

Estimation du capital potentiellement mobilisable en forêt privée à plan simple de gestion en Lorraine et en Alsace

Étude des peuplements de chêne et de hêtre



Mémoire de fin d'études

Photographies de couverture : En haut à gauche, hêtraie mature de la Vôge (88) ; en haut à droite, engin de débardage privé dans une chênaie du Plateau lorrain (57) ; en bas, vieille hêtraie du Pays Haut (55). Source : Mehdi Becuwe

Estimation du capital potentiellement mobilisable en forêt privée à plan simple de gestion en Lorraine et en Alsace

Étude des peuplements de chêne et de hêtre

Mémoire de fin d'études

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE DE LA FIF

Formation des ingénieurs forestiers de l'ENGREF Agro Paris Tech	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE : Estimation du capital potentiellement mobilisable en forêt privée à plan simple de gestion en Lorraine et en Alsace	Mots clés : chêne ; hêtre ; PSG ; typologie de peuplement ; Lorraine Alsace ; capitalisation
AUTEUR(S) : Mehdi BECUWE	Promotion : FIF 2008-2011
Caractéristiques : 1 volume ; 84 pages ; 39 figures ; 16 annexes ; bibliographie.	

CADRE DU TRAVAIL		
ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : Centre régional de la propriété forestière de Lorraine-Alsace		
Nom du responsable : Pascal ANCEL Fonction : Ingénieur		
Nom du correspondant ENGREF (pour un stage long) : Yves Ehrhart		
Tronc commun ☐ Option ☐ D. d'approfondissement ☐	Stage en entreprise ☐ Stage à l'étranger ☐ Stage fin d'études ☒ Date de remise :	Autre ☐
Contrat avec Gref Services Nancy ☐ OUI ☐ NON		

SUITE À DONNER (réservé au service des études) ☐ Consultable et diffusable ☐ Confidentiel de façon permanente ☐ Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable
--

Résumé :

Dans le cadre d'un développement durable, la demande portant sur la ressource bois s'accroît. Cette étude vise à évaluer la capacité qu'ont les forêts privées feuillues d'Alsace et de Lorraine à répondre à cette demande. Seuls les peuplements à base de chêne ou de hêtre en forêt privée dotée d'un plan simple de gestion seront traités. La méthodologie appliquée devra être adaptée aux particularités de la forêt privée et prendra en compte la qualité des bois, un facteur primordial pour des feuillus tels que le hêtre ou le chêne.

Nous verrons que les peuplements considérés sont globalement sous-capitalisés et que les forêts pourront donc difficilement répondre à une augmentation de la demande en bois.

Abstract :

The demand over wood ressource related to sustainable development is to increase. This study deals with the estimation of the amount of wood that can be provided by broad-leaved private forest in Alsace and in Lorraine. We will only consider oak (*Quercus robur* and *petraea*) and beech (*Fagus sylvatica*) stands managed according to a sustainable management plan. The special features of private forest will be taken into consideration through the developed methodology, together with wood quality wich is an important issue for broad-leaves.

It appears that the studied stands are generally under-capitalized, so the related forests will not be able to meet the increasing demand concerning wood ressource.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus vifs remerciements à Pascal Ancel, mon maître de stage, ingénieur au CRPF Lorraine-Alsace, qui m'a encadré et suivi tout au long de mon stage et qui m'a guidé afin de mener cette étude à bien.

J'exprime également toute ma reconnaissance à Yves Ehrhart (AgroParisTech ENGEF Nancy), mon professeur référent, pour son accompagnement et ses nombreux conseils.

Je souhaite aussi remercier Pierre Altenhoven, Stéphane Asaël, Maren Baumeister, Thierry Boucheidd, Jean-François Freund, Jacques Laplanche et Catherine Négrignat, sans qui la campagne de mesures de terrain n'aurait pu être réalisée dans sa totalité.

Je remercie de même Gilbert Vallageas pour sa précieuse contribution concernant le SIG et les bases de données, ainsi que Marie-Carmen Paulin pour ses nombreux conseils au sujet des PSG.

Merci à tout le personnel du CRPF Lorraine-Alsace pour son accueil chaleureux.

Enfin, merci à tous les propriétaires et gestionnaires qui ont accepté que leur forêt soit parcourue et mesurée.

TABLE DES MATIÈRES

Indexe alphabétique des sigles et notations.....	4
Introduction	5
1. Le cadre général de l'étude.....	6
1.1. Le contexte politique et économique global.....	6
1.1.1. Une demande de plus en plus marquée sur la ressource bois	6
1.1.2. Les études de ressource, des outils d'anticipation et de planification	7
1.2. Ce qu'il faut savoir sur le Hêtre et le Chêne en forêt privée	8
1.2.1. Hêtre et Chêne : deux essences très différentes.....	8
1.2.2. La forêt privée en Alsace et en Lorraine	14
1.3. Les objectifs et limites de l'étude	16
1.3.1. Une zone d'étude singulière	16
1.3.2. Les questions auxquelles l'étude tentera de répondre	16
1.3.3. Une étude avant tout technique	17
2. La méthode employée	19
2.1. Les bases du raisonnement général	19
2.1.1. Le principe directeur : comparaison du capital réel à un capital idéal	19
2.1.2. La surface terrière, principale unité de mesure employée	19
2.1.3. L'encadrement des résultats, une estimation des extremums	19
2.2. La mise en place de l'échantillonnage et des mesures de terrain	20
2.2.1. Un plan d'échantillonnage adapté à la zone d'étude	20
2.2.2. Des mesures de terrain variées	26
2.3. La méthode d'obtention du capital potentiellement mobilisable à l'échelle de la placette ...	27
2.3.1. L'établissement des surfaces terrières théoriques de référence.....	27
2.3.2. Du capital actuel mesuré au capital d'avant coupe calculé	31
2.4. La méthode de caractérisation de la récolte en essences et en grosseurs	36
2.4.1. La caractérisation de la récolte, une nécessité.....	36
2.4.2. La modélisation de la récolte : différents raisonnements pour différents contextes.....	37
2.4.3. Le prélèvement maximal par placette : une contrainte supplémentaire.....	39
2.5. L'intégration du paramètre de qualité des bois	40
2.5.1. Le raisonnement utilisé.....	40
2.5.2. Des données nécessairement en volume.....	40
2.5.3. Les résultats obtenus : des coefficients à appliquer aux volumes finaux	41
2.6. Récapitulatif du traitement des données effectué pour chaque placette de mesure.....	42
3. Les résultats de l'étude	44
3.1. L'état actuel des peuplements de la zone d'étude	44
3.2. La mobilisation potentielle estimée sur les 10 prochaines années	46
3.2.1. Les résultats de mobilisation sur l'ensemble de la zone d'étude.....	46
3.2.2. La prise en compte de la qualité des bois, un facteur primordial	48
3.3. Les volumes potentiellement mobilisables pour les périodes 2021-2030 et 2031-2040	51
3.4. L'influence de deux facteurs étudiés sur le niveau de capitalisation.....	53
3.4.1. Le principe appliqué.....	53
3.4.2. Les résultats obtenus.....	54
3.5. Les principaux résultats en quelques tableaux	55
Conclusion.....	57
Références bibliographiques	58
Annexes.....	60

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Extrait de la base de données Merlin	61
Annexe 1 : Extrait de la base de données Merlin	61
Annexe 2 : Les catégories employées pour l'échantillonnage stratifié et leurs critères de stratification	62
Annexe 3 : Caractéristiques générales des unités de peuplement mesurées.....	63
Annexe 4 : Caractérisation de la zone d'étude et de l'échantillonnage, par catégorie de peuplement..	65
Annexe 5 : Résultat des contrôles de mesure de surface terrière sur le terrain	66
Annexe 6 : Fiche de mesure de terrain et notice explicative	67
Annexe 7 : Fiche de terrain de détermination des qualités de grume, Chêne et Hêtre	69
Annexe 8 : Extraits de la fiche de classement des perches et petits bois d'avenir (tirés de Bachelet, 2004).....	70
Annexe 9 : Clé d'identification des types de peuplements selon les typologies de peuplement des Plateaux Calcaires (en haut ; Bachelet, 2004) et du Plateau Lorrain (en bas ; Bachelet, 2002).....	71
Annexe 10 : Six exemples concrets d'application du programme de modélisation de récolte	72
Annexe 11 : Surface de peuplement clair, capital actuel et capital récoltable par catégorie de peuplement	73
Annexe 12 : Coefficients de hauteur de forme moyens, adaptés des typologies de peuplement des Plateaux Calcaires (en haut ; Bachelet, 2004) et du Plateau Lorrain (en bas ; Bachelet, 2002).....	74
Annexe 13 : Caractérisation de la zone d'étude en termes de structure et composition en essence ; données en surface et en proportions.....	74
Annexe 14 : Estimation du capital potentiellement mobilisable sur la période 2011-2020, détaillée en essences et en grosseur, en volume et en proportions, pour les hypothèses basse, moyenne et haute ..	75
Annexe 15 : Volumes potentiellement mobilisables (Récolte) et non mobilisable (Surplus) pour les périodes 2011-2020, 2021-2030 et 2031-2040, dans le cas alternatif de la prise en compte des dates de prochaine coupe (R-T) : (R-T) = 5 ans pour toutes les unités	76
Annexe 16 : Analyses de variance (ANOVA) comparant les ΔG moyens pour l'essence objectif (modalité 'Hêtre'/'Chêne') et pour les types de peuplement (modalité 'Futaie'/'MTF')	77

INDEXE ALPHABÉTIQUE DES SIGLES ET NOTATIONS

Sigles et acronymes :

BdD : base de données
CF : Code forestier
CRPF : Centre régional de la propriété forestière
EAB : Enquêtes annuelles de branche
FIBOIS-Alsace : Interprofession forêt-bois d'Alsace
GIPEBLOR : Interprofession forêt-bois de Lorraine
IFN : Inventaire Forestier National
PSG : Plan simple de gestion
SIG : Système d'information géographique
SRGS : Schéma régional de gestion sylvicole

Notations propres à l'étude

BM : Bois moyen (diamètre à 1,30 m : 27,5 cm à 47,5 cm)
CHA : abréviation de Charme
CHE : abréviation de Chêne
dG : Accroissement moyen d'un peuplement, calculé à partir des données de l'IFN et de la composition du peuplement
DIV : abréviation pour Divers, regroupant tous les résineux, Érable champêtre, Bouleau, Tremble, Tilleuls, etc.
FP : abréviation pour Feuillus précieux, regroupant Merisier, Alisier blanc et torminal, Érable plane et sycomore, Cormier.
FRE : abréviation de Frêne
GB : Gros bois (diamètre à 1,30 m : 47,5 cm et plus)
G_{Mes} (t) : surface terrière mesurée sur le terrain, elle se situe à un instant t quelconque d'une rotation
G_{Mes} (R) : surface terrière calculée pour la date d'avant coupe, à partir des mesures de terrain
G_{Ref} (0) : surface terrière théorique optimale d'un peuplement, après coupe
HET : abréviation de Hêtre
MTF : Mélange de taillis et de futaie, peuplement hérité des anciens taillis sous futaie
PB : Petit bois (diamètre à 1,30 m : 17,5 cm à 27,5 cm)
R : Durée de rotation
T : Temps écoulé depuis la dernière coupe, estimé sur le terrain ou calculé à partir du programme de coupe du PSG

INTRODUCTION

Depuis le Sommet de la Terre de Rio, en 1992, la notion de développement durable et la prise en compte de la préservation de l'environnement se sont fortement développées en Europe ; les citoyens comme les gouvernements y sont sensibilisés. Dans ce contexte, le bois en tant que source d'énergie ou matériau de construction est de plus en plus mis à contribution. Cependant en France, il a été estimé que seule la moitié de l'accroissement des forêts est prélevé annuellement. Les forestiers sont donc fréquemment questionnés quant aux possibilités d'augmentation des récoltes, afin de répondre à une demande en bois croissante, mais aussi pour alimenter une filière bois locale de plus en plus fragile.

L'Alsace et la Lorraine sont deux régions culturellement forestières depuis plusieurs siècles, avec la Franche-Comté. La forêt y est majoritairement publique, aux deux tiers. Il est donc possible pour celle-ci d'obtenir des chiffres précis en termes de volumes récoltés, d'accroissement et de prélèvement supplémentaire envisageable. Le raisonnement est plus difficile à tenir pour la forêt privée : les propriétaires n'ont aucune obligation de rendre des comptes d'exploitation s'ils restent dans les jalons imposés par le code forestier, en vertu du droit de propriété. La forêt privée est donc globalement mal connue et les interrogations en termes de récolte supplémentaire se portent sur celle-ci.

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions, le centre régional de la propriété forestière d'Alsace-Lorraine a entamé une étude en 2009, avec l'accord des propriétaires concernés, visant à estimer le capital et une éventuelle surcapitalisation des peuplements résineux de montagne gérés conformément à un plan simple de gestion (PSG). La présente étude se propose de poursuivre le travail en s'intéressant cette fois aux peuplements à base de chêne et de hêtre (les deux principales essences feuillues de la région) pour l'ensemble des forêts à PSG d'Alsace et de Lorraine. La méthodologie employée sera basée sur celle du 'volet résineux' mais des modifications seront apportées de manière à prendre en compte les particularités des essences feuillues par rapport aux résineux.

Nous nous intéresserons tout d'abord au contexte dans lequel cette étude s'insère, tant au niveau national que régional. La méthodologie employée sera ensuite développée, s'intéressant successivement aux modalités de la campagne de relevés de terrain et au traitement des données ainsi récoltées. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus et nous tenterons d'apporter des éléments de réponse aux interrogations portant sur la ressource bois disponible dans les forêts privées à plan de gestion en Alsace et en Lorraine.

1. Le cadre général de l'étude

1.1. Le contexte politique et économique global

1.1.1. Une demande de plus en plus marquée sur la ressource bois

La France s'est engagée de diverses manières pour un développement durable et pour limiter ses impacts sur le changement climatique. Vis-à-vis de l'Europe, l'adoption des lois Grenelle 1 et 2 visent à la mise en application de la Directive Énergie Renouvelable (directive 2009/28/CE). La France s'est fixé un certain nombre d'objectifs. En particulier, 23 % de la fourniture énergétique nationale doit provenir d'énergies renouvelables d'ici 2020 contre 10,4 % en 2006, ce qui représente une augmentation de 20 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep). L'énergie issue de biomasse doit y jouer un rôle important puisqu'il est prévu qu'elle fournisse à elle seule 7,5 Mtep, soit le tiers de l'objectif fixé. Le bois étant la principale source d'énergie biomasse, les attentes en termes de bois énergie sont importantes.

La France s'est aussi engagée, à travers le Protocole de Kyoto entre autre, à réduire ses rejets de gaz à effet de serre. Là encore, l'utilisation du bois pour la combustion est favorisée car cette source d'énergie est considérée neutre vis-à-vis du CO₂. Mais l'emploi du bois est aussi encouragé dans la construction. Il s'agit en effet d'un matériau de substitution au béton et à l'acier (structure) mais aussi au PVC et à l'aluminium (menuiseries intérieures et extérieures), intéressant du point de vue économique et environnemental puisque les procédés de production et de transformation sont moins polluants et moins consommateurs en énergie. L'utilisation du bois dans la construction permet par ailleurs une séquestration relativement durable du CO₂, ce qui coïncide avec les objectifs de la France en matière d'environnement.

