-sous-futaie

En plaine, l'histoire de la conversion en futaie régulière des grandes forêts publiques montre que sauf cas célèbres (FD de Tronçais, de Bercé, etc.) dans la grande majorité des cas, elle n'a vraiment commencé qu'après la se-

3. Rossi M., André J., Vallauri D., 2015. Le carbone forestier en mouvements. Elements de réflexion pour une politique maximisant les atouts du bois. Lyon, Rapport REFORA, 40 pages.

4. Séquestration de carbone organique dans les sols forestiers : impact de la gestion sylvicole. Forêt-entreprise n° 245

conde guerre mondiale, passant par des phases de retour au taillis-sous-futaie. Actuellement, autour des grands centres urbains, la conversion en futaie régulière est très critiquée par les usagers. Sauf cas déjà évoqué du massif landais et de la ressource en douglas, en forêt privée la conversion en futaie régulière est encore moins avancée. Pour des parcs naturels régionaux, des associations de protection de la nature ou d'usagers l'acceptabilité de la gestion en futaie irrégulière est plus grande car sa mise en œuvre modifie moins l'existant.

Même si la conversion en futaie régulière n'a que peu été mise en œuvre, elle a entraîné une modification de la gestion en taillis-sous-futaie ce qui s'est traduit par une augmentation du volume de la réserve et un vieillissement du taillis. Ces deux évolutions facilitent la conversion en futaie irrégulière car elles raccourcissent la première phase présentée au paragraphe 2.1.

Le réseau AFI a comme premier objectif de rassurer le propriétaire public ou privé de la faisabilité et de l'intérêt économique de la conversion des anciens taillis-sous-futaie en futaie irrégulière. Actuellement cette transition s'appuie fortement sur la régénération naturelle. Elle pourrait être accélérée en faisant beaucoup plus appel à des techniques d'enrichissement.

Les plantations sont très utilisées à l'échelle de la planète comme moyen principal de renouvellement des peuplements. C'est moins le cas en France où elles ne sont subventionnées que si elles sont mises en œuvre sous forme de plantation en plein et sur une surface minimale d'au moins 0,5 ha. Le traitement irrégulier peut faire également appel à des plantations sur des petites surfaces mais plus souvent en points d'appui voire de manière individuelle pour surmonter des difficultés de régénération d'une essence ou bien accélérer la dynamique naturelle. Avec les changements globaux, le nombre de petites ou de grandes perturbations va augmenter si bien que l'utilisation de ces techniques de plantation plus localisées va également augmenter.

La mise en place d'une comptabilité carbone nécessite la connaissance au cours du temps des stocks (aériens, souterrains) ainsi que des quantités de matière prélevées. Généralement les flux aériens sont utilisés pour calculer les compartiments racinaires et sol par application de coefficients. Dans le contexte de la futaie régulière, la connaissance des prélèvements est souvent très partielle. La proposition de scénarios de gestion oblige à estimer les flux aériens. Historiquement ces flux étaient issus de tables de production. L'ouvrage Tables de production pour les forêts françaises<sup>5</sup> réédité en 1984 par l'INRA et l'ONF est le plus complet mais ne couvre qu'une très faible part des peuplements métropolitains. Face aux critiques formulées contre les tables de production (elles ont tendance à surestimer assez fortement la production), les années 1990 et 2000 ont été celles d'intenses réflexions sur la fabrication de modèles de croissance. La structure et la composition de la forêt française ont fait que les modèles de croissance n'ont que très peu été adoptés par les gestionnaires forestiers. L'écart toujours énorme entre une prévision théorique (table de production ou modèle de croissance) et la réalité de l'évolution d'un peuplement conduit inévitablement à appliquer des coefficients de rabais.

Le traitement en futaie irrégulière est basé sur un contrôle à posteriori qui n'est pas obligatoire mais fortement conseillé. Le protocole de l'AFI a souvent été une source d'inspiration pour des gestionnaires désireux de suivre les forêts dont ils avaient la charge. Les nombreux réseaux de placettes permanentes permettent de calculer les 3 flux de carbone présentés figure 5.9, ainsi que les quantités de carbone stockées dans le bois mort. Le protocole AFI pourrait être modifié afin de suivre la quantité de carbone dans le sol.

Le champ d'application de la conversion des anciens taillis-sous-futaie en futaie irrégulière est vaste. Il peut être estimé entre 3 et 4 millions d'hectares. Cette conversion, en court-circuitant les phases pionnières permet d'augmenter rapidement le volume moyen de bois d'œuvre sur une propriété. Le réseau AFI a démontré la faisabilité et l'intérêt économique de cette conversion, mais elle pourrait être accélérée en particulier dans des peuplements pauvres en réserves ou bien ayant subi des perturbations. Une incitation à conserver plus de bois mort en forêt permettrait d'augmenter le stock de carbone et la valeur écologique.

---

5. INRA :

Pin sylvestre (Sologne), Pin laricio de Corse (Sologne), Pin noir d'Autriche (Sud-Est), Épicéa commun (Nord-Est), Épicéa commun (Ouest du Massif central), Pin maritime (Sud-Ouest Landes), Pin maritime (Sud-Ouest Dunes), Hêtre (Nord-Ouest), Chêne (secteur ligérien).

ONF :

Sapin (Jura) - table de référence, Épicéa (Jura) - étude de production et sylviculture de référence, Épicéa (sud du Massif central), Sapin et Épicéa (Alpes du Nord) - tables de production (sylviculture moyenne observée).

Tous les modèles sont une simplification de la réalité. Des outils de contrôle de l'évolution réelle des stocks conservés ou prélevés existent et leur coût connu.

### **5.5.2 Champ d'application : conversion des peuplements capitalisés**

Ces peuplements et leur évolution potentielle ont été présentés au paragraphe 2.1.2. Le réseau AFI montre que leur conversion est d'autant plus risquée que les peuplements sont âgés ou que la surface terrière est forte. Or elle permettrait à nouveau le maintien d'un couvert boisé, d'une plus forte humidité relative, évitant par sa mise à nu que le sol libère plus de carbone qu'il n'en stocke.

Le réseau AFI pourrait être utilisé pour mesurer le risque que prend le propriétaire lors de cette conversion.



## Chapitre 6

# Suivi sanitaire au sein du réseau AFI : zoom sur le frêne et les chênes sessile et pédonculé

### 6.1 La chalarose du frêne

#### 6.1.1 Traitement irrégulier du frêne et impacts de la chalarose

Le frêne est une essence pionnière souvent présente de manière disséminée<sup>1</sup>. En France métropolitaine, en terme de volume sur pied, le frêne arrive en douzième position, derrière le chêne pubescent mais sa répartition en surface, sa présence dans les forêts, les haies (le feuillage riche en sucres est un très bon fourrage pour le bétail), les bords de routes ou les friches lui confère un rôle important dans nos paysages mais aussi dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers<sup>2</sup>. Nous avons vu que le traitement irrégulier cherche à utiliser toutes les essences présentes dans chaque contexte stationnel. Le frêne ne fait pas exception, mais dans son cas le traitement irrégulier permet de valoriser son comportement à la fois pionnier (facilitateur pour l'installation d'autres essences) mais aussi disséminateur. Comme d'autres essences, il est possible d'affecter schématiquement au frêne un rôle de production de valeur ou bien un rôle culturel. Le dosage entre ces deux fonctions va dépendre du contexte stationnel. Par voie de conséquence les impacts de la chalarose vont également dépendre de cette dichotomie. Les exemples suivants illustrent les contributions attendues du frêne dans le contexte du traitement irrégulier.

#### **Cas n° 1 : Le frêne a essentiellement un rôle culturel**

Lorsque la réserve utile d'un sol est faible (plateaux calcaires, plateau Lorrain sur des marnes exposées au sud, etc), le caractère pionnier du frêne et sa croissance en hauteur très rapide dans le jeune âge seront utilisés pour modifier le microclimat et favoriser la régénération, la croissance et l'architecture d'autres essences. Même s'il peut représenter localement ou temporairement une part importante de la surface terrière, le frêne présent sous forme de gaules, perches, petits bois joue alors un rôle principalement culturel : limitation des dépenses, amélioration de la production des autres essences. Selon la nature lithologique des calcaires, le frêne pourra aussi apporter localement sa contribution à la production de valeur, à minima sous forme de bois de chauffage. En cas de forte défoliation liée à la chalarose, les frênes concernés pourront difficilement jouer leur rôle culturel générant une augmentation des soins sylvicoles. Le rôle d'éducation affecté au frêne devra alors être pris par d'autres essences souvent présentes grâce à la richesse chimique des sols mais que le gestionnaire devra au besoin réintroduire.

---

1. Avant 2008, date d'apparition de la chalarose en France, sur plus de 25 000 placettes IFN, le frêne représentait plus de 50 % de la surface terrière dans seulement 2,5 % des placettes. Les données actuelles sont pratiquement les mêmes.

2. La présence de feuilles de frêne accélère la vitesse de décomposition des feuilles de hêtre (Langenbruch et al, 2012).

## Cas n° 2 : Le frêne a essentiellement un rôle de production de valeur

Ce cas peut être séparé en deux.

- Sur des stations riches chimiquement et mieux alimentées en eau, en absence de chalarose le frêne est très dynamique. Sa régénération plus facile que celles des chênes, sa croissance en diamètre forte, les prix unitaires élevés jusqu'au début des années 1990 ont pu conduire à des peuplements trop purs en frêne.
- Dans des contextes plus acides, la dynamique dans le jeune âge du frêne est beaucoup plus réduite. Si les sols sont profonds, son accroissement en diamètre aux stades moyen et gros bois pourra être intéressant. Même si ce n'est pas le cas, le frêne a pu être favorisé comme toutes les essences minoritaires.

Pour ces trois contextes stationnels les enjeux et donc les risques liés à la chalarose seront différents.

- Dans les contextes acides, son impact sera faible : faible pression d'inoculum donc faible risque de contamination, faible risque économique. Conserver des frênes permet la préservation d'espèces associées, animales ou végétales, qui l'utilise comme source de nourriture ou de milieu de vie.
- Dans les contextes calcaires à faible réserve utile la pression d'inoculum pourra être forte mais les enjeux économiques seront faibles à moyens.
- Dans les stations riches chimiquement et mieux alimentées en eau le frêne a une fonction économique souvent prépondérante et donc les risques sont ou seront importants.

Quel que soit le contexte stationnel, la réponse à la chalarose s'efforcera au maximum de respecter l'un des principes forts du traitement irrégulier, celui du maintien du couvert.

### 6.1.1.1 Présentation des dispositifs AFI retenus

Trois dispositifs du réseau AFI ont pu être mis à contribution pour analyser l'impact de la chalarose sur l'évolution des peuplements et sur leur gestion. Il s'agit des dispositifs n° 18 (Epernay, Marne), n° 44 (Régnaval, Aisne) et n° 46 (La Chevreté, Aisne), tous trois situés sur des stations riches chimiquement et avec de bonnes réserves utiles. Chaque dispositif est décrit par 10 placettes permanentes contenant chacune entre 15 et 20 tiges échantillonnées toutes essences confondues. Tous les arbres sont géoréférencés et bénéficient d'un suivi individuel dendrométrique, écologique et économique tous les 5 ans.

Tous les frênes des trois dispositifs ont fait l'objet d'une évaluation de l'impact de la chalarose selon la méthode Chalfrax qui s'intéresse à quatre critères : mortalité des branches, nécrose au collet, masse foliaire reconstituée (gourmands) et déficit foliaire.

Ces quatre critères ne présentent pas le même intérêt sanitaire ni le même coût d'évaluation. Pour une bonne évaluation des critères mortalité des branches et déficit foliaire, l'idéal est de faire les martelages en été. Or, les stations favorables à la croissance du frêne ont le désagréable inconvénient d'avoir des ronces très vigoureuses en été, ce qui rend alors l'analyse du critère nécrose au collet très coûteuse en temps. Ces considérations sont prises en compte dans les différents scénarios présentés au paragraphe gestion de chaque dispositif.

La figure 6.1 synthétise pour ces trois dispositifs les valeurs à l'hectare de la surface terrière précomptable (diamètre supérieur à 17,5 cm) de frêne (GhaFr) et de toutes les essences (GhT). Les autres variables (Vol, Vc et Vp) sont une proposition d'indicateurs de veille sanitaire. Elles correspondent au pourcentage de volume, de valeur de consommation ou potentielle de frêne qu'il faudrait prélever en appliquant une règle simple qui consisterait à couper tous les frênes dont la note de nécrose au collet est supérieure ou égale à 2. La part de frêne dans le capital précomptable de ces trois dispositifs est respectivement de 19 %, 20 % et 63 %.

Disp	GhaFr	GhaT	Vol	Vc	Vp
18	3.4	18.0	8.9	6.5	11.0
44	3.6	17.7	14.9	8.1	11.5
46	9.1	14.5	53.4	48.5	61.5

Figure 6.1 – Présentation des trois dispositifs AFI.

La figure 6.1 montre que les dispositifs 18 et 44 sont très proches en terme de capital sur pied de frêne ou total, de contribution des frênes aux perspectives de recettes futures (valeur potentielle) mais aussi en terme de conséquence de la nécrose au pied. En revanche, le dispositif 46 se distingue nettement. Dans son cas, le prélèvement systématique des arbres à note de nécrose au collet supérieure ou égale à 2 conduirait à prélever 53,4 % du volume de frêne. Puisque c'est également le dispositif où la part de frêne est la plus forte, ce niveau

de prélèvement modifierait de manière importante les conditions de croissance. Pour les deux autres dispositifs, dans l'état actuel, la chararose peut être considérée comme un élément parmi d'autres dans la prise de décision au moment des martelages.

La figure 6.2 présente à titre d'exemple le plan de localisation des arbres échantillonnés du dispositif n° 46 car c'est celui où la chararose a le plus d'impact. Les arbres sont localisés dans le système de projection RGF93 / Lambert-93. Chaque tige échantillonnée est représentée avec une taille proportionnelle à sa valeur potentielle qui intègre sa qualité, dimension et vitalité.

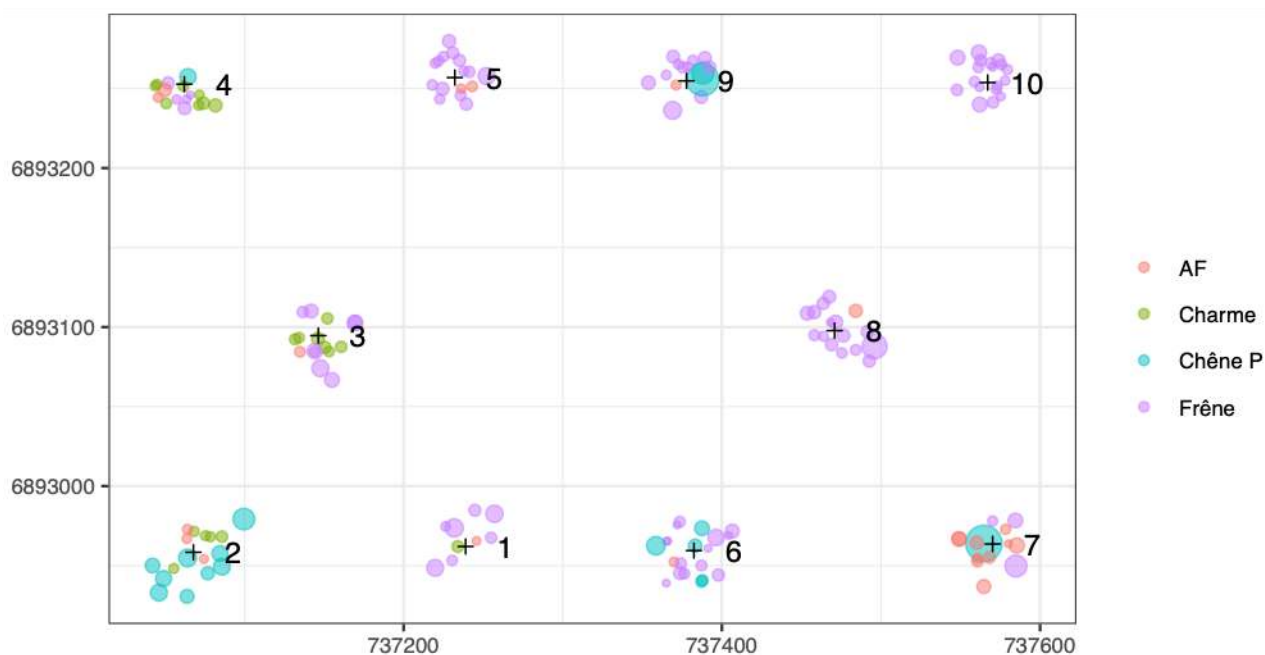


Figure 6.2 – Plan de localisation des arbres échantillonnés : cas du dispositif 46.

### 6.1.1.2 Proposition d'un indice de chararose

La figure 6.2 illustre l'hétérogénéité des situations. Le traitement irrégulier peut permettre une gestion du risque chararose peuplement par peuplement. A cet effet, un indice de chararose a été proposé. Il est calculé par placette et correspond à la somme des notes (exceptée celle sur les gourmands) de chaque frêne pondérée par sa surface terrière et divisée par la surface terrière totale de la placette. La figure 6.3 montre que cet indice est d'abord corrélé à la part de frêne. Pour les trois dispositifs, l'indice de chararose augmente fortement lorsque le frêne représente plus de 50 % de la surface terrière totale. Un test statistique a montré que l'indice de diversité de Shannon calculé pour chaque placette est également significatif. Seule la variable proportion de frêne reste significative lorsque la part de frêne est inférieure ou égale à 50 % de la surface terrière totale de la placette.

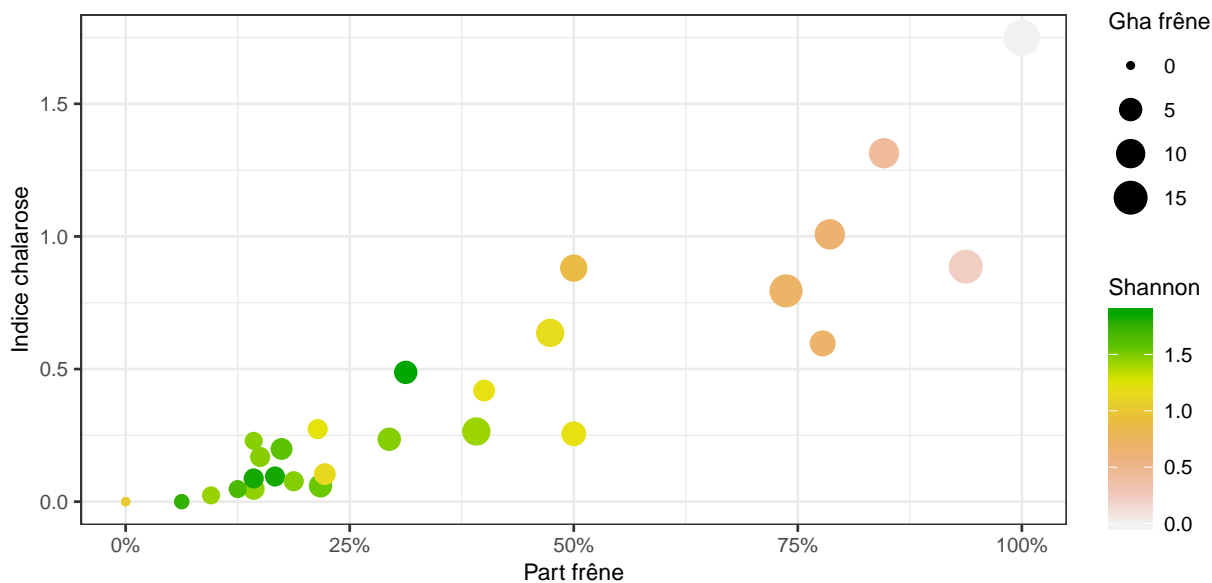


Figure 6.3 – Indice de la chararose

### 6.1.1.3 Proposition de scénarios de gestion

Sur chacun des trois dispositifs, quatre scénarios ont été simulés. Ce ne sont que des stratégies, que les gestionnaires ont déjà du évoquer, sans forcément les avoir toutes mises en oeuvre.

- Le scénario n° 1 correspond au propriétaire averse au risque : tous les frênes sont coupés, les autres essences étant conservées (coupe d'extraction).
- Le scénario n° 2 donne le même poids à tous les critères décrivant la chararose : sont coupés tous les frênes dont un des critères a une note supérieure ou égale à 3 (coupe sanitaire à seuil fixe).
- Le scénario n° 3 conjugue des opérations inhérentes à tout martelage (par exemple récolte) avec une gestion du risque chararose. Ce scénario essaie de concilier les connaissances actuelles sur l'évolution de la chararose (priorité donnée à l'importance de la nécrose) avec le coût de la mise en oeuvre au moment des martelages (examen uniquement si tiges de qualité). Les critères sont classés par ordre de priorité décroissante : nécrose, mortalité des branches et défoliation. Pour les frênes, les consignes de martelage classées par priorité décroissante sont les suivantes :
  - si le diamètre est supérieur à 67,5 cm alors récolte. Ce choix peut paraître trop systématique (il n'est pas optimal dans le contexte de la préservation d'une population résistante), même si cette règle peut se justifier sur le plan économique.
  - si les tiges sont de qualités A ou B et si les diamètres sont supérieurs à 37,5 cm : vérification des nécroses au pied. Si la note de nécrose au pied est supérieure ou égale à 3 alors récolte.
  - si la note de branches ou celle de défoliation est égale à 2, alors la possibilité de récolte sera fonction du niveau global de prélèvement.
- Le scénario n° 4 donne une priorité forte aux nécroses au collet et se rapproche de stratégies présentées par exemple par Delahaye et al. (2015). Il consiste à couper tous les frênes dont la note de nécrose est supérieure ou égale à 2. Pour les autres, on ne coupera que les arbres ayant une note de mortalité de branches supérieure ou égale à 3,5.

Pour tous les scénarios, les coûts de reconstitution vont dépendre de la surface terrière toutes essences restant sur pied. Ils sont compris entre 4 000 et 2 000 € /ha entre 5 et 10 m<sup>2</sup>/ha et diminueront progressivement pour devenir nuls à 20 m<sup>2</sup>/ha.

Disp	Scenario	Essence	Gha_c	VcHa_c	Gha_r	VcHa_r	VpHa3_r	Travaux	Bilan
18	1	Frêne	3.4	1493	0.0	0	0	1080	413
	2		0.3	74	3.1	1420	1491	460	1104
	3		0.5	254	2.9	1239	1202	500	956
	4		0.4	138	3.0	1356	1372	480	1029
	4	Autres			14.6	6373	3932		
44	1	Frêne	3.6	2441	0.0	0	0	1180	1261
	2		1.3	830	2.3	1611	1206	720	1316
	3		1.6	1322	2.0	1119	1081	780	1623
	4		0.9	519	2.7	1922	1228	640	1107
	4	Autres			14.1	8990	4608		
46	1	Frêne	9.1	2333	0.0	0	0	3840	-1507
	2		4.5	1053	4.6	1280	1063	2000	116
	3		4.0	961	5.1	1373	1146	1900	207
	4		5.4	1199	3.7	1135	752	2360	-410
	4	Autres			5.4	1878	1338		

Figure 6.4 – Comparaison des 4 scénarios pour les 3 dispositifs

Les résultats de ces quatre scénarios sont présentés sur la figure 6.4. La colonne VpHa3 correspond à la valeur potentielle calculée avec un taux d'actualisation de 3 %. Les prélèvements proposés ne prennent pas en compte les compléments de cloisonnement qu'il faudra éventuellement faire. La valeur potentielle retenue est celle du dernier cycle. Or, nous avons vu qu'il se caractérise par un climat plutôt défavorable. Ce choix revient à dire qu'en terme de production, une éventuelle augmentation de la chalarose pourrait être compensée par un climat plus favorable. La figure 6.4 montre que le scénario n° 1 est toujours le plus mauvais au niveau économique indépendamment de sa non-efficacité dans l'établissement d'une population résistante de frêne. Pour les dispositifs 18 et 44, les niveaux d'attaque sont actuellement trop faibles pour que les scénarios 2 à 4 soient très différents.

## 6.1.2 Propositions de gestion

### 6.1.2.1 Recommandations générales

Les connaissances actuelles sur l'évolution de la chalarose montre une grande variabilité de réaction au sein d'un même peuplement. L'existence d'individus tolérants et la bonne héritabilité de ce caractère (Husson et al. 2016) milite pour une gestion par pied d'arbres, en évitant d'être systématique afin de respecter au maximum le principe du maintien du couvert.

Les mesures effectuées sur seulement 30 placettes de l'AFI, mais cohérente avec d'autres observations, permettent également de proposer une règle de prudence à savoir d'éviter que la part de frêne soit supérieure à 50 % de la surface terrière totale du peuplement.

Les recommandations par type de peuplement s'appuient sur la typologie des frênes ainsi que celle des frênaies de production construites dans le cadre du programme Chalfrax<sup>3</sup>. Elles peuvent être appliquées à l'échelle du quart d'hectare.

### 6.1.2.2 Cas où le frêne joue un rôle principalement cultural

En comptant les tiges non précomptables, le frêne représente en général un peu plus de 20 % de la surface terrière totale. Le frêne est présent sous forme de semis, perches et petits bois, voire bois moyens. Ce sont également des peuplements où le renouvellement est une préoccupation forte (cas des peuplements PE2). Si la défoliation est importante, le frêne pourra difficilement jouer son rôle de favoriser en importance et qualité, la régénération d'autres essences.

- Si les frênes de type F3 ou F4 représentent moins de 50 % des tiges de frênes, favoriser dans les soins culturaux toutes les essences autres que le frêne. L'utilisation de rotations plus courtes doit permettre à chaque passage en coupe de décider de l'avenir de chaque tige de frêne.

3. Programme rassemblant de nombreux acteurs du milieu forestier (gestionnaires, chercheurs) afin de travailler sur la crise sanitaire du frêne due à la chalarose selon plusieurs axes (résistance et tolérance, contexte infectieux et état sanitaire, stratégie de gestion). Plus d'informations disponibles à l'adresse suivante : <https://chalfrax.cnpf.fr>

- Si les frênes de type F3 ou F4 représente plus de 50 % des tiges de frênes, une augmentation des soins culturaux est à prévoir. Un prélèvement plus fort dans les frênes dépérissants va faciliter l'installation de cellules de reboisement programmées dans l'esprit des règles proposées précédemment.

### 6.1.2.3 Cas où le frêne joue un rôle économique important

C'est le cas des stations où la réserve en eau estivale est importante. Elle permet de fabriquer des gros bois de frêne de qualité.

#### **Peuplement PE1 :**

En cas d'absence ou de faible attaque de chalarose, si localement le frêne représente plus de 50 % du volume, il convient de pratiquer des éclaircies un peu plus fortes pour favoriser toutes les essences autres que le frêne.

#### **Peuplement PE2 :**

En cas de forte attaque de chalarose, puisque ce peuplement contient peu de tiges d'avenir, un prélèvement plus fort dans les frênes dépérissants va faciliter l'installation de cellules de reboisement. Il est également possible de procéder par des plantations individuelles en point d'appui.

#### **Peuplement PE3 :**

Les principes du traitement irrégulier s'appliquent pleinement avec une légère modification. La prise en compte du risque chalarose se traduit par une augmentation du taux d'actualisation d'un demi à un point ce qui dans les faits va se traduire par une exploitabilité plus précoce. De fait les essences autres que le frêne seront favorisées.

#### **Peuplement PE4 :**

Ce peuplement se caractérise par un niveau d'attaque fort, mais inférieur à celui subit par le peuplement PE5. L'exemple du dispositif n° 46 du réseau AFI montre que même dans le cas où le frêne représente plus de 50 % du volume, la stratégie qui consiste à couper tous les frênes par aversion au risque n'est pas économiquement la plus intéressante. Le scénario n° 3 correspond à une gestion classique en irrégulier car il cherche à ne pas faire de sacrifices d'exploitabilité. Avec l'accord des propriétaires il pourrait être légèrement modifié en conservant localement des individus de plus de 67,5 cm de diamètre dont la coupe serait économiquement justifiée. Ce choix qui pour le propriétaire génère une dépense permettrait de contribuer à la mise en place d'une population de frêne plus résistante à la chalarose.

#### **Peuplement PE5 :**

Ce peuplement se caractérise par un très fort niveau d'attaque. Le principe du maintien du couvert doit cependant être recherché. Avant de prendre la décision de pratiquer une coupe rase, le seuil de 100 tiges d'avenir ou semenciers/ha bien répartis pourra être descendu jusqu'à un seuil très faible (10 à 20). Des cellules de reboisement devront être programmées.

#### **Peuplement PE6 :**

Ce peuplement est actuellement peu atteint par la chalarose. Les préconisations de gestion sont identiques à celles du peuplement PE3.

#### **Peuplement PE7 :**

Dans ce peuplement, le frêne est minoritaire. Les principes de gestion en irrégulier s'appliquent sans modification.

#### **Peuplement PE8 :**

Les préconisations de gestion sont identiques à celles du peuplement PE4. La présence d'au moins 50 tiges d'avenir doit être valorisée.

#### **Peuplement PE9 :**

Les préconisations de gestion sont identiques à celles du peuplement PE5.

#### **Peuplement PE10 :**

Les préconisations de gestion sont identiques à celles du peuplement PE3.

## 6.2 Analyse du dépérissement et de la capacité de résilience des chênes : méthode ARCHI

Cette partie est issue d'un travail de stage effectué par Hélène Drieux (2018).