À l'enjeu environnemental s'ajoute l'aspect économique : tandis que la forêt française est la troisième d'Europe en termes de surface, la balance commerciale pour le secteur bois-ameublement présente en 2010 un déficit de 6,4 milliards d'euros (AGRESTE, 2011). De la forêt à la seconde transformation, la filière bois génère près de 425 000 emplois à l'échelle nationale et participe au maintien voire au développement du tissu rural. Afin d'améliorer le bilan économique de ce secteur un certain nombre de mesures a été pris, en particulier suite au rapport Puech et au discours du Président de la République à Urmatt en 2009, dans le but de consolider les entreprises de transformation (création d'un Fond Bois) mais aussi pour inciter à une mobilisation plus importante de la ressource bois.

Par ailleurs les valeurs d'accroissement biologique forestier de l'IFN, comparées aux chiffres des Enquêtes Annuelles de Branche augmentés d'une estimation de l'autoconsommation, permettent d'estimer qu'environ 60 % de la production forestière annuelle est récoltée. Considérant cela, la forêt française serait donc sous-exploitée. La forêt privée, concernant près des trois quarts du massif forestier français, est fréquemment pointée du doigt pour participer largement à ce déficit d'exploitation (Puech, 2009). Les attentes de la part des pouvoirs publics en termes de mobilisation sont donc d'autant plus fortes sur la forêt privée. Un certain nombre de mesures allant dans ce sens ont déjà été mises en place ou sont à l'étude (développement des actions de regroupement foncier, avantages fiscaux conditionnés par l'exploitation effective, diminution du seuil minimum de surface pour l'obligation de présenter un PSG, Programme pluriannuel de développement forestier, etc.)

La production de bois représente un enjeu du point de vue économique, environnemental, mais aussi politique. La nécessité de développer le bois énergie et d'assurer l'approvisionnement en combustible devient pressante ; le bois d'œuvre doit jouer un rôle économique important dans la filière par la forte valeur ajoutée potentielle de sa transformation. Cependant les pressions sur la ressource

bois ne doivent pas entrer en conflit avec d'autres enjeux. D'un point de vue environnemental, l'exploitation forestière ne doit pas nuire à la préservation des milieux et de la biodiversité. Elle doit aussi tenir compte de la capacité des peuplements à se régénérer afin de ne pas surexploiter la ressource. Il faut donc être capable de quantifier la ressource actuellement disponible en tenant compte des contraintes environnementales et biologiques liées au milieu forestier : c'est l'objectif des études de ressource.

1.1.2. Les études de ressource, des outils d'anticipation et de planification

Les études de ressource doivent pouvoir caractériser et quantifier la ressource forestière afin de permettre aux pouvoirs publics et/ou aux industriels de fixer des objectifs, d'estimer des capacités de récolte (en volume, en chiffre d'affaire, ...), de planifier des opérations. À partir de ces mêmes informations, ces études peuvent apporter des réponses différentes en fonction des souhaits des commanditaires et des objectifs de l'étude. Par exemple, une étude a été menée en 2009 par le CEMAGREF, dans le but d'estimer le volume de bois d'industrie et bois énergie (BIBE) disponibles en forêt (hors peupleraie) à l'échelle nationale ; une étude menée elle aussi en 2009 par l'IFN, le FCBA et SOLAGRO cherchait quant à elle à évaluer le gisement disponible en BIBE mais aussi en menu bois (diamètre inférieur à 7 cm) pour les forêts, les peupleraies, les haies, les vignes et vergers, les souches. Ces deux travaux sont actuellement les principales études de ressource faisant autorité dans le domaine. Elles s'appuient en grande partie sur les données de l'IFN et sont réalisées à l'échelle nationale, mais les résultats peuvent aussi se décliner par région et par essence ou groupe d'essences. Dans le cas de l'étude de l'IFN-FCBA-SOLAGRO, les données peuvent aussi être réparties entre forêt privée et publique.

Cependant, une étude à l'échelle nationale implique un certain nombre de généralisations et de simplifications qui peut tendre à gommer les particularités locales ou régionales. Il peut donc être utile de mener des études à une échelle plus réduite afin d'identifier et de caractériser plus précisément la ressource locale et ainsi mieux orienter d'éventuelles actions de mobilisation. La distinction entre forêts privées présentant ou non un plan de gestion peut alors être faite (indisponible dans les études nationales), ainsi que la prise en compte du bois d'œuvre, souvent oublié face au poids de l'enjeu bois-énergie.

En contre partie, le recours aux données IFN peut devenir délicat à une échelle plus locale. La nouvelle méthode de relevé de l'IFN n'est pas mise en place depuis suffisamment longtemps pour permettre d'avoir des données détaillées. Il est ainsi estimé que cinq années de relevés sur une région sont nécessaires pour fournir des données fiables, tandis que l'Alsace et la Lorraine ne sont parcourues que depuis trois ans. En particulier, la ventilation de données entre forêt privée et publique à l'échelle régionale aboutit souvent à des résultats non significatifs pour cause d'informations insuffisantes dans chaque catégorie. D'autre part les données « ancienne méthode » présentent aussi des inconvénients. Les données sont détaillées par département et sont suffisamment précises. Mais dans le cas de l'Alsace et de la Lorraine, comme pour la majorité des départements en France, elles ont quasiment toutes été relevées avant la tempête Lothar de 1999 (entre 1990 et 1993 pour la Lorraine, 1999 et 2002 pour l'Alsace). Les valeurs concernant le capital sur pied ne sont donc plus valables étant donné l'impact qu'a eu cette tempête dans la région.

Concernant l'Alsace-Lorraine, une étude de ressource particulière a déjà été menée en 2009. Marc Des Robert (promotion FIF 2006-2009), au cours de son stage de fin d'étude au sein du CRPF Lorraine-Alsace, a cherché à quantifier les volumes de résineux blancs (Sapin pectiné et Épicéa commun) disponibles dans les forêts privées à PSG en Alsace et en Lorraine (Des Robert, 2009). Il a pour cela établi une méthode d'estimation des volumes mobilisables d'un point de vue sylvicole à partir de ses propres relevés de terrain. Il en ressort que, en fonction des volumes présents sur pied, des hypothèses sylvicoles et des limitations précisées dans l'étude, le niveau de récolte optimal de résineux blancs dans les forêts à PSG du massif vosgien correspond à une récolte totale de 120 000 m³/an dans les 10 années à venir, ce calcul intégrant la résorption de volumes surcapitalisés

et l'accroissement courant des peuplements en volume. La surcapitalisation constatée concerne principalement des jeunes peuplements d'épicéa en retard d'éclaircie.

Notre étude s'inscrit dans la poursuite de ce travail. Elle s'appuiera sur la méthodologie établie par Marc Des Robert mais portera sur le hêtre et le chêne, essences majoritaires de la région avec le sapin et l'épicéa. Des modifications importantes seront cependant apportées à la méthode d'origine afin de tenir compte des nombreuses différences entre feuillus et résineux et de notre retour d'expérience. L'étude se limite toujours aux forêts privées d'Alsace et de Lorraine gérées conformément à un plan simple de gestion.

Afin de bien cerner les enjeux de cette étude et la démarche adoptée, il est tout d'abord important de rappeler un certain nombre d'éléments de contexte concernant les deux essences traitées, le Hêtre et le Chêne, puis nous nous pencherons sur la forêt privée en Alsace et en Lorraine.

1.2.Ce qu'il faut savoir sur le Hêtre et le Chêne en forêt privée

1.2.1. Hêtre et Chêne : deux essences très différentes

Les deux essences traitées dans cette étude, le Hêtre et le Chêne, sont largement dominantes dans les forêts feuillues d'Alsace-Lorraine. Elles sont cependant très différentes l'une de l'autre du point de vue de l'écologie et de la sylviculture mais aussi sur l'aspect économique. Le Chêne sessile et le Chêne pédonculé présentent aussi des différences marquées quant à leur écologie, qui sera détaillée ici, mais ces deux espèces ne seront plus différenciées dans la suite de l'étude.

1.2.1.1. Une autécologie aboutissant à une répartition complémentaire

L'eau est un facteur prépondérant dans l'écologie des essences forestières, hêtre et chênes ne dérogent pas à la règle. Cependant les trois essences concernées par l'étude, le Hêtre (*Fagus sylvatica*) le Chêne sessile (*Quercus petraea*) et le Chêne pédonculé (*Quercus robur*), présentent des comportements et des besoins sensiblement différents. Le Hêtre a de fortes exigences en termes d'humidité atmosphérique et son alimentation en eau doit être bien répartie tout au long de l'année. Son besoin en eau ainsi que son adaptation aux basses températures en fait une bonne essence montagnarde, s'adaptant tout de même très bien en plaine si le climat le permet. Le Chêne pédonculé et le Chêne sessile sont quant à eux insensibles au niveau d'humidité atmosphérique. Mais le Chêne pédonculé a malgré tout besoin d'une alimentation en eau du sol régulière pour se maintenir et se développer normalement tandis le Chêne sessile est bien plus résistant aux sécheresses et peut prospérer même sur des sols drainant.

Vis-à-vis du sol, le Hêtre et les Chênes ont aussi un comportement différent. Du point de vue de la richesse chimique des sols, le Hêtre n'est pas exigeant et s'adapte aussi bien aux sols riches qu'aux sols acides. Il délaisse cependant les sols très acides, mais cette contrainte ne se rencontre pas en Lorraine ou en Alsace (le cas se rencontre par exemple dans les Ardennes). Le Chêne pédonculé préfère quant à lui les sols riches, même si on le trouve parfois en terrain légèrement acide, et la présence de calcaire actif n'est pas limitante. Au contraire le Chêne sessile exige des sols acides à neutres mais présente des difficultés de croissances sur les sols calcaires. Au final, le Hêtre comme les chênes (en confondant les deux espèces) peuvent se développer sur des sols d'une large gamme chimique, en évitant les extrêmes.

Une différence marquée apparaît si l'on s'intéresse à l'influence des contraintes physiques du sol. En effet, le hêtre possède un système racinaire peu puissant et peu résistant. Il ne parvient pas à prospecter les horizons compacts (fragipan, argile lourde) ou à forte pierrosité et ses racines deviennent alors exclusivement traçantes. Cela a pour conséquence de limiter l'ancrage des individus,

augmentant le risque de chablis en cas de vents violents, et de réduire la zone de prospection racinaire, rendant le hêtre d'autant plus dépendant de la régularité de l'apport en eau. Il n'empêche que de belles hêtraies puissent se développer sur sol relativement maigre, mais elles sont donc plus sensibles aux aléas. Le système racinaire du hêtre ne supporte pas non plus l'engorgement temporaire des sols, même faible. Il en résulte que l'on ne trouve que très rarement le Hêtre sur des sols lourds argileux, ou à nappe superficielle. Au contraire, les Chênes présentent un enracinement puissant et efficace (système pivotant, en cœur et traçant) capable de s'insinuer dans les fissures d'une dalle rocheuse ou à travers un horizon compact. Cependant contrairement au Chêne pédonculé, le Chêne sessile supporte mal les horizons anoxiques et un engorgement temporaire prolongé provoque la mort de ses racines. Il se porte cependant assez bien sur les sols engorgés à horizon supérieur suffisamment drainant (exemple de sables sur argile compacte) et est d'autant plus avantage par rapport au Chêne pédonculé que la sécheresse de ces types de sol est importante durant l'été. Le Chêne pédonculé se trouve au contraire à son avantage sur des sols très argileux dès la surface, retenant efficacement l'eau tout au long de l'année et lui apportant ainsi l'alimentation en eau régulière dont il a besoin.

Une autre composante à prendre en compte, primordiale pour comprendre la répartition des espèces, est leur tempérament respectif, qui s'exprime plus ou moins selon la sylviculture adoptée. Le Hêtre est une essence dryade tandis que les Chênes sessile et pédonculé sont respectivement qualifiés de post-pionnier et de nomade. Les chênes, et le pédonculé plus encore que le sessile, sont exigeants en lumière. Leurs semis doivent rapidement accéder à la lumière sous peine de dépérir massivement. Leur croissance juvénile est rapide mais leur houppier ne pénètre pas facilement celui d'autres essences éventuellement déjà installées (mis à part les pionniers comme le tremble ou le bouleau). Ainsi le traitement en mélange taillis-futaie en l'absence de déséquilibre faune flore a favorisé les chênes.

À l'opposé, le Hêtre supporte bien l'ombrage et les semis peuvent se maintenir de nombreuses années sous un couvert relativement dense. Leur croissance initiale est plus faible que celle des Chênes mais est compensée par un pouvoir pénétrant du houppier très important : il peut ainsi se frayer un passage à travers la canopée pour atteindre la lumière. Cela fait du Hêtre une essence très compétitive et qui a tendance à éliminer les autres essences forestières lorsque les conditions stationnelles lui autorisent une vigueur suffisante, ce qui est par exemple le cas en station limoneuse sur Plateau lorrain où le Hêtre devient envahissant.

La sensibilité du Hêtre et des Chênes aux contraintes édaphiques, à corrélérer aux besoins en eau, et leur tempérament respectif permet d'expliquer en grande partie la répartition du Hêtre et des Chênes en Lorraine et en Alsace. Le tableau 1 récapitule la répartition de ces trois essences par région naturelle, d'est en ouest. Les cases en gras indiquent les zones principalement concernées où l'essence est bien représentée et où il y a des forêts privées à PSG.

	Hêtre	Chêne pédonculé	Chêne sessile
Plaines d'Alsace	Rare	Essence principale issue du TSF	Présent en mélange ou dans les zones les plus sèches
Hardt	Rare climat trop sec	Rare	Essence principale avec le Charme, issu des anciens TSF
Sundgau	Essence principale, très beaux peuplements où le Hêtre est à son optimum	Présent en mélange avec le Frêne en zone plus argileuse Anciens TSF	Présent dans des anciens TSF
Jura alsacien	En mélange avec le Sapin (hêtraie sapinière)	Rare, présent en limite du Sundgau	rare

	Hêtre	Chêne pédonculé	Chêne sessile
Plaine de Haguenau	Présent en mélange avec le Pin et le Chêne sessile	Rare, en zone mouilleuse	Courant, pur ou en mélange
Collines sous vosgiennes et Vôge	Souvent en mélange avec le Chêne qui est plus à son optimum	Rare	Très belles Chênaies dans le Bas Rhin. Chênaie sèche plus ou moins rabougrie sur adret
Massif vosgien gréseux et cristallin	Pur en altitude En mélange avec le Sapin et le Chêne plus bas	Rare	Rare à l'étage montagnard
Plateau lorrain – Woewre – Champagne humide	Sur station limoneuse et sur secteurs secs	Très présent sur marnes	Très présent partout
Plateaux calcaires	Essence principale avec de beaux peuplements	Rare	Présent en mélange

Tableau 1 : Répartition du Hêtre et des Chênes en Alsace et en Lorraine (source : personnel technique du CRPF, communications personnelles)

Cette répartition du Hêtre et du Chêne est schématique et il est possible de trouver des peuplements mélangés de chêne et de hêtre aux interfaces entre deux régions naturelles, voire des peuplements qui ne semblent a priori pas à leur place : cela peut s'expliquer par la présence de stations particulières ou par l'intervention humaine.

Le hêtre et les chênes ayant des exigences stationnelles et un comportement très différent, il est normal que leur gestion sylvicole soit aussi différenciée.