Depuis l'origine le protocole AFI a fait le choix de mesurer la projection au sol du houppier de chaque arbre échantillonné par le biais de 4 rayons. Cette opération permet d'estimer le couvert au sol des arbres précomptables. Elle a permis de proposer un nouvel indicateur, le coefficient de houppier, ratio de la projection au sol du houppier par la surface terrière de l'arbre. Il a eu des retombées sylvicoles importantes. Il a permis de montrer que les coefficients de houppier varient avant tout par groupe d'essences ce qui souligne les limites d'une évaluation du couvert à l'aide d'une surface terrière uniquement totale. Il a surtout montré qu'à surface terrière égale un gros bois occupe moins de place qu'un petit bois. Cette information est vraie pour toutes les essences, mais plus importante pour des essences telles que le hêtre, le charme, le tilleul ou les résineux, et moins pour les chênes. D'autres retombées seront possibles comme par exemple l'aide à la calibration des données lidar. Mais ces mesures de houppier sont très chronophages, leur précision peut être estimée entre 20 et 50 cm, si bien que progressivement il a été décidé de ne faire ces mesures qu'une fois sur deux. En échange il a été décidé de rechercher des indicateurs du fonctionnement du houppier. Afin d'être compatible avec le protocole AFI, les méthodes à retenir devaient pouvoir être utilisées hors feuille.

Assez rapidement la méthode ARCHI a été retenue. Développée par l'Institut pour le Développement Forestier et par le Centre National de la Propriété Forestière, la méthode ARCHI comme son nom l'indique s'intéresse à l'architecture des arbres. Elle propose notamment pour le chêne une clé de diagnostic du dépérissement et des capacités de résilience. Elle repose sur l'analyse d'éléments du houppier permettant d'identifier les symptômes de dégradation dans un premier temps, le processus de restauration mis en œuvre dans un second temps. La clé ARCHI classe uniquement les arbres dominants en 5 types ARCHI, mais pour nos besoins seuls les 4 types suivants ont été retenus :

- Sain
- Stressé : la réaction à un stress est trop récente pour préjuger de l'avenir de l'arbre
- Résilient : houppier en reconstruction après dépérissement
- Dépérissement irréversible : incapacité de restaurer les parties dépérissantes du houppier, épuisement des réserves. Arbre moribond.

Les différents types ARCHI ont déjà été corrélés à l'accroissement diamétrique des chênes [*Lebourgeois et al., 2015, Caractérisation de la croissance des chênaies pédonculées atlantiques dépérissantes : effets des sécheresses et relations avec l'architecture des houppiers*].

A titre de test la méthode ARCHI a été appliquée sur les dispositifs 5 et 15 qui se trouvent dans la même région naturelle et dans des conditions de croissance très proches. La figure 6.5 illustre les résultats d'une analyse en composantes principales où les variables biométriques des arbres (diamètre à 1.3 m, diamètre du houppier, hauteurs) ont été considérées comme variables actives, l'essence, la qualité et la note ARCHI comme variables supplémentaires. Elle montre que l'axe 1 restitue 51,2 % de la variabilité (l'inertie). Il est corrélé positivement avec les classes de qualité ainsi qu'avec les variables de dimension comme le coefficient de couvert, le diamètre du houppier, le diamètre à 1m30. Dans une moindre mesure, il est également corrélé avec la hauteur totale et hauteur de houppier large.

L'axe 3 qui ne porte que 13,2 % de l'inertie a été retenu car il est fortement corrélé avec les accroissements des cinq dernières années en diamètre à 1.3 m et en houppier. Il est également corrélé avec la période et donc en lien avec son déficit hydrique ainsi que d'éventuelles attaques de chenilles. Par la suite toutes ces perturbations seront attribuées au climat. L'axe 3 permet également de retrouver un résultat observé sur le terrain, à savoir un accroissement sur le diamètre plus élevé chez le chêne sessile que chez le chêne pédonculé. En matière de notes ARCHI, l'axe 3 fournit le classement suivant : sain, stressé, dépérissant irréversible, résilient.

Cette analyse globale permet de cibler des analyses plus thématiques.

La figure 6.7 montre qu'aussi bien pour le dispositif 5 que 15, le climat et l'essence expliquent les variations d'accroissements sur le diamètre. Elle montre l'importance de conserver pour certains dispositifs un rythme de mesure quinquénal car cela permet d'illustrer des années particulières comme par exemple 2003. le chêne sessile a un accroissement sur le diamètre significativement supérieur au chêne pédonculé, de 38 % et 24 % respectivement pour le dispositif n°5 et 15.

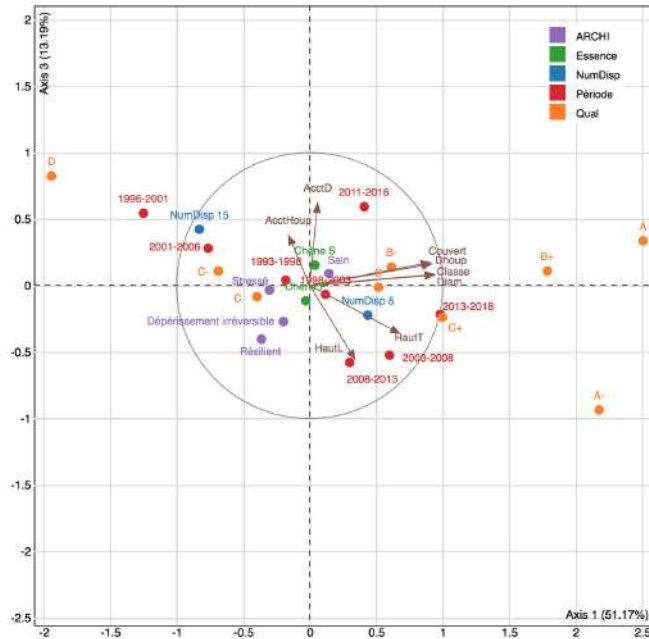


Figure 6.5 – Analyse en composantes principales des données concernant la méthode ARCHI.

Le fait que la figure 6.5 montre que le dispositif 15 a des accroissements supérieurs au dispositif 5 s’explique par la proportion supérieure de chêne sessile (voir figure 6.6), mais aussi par le fait que pour le dispositif 15 l’année 2003 s’est trouvée entre deux cycles de mesures.

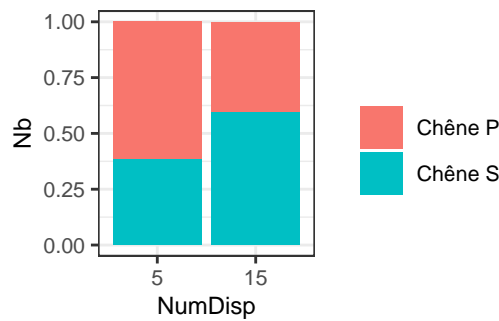


Figure 6.6 – Répartition des chênes échantillonnés par essence et dispositif.

La différence d’accroissement entre les deux dispositifs est significative dans le cas du chêne pédonculé (16 % d’accroissement en plus sur le dispositif n°15), et non significative dans le cas du chêne sessile. Les effets de la sécheresse de 2003 est nettement visible à Gergy, alors qu’à St-Christophe, 2003 étant tombé au milieu de deux campagnes de mesure, l’effet de cette année exceptionnelle est masqué.

La figure 6.7 montre que l’accroissement sur le diamètre s’explique avant tout par l’essence et le climat. La figure 6.8 montre que la méthode ARCHI est un apport dans la compréhension de l’accroissement sur le diamètre dans le cas du chêne pédonculé mais beaucoup moins pour le chêne sessile.





Figure 6.7 – Accroissement sur le diamètre en fonction de l'essence et de la période pour les dispositifs 5 et 15.

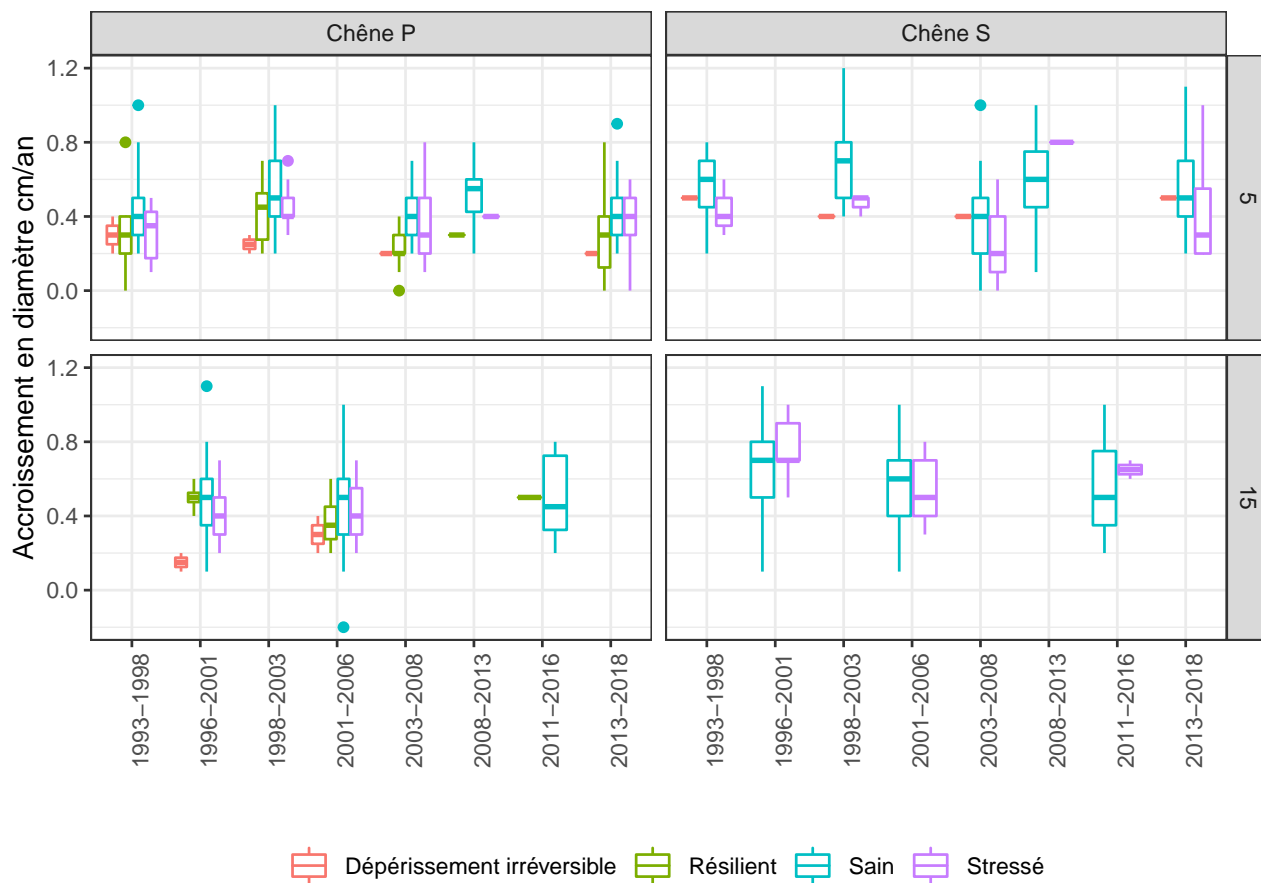


Figure 6.8 – Accroissement sur le diamètre en fonction de l'essence et de la période pour les dispositifs 5 et 15.

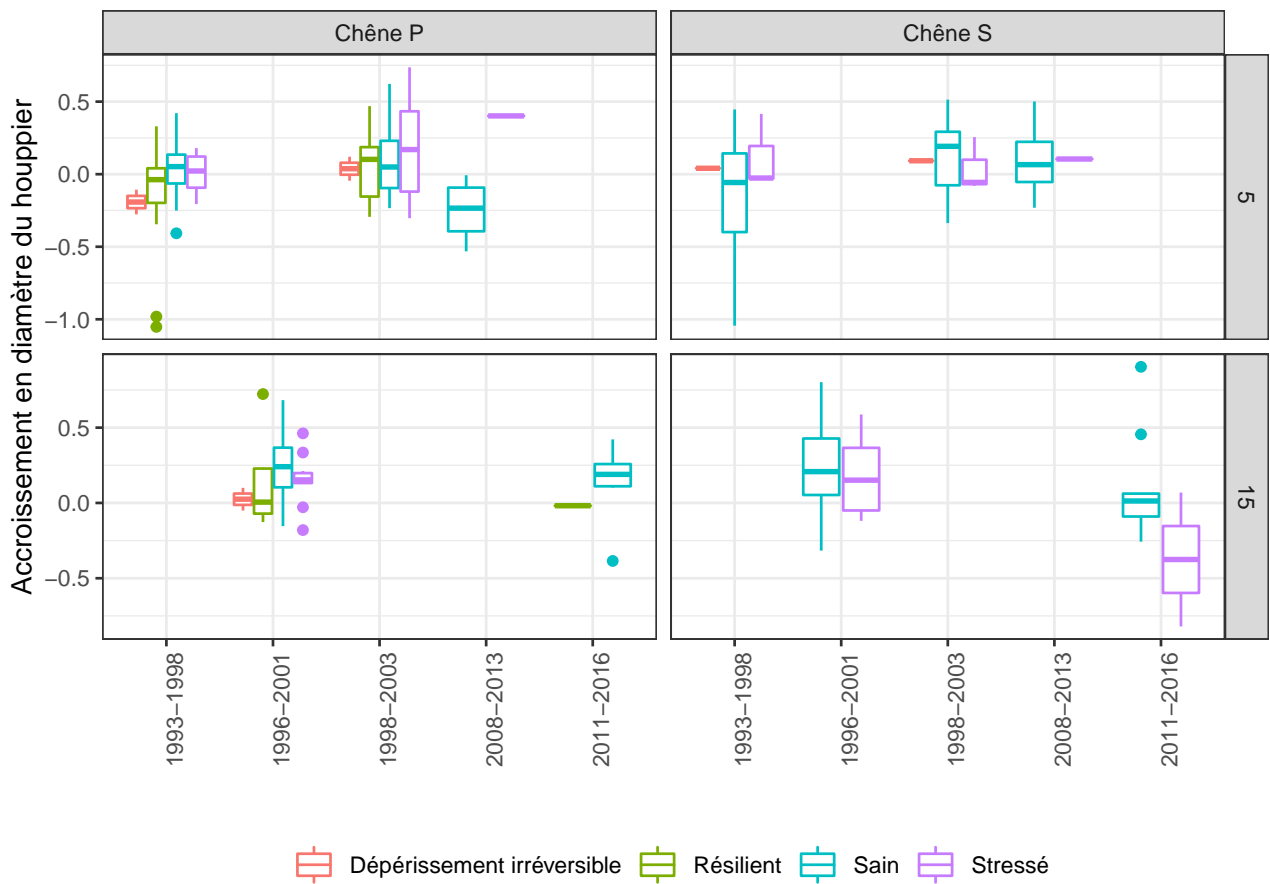


Figure 6.9 – Accroissement sur le diamètre du houppier en fonction de l'essence et de la période pour les dispositifs 5 et 15.

On note un premier effet de la gestion forestière : le diamètre des chênes est corrélé positivement avec la qualité de la grume.

## Annexe A

# Compléments sur les caractéristiques dendrométriques de l'ensemble des dispositifs AFI

### A.1 Matériel sur pied

Le tableau A.1 fournit pour le dernier cycle de mesures le volume et surface terrière par dispositif avec la précision associée. La légende de ce tableau est la suivante :

- Vha : volume moyen ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ).
- ErV : erreur relative sur le volume (%)
- CVV : coefficient de variation sur le volume (%)
- Gha : surface terrière moyenne ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ).
- ErG : erreur relative sur la surface terrière (%)
- CVG : coefficient de variation sur la surface terrière (%)

### A.2 Répartition actuelle du volume par catégorie de diamètre

La figure A.1 fournit la répartition du volume par catégorie de diamètre.

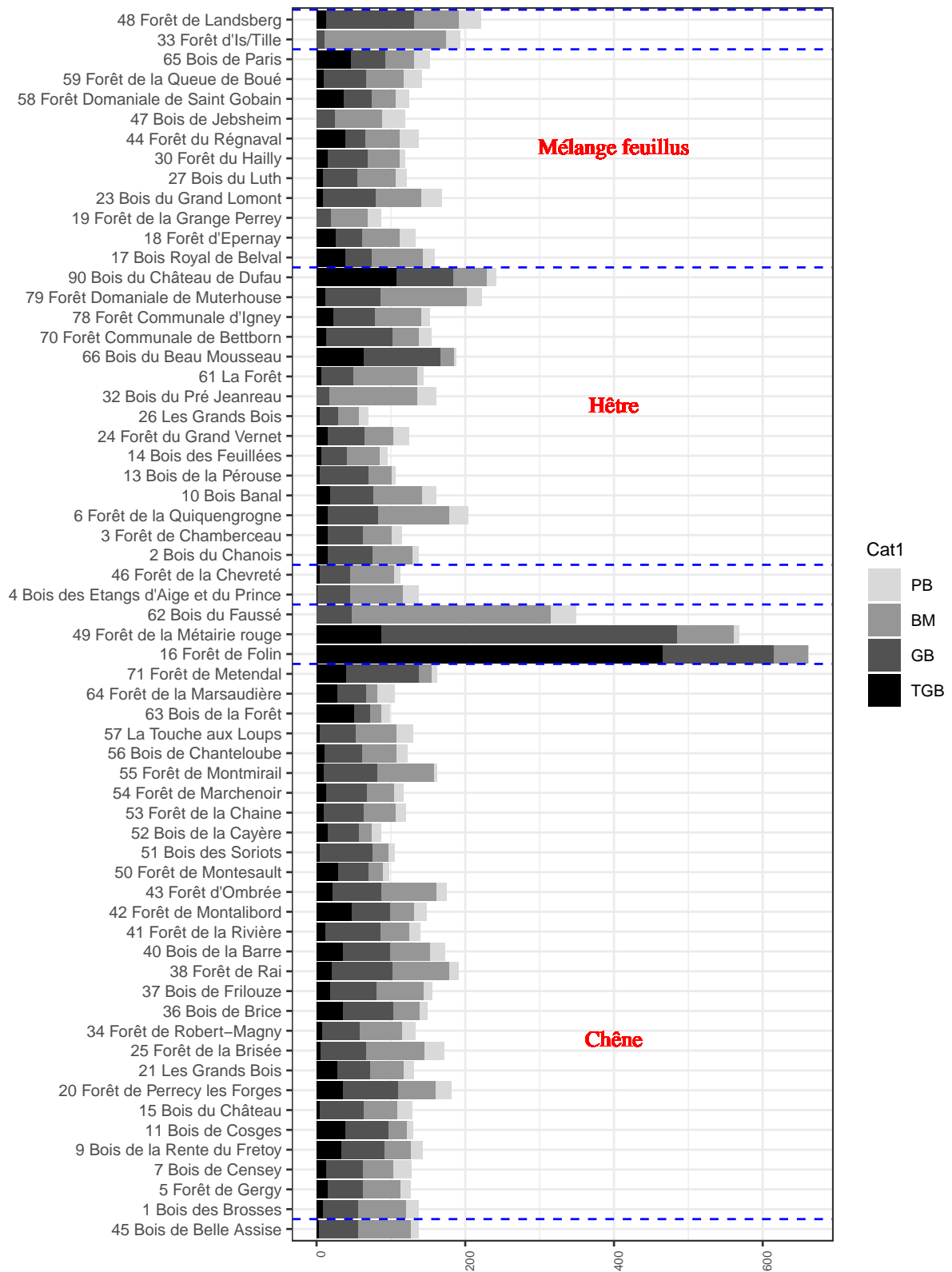


Figure A.1 – Répartition du volume par catégorie de diamètre.

Disp	NumDisp	Vha	Er	Vha	CV	Vha	Gha	Er	Gha	CV	Gha
Bois des Brosses	1	137.5		9		13	20.3		9		13
Bois du Chanois	2	137.0		13		18	19.6		13		18
Forêt de Chamberceau	3	114.7		15		22	15.9		16		22
Bois des Etangs d'Aige et du Prince	4	137.1		6		9	18.6		6		8
Forêt de Gergy	5	126.5		14		20	16.7		14		20
Forêt de la Quiengrogne	6	204.3		12		18	22.4		15		21
Bois de Censey	7	127.9		16		23	17.2		16		22
Bois de la Rente du Fretoy	9	142.7		16		23	20.7		17		24
Bois Banal	10	160.8		19		27	18.6		19		27
Bois de Cosges	11	129.4		8		11	18.5		8		11
Bois de la Pérouse	13	106.4		19		28	14.6		20		29
Bois des Feuillées	14	95.5		17		24	17.0		16		23
Bois du Château	15	128.3		10		14	18.9		10		14
Forêt de Folin	16	661.6		19		25	47.1		18		24
Bois Royal de Belval	17	158.6		14		19	20.8		14		19
Forêt d'Épernay	18	133.5		21		30	18.0		22		31
Forêt de la Grange Perrey	19	87.0		14		20	13.9		14		20
Forêt de Perrecy les Forges	20	181.2		12		17	23.9		13		18
Les Grands Bois	21	130.4		20		29	17.1		20		28
Bois du Grand Lomont	23	168.7		17		24	20.6		15		21
Forêt du Grand Vernet	24	124.2		21		30	17.5		20		29
Forêt de la Brisée	25	171.5		16		23	19.8		16		22
Les Grands Bois	26	69.2		28		40	9.8		29		41
Bois du Luth	27	121.5		18		26	16.4		18		25
Forêt du Hailly	30	119.3		37		53	15.2		36		52
Bois du Pré Jeanreau	32	160.9		10		13	23.1		6		8
Forêt d'Is/Tille	33	193.0		17		25	23.6		18		26
Forêt de Robert-Magny	34	132.8		30		42	17.8		30		43
Bois de Brice	36	148.9		18		26	19.7		18		25
Bois de Frilouze	37	156.1		0		0	21.1		0		0
Forêt de Rai	38	191.3		18		25	22.5		15		22
Bois de la Barre	40	172.4		11		14	21.2		11		14
Forêt de la Rivière	41	140.0		12		18	18.6		13		18
Forêt de Montalibord	42	148.1		14		20	19.5		14		20
Forêt d'Ombree	43	174.4		10		14	23.1		11		16
Forêt du Régnaval	44	136.7		14		20	17.7		13		19
Bois de Belle Assise	45	137.0		13		19	19.0		9		12
Forêt de la Chevreté	46	112.5		16		22	14.5		16		22
Bois de Jepsheim	47	119.5		24		33	15.5		25		35
Forêt de Landsberg	48	220.8		18		25	22.5		24		34
Forêt de la Métairie rouge	49	568.5		10		15	42.5		11		15
Forêt de Montesault	50	97.9		18		26	13.0		18		26
Bois des Sorlots	51	104.6		20		28	13.8		20		28
Bois de la Cayère	52	86.4		9		13	12.5		9		13
Forêt de la Chaîne	53	120.5		14		20	16.2		15		22
Forêt de Marchenoir	54	116.3		13		18	15.7		13		19
Forêt de Montmirail	55	161.7		12		16	21.8		12		16
Bois de Chanteloube	56	122.0		9		13	16.3		10		14
La Touche aux Loups	57	130.5		17		24	17.6		17		24
Forêt Domaniale de Saint Gobain	58	124.9		19		27	16.6		20		28
Forêt de la Queue de Boué	59	141.9		7		10	17.7		5		8
La Forêt	61	143.5		11		16	21.5		11		15
Bois du Faussé	62	349.4		11		16	31.5		11		16
Bois de la Forêt	63	98.8		20		28	13.1		20		29
Forêt de la Marsaudière	64	104.9		13		19	14.1		13		18
Bois de Paris	65	152.6		18		26	19.3		17		24
Bois du Beau Mousseau	66	188.5		19		27	19.4		18		25
Forêt Domaniale de Wiltz-Merkholtz	68	468.3		12		17	39.1		12		17
Forêt Communale de Wiltz	69	137.6		20		28	15.7		14		20
Forêt Communale de Bettborn	70	154.7		10		14	18.4		11		16
Forêt de Metendal	71	162.1		14		19	20.8		14		19
Forêt de la Montroche	72	373.9		19		27	36.7		12		17
Curraghchasse Forest Park	73	175.4		24		34	23.2		26		37
Forêt Domaniale du Grand Bois	74	347.9		30		42	24.3		28		40
Forêt Communale de Rouvrois	75	186.1		18		26	20.1		16		23
Forêt de la SOMICAL (1)	76	225.8		15		21	27.0		14		19
Forêt Communale d'Igney	78	152.0		9		13	20.3		9		12
Forêt Domaniale de Mutterhouse	79	222.3		15		19	29.8		14		18
Le Hohenfels	80	213.9		24		34	20.7		23		33
Forêt de la Sémoline	81	212.1		27		38	25.7		23		33
Forêt de Fontréal	82	314.5		21		28	32.0		11		15
Forêt de Saint Lager	83	427.4		14		19	35.5		13		17
Forêt d'Algères	84	217.5		21		28	22.8		18		23
Forêt de la SOMICAL (2)	85	173.4		19		27	23.9		18		25
Forêt de Rivedieu	86	189.5		26		37	15.2		24		34
Domaine de Rochemure	87	194.5		32		45	23.9		21		30
Bois de la Côte	88	244.4		21		30	29.0		17		24
Forêt Domaniale des Chambons	89	298.6		22		31	27.4		20		28
Bois du Château de Dufau	90	241.7		26		37	28.1		24		34
Forêt de Londeix	91	371.5		16		23	31.1		16		22
Forêt de la SOMICAL (3)	92	119.5		40		56	17.1		38		53
Bois de Barnal	93	272.9		28		39	28.4		26		37
Bois des Mauves	95	265.9		31		44	25.0		32		46
Bois de la Vancre	96	130.1		22		31	16.8		19		26
Forêt Domaniale d'Andelfingen	97	219.7		13		19	23.8		11		15
La Clavière	98	129.1		14		20	19.3		13		18
Forêt Domaniale de Jussy	99	139.6		6		8	20.3		8		11
Forêt d'Authumes	100	128.2		26		37	18.2		24		35
Forêt Communale d'Hallau	101	271.1		26		37	23.9		20		28
Forêt de Cardine	109	219.6		20		28	19.3		19		27
Forêt Communale de Lacoste	110	429.3		17		23	44.5		15		21
Forêt Domaniale de Versoix	111	246.0		18		25	28.4		16		23
Les Cravives	112	166.5		23		31	23.0		23		30
Bois du Crêt Lescuyer	113	381.4		15		21	36.0		16		23
Forêt Indivise de Rabat les Trois Seigneurs	114	179.6		19		27	25.0		19		27
Forêt Communale de Bousenac	115	525.9		22		31	40.5		21		30
Forêt communale de Rimont	116	204.5		24		34	28.1		25		36
Bois du Bousquet	117	62.0		51		73	8.5		51		72
Forêt Communale de Grenchen	118	311.6		16		22	26.3		16		22
Forêt de la Fabrie	119	177.2		25		35	24.1		25		36
Bois de l'Ardère	122	140.0		21		40	18.4		18		35
Forêt Communale de Niozelles	124	14.9		60		85	2.2		58		82
La Tuilière	125	88.2		24		34	14.4		23		33
Plan de Liman	126	362.2		20		28	33.5		22		32
Forêt de Mollberg	127	240.0		31		42	26.0		29		38
Forêt Communale de Lalaye	128	493.2		20		29	43.0		22		31
Forêt du Nivot	129	0.0		0		0	34.2		17		25
Bois de Luthenay	133	112.7		15		22	15.0		15		21
Forêt Communale de Zurich	135	193.0		19		28	23.4		17		24

Tableau A.1 – Volume et surface terrière par dispositif avec la précision associée.

## Annexe B

# Comparaison avec la base IFN

A la création de l'AFI, les besoins de représentativité n'avaient que peu d'importance et au contraire le réseau AFI a été construit en donnant la priorité aux cas particuliers. Avec le temps ce besoin de représentativité devient plus fort. C'est le cas par exemple pour l'analyse des prélèvements effectués : les prélèvements constatés sur le réseau AFI (voir paragraphe 2.2.3.1) peuvent-ils être extrapolés dans l'hypothèse d'une généralisation de la méthode ?

La figure B.1 permet de comparer la surface terrière à l'hectare (perches exclues) mesurée sur les placettes de l'IFN à l'échelle nationale (boîte à moustache) et les dispositifs AFI (points rouge) pour les sylvoécotégions échantillonnées. Un même dispositif peut figurer plusieurs fois selon son cycle de mesure. Cette figure permet de constater que fort logiquement, le réseau AFI possède moins de variabilité que la forêt française, mais que la représentativité n'est pas si mauvaise car les surfaces terrières des dispositifs AFI se trouvent souvent proches de la médiane des placettes IFN.

Quelques sylvoécotégions font exception comme par exemple les Cevennes ou bien la région Boischaut et Champagne berrichonne. C'est aussi le cas des dispositifs morvandiaux de douglas de Folin (n°16) et de la Métairie rouge (n°49) à fort capital à l'hectare.