1.2.1.2. Une sylviculture différenciée pour les deux essences

Aux différences d'écologie générale entre Hêtre et Chênes s'ajoutent évidemment des différences anatomiques, sur lesquelles le sylviculteur pourra avoir une influence partielle. En effet, le bois de chêne est jugé de meilleure qualité lorsqu'il a eu un rythme de croissance lent (Barry-Lenger et Nebout, 1993) tandis que le bois de hêtre présente de meilleures propriétés technologiques s'il a des accroissements rapides (IDF, 2002). La sylviculture appliquée à ces deux essences doit donc se différencier de manière à répondre aux exigences d'accroissement respectives des essences tout en tenant compte de leur tempérament et de leurs besoins trophiques.

Pour le chêne comme pour le hêtre, le diamètre optimal d'exploitabilité va généralement de 60 à 80 cm pour les deux essences, en fonction de la station et des objectifs du propriétaire. Mais les exigences sur les qualités technologiques des bois nécessitent de faire grossir le chêne lentement tandis que le hêtre doit produire du volume rapidement. Cette différenciation du rythme de croissance est provoquée par la gestion de la concurrence au sein des peuplements. Dans le cas du hêtre, pour que l'arbre puisse produire de larges cernes, le houppier doit pouvoir se développer au maximum. Il faut pour cela limiter la concurrence durant la phase de grossissement des fûts et donc réduire la surface terrière. Il est généralement convenu qu'une surface terrière de 15 à 20 m²/ha favorise de telles conditions de croissance. Au contraire pour le chêne, le houppier doit être suffisamment comprimé durant la phase de maturation, afin de limiter la croissance en diamètre. Une trop forte concurrence a cependant des conséquences néfastes sur la qualité des bois : dépérissement, développement de gourmands, etc. Les surfaces terrières optimales pour le chêne sont donc la plus part du temps comprises entre 20 et 23 m²/ha au stade de grossissement.

Concernant la régénération, ce ne sont plus les exigences en termes de qualité technologique qui priment mais le fonctionnement biologique propre à chaque essence. Chaque essence a des besoins

distincts, notamment en termes de lumière, pour développer une régénération viable. Le Chêne étant une essence nomade à post-pionnière, sa croissance initiale est relativement forte mais les semis exigent rapidement une certaine quantité de lumière (Barry-Lenger et Nebout, 1993), sous peine de dépérir massivement. En phase de régénération, le peuplement doit donc être suffisamment éclairci pour permettre l'apparition et la survie des semis, en limitant cependant l'éclairage des troncs pour empêcher le développement de gourmands. Une surface terrière de 10 à 13 m²/ha est conseillée pour concilier ces deux objectifs. Au contraire le hêtre, qui est une essence d'ombre, présente une régénération de mauvaise qualité si elle est exposée en pleine lumière (développement de fourche, croissance apicale amoindrie) et est soumise à la concurrence (notamment la concurrence racinaire) d'autres essences plus héliophiles se développant bien plus rapidement dans ces conditions : c'est par exemple le cas sur plateau calcaire où une régénération dense de frêne a envahi les trouées laissées par la tempête de 1999. Un couvert plus dense, mais pas totalement fermé, permet de limiter cette concurrence et d'améliorer la conformation des semis, tout en les protégeant des gelées et des coups de soleil auxquels ils sont sensibles. Pour permettre une régénération de hêtre de qualité, un peuplement doit donc avoir, dans des conditions optimales, une surface terrière comprise entre 18 et 20 m²/ha. Nous pouvons constater qu'en phase de régénération comme en phase de maturation, la sylviculture impose des surfaces terrières très différentes entre le hêtre et le chêne.

Mais l'impact du sylviculteur ne se limite pas seulement aux choix de surface terrière. Il doit aussi envisager les orientations à prendre dans le cas de peuplements mélangés (chêne et hêtre, éventuellement avec sapin ou feuillus précieux selon le contexte) en fonction des particularités des stations, mais aussi en tenant compte des changements climatiques. Même si les modèles traitant de l'évolution du climat restent flous et incertains, il a déjà pu être constaté dans le Nord-Est de la France que les étés tendent à devenir plus secs et les automnes plus humides, ce qui impliquerait une aggravation des contraintes hydriques à la fois en termes de sécheresse en période estivale, mais aussi en matière d'engorgement des sols en automne et en hivers. Cela conduit à s'inquiéter de la pérennité du Hêtre dans la région, dont les besoins constants en humidité et en fraîcheur pourraient le rendre plus sensible à des dépérissements massifs si cette évolution du climat se confirme. En cas d'augmentation des contraintes hydriques, le Chêne pédonculé serait par ailleurs aussi menacé et l'orientation vers une chênaie sessiliflore est de plus en plus souvent préconisée.

La fréquence des fructifications peut aussi avoir un impact sur la sylviculture appliquée aux peuplements. En effet les fructifications viables, et donc les possibilités de régénération d'un peuplement, ne surviennent pas chaque année. Dans le Nord-Est, une bonne fainée arrive en moyenne tous les 3 à 4 ans, ce qui n'est pas très contraignant pour la régénération des hêtraies. Par contre pour le Chêne, une glandée utilisable n'apparaît en général que tous les 8 à 10 ans. Cela constitue une contrainte assez forte en termes de régénération, surtout pour le traitement en futaie régulière, et la fructification peut alors devenir un élément décisif dans la planification des opérations sylvicoles.

La pression cynégétique peut aussi être un élément impactant fortement les choix liés à la sylviculture. Les semis de chêne étant très appétants et les semis de hêtre très peu appétants, une sélection de l'essence se régénérant peut être imposée par la présence de cerfs ou de chevreuils dans certains massifs. Le sylviculteur peut aussi être amené à attendre une baisse des populations de gibier avant d'entamer une phase de régénération, ce qui peut amener à faire vieillir des peuplements plus que nécessaire.

Cependant contrairement à tous les éléments évoqués précédemment, l'impact de la fréquence des fructifications et de la pression du gibier sur la sylviculture ne pourront pas être pris en compte dans cette étude.

	Hêtre	Chêne pédonculé	Chêne sessile
Besoin en eau	Alimentation en eau régulière et relativement importante. Sensible aux sécheresses et à toute forme d'engorgement.	Alimentation en eau constante en été, tolère un engorgement important.	Résiste à la sécheresse estivale, ne supporte pas l'engorgement superficiel fréquent.
Lumière	Essence dryade. Semis pouvant supporter l'ombre un grand nombre d'années. Feuillage ombrageant et houppier pénétrant	Essence très héliophile. Semis exigeant en lumière. Ne tolère pas la concurrence au niveau du houppier	Essence héliophile. Semis supportant l'ombre durant quelques années. Houppier sensible à la concurrence
Richesse minérale	Optimum sur les sols légèrement acides, mais large amplitude	Optimum sur les sols moyennement riches à riches, supporte mal l'acidité	Optimum sur les sols faiblement acide à acide
G pour acquisition d'une régénération durable	16-18 m²/ha	9-12 m²/ha	11-14 m²/ha
G optimal en phase de grossissement des fûts	17-20 m²/ha	18-22 m²/ha	20-23 m²/ha

Tableau 2 : Comparaison des principales caractéristiques du Hêtre et des Chênes

1.2.1.3. Un contexte économique très contrasté

L'Alsace et la Lorraine sont des régions importantes dans le domaine de la filière bois : elles cumulent à elles deux 44 000 emplois, un chiffre d'affaire annuel de 5 milliards d'euros dans ce secteur forêt-bois et produisent 17 % des sciages français (CRPF LORRAINE-ALSACE, 2006a et 2006b). Le chêne et le hêtre, essences feuillues principales de la région, participent largement à l'approvisionnement de la filière, même si les résineux représentent pour les deux régions environ 60 % de la récolte totale. Ainsi, la Lorraine est la première région française en termes de mobilisation de hêtre (21,5 % du volume total mobilisé en France) et la seconde pour le chêne (12,5 %) (AGRESTE Lorraine, 2011).

Malgré cela, il est important de noter que la filière feuillue décline depuis plusieurs années, dans la région comme ailleurs en France. Cela est en partie dû à l'intérêt porté au bois de résineux, mais aussi aux faiblesses de la structuration de la filière de transformation, entre-autre pointées du doigt par le rapport Puech (Puech, 2009). En particulier les scieries feuillues françaises sont généralement de petite taille et fragiles face à la concurrence, la proximité de l'Allemagne n'améliorant pas leur situation. En conséquence, la production de sciage feuillu en Alsace et en Lorraine est en constante diminution depuis 20 ans, comme l'illustre la figure 1. Les bois qui ne sont pas sciés localement sont donc sciés ailleurs, en France mais aussi à l'étranger. Cela implique que le prix de vente des bois, facteur non négligeable du déclenchement d'une coupe, tend progressivement à s'ajuster aux prix du marché national et international ainsi qu'à ses fluctuations. La consolidation et le développement de la filière feuillue locale permettraient au contraire d'assurer un débouché constant aux bois exploités dans la région, de même qu'un prix généralement stable et relativement élevé.

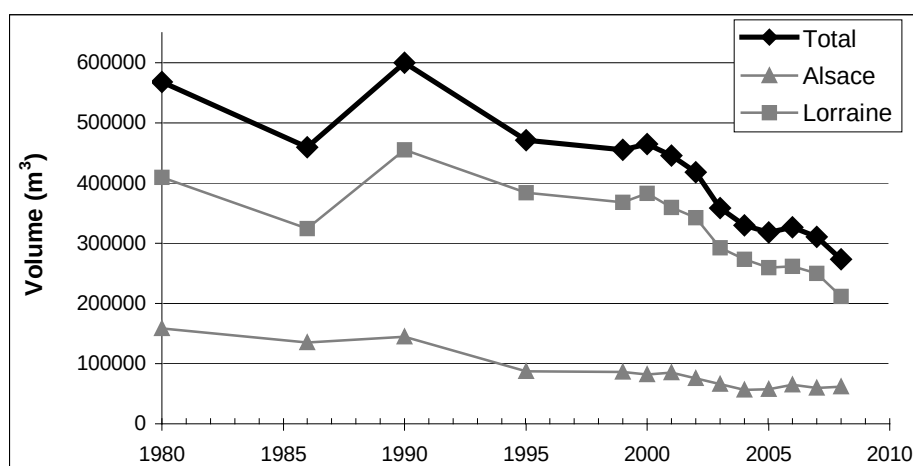


Figure 1 : Évolution du volume de sciage feuillu produit en Alsace-Lorraine au cours des 30 dernières années

Le prix de vente des bois ainsi que le contexte économique différencient à nouveau hêtre et chêne. Au vu du contexte économique actuel, le marché du chêne se maintient relativement bien. Il est principalement porté par le marché du merrain et de plus en plus par celui du parquet. Ces types de produit permettent une forte valeur ajoutée après transformation tout en n'exigeant que de faibles longueurs de grume sans défaut, ce qui maintient un prix d'achat du bois d'œuvre assez élevé. Au contraire, le bois de hêtre connaît depuis plusieurs années d'importants problèmes de mévente, au niveau régional comme national. La tempête Lothar de décembre 1999 ayant apporté d'importants volumes de hêtre à un marché déjà déclinant, le prix de celui-ci est actuellement bas et ne donne pas de signes de rajustement vis-à-vis du chêne.

Les deux essences concernées par cette étude se distinguent donc à nouveau l'une de l'autre, cette fois à travers les prix de vente. Non seulement le prix du hêtre est bien plus bas que celui du chêne quelle que soit la qualité considérée, mais l'écart de prix entre les différentes qualités pour le hêtre est aussi plus faible (cf figure 2).

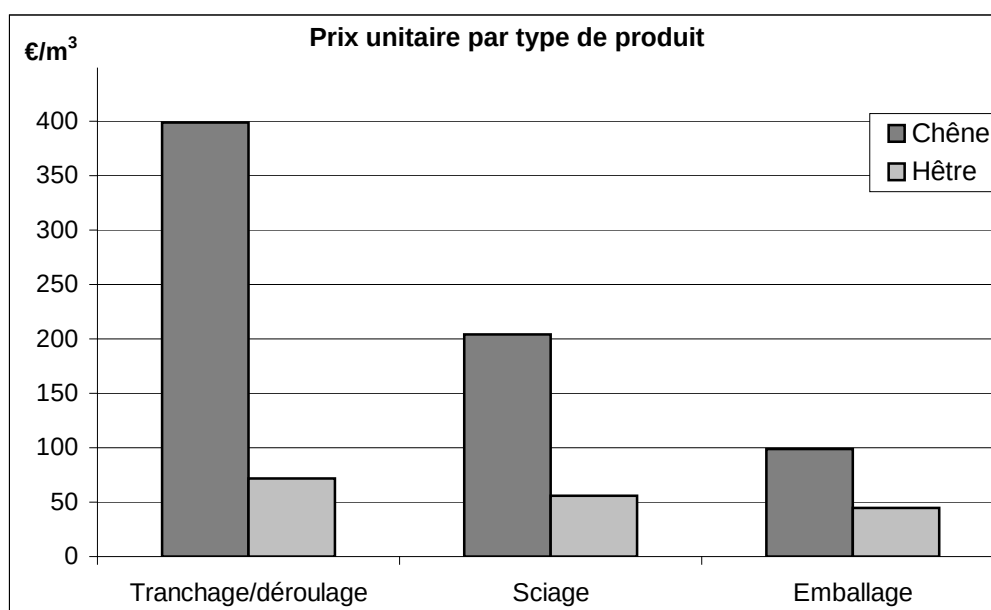


Figure 2 : Prix unitaire des bois façonnés bord de route de chêne et de hêtre, prix moyen entre juillet 2010 et juin 2011 (DRAF Lorraine, site internet)

Remarque : Le prix du chêne de tranchage est comparé au prix du hêtre de déroulage. Le produit n'est pas le même mais il s'agit ici de comparer l'usage le plus noble et le plus rémunérateur pour chacune des deux essences, en Alsace-Lorraine.

Nous pouvons constater que la qualité du bois d'œuvre a tout de même une forte influence sur le prix de vente des bois façonnés. Cela se constate de manière frappante pour le chêne, mais c'est aussi le cas dans une moindre mesure pour le hêtre qui voit son prix unitaire augmenter de 60 % si l'on passe de l'emballage au déroulage. Cela semble très faible, comparativement au chêne, mais présente tout de même un intérêt pour le propriétaire possédant des forêts à stations inadaptées au chêne. Le fait de discerner la qualité des bois destinés au sciage présente donc un fort intérêt, tant du point de vue financier pour le propriétaire que de point de vue économique pour l'approvisionnement des différents secteurs de la filière bois.

1.2.2. La forêt privée en Alsace et en Lorraine

1.2.2.1. Les caractéristiques d'une forêt privée atypique

En Alsace comme en Lorraine, la forêt occupe 37 % du territoire régional tandis que la moyenne nationale est de 28 %, soit au total 1 157 000 ha sur les deux régions. Il faut cependant noter certaines hétérogénéités en Lorraine : la Moselle, très industrialisée, a un taux de boisement de 29 % tandis que les Vosges sont presque à 49 % de surface forestière. L'Alsace est plus homogène de ce point de vue (CRPF LORRAINE-ALSACE, 2006a et 2006b).