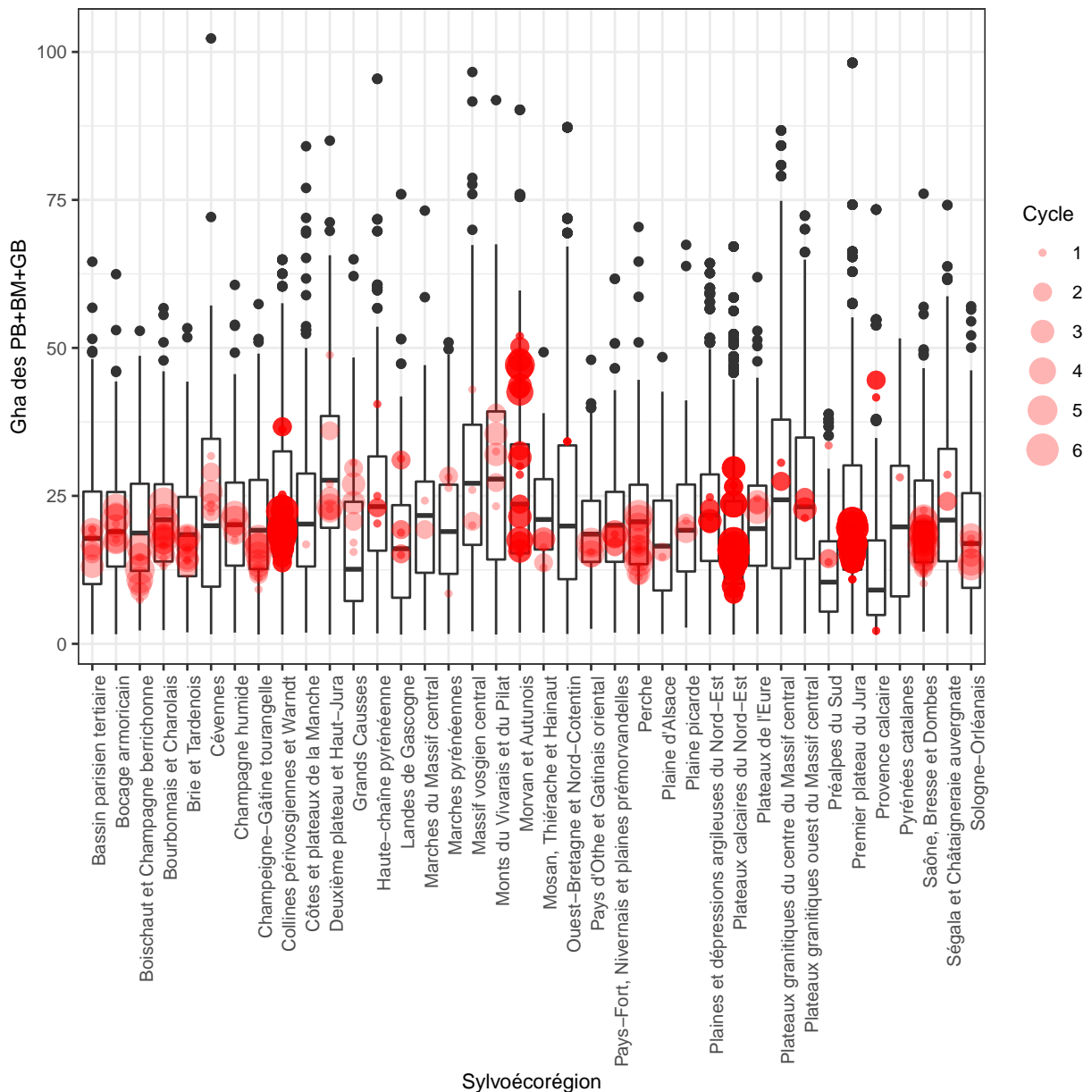


Figure B.1 – Comparaison de la surface terrière à l’hectare (perches exclues) entre l’IFN (boîtes à moustache) et l’AFI (points rouge).

De même que la figure B.1, la figure B.2 cherche à mesurer le décalage de représentativité mais cette fois-ci en matière de surface terrière des gros bois. A nouveau, la distribution des dispositifs AFI n’est pas très éloignée de la médiane des placettes IFN. Fort logiquement les dispositifs AFI à base de douglas de la région Morvan et Autunois se distinguent des autres peuplements de la sylvoécologie car pour cette essence les âges d’exploitabilité en futaie régulière sont classiquement d’environ 45 ans ce qui limite la part de très gros bois. Les dispositifs des Landes de Gascogne ont des surfaces terrières de gros bois inférieures à la médiane des placettes de l’IFN. C’est dû à la fois au faible nombre de propriétaires qui acceptent de convertir leurs plantations, mais aussi au fait qu’il est plus facile de l’amorcer au stade des bois moyens.

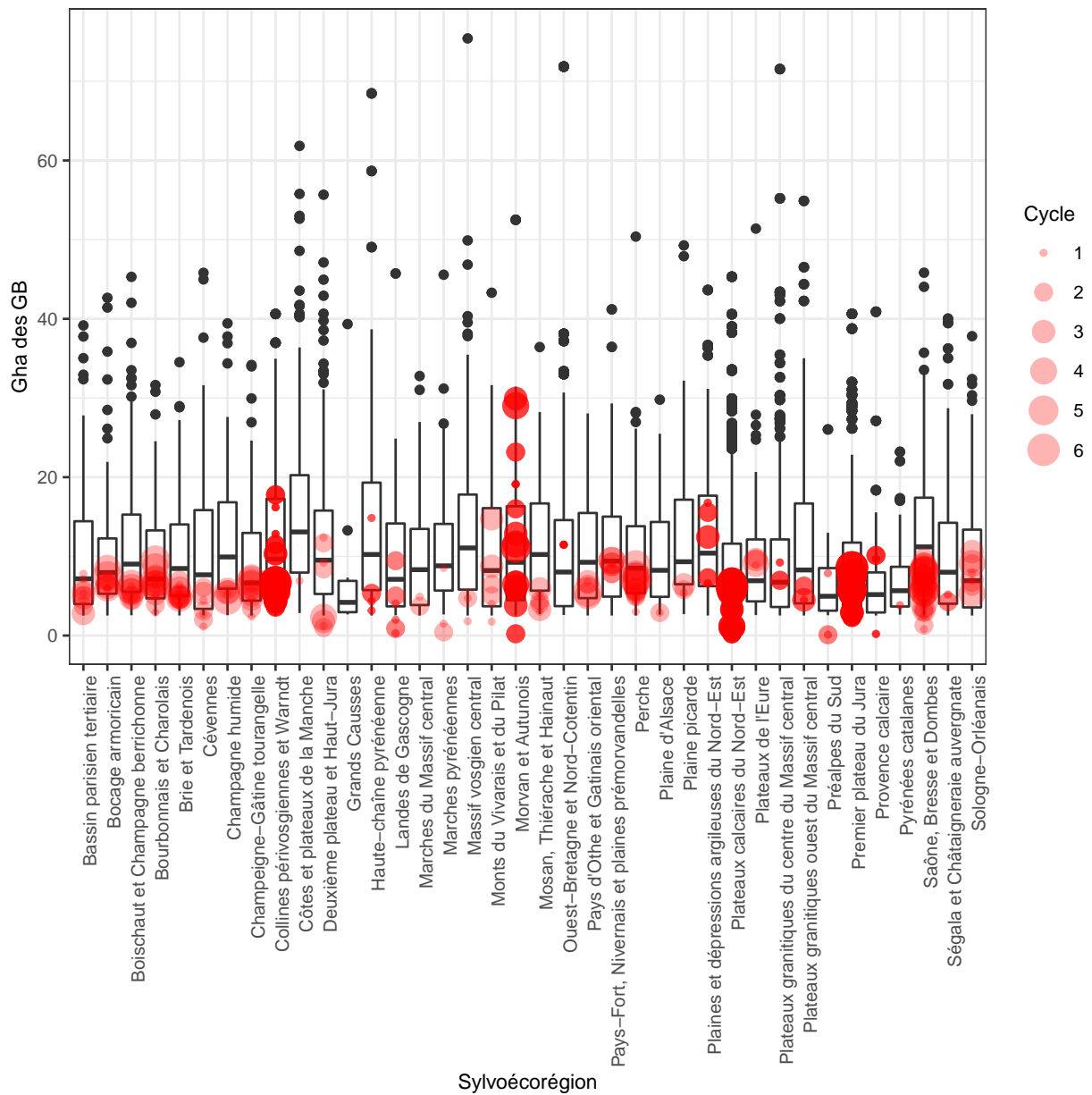


Figure B.2 – Comparaison de la surface terrière à l’hectare des gros bois entre l’IFN (boîtes à moustache) et l’AFI (points rouge).



## Annexe C

# Bilan du protocole

### Arbres oubliés

Toutes les méthodes officielles d'inventaire n'ont pas de biais théorique mais leur utilisation peut générer un biais opérateur plus ou moins important. Par exemple, il est admis que l'inventaire en plein sous-estime le volume ou la surface terrière d'environ 10%. C'est pourquoi il est préconisé de dimensionner, selon le type de peuplement, la charge journalière et/ou hebdomadaire d'inventaire en plein pour éviter une trop grande lassitude des opérateurs.

L'échantillonnage retenu par l'AFI est une combinaison de placettes circulaires et à angle fixe. Ce dernier type permet d'améliorer la précision des informations sur les gros bois, mais peut conduire à aller chercher des arbres assez loin. Par exemple avec un angle de 2° un arbre de 90 cm de diamètre va être compté jusqu'à 45 m. En cas de présence d'arbres de très grosse dimension ou bien en cas de problème de visibilité, pour limiter le nombre de tiges oubliées il est préconisé d'augmenter l'angle d'échantillonnage. La notion d'arbres limites mise en avant dans le protocole AFI permet également de réduire fortement le nombre d'arbres oubliés.

Certains dispositifs AFI ont déjà été remesurés 6 fois. Lors d'une remesure l'accroissement sur le diamètre d'une tige peut être comparé à celui constaté sur des arbres similaires, de même essence et/ou de même classe de diamètre. Si cet accroissement est beaucoup trop fort pour que la tige soit nouvelle, elle est alors considérée comme oubliée lors des mesures précédentes. Ses diamètres initiaux sont recalculés à partir des diamètres constatés auquel est retiré l'accroissement moyen des arbres similaires.

Une analyse des arbres oubliés sur l'ensemble du réseau AFI va permettre de dresser un bilan de cet effet opérateur afin de proposer des solutions pour le diminuer. Globalement, depuis sa création, sur un total de 62244 arbres mesurées, le taux moyen d'oubli est très faible puisqu'il n'est que de 0.59 %. La méthode mise en œuvre pour détecter des arbres oubliés a deux limites. Elle peut considérer comme oublié un arbre qui a pu avoir un très fort accroissement (faux positif). A l'inverse elle ne permet pas de détecter ceux qui aurait été exploités entre deux mesures. Cependant, le fait de réaliser des mesures avec une périodicité (5 ans) inférieure à la rotation des coupes, l'attention portée aux arbres limites, le très faible taux global d'arbres oubliés, tous ces éléments contribuent à rendre négligeable cette dernière catégorie.

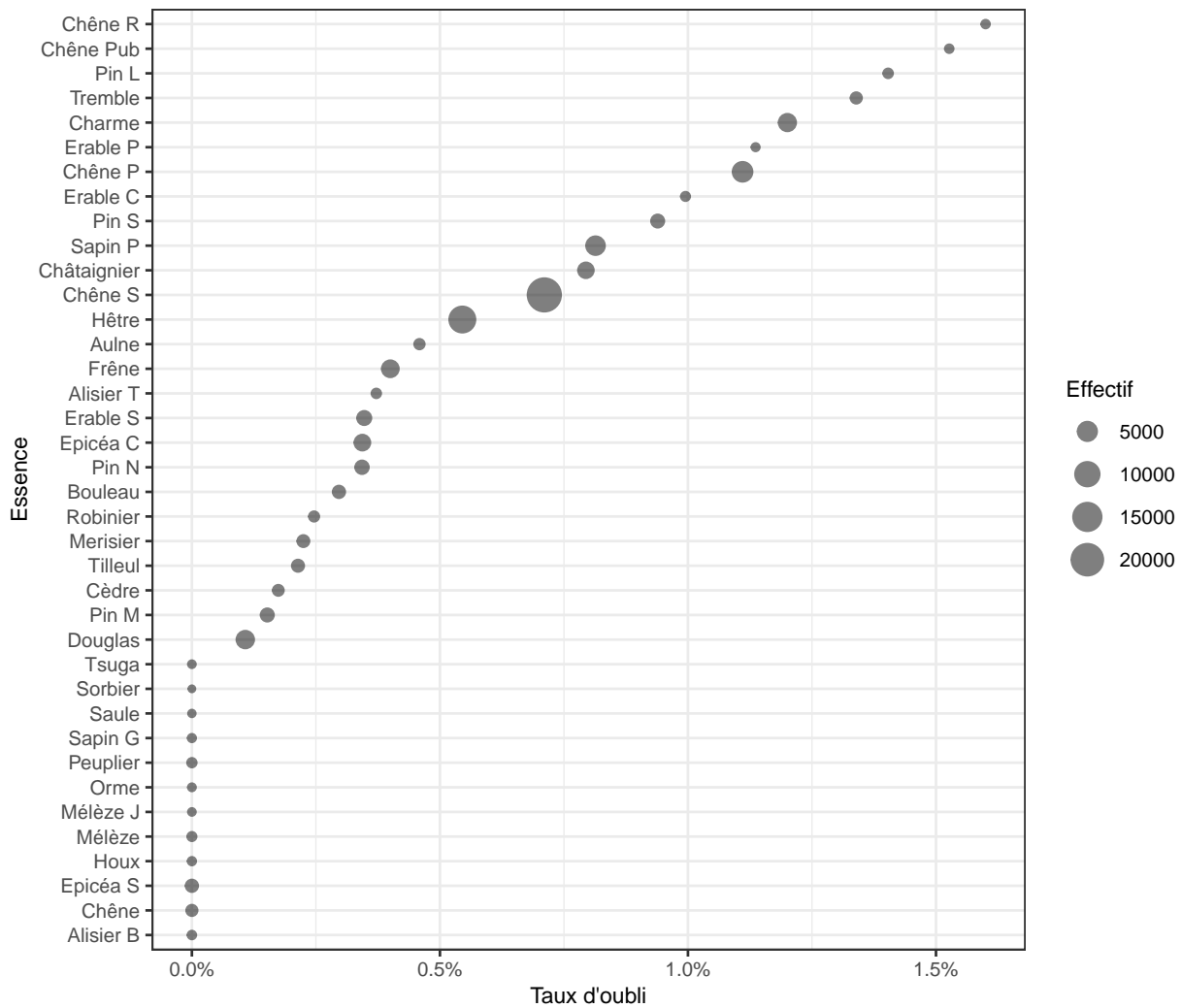


Figure C.1 – Taux d’arbres oubliés par essence.

La figure C.1 décompose le taux d’oubli par essence, la taille des points étant proportionnelle à la quantité d’arbres échantillonnés. Pour cette figure seules les essences présentes au moins 30 fois dans la base AFI ont été retenues. Cette figure permet de constater que les essences peu présentes, hormis le chêne rouge, le pin laricio et l’érable plane ont une probabilité nulle d’être oubliées. C’est logique puisqu’étant peu présentes, ces essences attirent l’attention.

La figure C.2 analyse pour les tiges oubliées, par essence, la distance au centre de la placette. Elle distingue par une couleur différente les coefficients d’angle utilisés à savoir 2, 3 ou 4%. Afin d’améliorer à la fois la lisibilité de la figure et la représentativité des distributions, seules les essences présentes au moins 150 fois dans la base AFI et dont le taux d’oubli est supérieur à 5‰ ont été retenues. Cette figure permet de distinguer les essences telles que le charme ou le tremble pour lesquelles les tiges oubliées se trouvent souvent à moins de 20 m du centre. Les raisons peuvent être multiples : tige purement oubliée ou bien confondue avec une perche ou un brin de taillis et donc sauf nouvelle erreur inventoriée dans une autre catégorie. Les peuplements à fort capital sont inventoriés avec un coefficient de 3% comme par exemple ceux à base de pin sylvestre ou bien avec un coefficient de 4%, ce qui limite la recherche de tiges au-delà de 20 m et donc le risque d’oubli. La figure C.2 permet également de distinguer des essences telles les chênes, châtaignier, frêne ou hêtre qui présentent des courbes bimodales.

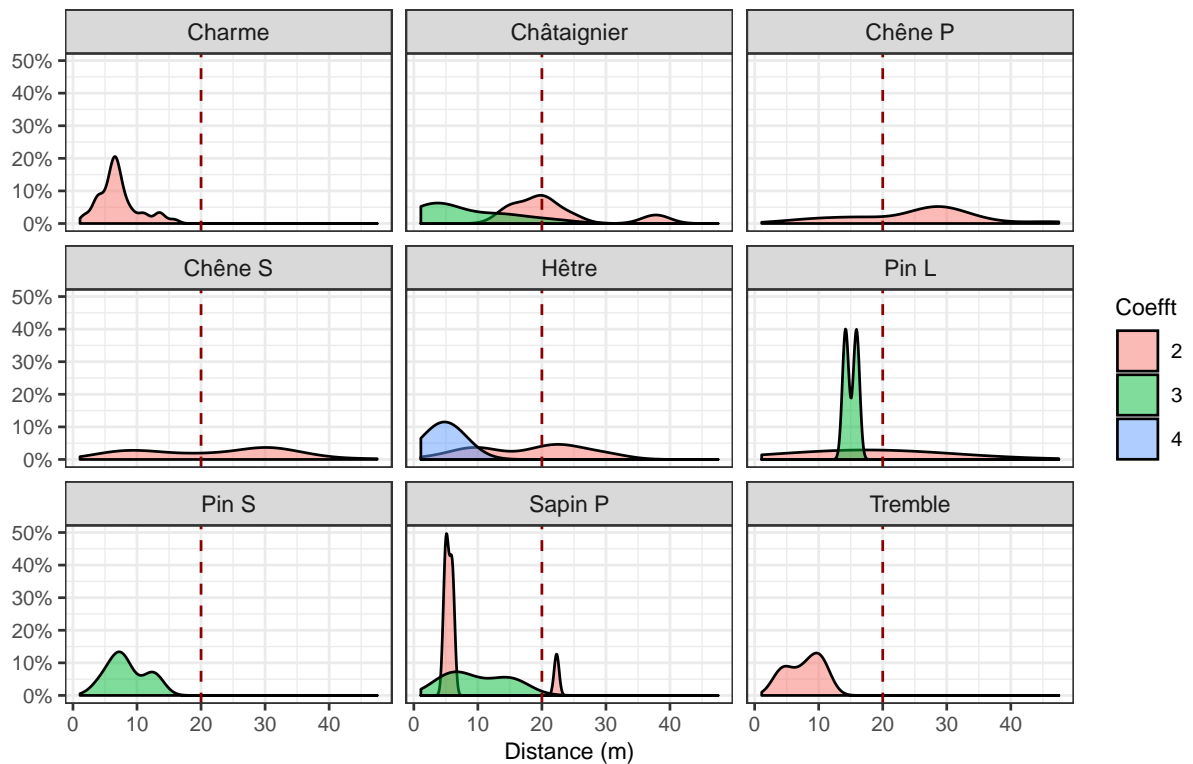


Figure C.2 – Répartition des arbres oubliés par rapport à leur distance au centre de la placette.

La figure C.3 permet de faire un focus sur trois essences très représentées dans la base AFI et qui peuvent atteindre de grosses dimensions. Elle permet de distinguer les tiges oubliées situées à moins de 20 m du centre dont on peut affecter l'entière responsabilité aux opérateurs, de celles situées à plus de 20 m et dont l'oubli est plus compréhensible, la responsabilité pouvant être répartie entre opérateur et méthode. Le chêne pédonculé se distingue par un taux d'oubli global supérieur (voir figure C.1) mais aussi par une plus grande part au delà de 25 m. Son caractère pionnier, son houppier plus perméable facilitant l'installation d'un sous-étage conduisent-ils à une moins bonne visibilité ?

Le protocole AFI combinant placette circulaire et à angle fixe, la présence de courbes bimodales montre que le taux d'oubli, qui rappelons-le est très faible, est comparable entre les deux types de placettes.

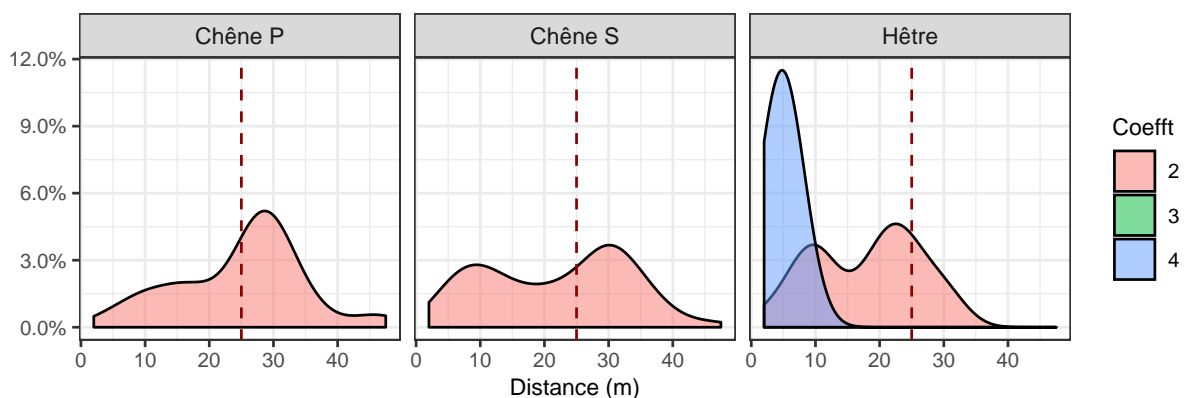


Figure C.3 – Répartition des arbres oubliés par rapport à leur distance au centre de la placette : zoom sur les chênes et le hêtre.

La figure C.4 fournit par classe de distance la répartition des tiges de chêne ou de hêtre oubliées avec une taille de point proportionnelle à leur diamètre, la transparence liée à l'importance de l'écart permet de souligner les erreurs flagrantes.

La variable Ecart correspond à la différence entre le diamètre n°1 constaté et celui que l'arbre devrait avoir pour être échantillonné. C'est une façon indirecte de mesurer le nombre de fois où une tige a été oubliée. Par exemple, si l'accroissement est de 1 cm/an, un écart de 50 cm signifie que la tige aurait pu être inventoriée il y a 50 ans (voir figure C.4 : cas d'un chêne sessile situé à moins de 10 m du centre, dont l'écart est de 50 cm). Le qualificatif d'arbre oublié doit être attribué par l'opérateur de terrain.

La figure C.4 permet de constater que des tiges de diamètre supérieur à 30 cm situées à moins de 10 m peuvent être oubliées. Ainsi, deux chênes sessiles situés à moins de 4 m du centre et de diamètre supérieur à 40 cm ont été oubliés !

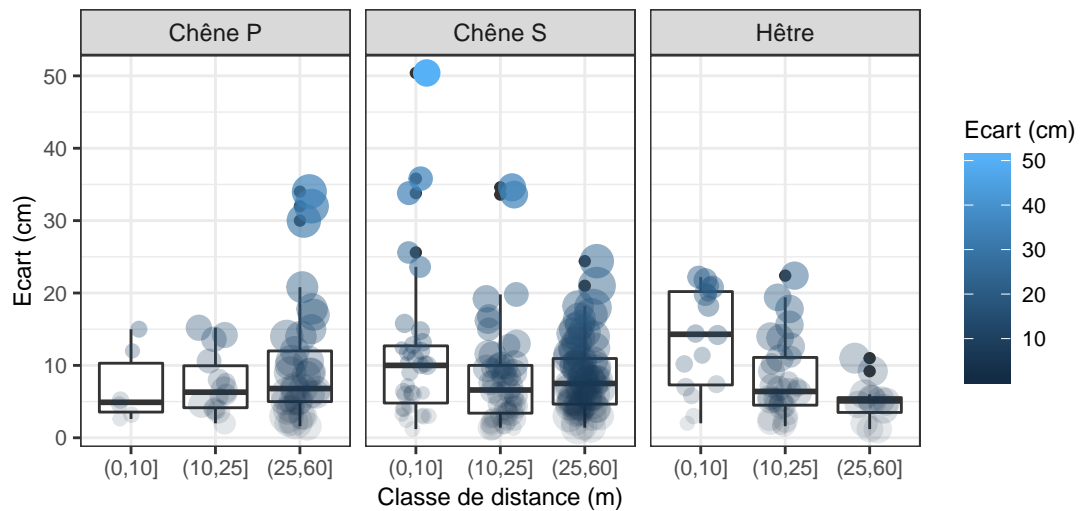


Figure C.4 – Répartition par classe de distance des arbres oubliés.

La figure C.5 est basée à nouveau sur la population des chênes ou des hêtres, car c'est pour ces essences que la probabilité d'oubli de tiges de forte dimension risque d'être la plus forte. Cette figure illustre l'évolution du nombre d'arbres oubliés avec le nombre de remesure. Elle montre que la méthode d'échantillonnage retenue est vertueuse car le nombre d'oubli diminue avec le nombre de remesure.

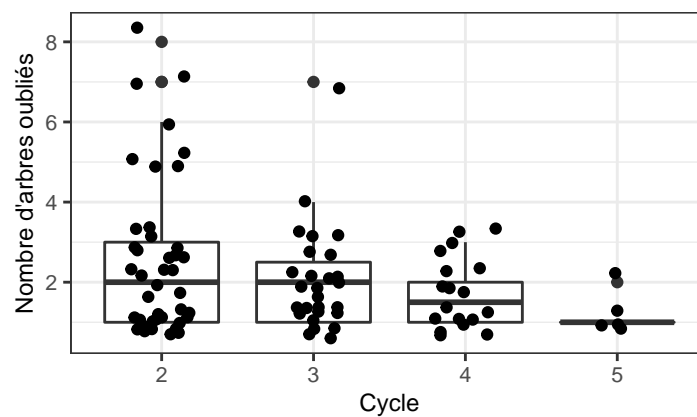


Figure C.5 – Evolution du nombre d'arbres oubliés avec le nombre de remesure.

## En résumé

L'analyse des arbres oubliés permet de tirer les conclusions suivantes :

- Le taux d'arbres oubliés est très faible. Leur impact sur la connaissance des stocks ou sur leur accroissement est encore plus faible car leur diamètre passé est recalculé à partir de la moyenne des arbres comparables.
- La méthode échantillonnage à angle fixe ne génère pas plus d'oublis que les placettes circulaires. Avec l'angle fixe, un arbre oublié à la même surface terrière qu'il soit proche ou loin du centre et quel que soit son diamètre. Un arbre oublié de diamètre 50 cm échantillonné par placette circulaire de rayon 15 m entraîne une sous-estimation en surface terrière de 2,78 m<sup>2</sup>/ha. Avec une placette à angle fixe de coefficient 2 %, la sous-estimation est de 1 m<sup>2</sup>/ha.
- Avant correction, seuls les dispositifs 82, 64, 11 et 9 ont conduit à une erreur sur les stocks supérieure à 1 m<sup>2</sup>/ha. L'erreur la plus grande est celle constatée sur le dispositif n°82 (Forêt de Fontréal), mélange de châtaignier et de pin sylvestre avec 4 m<sup>2</sup>/ha soit 16 % du stock. Ce dispositif se caractérise par un grand nombre de perches.
- Les opérateurs doivent être vigilants à ne pas oublier les essences contribuant peu à la valeur future du peuplement ou à trop rapidement leur affecter une autre catégorie, perche ou taillis.
- Les arbres de très grosse dimension situés à plus de 30 m peuvent être oubliés plusieurs fois. L'opérateur placé au centre ne doit pas trop utiliser les informations de la mesure précédente pour guider celui qui se déplace, ces dernières pouvant présenter des arbres oubliés. C'est à l'opérateur qui se déplace de vérifier les arbres à inventorier. L'opérateur central doit alerter sur l'oubli d'un arbre déjà inventorié, signaler une tige qui pourrait être inventoriable, sans trop influencer la recherche de nouveaux arbres.
- La méthode d'échantillonnage retenue est vertueuse car le nombre d'oubli diminue avec le nombre de remesure.
- Ne pas oublier lors du premier passage d'inventorier l'arbre très proche du centre!

## Annexe D

# Valeur potentielle : définition et intérêts

### D.1 Différentes valeurs d'un arbre

#### D.1.1 Valeur de consommation ( $V_C$ )

Elle correspond à la valeur à la vente.

$$\text{Prix} = V_c = P_u * V$$

où  $P_u$  est le prix unitaire et  $V$  le volume obtenu à partir d'un tarif de cubage. Dans le cas d'arbres ayant plusieurs qualités, elle peut être calculée comme la somme des valeurs de chacun des billons.

En plaine  $P_u$  correspond souvent à un prix unitaire sur pied. En montagne il est préférable que  $P_u$  corresponde à un prix unitaire bord de route car les coûts d'exploitation y sont beaucoup plus variables. Les coûts de marquage et de commercialisation peuvent être intégrés aux prix unitaires sur pied ou bien isolés lors du bilan comptable.

#### D.1.2 Valeur d'avenir ( $V_A$ )

Cette notion a comme origine le fait qu'en général les jeunes arbres ont une valeur supérieure à leur valeur de consommation. Cette valeur d'avenir est traditionnellement calculée soit à partir d'un prix de revient, soit en escomptant une recette future pour la ramener à un instant donné. Dans le cas des structures irrégulières, seule l'escompte peut être mise en œuvre. La valeur d'avenir est donc le capital obtenu en escomptant une recette future.

La figure D.1 permet de visualiser les notions de valeur de consommation et d'avenir. Aux instants  $t_0$ ,  $t_1$  et  $t_2$  les valeurs de consommations seront respectivement de  $V_{C0}$ ,  $V_{C1}$  et  $V_{C2}$ . Soit  $t_0$  l'instant de la décision, peut-on couper l'arbre ou bien a-t-on intérêt à attendre l'instant  $t_1$  ou  $t_2$ ? La théorie de l'actualisation permet de calculer la valeur équivalente à  $V_{C1}$  mais ramenée à l'instant  $t_0$ .

$$V_{A1} = \frac{V_{C1}}{(1+r)^{(t_1-t_0)}}$$

De même la valeur d'avenir à l'instant  $t_0$  d'un arbre que l'on coupera à l'instant  $t_2$

$$V_{A2} = \frac{V_{C2}}{(1+r)^{(t_2-t_0)}}$$

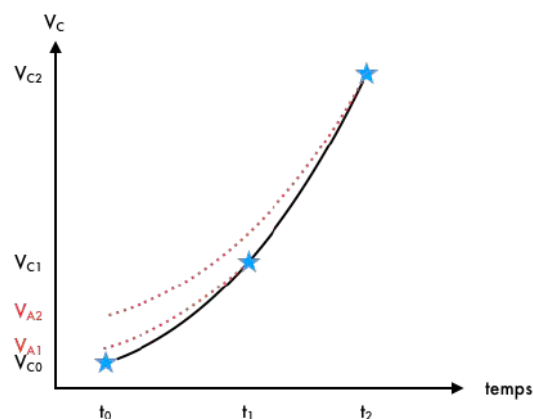


Figure D.1 – Comparaison valeur de consommation et d'avenir.