Mais au sein de cette forêt, seuls 24 % pour l'Alsace et 36 % pour la Lorraine appartiennent à des propriétaires privés, contre 74 % en moyenne au niveau national, soit respectivement 64 000 ha et 254 000 ha. Cette nette différence avec le reste du territoire français s'explique essentiellement par des causes historiques.

L'un des points noirs de cette forêt privée, comme partout en France, est le morcellement des propriétés. En effet pour la Lorraine, 93 % des propriétaires possèdent des parcelles d'une surface totale inférieure à 4 ha, représentant un peu moins de 30 % de la superficie de la forêt privée. La taille moyenne de propriété est de 1,95 ha. La situation est plus marquée en Alsace où près de 99 % des propriétaires possèdent une surface boisée inférieure à 4 ha, ce qui représente au total 45 % de la superficie de la forêt privée ; la surface moyenne de propriété y est de 0,75 ha. La faible taille des parcelles a notamment pour conséquence de rendre leur exploitation très difficile et peu rentable. Les petits propriétaires ont de ce fait souvent tendance à se désintéresser de leur patrimoine forestier (abandon de l'exploitation ou de la délimitation des parcelles, voire oubli dans les héritages)

Concernant la composition en essences, la forêt privée est majoritairement feuillue mais le résineux a tout de même un poids important, principalement sur le massif vosgien et grâce aux plantations résineuses d'après-guerre. Les essences principales de ces forêts sont le chêne, le hêtre, le sapin et l'épicéa.

	Chêne	Hêtre	Total Feuillu	Sapin-Épicéa	Total Résineux
Alsace	11%	15%	63%	27%	37%
Lorraine	18%	13%	58%	33%	42%

Tableau 3 : Proportion en volume sur pied des principales essences en forêt privée

Il est intéressant de noter que les propriétés à plan de gestion de forêt feuillue se répartissent partout en Lorraine et en Alsace, de la plaine au sommet des Vosges, et sont relativement petites ou morcelées tandis que les forêts résineuses à PSG sont principalement concentrées sur les piémonts et le massif vosgien et sont généralement constituées en vastes massifs d'un seul tenant (exemple d'une zone de 8000 ha de propriétés à PSG d'un seul tenant dans le massif du Donon, autres cas dans la vallée de Masevaux).

1.2.2.2. Le CRPF, un organisme public d'encadrement de la forêt privée

Le centre régional de la propriété forestière (CRPF), antenne régionale du centre national de la propriété forestière (CNPF) joue un rôle important auprès de la forêt privée. Il s'agit d'un établissement public à vocation administrative ayant pour mission, entre-autre, d'agréer les documents de gestion durable, d'aider, de conseiller et d'informer les propriétaires forestiers, de contribuer au développement durable des espaces ruraux.

1.2.2.2.1. Le plan simple de gestion et la base Merlin

En Alsace-Lorraine, 35 % de la surface de forêt privée est soumise à PSG, ce qui représente 111 700 ha.

Le plan simple de gestion (PSG) est un document de gestion des forêts. Les propriétaires de forêts de plus de 25 ha sont obligés de présenter un PSG afin de bénéficier d'avantages fiscaux et d'un affranchissement de demande préalable de coupe (Code Forestier, art. L 222-2 et L 222-3). Les propriétaires de forêts de 10 à 25 ha ont aussi la possibilité d'établir un PSG de manière volontaire. Ce document doit contenir un certain nombre d'informations concernant la forêt (CF, art. R 222-5), notamment la localisation et la surface de la forêt (détaillée en parcelles), les différents types de peuplement, une analyse des contraintes locales (problèmes liés au manque de desserte, à la pression du gibier, aux risques d'incendie...) et une brève présentation de la sylviculture appliquée. Le PSG doit aussi contenir un programme prévisionnel des coupes et travaux s'étendant sur les 10 à 20 ans à venir, précisant leur nature, leur quotité et les surfaces concernées. L'ensemble doit s'inscrire dans le cadre d'une gestion durable.

Afin de clarifier le cadre de cette gestion durable, un schéma régional de gestion sylvicole (SRGS) a été établi pour chaque région par le CRPF correspondant. Celui-ci a entre-autre pour mission de s'assurer de la cohérence des PSG proposés par les propriétaires avec le SRGS et d'agréer le document ou, le cas échéant, de signaler les points non conformes pour correction et agrément ultérieur (CF, art. L 221-1). Une fois le PSG validé, un certain nombre d'informations sont enregistrées dans une base de données informatique nationale, appelée base Merlin. Ces dernières concernent le propriétaire (nom et adresse), le PSG (date d'agrément, durée d'application, type de rédacteur, etc.), la forêt (surface totale, région IFN, etc.). Des types de peuplements simplifiés, homogénéisés au niveau national, sont aussi identifiés lors d'une visite de la forêt par le technicien CRPF. Les limites de la propriété ainsi que le sous-découpage en peuplements sont numérisés dans le système d'information géographique (SIG) associé à la base Merlin et les informations concernant la surface du peuplement et l'essence principale y sont reliées. (voir un extrait de la BdD en annexe 1)

Cela constitue au final une source d'information sur la forêt privée à PSG, qui présente cependant un inconvénient. Les données concernant une forêt sont saisies à la date d'agrément du PSG mais ne sont pas mises à jour jusqu'au prochain agrément. Ainsi l'identification du propriétaire, la surface ou les types de peuplement peuvent changer au cours de la période de validité du document sans que les informations soient modifiées dans la base de donnée. Il faut donc être prudent lors de l'utilisation des données de PSG anciens, d'autant plus qu'ils pouvaient avoir une durée de validité de 30 ans au maximum avant 2001 (réduction à 20 ans par la loi d'orientation forestière de 2001).

1.2.2.2.2. L'information, le conseil et la vulgarisation auprès des propriétaires

Les CRPF ont pour objectif de sensibiliser le propriétaire forestier, acteur fondamental de la forêt privée, aux problématiques tant économiques qu'environnementales. Un certain nombre d'actions est mené dans ce but en Alsace-Lorraine. Des réunions de vulgarisation et la publication d'un journal trimestriel sont notamment organisées. Le CRPF Lorraine-Alsace a aussi produit un certain nombre de typologies adaptées aux différentes régions naturelles et aux contraintes liées à la propriété privée, donnant des conseils quant au choix des essences ou aux orientations sylvicoles. Des opérations de regroupement foncier et des plans d'approvisionnement territoriaux sont aussi mis en place afin de favoriser le regroupement technique et économique des propriétaires forestiers. Tout cela

a notamment pour objectif d'intéresser le propriétaire (et éventuellement son gestionnaire) à sa forêt et de lui donner les outils pour la gérer de manière optimale et durable.

1.2.2.3. Les autres acteurs liés à la forêt privée

De nombreux autres acteurs sont en contact plus ou moins direct avec la forêt privée et pour des raisons diverses. Nous pouvons citer les services de l'État tels que la Direction Départementale des Territoires (DDT) ou la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), ou encore les différentes entreprises privées en lien avec la filière bois comme les entreprises de travaux forestiers, les scieries, papeteries, ... Des interprofessions ont été établies afin de simplifier et d'améliorer les contacts entre tous ces acteurs. Il s'agit d'associations s'étendant à l'échelle régionale (GPEBLOR pour la Lorraine et FIBOIS-Alsace pour l'Alsace) et ayant pour but de renforcer la cohésion de la filière bois dans son ensemble. L'objectif des interprofessions est d'organiser une communication efficace au sein de la filière et avec l'extérieur (collectivités, médias, grand public, etc.), mais elles peuvent aussi réaliser des études techniques.

1.3. Les objectifs et limites de l'étude

1.3.1. Une zone d'étude singulière

Suite à l'étude de Marc Des Robert (évoquée en 1.1.2) le CRPF a décidé d'appliquer la même approche pour le Hêtre et les Chênes dans les forêts privées d'Alsace et de Lorraine gérées conformément à un plan simple de gestion (PSG). Il s'agit des PSG dits « obligatoires » (propriété forestière supérieure à 25 ha d'un seul tenant¹) mais cela comporte aussi les PSG volontaires (propriétés d'une surface comprise entre 10 et 25 ha d'un seul tenant). Cela exclut donc les forêts sous régime spécial d'autorisation administrative de coupe, qui sont des forêts de plus de 25 ha, soumises à l'obligation de présenter un PSG, mais qui n'en ont pas. Cette situation est rare et négligeable.

Au sein de ces propriétés, tous les peuplements ne seront pas systématiquement concernés. Nous ne retiendrons que ceux dont l'essence principale est le hêtre ou le chêne. L'essence principale n'est pas systématiquement l'essence dominante mais correspond à l'essence-objectif de production : en Alsace et en Lorraine il s'agit essentiellement du hêtre, du chêne, du sapin et de l'épicéa. Par exemple pour un mélange de taillis de charme et de futaie pauvre de chêne (cas fréquent, hérité des anciens taillis sous futaie), l'essence principale est le chêne même si elle peut ne représenter qu'une faible part du capital. De plus tous les peuplements décrits ne sont pas concernés et certains sont exclus. Cela concerne principalement les peuplements détruits par les tempêtes ou en phase de régénération. De manière plus générale, les peuplements dont les tiges précomptables (diamètre à 1,30 m supérieur à 17,5 cm) représentent moins de 7 m²/ha seront abandonnés.

Au final, 42 200 ha sont *a priori* concernés par l'étude, selon les restrictions détaillées ci-dessus. Il y sera fait référence dans la suite par le terme général « zone d'étude ».

1.3.2. Les questions auxquelles l'étude tentera de répondre

La motivation principale de cette étude est de savoir si la forêt privée est techniquement capable de répondre à la demande croissante en bois et dans quelle mesure. Il faudrait pouvoir quantifier la surcapitalisation supposée des forêts pour savoir quelle quantité de bois il est potentiellement possible d'exploiter sans compromettre la pérennité de la ressource, et donc éviter la sur-exploitation.

¹ Le « d'un seul tenant » a été supprimé dans les textes de loi lors de la modification de l'article R 222-7 du code forestier par le décret n°2011-587 du 25 mai 2011. Mais la délimitation de la zone d'étude ayant été réalisée avant cette date, elle ne tient pas compte de cette modification.

Concrètement, l'objectif de cette étude est d'estimer les volumes de bois potentiellement disponibles au sein de la zone d'étude, en différenciant la récolte issue de l'accroissement naturel des peuplements (le capital mobilisable « pérenne ») et celle engendrée par leur surcapitalisation éventuelle (le capital mobilisable « conjoncturel »). Il faudra aussi tenir compte du temps que l'on s'accorde pour mettre en œuvre cette récolte : les résultats pourront varier selon que la récolte du surplus de capital est envisagée à l'échelle d'une seule rotation ou de plusieurs rotations. Enfin, rappelons qu'il s'agit d'une estimation. Il faudra donc être capable de proposer, en plus d'une valeur moyenne, un encadrement vraisemblable de ce résultat : cela permettra de prendre en compte une marge d'erreur due à l'incertitude de certains paramètres.

Derrière le terme de volumes mobilisables se pose la question de l'utilisation des bois. Nous avons vu que cette ressource fait l'objet de deux demandes assez différentes (vu au 1.1.1). D'une part l'approvisionnement en bois énergie porte des enjeux à la fois environnementaux et politiques, la pression est importante sur ce produit. D'autre part, le bois d'œuvre représente aussi en partie un enjeu environnemental, en particulier dans le secteur de la construction, mais il a surtout un poids économique puisque sa transformation amène généralement une forte valeur ajoutée au produit. Il est donc nécessaire de différencier au sein des volumes de bois mobilisable la part de bois d'œuvre (BO) et de bois d'industrie – bois énergie (BIBE), qui présentent des enjeux distincts.

Par ailleurs dans le cas du BO, la conformation et la qualité mécanique des bois exploités déterminent en grande partie le type de transformation qu'ils subiront et leur utilisation à venir. Or nous avons vu plus haut (au 1.2.1.3) que pour les essences feuillues, et en particulier pour le chêne, le débouché envisagé a une forte influence sur le prix du bois, qu'il soit vendu sur pied ou façonné. La distinction entre les différentes qualités de bois d'œuvre a donc une importance du point de vue économique. Nous tenterons par conséquent d'estimer les proportions de chaque type de qualité parmi les volumes de bois disponibles.

Enfin, il serait intéressant de pouvoir identifier des facteurs permettant d'expliquer le niveau de capitalisation des forêts considérées. Nous pouvons ainsi espérer une meilleure compréhension des causes de la surcapitalisation ou de la sous-capitalisation des peuplements. De plus, cela pourrait permettre au CRPF de mieux identifier les propriétés susceptibles de présenter un fort potentiel de récolte, ainsi que les raisons de cette situation, et il pourrait par conséquent mieux cibler ses actions d'information et de communication afin de stimuler la mobilisation de la ressource.

En résumé, cette étude s'attachera principalement à évaluer le potentiel de récolte en forêt privée d'Alsace et de Lorraine pour le chêne et le hêtre, en termes de volumes potentiellement disponibles. Ces volumes seront ensuite détaillés en qualité, en distinguant la catégorie bois d'œuvre de la catégorie bois énergie – bois d'industrie, mais aussi en estimant la répartition des différentes qualités de sciage au sein des volumes de bois d'œuvre. Enfin, nous tenterons de déterminer des critères permettant de caractériser le niveau de capitalisation des forêts.

1.3.3. Une étude avant tout technique

Le principe de l'étude est de comparer le capital actuel à un capital théorique idéal, en fonction d'une certaine sylviculture, pour déterminer un éventuel surplus. Les résultats obtenus seront donc des volumes potentiels maximaux théoriques, appelés volumes techniques. Mais bien que ces volumes puissent être potentiellement récoltés sans menacer la stabilité du peuplement, cela ne signifie pas qu'ils le seront réellement. En effet des facteurs économiques (coût de mobilisation, prix des bois, etc.) et psychologiques (gestion conservatrice, désintérêt du propriétaire pour sa forêt, etc.) peuvent conduire le propriétaire à ne pas réaliser de coupe. Ces paramètres, difficiles à modéliser et à intégrer aux calculs, ne seront pas pris en compte dans cette étude.

L'aspect économique, principal déclencheur de la mobilisation des bois, n'est pourtant pas entièrement exclu. C'est notamment dans cette optique que la différenciation des qualités est envisagée : le prix de vente des bois feuillus est très fortement impacté par ce paramètre.

L'accessibilité aux parcelles, et à travers cela le coût de mobilisation, sera aussi abordée afin de déterminer s'il s'agit d'une cause de surcapitalisation.

Il faut cependant bien garder à l'esprit qu'il s'agit ici d'une étude technique et que les résultats principaux seront des volumes potentiels théoriques. D'une part cela donnera une image réaliste de l'état de capitalisation des forêts feuillues privées d'Alsace-Lorraine. D'autre part, cela représentera la limite supérieure de la ressource que l'on peut espérer exploiter sans compromettre sa pérennité. Cela permettra de mieux évaluer l'effort que l'on peut attendre concrètement de la forêt privée en matière de volume supplémentaire récoltable pour répondre aux engagements environnementaux pris par la France.

2. La méthode employée

2.1. Les bases du raisonnement général

2.1.1. Le principe directeur : comparaison du capital réel à un capital idéal

Afin de déterminer une éventuelle sur-capitalisation ou sous-capitalisation des forêts privées à PSG, il nous faut comparer le capital réel de ces forêts à un capital théorique supposé optimal d'un point de vue sylvicole. Pour cela, il est nécessaire d'estimer le capital réel à l'échelle de la zone d'étude à partir de mesures de terrain (détaillé en 2.2) afin de s'affranchir des limitations des données de l'IFN évoquées plus haut. Il est aussi nécessaire d'établir des valeurs de références de capital optimal (point développé au 2.3). Ces références devront correspondre à un état de peuplement à l'équilibre, mais aussi être adaptées aux différents types de peuplements et aux différents modes de gestion que l'on peut rencontrer en Alsace et en Lorraine. La différence de ces deux valeurs devrait nous permettre de répondre à la question des volumes de bois supplémentaires éventuellement mobilisables.

$$\Delta\text{Capital} = \text{Capital}_{\text{Réel}} - \text{Capital}_{\text{Référence}}$$

Ainsi selon que $\Delta\text{Capital}$ est positif ou négatif de manière significative, nous pourrions alors conclure à une sur-capitalisation ou à une sous-capitalisation, ou encore à une forêt généralement équilibrée si la différence des deux est négligeable. Mais il faut avant cela définir l'unité de mesure du capital.

2.1.2. La surface terrière, principale unité de mesure employée

Le volume de bois est une unité de mesure de capital facilement visualisable, compréhensible pour tous et bien connue des acteurs du secteur de la transformation. Cependant, il ne s'agit pas du meilleur moyen d'évaluer le capital d'un peuplement. La surface terrière est un indicateur plus fin et plus précis, bien référencé. De plus, ce type de mesure se relève rapidement et de manière directe sur le terrain à l'aide d'un relascope à chaîne, tandis que le volume d'un peuplement s'obtient par des méthodes indirectes (tarifs ou barèmes de cubage, formules simplifiées, coefficients de conversion) et requiert des mesures plus coûteuses en temps. Pour ces raisons, tous les raisonnements et tous les calculs concernant le capital seront menés en surface terrière et seuls les résultats finaux seront convertis en volume, afin de minimiser le cumul des erreurs et les biais de calcul.

2.1.3. L'encadrement des résultats, une estimation des extremums

Étant donnée l'échelle de la zone d'étude, seule une petite portion de forêt concernée pourra être mesurée. Des simplifications et des approximations devront être utilisées afin de pouvoir mener les calculs et les généraliser. Les résultats obtenus ne seront donc que des estimations. Il faudra cependant pouvoir évaluer une marge d'erreur. Pour cela, nous poserons au cours du raisonnement des hypothèses de calcul dites « hypothèse basse » et « hypothèse haute ». Ces hypothèses viseront à encadrer certains chiffres, sur lesquels une incertitude peut exister, par des valeurs minimale et maximale réalistes. Ainsi les résultats finaux, jugés moyens, pourront être encadrés par des valeurs issues des calculs sur ces hypothèses basse et haute, correspondant au scénario le plus pessimiste et au scénario le plus optimiste.

La problématique de la qualité des bois et la recherche de facteurs explicatifs seront développés dans d'autres paragraphes (respectivement 2.5 et 3.4).

2.2. La mise en place de l'échantillonnage et des mesures de terrain

2.2.1. Un plan d'échantillonnage adapté à la zone d'étude

La zone d'étude ne couvre que 3,6 % de la surface forestière totale de la région mais concerne tout de même 42 200 ha répartis à travers l'Alsace et la Lorraine. Étant données la diversité de ces forêts et l'étendue concernée la localisation des mesures de terrain doit être choisie judicieusement, de manière à obtenir la meilleure précision possible tout en ne parcourant qu'une faible portion de la surface totale. La méthode de l'échantillonnage stratifié semble bien adaptée à cette situation : elle permet de segmenter la zone d'étude en plusieurs sous-parties plus homogènes que l'ensemble et donc de diminuer le nombre de mesures nécessaires dans chacune de ces sous-parties pour une même précision.

Le plan d'échantillonnage a été établi par Émilien Kuhn (promotion FIF 2009-2012) au cours de son stage de 1^{ère} année. La méthode employée est celle d'un échantillonnage dit à deux degrés (Rondeux, 1999) et est illustrée en figure 3 :

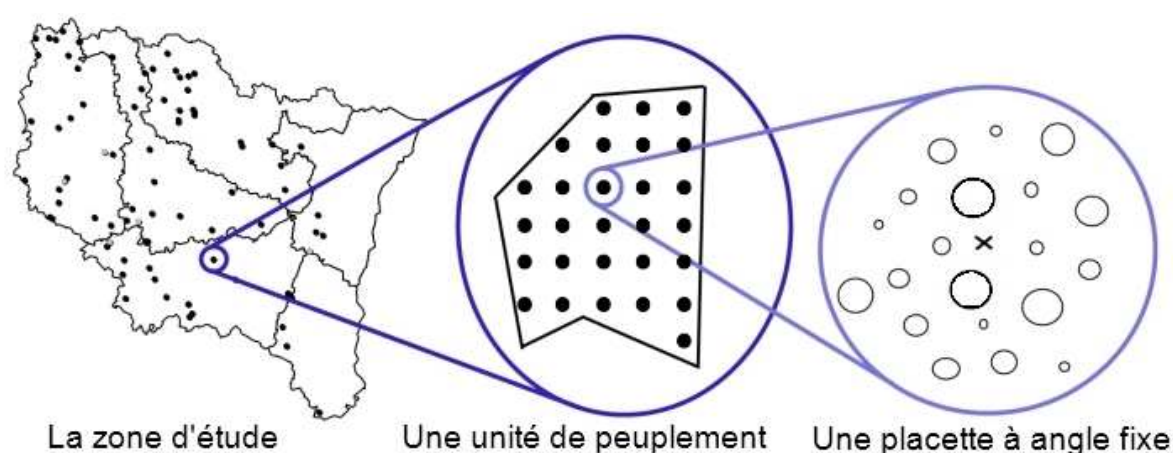


Figure 3 : Schéma du plan d'échantillonnage à deux degrés employé pour l'étude

2.2.1.1. Un échantillonnage stratifié à l'échelle de l'Alsace-Lorraine

Le premier degré est un échantillonnage stratifié à l'échelle de la zone d'étude, s'étendant sur toute l'Alsace-Lorraine. La stratification est réalisée à partir de trois critères. La taille de la propriété est tout d'abord prise en compte : on distingue les propriétés de plus de 150 ha de celles de moins de 150 ha car les plus grosses propriétés sont susceptibles d'être mieux suivies que les petites. Le type de peuplement est ensuite considéré, réparti en 8 catégories correspondant à la classification simplifiée de la base Merlin (voir 1.2.2.2.1). Enfin, la troisième subdivision concerne la taille du peuplement considéré, réparti en trois classes : peuplement d'une surface inférieure à 30 ha, peuplement compris entre 30 et 100 ha et peuplement supérieur à 100 ha. Le croisement de ces trois critères aboutit théoriquement à 48 catégories mais 3 catégories sont inexistantes à l'échelle de l'Alsace-Lorraine et nous verrons plus loin qu'en réalité seules 25 catégories constituent l'échantillon définitif (voir l'annexe 2 pour plus de détail). Ce sont des unités de peuplement correspondant à ces catégories qui sont choisies aléatoirement, mesurées puis analysées, et non pas les propriétés ou les massifs entiers. Nous nous référerons dans la suite à ces entités du premier degré de l'échantillonnage par le terme « unité ».

Cependant, quelques restrictions ont été ajoutées concernant les surfaces de ces unités. Toutes les unités s'étendant sur moins de trois hectares ont été exclues : celles-ci concernent des surfaces minimales à l'échelle de l'Alsace-Lorraine et la validité statistique de mesures sur de si petites étendues est faible.

D'autre part, le tirage au sort des unités à mesurer est aléatoire simple : les unités ne sont pas pondérées par leur surface. Ainsi au sein d'une même catégorie, une grosse unité a autant de chance d'être choisie qu'une plus petite alors qu'elle représente une surface plus importante. Les plus grosses unités de chaque catégorie ont donc été scindées en 2 unités (voir 3 ou plus) de taille égale, en veillant à ne pas les faire changer de catégorie. Par exemple, un peuplement de 'mélange taillis-futaie riche' (dénomination de la base Merlin) de 65 ha au sein d'une propriété de 90 ha est classé dans la catégorie '16'. Cette unité est alors scindée en deux, de manière à obtenir deux unités de mélange taillis-futaie riche de 32,5 ha chacun. Si cette unité avait fait 55 ha, elle n'aurait pas été divisée car elle aurait alors changé de catégorie : elle serait passée sous le seuil des 30 ha. Il est à noter que les unités de moins de 30 ha n'ont pas été scindées en unités plus petites. Comme évoqué plus haut, la méthode de pondération des probabilités de tirage en fonction de la surface aurait aussi pu être utilisée.

Le nombre d'unités sélectionnées pour les mesures de terrain a été choisi en fonction des contraintes de temps de l'étude. Il a été estimé que 80 à 90 unités pourraient être parcourues et mesurées sans compromettre l'aboutissement de l'étude, moyennant l'assistance de personnel du CRPF pour chaque département. Ainsi, 90 unités ont été initialement choisies, proportionnellement aux surfaces concernées par chaque catégorie en Alsace-Lorraine. Un problème apparaît cependant : sachant qu'il existe 45 catégories différentes et que certaines représentent d'importantes surfaces, il est impossible de représenter la totalité de ces catégories à l'aide de seulement 90 unités. Certaines catégories de faible surface ont donc été exclues de l'échantillonnage. Dans la suite, les surfaces concernées par ces catégories seront ajoutées à celle de catégories semblables. Ainsi, nous considérons par exemple qu'un peuplement de plus de 100 ha de 'mélange de taillis-futaie moyennement riche' dans une propriété de moins de 150 ha (catégorie 23, concernant 102 ha au sein de la zone d'étude) est semblable au même peuplement d'une propriété de plus de 150 ha (catégorie 47). Nous disposons donc initialement d'un échantillon de 90 unités représentant la plupart des catégories de peuplement de la zone d'étude. Mais suite à divers problèmes (refus de propriétaires, erreurs dans la base de données, etc.), ce nombre a été amené à 82.

2.2.1.2. Un échantillonnage systématique à l'échelle des unités de peuplement

Le second degré de l'échantillonnage consiste en la répartition de placettes de mesure sur chacune des unités tirées au sort. L'échantillonnage est aléatoire systématique, selon un maillage carré. Afin de limiter le coût en temps de déplacement sur le terrain, 20 ha au maximum sont inventoriés sur chaque unité et la distance entre deux points ne dépasse jamais 100 m. Les placettes sont positionnées par SIG, en se basant sur les limites de peuplement consignées dans la base Merlin, éventuellement corrigées par photo aérienne ; elles sont localisées sur le terrain par GPS, ou au topofil et à la boussole en cas d'avarie.

En considérant que le coefficient de variation d'un peuplement feuillu pour sa surface terrière se situe généralement aux environs de 30 %, 20 points de mesure permettraient d'espérer une erreur relative en moyenne inférieure à 15%. L'erreur relative pourrait être abaissée davantage en augmentant le nombre de points par unité mais cela impliquerait un surcoût de temps qu'il serait difficile de concilier avec la durée de l'étude. Le choix de positionner 20 placettes par unité semble donc être un assez bon compromis entre précision souhaitée et temps disponible pour la phase de mesure. Cependant, il a parfois été impossible de placer les 20 points dans certaines unités de faible surface, même en réduisant le pas du maillage. Ainsi pour 11 unités sur 82, seulement 13 à 17 placettes ont été positionnées, ce qui donne une moyenne de 19,3 placettes par unité.

Au total, 1580 points de mesure ont été prévus, répartis sur 1900 ha de forêt privée en Alsace et en Lorraine. Mais certains imprévus et certaines contraintes de terrain ont conduit à diminuer le nombre de points pris en compte dans l'étude.

2.2.1.3. Les modifications menant à l'échantillon définitif

2.2.1.3.1. Les placettes non prises en compte

Sur le terrain, toutes les placettes prévues à l'origine n'ont pas été mesurées. Les causes d'abandon principales sont les erreurs localisation et la présence de trouées ou clairières.

Malgré la vérification par photographie aérienne, certains points peuvent être localisés dans des peuplements très différents de celui à mesurer. Le cas le plus flagrant est celui de la placette située dans une plantation résineuse jouxtant le peuplement concerné. Le point est alors généralement déplacé de manière à se replacer dans le peuplement souhaité mais cela n'est pas toujours possible, pour diverses raisons (proximité d'une autre placette, étroitesse du peuplement inventorié, etc.) et le point est alors annulé. Lorsque le point se situe dans une trouée ou une zone en régénération ne comportant aucun bois précomptable, il n'est pas déplacé mais systématiquement annulé et comptabilisé comme point de peuplement ouvert.

Des points de mesure ont aussi été exclus *a posteriori*. Toutes les placettes pour lesquelles la surface terrière locale est inférieure à 7 m²/ha ont été retirées : sous ce seuil de capital, le peuplement est jugé clair et aucun bois commercialisable n'en sortira avant un grand nombre d'années. Les points concernés sont regroupés avec les placettes situées en zone de régénération et de trouée. La proportion de ces placettes de peuplement ouvert permettra d'estimer les proportions de surface improductive lors du traitement des données (voir 2.2.1.3.3).

2.2.1.3.2. Les unités non prises en compte

Au vu du faible nombre d'unités mesurées par rapport à la surface forestière réellement concernée, il est important que les données obtenues pour chacune de ces unités soient fiables. Or la validité statistique des mesures obtenues par unité dépend principalement de l'homogénéité du peuplement considéré et du nombre de points mesurés sur cette unité. Afin de quantifier la validité statistique des données moyennes obtenues par unité, le coefficient de variation et l'erreur relative sur la valeur de surface terrière totale sont calculés pour chacune d'elles (voir annexe 3).

D'un point de vue purement statistique, la loi de Student (employée ici pour de nombreux calculs) est utilisable dans le cadre de la statistique inférentielle si et seulement si les échantillons (ici, les unités) sont constitués d'au moins 10 individus (les points de mesure) et si la variable considérée (la surface terrière totale dans notre cas) se répartit de manière symétrique au sein de l'échantillon.

La symétrie, caractérisée par l'égalité de la moyenne et de la médiane, est approximativement vérifiée pour toutes les unités (écart entre la moyenne et la médiane toujours inférieur à 8 % de la moyenne). Par ailleurs, toutes les unités dont moins de 10 points de mesure ont été conservés sont exclues de l'échantillon définitif. Les unités dont l'erreur relative est supérieure à 20 % sont aussi exclues. Au total, 5 unités sont abandonnées. Il est utile de noter que ces unités sont abandonnées en raison du faible capital présent : soit un grand nombre de placettes mesurées a été exclu en raison d'une surface terrière inférieure à 7 m²/ha, soit le capital moyen étant faible, l'erreur relative est bien plus sensible à la variabilité des mesures.

Tout comme les placettes en peuplement clair ($G < 7$ m²/ha), les unités exclues seront utilisées lors du calcul des surfaces réellement concernées par l'étude.