#### D.1.3 Gain annuel ( $\delta$ )

Il traduit l'accroissement annuel en valeur d'un arbre. Il intègre son augmentation en volume (qui dépend de son accroissement sur le diamètre) et l'augmentation du prix unitaire qui en découle<sup>1</sup>. Ce calcul se fait à qualité constante.

1. Historiquement, le diamètre d'exploitabilité était fixé en fonction de la fertilité et des difficultés d'exploitation. Plus récemment, les diamètres d'exploitabilité fournis par les guides de sylviculture ne dépendent que de la station. Le gain a comme intérêt d'être plus complet. Il dépend de l'accroissement sur le diamètre (fertilité, sylviculture pratiquée), mais aussi de l'évolution des prix unitaires en fonction du diamètre et de la qualité.

$$\text{Gain} = \delta = \frac{dV_c}{dt} = \frac{V * dP_u}{dt} + \frac{P_u * dV}{dt}$$

ou bien

$$\delta = \left( \frac{V * dP_u}{dD} + \frac{P_u * dV}{dD} \right) \frac{dD}{dt}$$

En la réorganisant, cette formule devient :

$$\delta = V_c * \frac{dD}{dt} * \left( \frac{dP_u}{P_u dD} + \frac{dV}{V dD} \right) \quad (\text{D.1})$$

En pratique, elle se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\delta = V_c * \frac{dD}{dt} * \left( \frac{\Delta \ln P_u}{\Delta D} + \frac{\Delta \ln V}{\Delta D} \right) \quad (\text{D.2})$$

Dans la formule D.2,

- $dD/dt$  correspond à l'accroissement en diamètre,
- $\Delta \ln P_u / \Delta D$  à l'accroissement relatif en prix unitaires (nécessite des mercuriales de prix unitaires par essence, qualité et classe de diamètre),
- $\Delta \ln V / \Delta D$  à l'accroissement relatif en volume (nécessite un tarif de cubage à une entrée éventuellement par essence).

Si les arbres sont morts ou s'ils présentent un risque de dépréciation, leur gain sera par convention fixé à zéro.

#### D.1.4 Taux de fonctionnement ( $\theta$ )

Il est le rapport du gain sur la valeur de consommation.

$$\theta = \frac{\delta}{V_c}$$

Le taux de fonctionnement peut être décomposé en 3 termes :

$$\theta = \frac{dD}{dt} (\theta_{P_u} + \theta_V) \quad (\text{D.3})$$

Cette décomposition présente plusieurs avantages.

- Elle permet de séparer l'effet de la sylviculture. Toutes choses étant égales par ailleurs, l'accroissement relatif en prix unitaire  $\theta_{P_u}$  et en volume  $\theta_V$  restant constants, un déficit d'éclaircie va faire baisser l'accroissement en diamètre, et donc le taux de fonctionnement de l'arbre.
- Si, au delà d'un certain diamètre, le prix unitaire plafonne, le taux de fonctionnement contiendra toujours la composante accroissement relatif en volume ( $\theta_V$ ).

- Dans le cas des tarifs Schaeffer à une entrée, l'accroissement relatif en volume est indépendant du numéro de tarif.

Pour les Schaeffer rapides il est égal à

$$\theta_V = \frac{2D - 15}{(D - 5)(D - 10)}$$

Pour les Schaeffer lents il est égal à

$$\theta_V = \frac{2D - 5}{(D - 5)D}$$

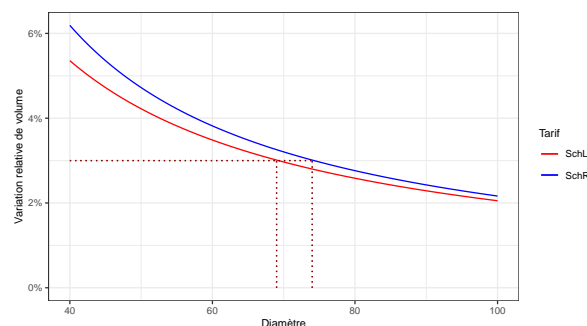


Figure D.2 – Variation relative du volume en fonction du diamètre.

La figure D.2 montre qu'un arbre de 1 m de diamètre ayant un accroissement de 1 cm/an sur le diamètre contribuera à hauteur de 2 % à son taux d'accroissement en valeur et cela aussi bien avec un tarif Schaeffer lent ou rapide et quel que soit le numéro retenu.

## D.2 Valeur potentielle ( $V_p$ )

### D.2.1 Définition

Le calcul classique de valeur d'avenir est peu adapté au traitement en futaie irrégulière. C'est pourquoi Bruciamacchie (Lettre de Pro Silva France n°1) a proposé la notion de valeur potentielle ( $V_p$ ) qui permet d'estimer la valeur d'un arbre à partir de son accroissement en valeur. Elle est obtenue en divisant le gain par un taux d'actualisation  $r$ .

$$V_p = \frac{\delta}{r}$$

Cette valeur potentielle correspond au capital qui, placé au taux  $r$ , fournit un revenu égal à l'accroissement en valeur (gain). Elle est équivalente au capital obtenu en sommant une infinité de gains annuels identiques et actualisés. Reposant sur le gain, cette estimation prend en compte l'accroissement futur en valeur sur une courte période (temps de franchissement d'une classe de diamètre).

L'application numérique présentée en figure D.3 permet de visualiser les différentes grandeurs, valeur de consommation (Prix), gain, taux, valeur potentielle (VP) et valeur d'avenir (VA) calculées à partir d'exemples de valeurs de tarif de cubage, accroissement sur le diamètre (Acct.D) et prix unitaire (PU).

Diam	Tarif	Acct.D	PU	Prix	Gain	Taux	VP	VA	Age
20	0,2	0,5	6	1	0,1	9,2%	4	32	40
25	0,4	0,5	9	3	0,3	9,2%	10	43	50
30	0,5	0,5	15	8	0,6	7,6%	21	58	60
35	0,8	0,5	23	17	1,4	7,9%	46	78	70
40	1,0	0,5	38	38	3,2	8,3%	107	105	80
45	1,3	0,5	68	88	5,4	6,1%	179	141	90
50	1,6	0,5	100	163	6,4	3,9%	212	190	100
55	2,0	0,5	121	240	8,6	3,6%	285	255	110
60	2,4	0,5	144	343	9,3	2,7%	312	343	120
65	2,8	0,5	160	451	8,6	1,9%	287	461	130
70	3,3	0,5	166	545	8,1	1,5%	271	620	140
75	3,8	0,5	167	633	8,5	1,3%	282	833	150
80	4,3	0,5	167	724	2,2	0,3%	75	1120	160
85	4,9	0,5	152	746					170

Figure D.3 – Exemple d'abaque des principales caractéristiques économiques d'un arbre en fonction du diamètre.

La figure D.4 obtenue à partir des valeurs de la figure D.3 fournit un exemple d'évolution du gain et du taux.

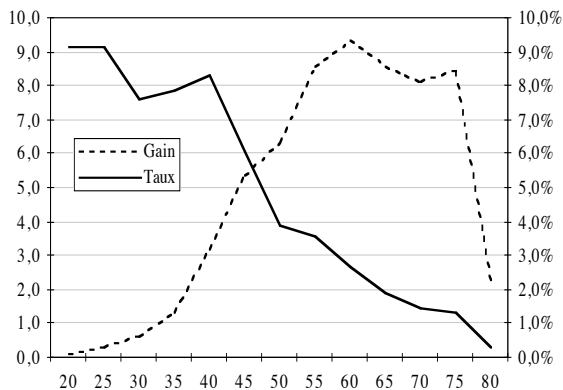


Figure D.4 – Exemple d'évolution de l'accroissement en valeur (gain) et du taux en fonction du diamètre.

Remarques :

- La méthode traditionnelle (valeur d'avenir) nécessite de fixer un diamètre d'exploitabilité par essence (60 cm dans le cas de l'application numérique) et un taux d'actualisation (par exemple,  $r = 3\%$ ). Il serait préférable de trouver le diamètre d'exploitabilité plutôt que de le fixer.
- La méthode traditionnelle nécessite également de calculer le laps de temps sur lequel porte l'escompte.

Les accroissements sur le diamètre sont alors transformés en temps de passage entre catégories de diamètre, puis sommés pour calculer ce laps de temps.

- La valeur potentielle nécessite de fixer seulement le taux d'actualisation. En faisant abstraction des voisins, d'un éventuel besoin de décapitalisation, un arbre sera conservé tant que sa valeur potentielle est supérieure à sa valeur de consommation.

- Lorsque le taux de fonctionnement réel de l'arbre est inférieur au taux d'actualisation retenu, la valeur potentielle devient inférieure à la valeur de consommation. Pour l'application numérique, en choisissant un taux d'actualisation de 3% les arbres ont une valeur potentielle inférieure à leur valeur de consommation lorsque leur diamètre est légèrement inférieur à 60 cm.

- Avec la grille de prix, le tarif de cubage et l'accroissement sur le diamètre retenu, le maximum de l'accroissement en valeur intervient vers 60 cm de diamètre. Le taux de fonctionnement de l'arbre diminue en fonction du diamètre.

- Si l'accroissement en valeur diminue, la valeur potentielle peut être inférieure à la valeur de consommation. En cas de vente, le propriétaire récupère la valeur de consommation. En revanche cet arbre n'aura pas "payé" sa place (son taux de fonctionnement aura été inférieur au taux d'actualisation retenu par le propriétaire).

- Dans le cas d'un arbre mort, sa valeur potentielle est nulle. Il peut cependant avoir une valeur de consommation. Dans le cas d'un arbre dépérissant et de forte valeur commerciale (hêtre de qualité B ayant perdu une grande partie de son houppier), son gain risque d'être nul voire négatif et par conséquent sa perte potentielle sera très forte.

### D.2.2 Prix unitaire potentiel

Si on divise la valeur potentielle par le volume de l'arbre on obtient un prix unitaire potentiel qui a comme intérêt d'intégrer l'augmentation de volume et celle éventuelle de prix unitaires.

$$P_{u_p} = \frac{V_p}{V} = \frac{V_c \theta}{rV} = \frac{P_u V \theta}{rV} = P_u \frac{\theta}{r}$$

La différence entre le prix unitaire potentiel et le prix du marché devient un critère de gestion.

$$P_{u_p} - P_u = P_u \left( \frac{\theta}{r} - 1 \right)$$



## D.3 Intérêts

### D.3.1 Diamètre d'exploitabilité

Il peut être déterminé de trois façons équivalentes. Il est atteint lorsque :

- la valeur potentielle est égale à la valeur de consommation ;
- le taux de fonctionnement de l'arbre est égal au taux d'actualisation ;
- le prix unitaire potentiel est égal au prix unitaire du marché.

La première façon de présenter la notion de diamètre d'exploitabilité a le mérite d'être simple. Elle exprime la notion de sacrifice d'exploitabilité sous forme de perte en capital. La seconde va convaincre facilement les financiers. La troisième permet de comprendre les modifications de diamètre d'exploitabilité dues aux variations de marché.

La figure D.5 montre comment déterminer le diamètre d'exploitabilité à partir du choix d'un taux d'actualisation et de l'évolution du taux de fonctionnement.

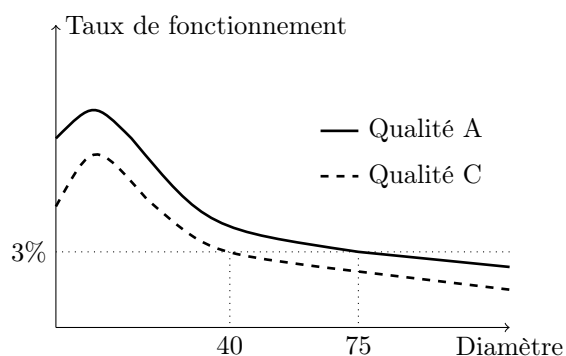


Figure D.5 – Détermination du diamètre d'exploitabilité.

Elle montre que le diamètre d'exploitabilité dépend de la qualité. Cela se traduit dans les plans simples de gestion par la proposition d'un tableau fixant par essence et qualité, les différents diamètres d'exploitabilité. Le tableau D.1 est un exemple.

	A	B	C	D
Chêne	80 - 90	70 - 80	50 - 60	le
Hêtre	70 - 80	65 - 75	50 - 60	plus
Frêne	65 - 70	60	50	tôt
Merisier	65 - 70	60	50	possible
Erable S	65 - 70	60	50	selon
Aulne	65 - 70	40 - 45	35 - 40	voisins

Tableau D.1 – Exemples de diamètres d'exploitabilité variables selon la qualité.

La figure n°D.6 illustre l'apport de ces différents indices. Elle représente 3 images du même peuplement. Lorsqu'il regarde un peuplement, le gestionnaire perçoit d'abord la répartition des essences et des dimensions. Son expérience du cubage lui permet de visualiser les volumes des différents arbres. La prise en compte de la qualité apporte une information supplémentaire : le prix actuel des arbres présents, leur valeur. La connaissance de l'accroissement sur le diamètre lui donne accès à une information encore plus importante, leur accroissement annuel en valeur.

De la même façon on pourrait augmenter la multiplication des regards : valeur écologique, risques par le biais du taux de fonctionnement auquel est intégré ou non les risques de fluctuation du marché, d'altération de la qualité du bois, de mortalité suite à un feu ou un chablis, etc.

L'agrégation de ces différents points de vue permet de détecter toute la diversité des situations locales pour lesquelles des arbitrages seront réalisés.

Rappel : la formule D.3 montre que le taux de fonctionnement d'un arbre est le produit de l'accroissement sur le diamètre et de la somme de l'accroissement relatif sur le prix unitaire ( $\theta_{P_u}$ ) et sur le volume ( $\theta_V$ ). Il est intéressant de s'arrêter quelques instants sur ces deux derniers termes.

Ce n'est pas parce que les prix unitaires n'augmentent plus avec le diamètre qu'il n'est pas intéressant de laisser croître l'arbre.

### D.3.2 Sacrifices d'exploitabilité

La notion de sacrifice d'exploitabilité peut également être appelée perte de valeur potentielle. Elle correspond à la différence entre la valeur potentielle et la valeur de consommation.

$$Perte = V_p - V_c$$

Cette perte est positive pour les jeunes arbres, et devient négative pour les arbres adultes. Dans ce dernier cas elle caractérise la ressource disponible. La perte globale ne peut pas être la somme des pertes de chaque arbre. La disponibilité devient alors

$$Disponible = |V_p - V_c|$$

pour les valeurs négatives.