2.2.1.3.3. L'estimation des surfaces réellement concernées

Les données de surface disponibles *a priori* sont fournies par la base de donnée Merlin. Or celle-ci peut présenter des erreurs et des imprécisions. Nous venons de voir que ces erreurs ont été relevées lors de la campagne de terrain ou lors du traitement ultérieur des données. Elles ont été réparties en deux catégories : les placettes dites 'hors-peuplement' (problème de localisation des limites de peuplement dans la base de donnée SIG) et les placettes dites 'à peuplement clair' ($G < 7$ m²/ha, généralement des trouées-tempête ou des tâches de régénération).

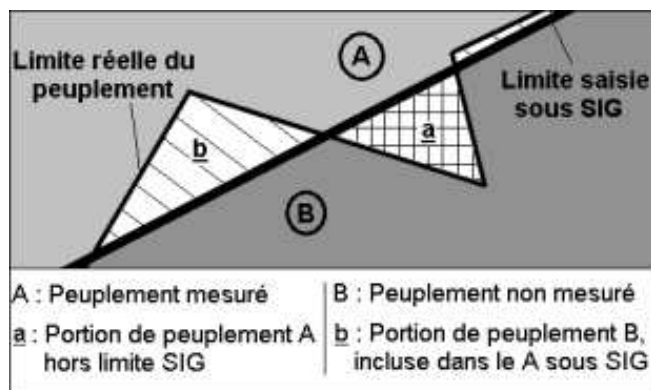


Schéma illustrant les différences de surface entre peuplement réel et peuplement saisi sous SIG

Pour chaque unité, la proportion de placettes hors peuplement devrait théoriquement permettre d'évaluer les surfaces comptabilisées dans la base Merlin qui correspondent en fait à des erreurs de saisie (surfaces 'a' et 'b' sur le schéma). Cependant, nous ne disposons que des zones qualifiées de peuplement à inventorier sous SIG mais qui ne le sont pas en réalité (surface 'b' sur le schéma). Les erreurs inverses, c'est-à-dire les zones qui auraient dû être inventoriées mais qui sont classées comme autre peuplement dans la base de données (surface 'a' sur le schéma), n'ont pas été

parcourues ni recherchées. Nous supposons donc que les erreurs de sur-estimation et de sous-estimation de la surface réelle des peuplements se compensent globalement. De plus, les placettes annulées parce qu'étant hors peuplement sont rares par rapport au nombre de placettes total (37 sur 1478).

Les placettes de peuplement clair ($G < 7 \text{ m}^2/\text{ha}$) représentent quant à elles des surfaces non productives (au moins pour les 10 ans à venir) au sein de la zone d'étude. Cela peut correspondre à de petites trouées au sein d'un peuplement productif (zone chablis très localisée par exemple) ou à un pan entier de parcelle dévasté par une tempête. Afin de ne pas fausser les résultats obtenus, nous excluons ces surfaces de la zone d'étude, en fonction de la proportion de placettes concernées pour chaque unité. Les 5 unités exclues en totalité correspondent aussi à ce cas et sont incluses dans ce calcul.

Au final, nous pouvons estimer qu'environ 2400 ha au sein de la zone d'étude initiale correspondent en fait à des surfaces improductives. Il est intéressant de noter que les proportions de surface considérées non productive ne se répartissent pas équitablement. Les critères ayant servi à la stratification de l'échantillon (superficie de la propriété, superficie du peuplement et type de peuplement) ne révèlent pas de différence notable. Par contre le département et l'essence dominante semblent déterminants, comme le montre le tableau 4 :

	54	55	57	88	67	68	Total
Chêne	3,0%	6,7%	2,1%	0,0%	2,6%	-	2,9%
Hêtre	15,2%	22,1%	0,0%	15,0%	16,3%	6,7%	14,8%
Total	7,1%	16,5%	1,5%	8,4%	11,7%	6,7%	7,2%

Tableau 4 : Proportions de surface non productive dans la zone d'étude, distinguées par département et par essence dominante

Nous pouvons constater d'une part que la Meuse (55) paraît plus affectée que les autres départements et d'autre part que les peuplements à base de hêtre le sont aussi. Cela s'explique par les effets encore visibles du passage de la tempête Lothar en décembre 1999. En effet, la Meuse a été sévèrement touchée, et plus particulièrement en Pays Barrois. De plus les peuplements à base de hêtre, dont l'enracinement est peu puissant, ont subi de plus lourds dégâts que ceux à base de chêne.

Par ailleurs le Bas-Rhin (67) semble aussi présenter une proportion relativement importante de surface de peuplement clair, ce qui s'explique cette fois-ci par la topographie. Les unités tirées au sort dans ce département sont très majoritairement localisées sur le massif vosgien. Or celui-ci présente des pentes bien plus abruptes sur versant alsacien que sur versant lorrain. Les zones non productives constatées dans les unités de peuplement correspondent alors généralement à des fortes pentes ou à des pierriers supportant des arbres rares et chétifs. Cependant, seules 5 unités ont été mesurées dans le

Bas-Rhin, ce qui est trop faible pour pouvoir généraliser ce type de situation à l'ensemble du département. Il s'agit ici d'une limite au plan d'échantillonnage choisi.

2.2.1.3.4. Un échantillon final relativement représentatif de la zone d'étude

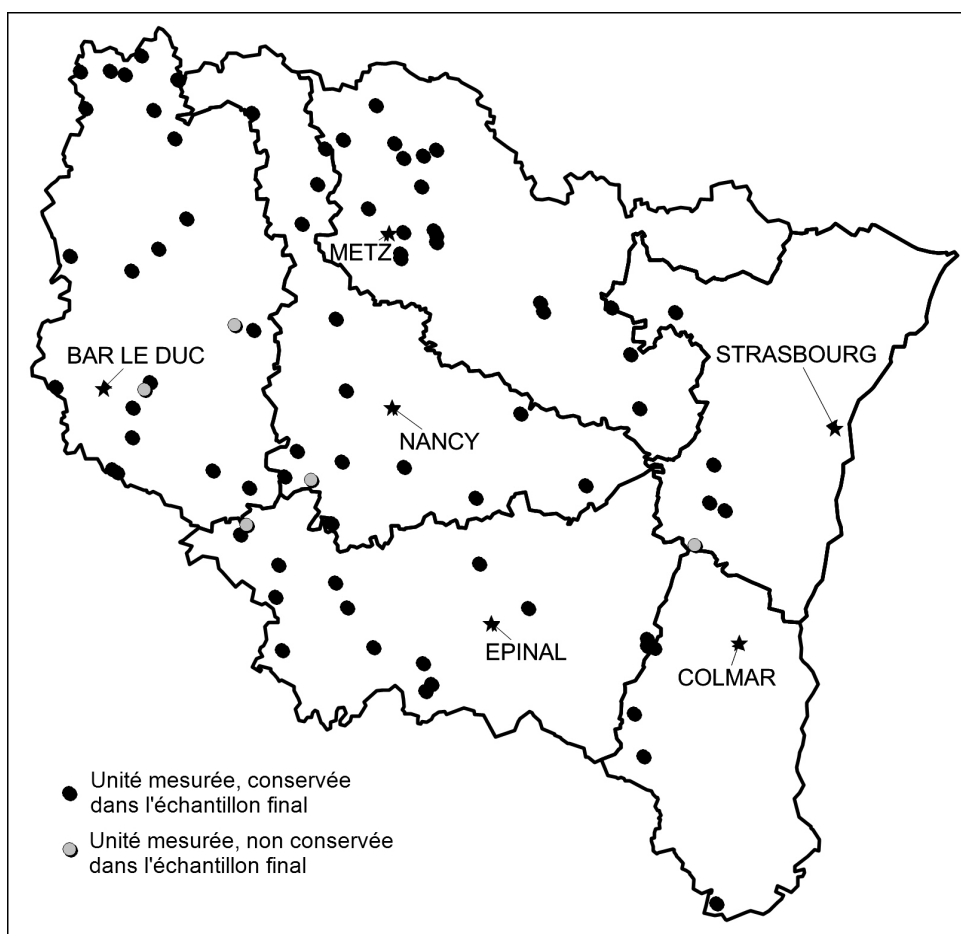


Figure 4 : Carte de localisation des unités de peuplement mesurées lors de la campagne de terrain

Suite aux remaniements évoqués plus haut, la base de calcul finale se compose de 1361 points de mesures répartis en 77 unités, sur 1850 ha de forêt privée. La figure 4 localise la répartition de ces unités en Alsace-Lorraine. En raison des différents remaniements survenus sur l'échantillon d'origine, avant et après la phase de mesure, on pourrait s'interroger sur sa représentativité. Les surfaces échantillonnées sont donc comparées aux surfaces réelles, détaillées pour chaque catégorie issue de la stratification. À la fois pour l'échantillon et la surface forestière réelle, nous obtenons pour chaque catégorie la surface considérée et la proportion de celle-ci dans la population totale. Nous établissons ensuite deux critères d'évaluation: le pourcentage de surface qui a été échantillonné pour chaque catégorie et la différence entre les proportions réelles et celles de l'échantillon. Les résultats sont détaillés en annexe 4. Par exemple, nous y apprenons que la catégorie 3 (peuplement de vieille futaie de moins de 30 ha, au sein d'une propriété de moins de 150 ha) constitue 1,54 % de l'échantillon total et 1,44 % de la zone d'étude et que l'échantillon couvre 4,96 % de la surface totale pour cette catégorie.

Afin d'avoir une vision synthétique de ces données, nous calculons pour chaque critère d'évaluation sa moyenne, pondérée par la surface réelle de chaque catégorie, ainsi que son écart-type. De plus, le calcul est effectué en considérant l'ensemble des catégories, mais aussi en considérant uniquement les catégories représentées par l'échantillon, ce qui évite de biaiser les valeurs par les « 0 » des catégories non échantillonnées. Le résultat de ces calculs est présenté dans le tableau 5 :

Calcul sur toutes les catégories

	% surf mesurée	Écart proportions
<i>Moy pondérée</i>	4,64%	-0,413%
<i>Écart-type</i>	3,75%	1,603%

Calcul sur les seules catégories échantillonnées

	% surf. mesurée	Écart proportions
<i>Moy pondérée</i>	5,40%	-0,697%
<i>Écart-type</i>	3,14%	1,898%

Tableau 5 : Récapitulatif des critères d'évaluation de l'échantillon

Au total 4,6 % de la surface de la zone d'étude a donc été échantillonnée. Une différence moyenne négative entre les proportions de surfaces réelles et de l'échantillon, par catégorie, indique que les catégories présentant les plus grandes surfaces ont été sur-échantillonnées tandis que les catégories peu fréquentes (toujours en termes de surface) ont été sous-échantillonnées (effet de la pondération par les surfaces de chaque catégorie). De plus, l'écart type relativement élevé signale une dispersion assez forte des valeurs : certaines catégories, dont le pourcentage de surface échantillonnée est plus important, bénéficieront d'une meilleure précision que d'autres. Le fait que les catégories les plus importantes aient été généralement sur-échantillonnées implique que la précision des résultats finaux sera améliorée par rapport à une situation où le plan d'échantillonnage aurait été parfaitement équilibré. Au vu des ordres de grandeurs considérés, ce déséquilibre n'est malgré tout pas très marqué.

Outre ces considérations globales, des critères autres que la catégorie de peuplement peuvent être pris en compte. En particulier la répartition de l'échantillon selon le type de peuplement seul (nomenclature de la base Merlin) et la localisation varient sensiblement d'une modalité à l'autre.

Type de peuplement	Proportion	Écart relatif à la moyenne	Dép ^{ment}	Proportion	Écart relatif à la moyenne
Jeune futaie	2,3%	-50%	54	3,2%	-31%
F. Régulière	5,5%	17%	55	4,4%	-6%
Vieille futaie	4,1%	-12%	57	5,6%	21%
Futaie claire	2,2%	-53%	88	5,8%	25%
F. Irrégulière	4,3%	-8%	67	3,6%	-23%
MTF* pauvre	5,7%	23%	68	4,4%	-5%
MTF* moyen	5,1%	11%	Région		
MTF* riche	3,5%	-26%	Lorraine	4,7%	2%
Total	4,6%	0%	Alsace	4,0%	-15%
			Total		
			Total	4,6%	0%

* MTF : Mélange de taillis et de futaie

Tableau 6 : Répartition de l'échantillon en termes de localisation géographique et de type de peuplement

Ces tableaux donnent la proportion de la zone d'étude concernée par chaque modalité qui a été échantillonnée. Par exemple, 4,4 % des peuplements de la zone d'étude localisés en Meuse ont été parcourus lors de la campagne de terrain. Ces chiffres sont comparés au taux moyen d'échantillonnage, qui est de 4,6 % pour la zone d'étude dans sa totalité.

La répartition de l'échantillon selon les types de peuplement tels que nommés dans la base Merlin montre que les jeunes futaies et les futaies claires ont largement été sous-échantillonnées tandis que les futaies régulières et les MTF pauvres ont été sur-échantillonnées. Sachant que jeunes futaies et futaies claires sont relativement rares dans la zone d'étude (3700 ha pour ces deux types) et que les futaies régulières à elles seules représentent près du triple en superficie (9500 ha), cette observation confirme la conclusion déjà vue plus haut selon laquelle les peuplements les plus fréquents sont mieux parcourus lors des relevés de terrain.

Nous pouvons constater que le Bas-Rhin a été sous-échantillonné, ainsi que la Meurthe-et-Moselle. Au contraire, les Vosges et la Moselle ont été sur-échantillonnées. Un déséquilibre dans l'échantillonnage du point de vue géographique peut avoir des conséquences sur les résultats dans la mesure où les seuls critères employés pour la stratification ne suffisent pas à expliquer l'état actuel des forêts. La topographie, le climat, l'histoire et l'économie locales ou certains événements majeurs

peuvent impacter les peuplements forestiers, comme nous avons pu le voir en 2.2.1.3.3 avec l'influence de la tempête Lothar. Des facteurs non négligeables influençant le capital forestier ou toute autre mesure peuvent ainsi être sous-estimés ou sur-estimés si le critère géographique est mal pris en compte.

2.2.2. Des mesures de terrain variées

Les mesures de terrain ont été effectuées en partie par moi-même (environ 1/3 des unités mesurées) mais aussi par 8 techniciens et ingénieurs du CRPF. Il a donc fallu organiser plusieurs réunions et sorties en forêt en commun pour s'accorder sur le protocole et homogénéiser le plus possible la récolte des données.

La fiche de relevé de terrain et sa notice (distribuée à toute personne ayant participé à la phase de mesure) sont présentées en annexe 6.

2.2.2.1. *La surface terrière, une mesure essentielle à la base de l'étude*

Afin de pouvoir répondre aux objectifs de l'étude, un certain nombre de données a dû être relevé sur chaque point de mesure. La mesure de la surface terrière, détaillée par essence et par classe de grosseur (petit bois – bois moyen – gros bois) est essentielle. Pour pouvoir déterminer la précision de cette mesure, un système de vérification des mesures de surface terrière a été mis en place. Sur 36 placettes, le diamètre des arbres et leur distance au centre de la placette ont été mesurés au centimètre près. Il est ainsi possible de déterminer, par un simple calcul géométrique, si l'arbre dépasse réellement de l'encoche du relascope ou non. Pour chaque placette, la valeur réelle (obtenue par calcul géométrique) est comparée à la valeur mesurée par l'observateur : nous obtenons alors le biais observateur induit par l'erreur d'appréciation des largeurs de tronc (résultats présentés en annexe 5).

Le biais constaté sur les placettes est en moyenne de + 0,5 m²/ha, c'est-à-dire qu'un observateur sur-estime en moyenne la surface terrière de 0,5 m²/ha. Mais un test *t* de comparaison des moyennes indique, avec un risque d'erreur de 5 %, que cette différence n'est pas significative. Nous pouvons donc estimer que la mesure de surface terrière est juste en moyenne ou que sa sous-estimation sur une placette pourra être compensée par une sur-estimation sur une autre placette. Il faut cependant remarquer que le nombre de placettes de contrôle de la surface terrière est très faible par rapport au nombre total de placettes. Un plus grand nombre de placettes de contrôle aurait pu être mis en place mais le protocole est très coûteux en temps car chaque arbre pouvant entrer dans la placette relascope doit être mesuré.

2.2.2.2. *La qualité des bois, une variable difficile à prendre en compte*

Afin de pouvoir tenir compte de la qualité des bois, il faut être capable de la relever sur le terrain. Il s'agit cependant d'un point délicat à traiter. D'une part malgré les normes fixées à l'échelle nationale par le FCBA, l'estimation de la qualité d'un bois est susceptible de varier d'une personne à l'autre. Ensuite, nous ne pouvons ici qu'estimer la qualité du bois sur pied, nous ne pouvons donc pas directement disposer de critères uniquement visibles sur les bois abattus (moelle excentrée, cœur rouge chez le hêtre, épaisseur de l'aubier, ...). Enfin, la qualité d'un bois dépend de l'interaction de nombreux facteurs liés à l'arbre lui-même et à son environnement (essence, conditions nutritionnelles, arbres proches, ...) mais aussi liés à l'aléa (attaque d'insectes ou de champignons, bris de branches, ...) ou à l'activité humaine (traitement sylvicole, dégâts d'exploitation, ...). Il sera donc difficile d'obtenir des chiffres fiables à l'échelle de la zone d'étude.

Sur le terrain, deux arbres par placette (chêne ou hêtre uniquement) ont été mesurés précisément : leur diamètre, arrondi aux 5 cm, a été relevé, ainsi que leur hauteur totale et les hauteurs de découpe de grume en billons de différentes qualités. Afin d'avoir des relevés le plus homogène possible, une fiche simplifiée regroupant les principaux critères de classement des bois sur pied a été établie (voir annexe 7) à partir des fiches de critères de classement des bois sur pieds élaborées par le

FCBA. Elle sert de référence de classement des qualités à toutes les personnes ayant participé aux mesures de terrain.

Par ailleurs les classes de qualité ont été modifiées. Considérant que les billons de qualité A seraient très rares et les billons de qualité B seraient peu fréquents, nous avons regroupé ces deux qualités en une seule catégorie afin d'avoir suffisamment de mesures. Par contre, la qualité C+ a été distinguée de la qualité C- en raison de la différence de valeur économique de ces bois. Enfin, les bois ne pouvant donner que des sciages de qualité la plus médiocre (normalement classés en qualité D), sont regroupés dans la catégorie C- pour ne laisser dans la classe D que le bois d'industrie et le bois énergie. Il faut de plus noter que la qualité considérée est la qualité actuelle du bois et non sa qualité potentielle, afin de limiter les divergences d'appréciation entre les personnes responsables des mesures mais aussi pour se prévenir de l'aspect aléatoire de l'évolution de la qualité. Ainsi, un bois de très bonne qualité mais ne possédant pas le diamètre adéquat sera classé en C+ et non en A-B, même s'il pourrait atteindre la qualité A-B d'ici quelques années.

2.2.2.3. Les autres données relevées sur le terrain

Plusieurs autres informations sont relevées sur chaque point de mesure. La surface terrière des perches (diamètre de 7,5 à 17,5 cm) est mesurée au facteur relascopique $\frac{1}{2}$, la hauteur moyenne du peuplement est estimée, le constat ou la suspicion de mitraille présente dans les arbres sont consignés. L'accessibilité à la placette est obtenue en croisant les critères de pente et de distance à la route accessible aux grumiers la plus proche. L'âge des souches les plus récentes est aussi estimé, par classe de 5 ans, afin d'évaluer le temps depuis lequel le peuplement n'est pas passé en coupe.

Le nombre de perches et petits bois d'avenir est comptabilisé dans un rayon de 15 m. La notion de bois « d'avenir » utilisée est celle définie dans la typologie de peuplement des Plateaux calcaires (Bachelet, 2004, voir l'extrait en annexe 8). Cette classification étant très exigeante, nous avons choisi de considérer comme tige d'avenir les bois qualifiés d'« élite », de « rattrapable », mais aussi de « douteux ». Ce critère permet d'estimer la qualité de la régénération, information importante pour la gestion en futaie irrégulière.

À l'aide de ces mesures de terrain, nous obtenons donc une image représentative des peuplements de la zone d'étude considérée. Afin d'évaluer le niveau de capitalisation, il faut pouvoir comparer les résultats obtenus à une référence de capital équilibré. Il nous faut ici déterminer ces références.

2.3. La méthode d'obtention du capital potentiellement mobilisable à l'échelle de la placette

2.3.1. L'établissement des surfaces terrières théoriques de référence

2.3.1.1. Les typologies de peuplement comme base de réflexion

Il existe un certain nombre de normes sylvicoles fournissant des références de capital optimal. Cependant, leur utilisation impose de connaître la richesse de la station (les classes de fertilité) ainsi que l'âge du peuplement dans le cas des futaies régulières : ce sont des données d'entrée. Or ces données sont rarement disponibles dans le cas des forêts privées.

Au contraire, les typologies de peuplement permettent d'obtenir des valeurs de référence à partir d'une image instantanée de la structure du peuplement. Il suffit de connaître la proportion de chaque classe de grosseur au sein du peuplement pour en déduire le stade sylvicole actuel (peuplement en croissance active, en maturation, mûr, irrégulier) ainsi que la gamme de surface terrière optimale correspondante. Par ailleurs, ce sont des fourchettes de valeur qui sont données, et non pas des valeurs uniques. Cela permet de prendre en compte la variabilité stationnelle mais aussi la diversité des

propriétaires, du « productiviste » au « conservateur ». Enfin, ces typologies de peuplement sont des outils de vulgarisation auprès des gestionnaires et propriétaires privés. Ce sont donc ces références qui sont le plus susceptible d'être mises en application.

Afin de simplifier les calculs, seules deux typologies seront utilisées pour établir les références de surface terrière : la typologie du Plateau lorrain (Bachelet, 2002) pour les peuplements à base de chêne et la typologie des Plateaux calcaires (Bachelet, 2004) pour les peuplements à base de hêtre, le critère « hêtre » ou « chêne » étant ici déterminé selon les données de la base Merlin. Un guide de la futaie irrégulière (CRPF Lorraine-Alsace *et al.*, 2008) sera aussi utilisé pour préciser ou corriger certaines valeurs.

2.3.1.2. *L'établissement des tables de surface terrière de référence*

Afin d'obtenir des résultats vraisemblables, il est nécessaire de pouvoir envisager la plus grande diversité de cas de figure. Cela évite des généralisations trop grossières qui diminuent la fiabilité des estimations finales. Dans le cas des surfaces terrières de référence, nous avons donc opéré un certain nombre de distinctions.

2.3.1.2.1. *Des distinctions concernant la composition des peuplements*

Il faut tout d'abord distinguer les deux essences considérées, car elles ont des caractéristiques très différentes. Le hêtre est une essence dryade à croissance rapide tandis que le chêne (sessile ou pédonculé) est nomade à post-pionnier et est traité en essence à croissance lente (point développé au 1.2.1.2). En termes de surface terrière optimale, l'essence objectif du peuplement aura des implications à la fois sur les stades d'acquisition de la régénération et sur les phases de compression et de grossissement des fûts.

Cependant, il arrive fréquemment que chêne et hêtre soient en mélange dans un même peuplement. Dans ce cas, il est possible d'orienter la composition du peuplement vers la prédominance de l'une ou l'autre des essences ou de maintenir le mélange : ce choix appartient au propriétaire. Comme évoqué plus haut, l'essence souhaitée en régénération aura un impact sur les surfaces terrières de référence à utiliser.

En plus des cas de régénération de chêne sous le chêne et de hêtre sous le hêtre, nous avons envisagé pour les peuplements mélangés la régénération orientée vers le chêne et la régénération visant le maintien du mélange. Le choix d'une régénération de hêtre dans ce cas n'a pas été pris en compte pour deux raisons. D'une part, le prix du bois de hêtre est actuellement très bas. Cela ne présume pas de son évolution à l'échelle de la durée de vie d'un peuplement, mais incite tout de même les propriétaires à orienter leur choix vers le chêne, ou au moins le mélange des deux essences. Et puisque cette étude porte sur la ressource disponible actuellement, l'éventualité d'une hausse des prix du bois de hêtre dans l'avenir, qui pourrait amener un regain d'intérêt pour cette essence, ne concerne pas l'échelle de temps sur laquelle porte l'étude. D'autre part, les changements climatiques sont susceptibles de menacer la pérennité des peuplements de hêtre : cela incite à la prudence dans le choix de composition des peuplements. Pour ces deux raisons, nous avons estimé que l'orientation d'un peuplement mélangé chêne-hêtre vers un peuplement de hêtre majoritaire pouvait ne pas être retenue. Enfin, nous avons pu constater *a posteriori* qu'aucun PSG ne préconisait d'orientation de la composition d'un peuplement mélangé vers le hêtre seul.

2.3.1.2.2. *Des distinctions concernant le mode de gestion*

Le type de traitement visé par le propriétaire a aussi été pris en compte lors de l'établissement des références de surface terrière, puisqu'il s'agit d'un facteur primordial guidant les opérations sylvicoles. Le traitement envisagé est simplifié en 'FR' (futaie régulière) et 'FI' (futaie irrégulière). Le traitement en 'TSF' (taillis sous futaie) n'est pas envisagé car il est apparu lors de l'étude des documents de gestion que cette désignation ne relevait pas du TSF *stricto sensu* mais d'une gestion

pragmatique aboutissant à un peuplement à plusieurs étages et s'apparentant à un traitement en futaie irrégulière. Il est par ailleurs important de noter que nous parlons ici du *traitement souhaité* et non pas de la *structure actuelle* du peuplement : il est possible d'avoir des peuplements à structure régularisée dans une catégorie de bois que le propriétaire souhaite voir irrégularisée au cours des coupes ou inversement.

En termes de surface terrière, les valeurs seront globalement moins étalées pour le traitement en futaie irrégulière qu'en futaie régulière puisque ce type de traitement exige une régénération du peuplement à la fois continue et maîtrisée.

Dans le cas du traitement en futaie régulière, il est de plus nécessaire de distinguer le type de coupe effectué. Pour un même peuplement, la surface terrière optimale sera très différente selon que l'on est en phase d'amélioration (grossissement des fûts, maintien du capital) ou de régénération (récolte et acquisition de la régénération, forte baisse du capital). Il convient donc de séparer les deux possibilités.

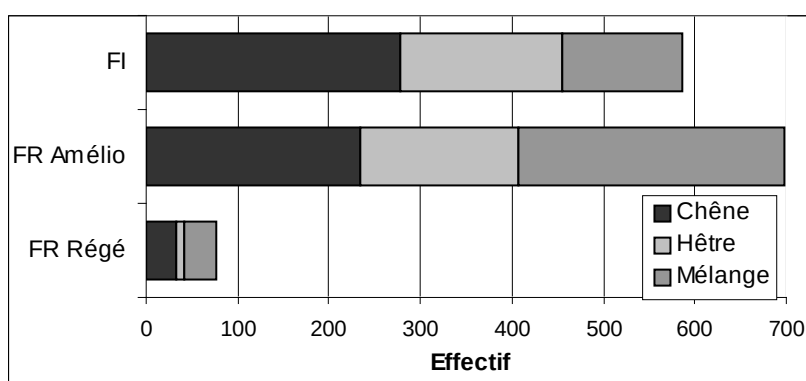


Figure 5 : Répartition des points de mesure par essence principale, en fonction du traitement sylvicole

Remarque : L'essence principale (chêne, hêtre ou mélange des deux) est la même pour toutes les placettes d'une même unité. Au contraire le traitement sylvicole appliqué peut varier puisque le découpage des unités est effectué en fonction du type de peuplement et non du parcellaire. Ainsi dans une même unité, une partie peut passer en phase de régénération tandis que l'autre est toujours en amélioration.

2.3.1.2.3. Les surfaces terrières de référence obtenues

En s'appuyant sur les typologies de peuplement précédemment citées, sur le guide de la futaie irrégulière et sur les connaissances générales concernant les deux essences (déjà évoquées dans le 1.2.1.1), nous avons donc pu élaborer les tableaux récapitulants les valeurs de surface terrière de référence après coupe, notées $G_{\text{Ref}}(0)$: tableau 7. Le '0' de la notation ' $G_{\text{Ref}}(0)$ ' indique qu'il s'agit de valeurs après coupe, soit l'instant 0 d'une nouvelle rotation.

Ces tableaux nous donnent des plages de surface terrière optimale pour chacun des cas évoqués (combinaison des données de composition du peuplement et de traitement sylvicole) et pour chaque type de peuplement identifié à l'aide des typologies. Les types de peuplement, codés en 11, 12, 21, 22, ..., correspondent à une nomenclature établie de manière homogène pour les typologies d'Alsace-Lorraine : le premier chiffre correspond à la classe de grosseur dominante et le second à la classe de grosseur secondaire, sachant que 1 = petits bois (PB), 2 = bois moyen (BM), 3 = gros bois et très gros bois (GB) et 5 = irrégulier (PB+BM+GB). Ainsi, un type 12 correspond à un peuplement de petits bois à bois moyens tandis qu'un type 53 indique un peuplement irrégulier à gros bois prédominants. Les proportions de petit bois, bois moyen et gros bois correspondant aux types de peuplements sont détaillées dans les clés d'identification présentées en annexe 9.

Le cas des peuplements traités en futaie régulière en phase de régénération est particulier puisque la surface terrière objectif finale vaut 0. Les plages optimales présentées dans le tableau

correspondent aux seuils nécessaires à l'acquisition de semis, équivalant donc à une coupe d'ensemencement. Cependant, il nous faudra considérer dans certains cas que la coupe d'ensemencement a déjà eu lieu. Dans ce cas il faut envisager les coupes secondaires. Celles-ci sont généralement au nombre de 2 ou 3 et se font tous les 3 à 6 ans. Elles ont pour but de diminuer fortement le capital tout en conservant un couvert protecteur dans les premières années et en préservant les semenciers le plus longtemps possible pour améliorer la régénération. Par souci de simplification, nous considérerons qu'il n'y a qu'une seule coupe secondaire, réalisée 10 ans après la coupe d'ensemencement et que la surface terrière objectif est alors de 6 m²/ha, quelque soit l'essence considérée : cela correspond en fait au regroupement de deux coupes d'ensemencement successives en une seule.