### D.3.3 Prise en compte des risques

#### D.3.3.1 Risque de perturbation

Le gain peut être modifié de manière à ce qu'il intègre la présence d'aléas, par exemple tempête ou feu.

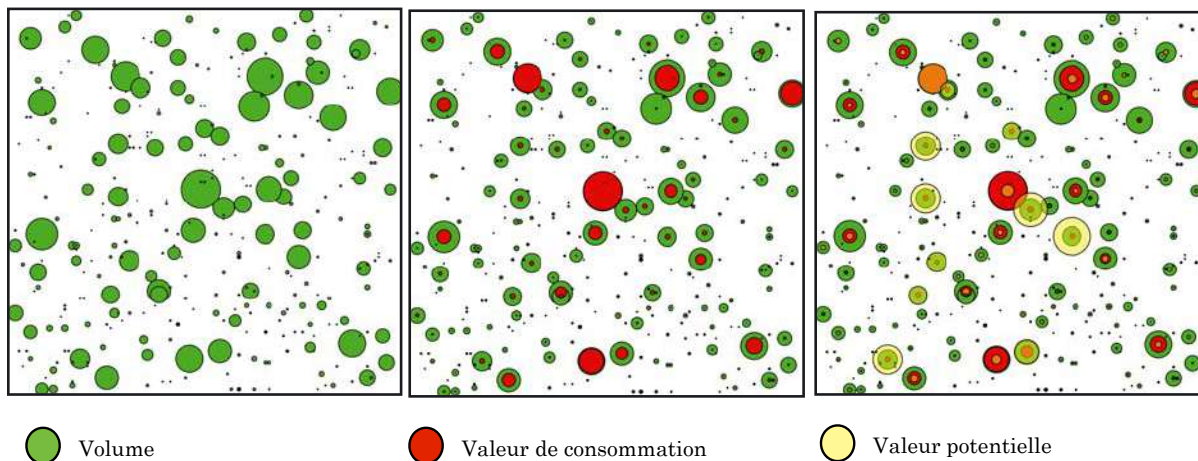


Figure D.6 – Indicateurs économiques de l'exploitabilité arbre.

### Notations

- $q$  = probabilité d'avoir un aléa. Cette probabilité peut être analysée sur un an mais il est préférable de la calculer sur la durée séparant la prochaine coupe (rotation). Elle permet de mesurer le risque pris au moment du martelage, lorsque le gestionnaire doit décider de couper ou de garder un arbre.
- $\beta$  = pourcentage de sauvegarde en cas d'aléa. Il va dépendre de l'essence, de la qualité et de la catégorie de diamètre.
- $R$  : rotation des coupes
- $V_c$  : valeur de consommation
- $\delta$  : accroissement courant en valeur (gain) sans risque
- $\delta_r$  : accroissement courant en valeur (gain) avec risque
- $\theta$  : taux de fonctionnement de l'arbre (sans risque)
- $\theta_r$  : taux de fonctionnement de l'arbre (avec risque)

### Formules

- Gain probable sur 1 an :

$$\delta_r = (1 - q)(V_c + \delta) + q\beta V_c - V_c$$

ou bien présenté autrement (rappel :  $\delta = V_c\theta$ )

$$\delta_r = V_c[(1 - q)(1 + \theta) + q\beta - 1]$$

Cela revient à modifier le taux de fonctionnement d'un arbre

$$\theta_r = (1 - q)(1 + \theta) + q\beta - 1$$

- gain probable sur  $R$  années

$$\delta_r = V_c[(1 - q)(1 + \theta.R) + q\beta - 1]$$

ou bien

$$\delta_r = V_c[(1 - q)(1 + \theta.R) + q\beta(1 + \theta.R/2) - 1]$$

dans le cas où l'on souhaite prendre en compte le gain de valeur entre le martelage et l'instant d'apparition

de l'aléa (supposé intervenir au milieu de la rotation).

Cela revient à modifier le taux de fonctionnement d'un arbre selon la formule D.4.

$$\theta_r = \frac{(1 - q)(1 + \theta.R) + q\beta(1 + \theta.R/2) - 1}{R} \quad (D.4)$$

La probabilité  $q$  pourra être estimée en utilisant, dans le cas du raisonnement sur  $R$  années, la fonction de répartition d'une loi exponentielle.

### D.3.3.2 Risque d'altération de la qualité

Les revenus d'une forêt sont fortement liés au volume de gros bois commercialisés. Or certaines essences présentent des risques d'altération de la qualité liés à leur dimension. C'est le cas en particulier du hêtre (cœur rouge), du frêne (cœur noir) et du châtaignier (roulure). Le cas particulier de la mitraille peut également être abordé de la même manière.

La prise en compte du risque d'altération nécessite de connaître 2 mercuriales de prix unitaires, l'une lorsque les arbres sont sains, l'autre lorsqu'ils sont altérés.

### Notations

- $p$  = probabilité d'avoir une altération. Cette probabilité peut être obtenue par analyse des souches après une coupe. L'idéal serait d'avoir un pourcentage par essence, station et dimension. L'une des difficultés de ce type d'analyse c'est que l'altération dépend aussi de la gestion passée.
- $\delta$  : accroissement courant en valeur sans altération
- $\delta_a$  : accroissement courant en valeur avec altération
- $\delta_r$  : accroissement courant en valeur avec prise en compte du risque d'altération

Pour un arbre, l'accroissement en valeur probable sur un an est donné par la formule D.5. Elle intègre le fait qu'un arbre sur pied a une probabilité  $1-p$  d'être sain et  $p$  d'être altéré.

$$\delta_r = (1-p)\delta + p\delta_a \quad (\text{D.5})$$

### D.3.4 Dosage de la composition en essence

Le dosage de la composition en essence est une étape importante lors des révisions d'aménagements. Le fait de favoriser les essences minoritaires, de rééquilibrer la part respectives des essences majoritaires est équivalent à adapter le taux d'actualisation à chaque essence.

Le tableau D.2 n'est qu'une proposition de modification du taux d'actualisation. Il devra être modifié par l'aménagiste.

EssReg	Bonus
Chêne	-0.5
Hêtre	1.0
Charme	1.0
Frêne	0.0
Autres feuillus	-1.0
Autres résineux	1.0
Châtaignier	-1.0
Feuillus précieux	-1.0
Tilleul	-1.0

Tableau D.2 – Ecart par rapport au taux d'actualisation moyen pour chaque essence.

Le bonus (valeurs négatives) conduit à diminuer le taux d'actualisation et donc à augmenter le diamètre d'exploitabilité. Le malus (valeurs positives) génère le phénomène inverse. Dans cette application numérique les hêtres et charmes ayant été pénalisés par un «bonus positif» pourront être coupés plus tôt (moins de sacrifices d'exploitabilité). Les essences minoritaires sont favorisées exceptés les autres résineux.

### D.3.5 Comparaison économique des choix de gestion

Même si elle est peu développée en France l'exploitation par câble peut servir d'exemple. Deux techniques sont possibles, l'exploitation par trouées le long de la ligne de câble ou bien en arrêtes de poisson. Parmi les éléments que le gestionnaire devra prendre en compte pour choisir entre ces deux solutions figure la perte de valeur potentielle.

## Annexe E

# Compléments sur l'évolution de la valeur potentielle et de la valeur de consommation sur l'ensemble des dispositifs du réseau AFI

### E.1 Valeurs de consommation

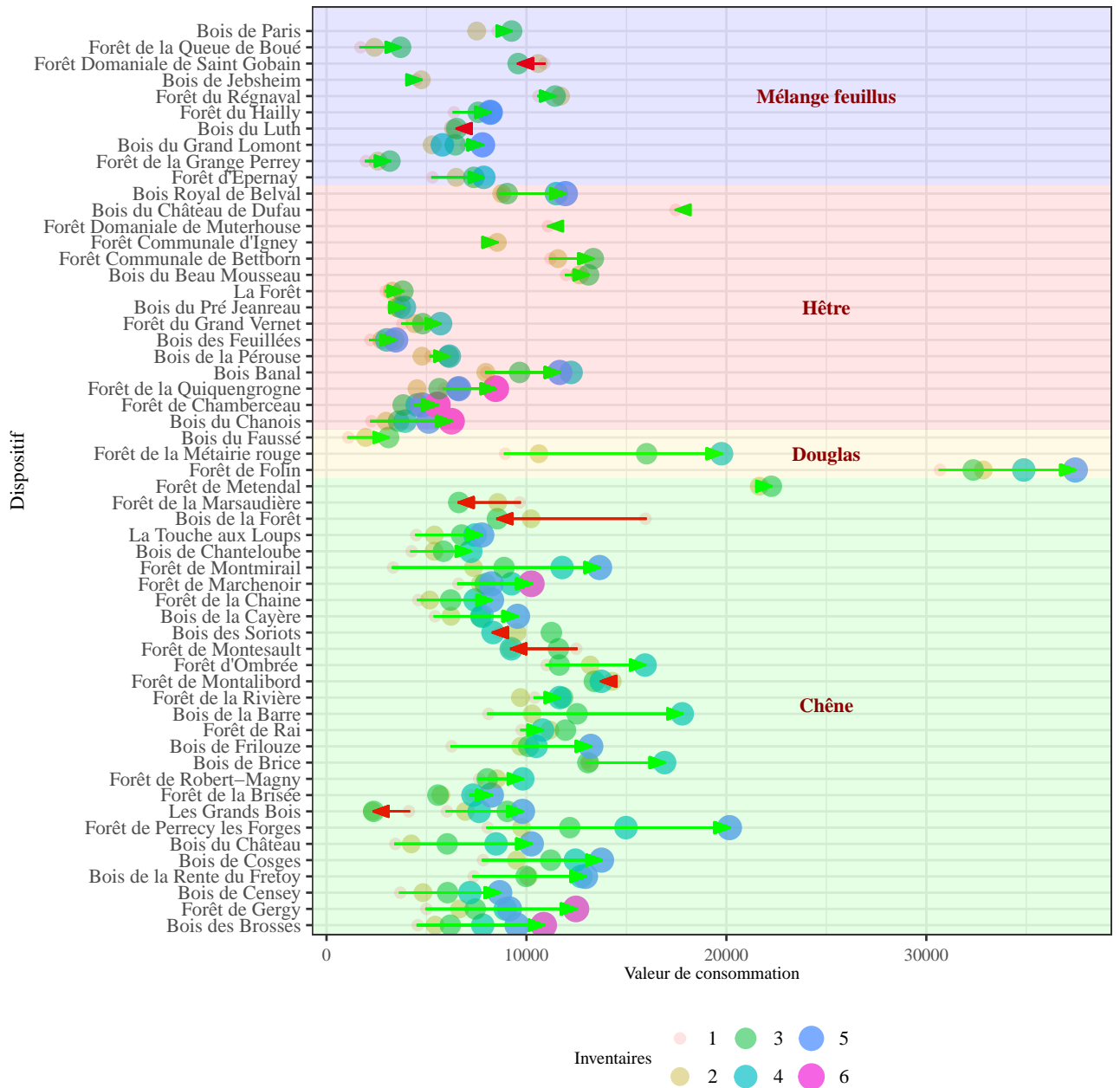


Figure E.1 – Valeur de consommation par composition.

## E.2 Valeurs potentielle

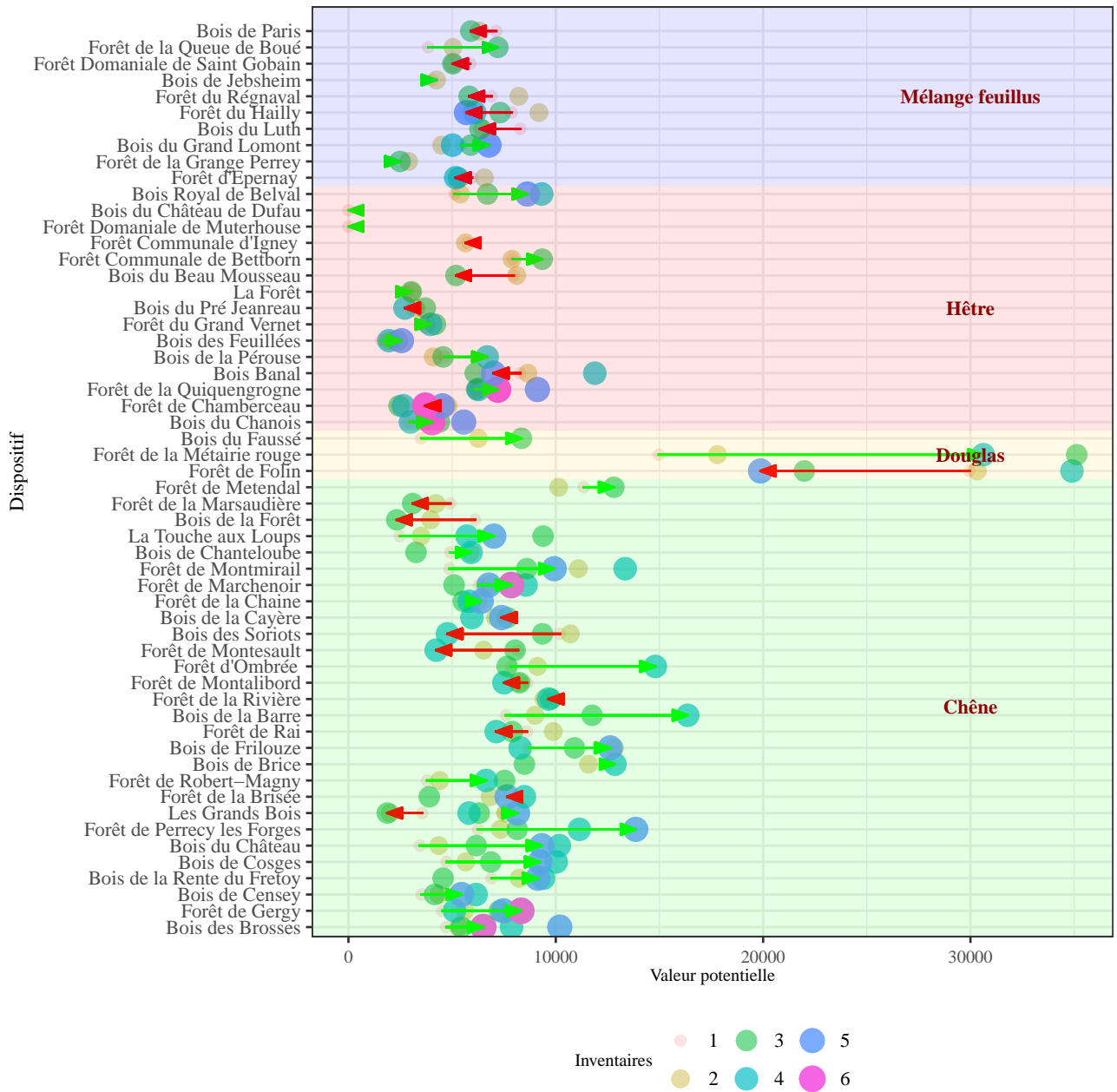


Figure E.2 – Valeur potentielle