Il est par ailleurs utile de noter que bien que les valeurs données dans ces tableaux soient des préconisations sylvicoles optimales, certaines sont pour l'instant rarement appliquées sur le terrain car elles peuvent être jugées excessivement basses par les propriétaires : c'est notamment le cas pour les peuplements mûrs de chêne en futaie irrégulière (préconisation de 10 à 14 m²/ha).

traitement Futaie régulière

Peupl actuel	Chêne				Hêtre			
Régé voulue	Chêne		Mélange		Chêne		Hêtre	
Stade sylvicole	Amélio Régé		Amélio Régé		Amélio Régé		Amélio Régé	
11	14 à 18				12 à 15			
12	14 à 18				12 à 15			
21	16 20				15 à 18			
22	16 20				15 à 18			
23	20 à 23				17 à 22			
32	20 à 23	10 à 13	17 à 21	12 à 16	17 à 22	10 à 13	17 à 20	16 à 18
33	20 à 23	10 à 13	17 à 21	12 à 16	20 à 22	10 à 13	17 à 20	16 à 18
31	20 à 23	10 à 13	17 à 21	12 à 16	20 à 22	10 à 13	17 à 20	16 à 18
13	20 à 23	10 à 13	17 à 21	12 à 16	20 à 22	10 à 13	17 à 20	16 à 18
51	20 à 23	10 à 13	17 à 21	12 à 16	20 à 22	10 à 13	17 à 22	16 à 18
52	20 à 23	10 à 13	17 à 21	12 à 16	20 à 22	10 à 13	17 à 22	16 à 18
53	20 à 23	10 à 13	17 à 21	12 à 16	20 à 22	10 à 13	17 à 22	16 à 18

traitement Futaie irrégulière

Peupl actuel	Chêne		Hêtre	
Régé voulue	Chêne	Mélange	Chêne	Hêtre
11	14 à 18		12 à 15	
12	14 à 18		12 à 15	
21	16 20		16 à 19	
22	16 20		16 à 19	
23	20 à 23		17 à 20	
32	20 à 23		12 à 15	17 à 20
33	10 à 14	12 à 16	10 à 14	16 à 20
31	10 à 14	12 à 16	10 à 14	16 à 20
13	10 à 14	12 à 16	10 à 14	16 à 20
irrégulier	si perche/PB d'avenir > 2/placette			
51, 52 et 53	12 à 17	14 à 18	12 à 17	15 à 20
	12 17	17 à 20	12 17	17 à 20
maturation	si perche/PB d'avenir < 2/placette			

Tableau 7 : Surfaces terrières de référence après coupe, en fonction des critères de peuplement et de traitement sylvicole

Chaque point de relevé de terrain peut être classé selon ces critères de traitement sylvicole et de peuplement. Le choix du traitement ('FR' ou 'FI'), la nature des coupes ('régénération' ou 'amélioration') et la régénération souhaitée ont été relevés dans les plans simples de gestion ; la composition du peuplement (hêtre dominant, chêne dominant) et le type de peuplement typologique sont déterminés à partir des relevés de terrains pour chaque placette. À partir de ces données et des tables de surfaces terrières de référence, il est donc possible d'associer à chaque point de relevé une plage de surface terrière de référence théorique optimale.

2.3.1.3. Les hypothèses d'encadrement faites sur $G_{Ref}(0)$

Les surfaces terrières $G_{Ref}(0)$ obtenues ici sont donc des plages de valeurs et non des valeurs uniques. Concrètement, cela permet à chaque propriétaire se référant aux typologies de peuplement d'adapter sa récolte en fonction de la fertilité de la station, de certaines exigences sylvicoles (notamment la qualité des bois ou l'état sanitaire) ou même de sa vision de la forêt (point de vue « productiviste » à « conservateur », en passant par tous les intermédiaires). Ne pouvant avoir accès à toutes ces informations, il est ici nécessaire de tenir compte de cet éventail de possibilités.

Pour cela, nous recourrons donc aux hypothèses d'encadrement évoquées plus haut (voir 2.1.3). L'hypothèse moyenne sera la valeur moyenne de la plage proposée. Puisque l'hypothèse basse cherche à estimer le minimum de ressource mobilisable nous prendrons ici la valeur haute de la fourchette, ce qui conduira à diminuer l'estimation du bois potentiellement exploitable. Réciproquement, nous prendrons pour l'hypothèse haute la valeur inférieure de la plage de $G_{Ref}(0)$.

2.3.2. Du capital actuel mesuré au capital d'avant coupe calculé

2.3.2.1. L'actualisation des références, une étape obligatoire

Nous avons pu associer à chaque point mesuré en forêt une valeur $G_{Ref}(0)$, correspondant à une surface terrière théorique optimale après coupe. Cependant, la mesure de terrain a rarement pu être effectuée juste après une coupe. La surface terrière réelle mesurée, notée $G_{Mes}(t)$, a généralement été relevée à un instant t quelconque de la rotation en cours. Pour pouvoir comparer ces deux valeurs, il est nécessaire de les ramener à un même instant. Si l'on connaît l'accroissement du peuplement considéré (noté dG) et le temps avant la prochaine coupe (noté $(R-T)$, avec R la durée de rotation et T le temps écoulé depuis la dernière coupe), il est alors possible de calculer le capital du peuplement réel juste avant coupe, noté $G_{Mes}(R)$, à l'aide de la formule suivante :

$$G_{Mes}(R) = G_{Mes}(t) + dG \times (R - T)$$

Ainsi en comparant $G_{Mes}(R)$ à $G_{Ref}(0)$, nous pouvons connaître le capital potentiellement mobilisable à la date d'exploitation, pour chaque point de mesure considéré. Par contre cette date d'exploitation n'est pas la même pour tous les peuplements et les estimations de récoltes ne pourront pas toutes être ramenées à une date unique mais à un intervalle de temps.

Pour réaliser ces calculs, il faut donc obtenir les valeurs d'accroissement et de date avant la prochaine coupe pour chaque point de mesure.

2.3.2.2. L'obtention des accroissements dG

Pour obtenir des valeurs d'accroissement valables à l'échelle de l'Alsace-Lorraine de manière simple et homogène, les données de l'IFN sont la meilleure source de d'information. Il est nécessaire d'employer les données dites « ancienne méthode » puisque la nouvelle méthode de relevé de l'IFN n'est pas mise en place depuis suffisamment longtemps pour donner des résultats significatifs, au moins concernant les accroissements. Le fait que ces mesures aient été réalisées avant la tempête de 1999 et à des dates différentes ne pose pas de problème puisque ces deux facteurs n'ont que très peu d'influence sur l'accroissement comparativement au climat, à la station, à l'essence considérée, etc.

L'utilisation des données « ancienne méthode » n'induit donc qu'un faible biais pour rapport aux données « nouvelle méthode » si celles-ci étaient disponibles.

D'autres facteurs peuvent par contre avoir une forte influence sur l'accroissement de chaque essence : c'est notamment le cas du type de peuplement. Ainsi à station et âge équivalent, un peuplement de futaie aura un accroissement supérieur à un peuplement de mélange taillis-futaie (abrégé dans la suite en MTF, peuplement hérité des anciens taillis sous futaie). Par ailleurs, nous pouvons aussi supposer que les accroissements individuels diffèrent selon que l'essence dominante du peuplement est le chêne ou le hêtre : pour des questions de perméabilité du houppier et de concurrence à la lumière, un hêtre n'aura pas la même croissance dans un peuplement à hêtre majoritaire que dans un peuplement à chêne majoritaire, et réciproquement pour le chêne.

Nous avons donc choisi de détailler les accroissements en fonction du type de peuplement (futaie / MTF) pour chaque essence ou groupe d'essence et en fonction de l'essence dominante (Hêtre / Chêne) uniquement pour le hêtre et le chêne. Les essences ou groupes d'essences correspondent à ceux employés lors des relevés de terrain.

	CHE	HET		CHA	FRE	FP	DIV
Futaie Chêne	0,503	0,646	Futaie	0,605	0,887	0,693	0,702
Futaie Hêtre	0,403	0,636	MTF	0,644	0,6	0,682	0,709
MTF Chêne	0,364	0,554					
MTF Hêtre	0,297	0,447					

Tableau 8 : Accroissements moyens (m²/ha/an) détaillés par essence ou groupe d'essences (source : issu du traitement des données IFN, IFN site internet)

Il s'agit d'accroissements moyens puisqu'ils sont calculés à partir des accroissements constatés pour toutes les classes de diamètre précomptables (à partir de la classe 20 cm). Ces accroissements sont considérés pour des peuplements purs à 100 %. Ainsi par exemple, un peuplement théorique pur de frêne en futaie en Alsace-Lorraine s'accroît en moyenne de 0,89 m²/ha/an. Il s'agit en réalité d'une approximation très grossière si elle est appliquée à un peuplement particulier mais nous pouvons la considérer représentative en moyenne à l'échelle de l'Alsace-Lorraine.

Un accroissement dG est calculé pour chaque point de mesure à partir de ces données et de la proportion en surface terrière de chaque essence sur cette placette. Puisque les relevés de terrain permettent d'avoir la répartition du capital en essences, il est aussi possible d'obtenir l'accroissement en m²/ha/an détaillé pour chaque essence. Il est alors possible de modéliser l'évolution de la répartition du capital en essence et pour chaque classe de grosseurs au cours temps, en négligeant cependant le passage à la futaie et les changements de classe de grosseurs dus à la croissance en diamètre des troncs. Ce type de modélisation n'est donc valable que sur des périodes relativement courtes.

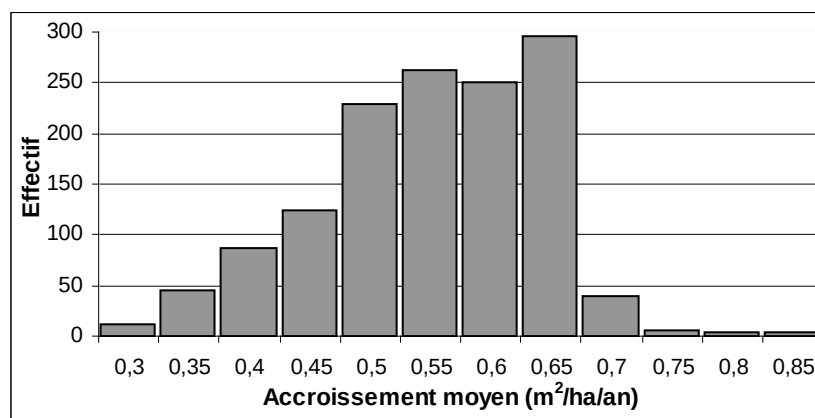


Figure 6 : Répartition des valeurs d'accroissement moyen dans l'échantillon des placettes de mesure

2.3.2.3. L'obtention du temps T avant prochaine coupe

Pour estimer le temps avant la prochaine coupe ($R-T$), il faut connaître la durée de rotation (notée R) à laquelle on retranche le temps écoulé depuis le début de la rotation en cours (noté T), qui correspond au temps écoulé depuis la dernière coupe. Mais celui-ci est difficile à estimer avec précision. Les coupes étant inscrites dans le document de gestion, leur déclaration à l'administration n'est pas nécessaire. L'idéal aurait donc été de pouvoir contacter chaque propriétaire des forêts inventoriées afin de savoir à quelle date ont été réalisées les dernières coupes. Mais au vu du temps requis pour la récolte d'informations et de la possibilité de refus de réponse, nous avons dû procéder autrement.

2.3.2.3.1. Un paramètre T difficile à évaluer

Les coupes prévues et leur date de réalisation sont normalement consignées dans le plan simple de gestion. Cela peut donc être une source d'information, qui n'est cependant pas totalement fiable. D'une part, le propriétaire a le droit d'effectuer une coupe jusqu'à 5 ans avant ou après la date inscrite. Ensuite pour les PSG récemment établis, certaines parcelles peuvent ne pas être passées en coupe au cours de la validité de ce plan et on ne dispose dans ce cas d'aucun plan de gestion antérieur. Enfin, le programme des coupes peut être modifié, voire abandonné, suite à d'importants dommages occasionnés aux peuplements (forte tempête, attaque massive de pathogènes). Les programmes de coupe d'un certain nombre de PSG datant d'avant 2000 ont donc pu être fortement perturbés par le passage de la tempête Lothar.

Lorsque la date de dernière coupe n'est pas présente dans le PSG actuel (cas fréquent pour les PSG récents ou récemment renouvelés), il est possible de la déduire si l'on connaît la date de la prochaine coupe et la durée de rotation appliquée par différence des deux.

Il est aussi possible d'estimer la date de dernière coupe sur le terrain à l'aide de l'âge des souches présentes sur le point de mesure. En effet le niveau de dégradation des souches, relevé pour chaque placette (voir protocole au 2.2.2.3 et en annexe 6) permet d'évaluer l'ancienneté des souches. Cependant, il ne s'agit pas d'une estimation précise. En effet, l'ancienneté est évaluée par classes de 5 ans. De plus, aucun barème précis n'a pu être établi pour dater de manière homogène cette ancienneté et cela ne dépend donc que de l'expérience de la personne réalisant la mesure. La précision est généralement bonne si la souche est très ancienne ou très récente, mais devient plus floue pour les âges intermédiaires (entre 5 et 15 ans d'ancienneté).

2.3.2.3.2. Des méthodes complémentaires pour estimer le temps T

Nous avons à notre disposition deux méthodes d'estimation de T , par les souches ou les données du PSG, chacune ayant un biais possible. Il faut maintenant pouvoir en tirer une estimation la plus réaliste possible. Lorsque seule la donnée de l'âge des souches est disponible, la date de la dernière coupe est supposée égale à la valeur centrale de la classe d'âge. Sinon, il faut pouvoir confronter l'âge théorique de la dernière coupe (donnée par le programme de coupe) à l'âge réel estimé sur le terrain. Nous suivrons donc le raisonnement suivant :

- Si l'âge théorique et l'âge des souches sont cohérent, nous considérons que l'âge théorique est plus précis : $T = \text{âge théorique}$
- Si l'âge théorique et l'âge des souches sont nettement différents, nous considérons que le programme des coupes n'a pas été suivi : $T = \text{âge des souches}$
- Si l'âge théorique et l'âge des souches sont légèrement différents, nous ne pouvons pas clairement trancher, nous prenons la moyenne : $T = (\text{âge des souches} + \text{âge théorique}) / 2$

Cela peut se résumer plus simplement par le tableau suivant :

		Âge théorique			
		$T_{\text{théo}} \leq 5$	$5 < T_{\text{théo}} \leq 10$	$10 < T_{\text{théo}} \leq 20$	$T_{\text{théo}} \geq 20$
Âge des souches	$T_{\text{souches}}=2,5$ (0 – 5 ans)	$T = T_{\text{théo}}$	$T = (T_{\text{théo}} + T_{\text{souche}})/2$	$T = T_{\text{souche}}$	$T = T_{\text{souche}}$
	$T_{\text{souches}}=7,5$ (5 – 10 ans)	$T = (T_{\text{théo}} + T_{\text{souche}})/2$	$T = T_{\text{théo}}$	$T = (T_{\text{théo}} + T_{\text{souche}})/2$	$T = T_{\text{souche}}$
	$T_{\text{souches}}=15$ (10 – 20 ans)	$T = T_{\text{souche}}$	$T = (T_{\text{théo}} + T_{\text{souche}})/2$	$T = T_{\text{théo}}$	$T = (T_{\text{théo}} + T_{\text{souche}})/2$
	$T_{\text{souches}}=25$ (20 ans et plus)	$T = T_{\text{souche}}$	$T = T_{\text{souche}}$	$T = (T_{\text{théo}} + T_{\text{souche}})/2$	$T = T_{\text{théo}}$

Tableau 9 : Choix du mode de calcul de T en fonction de l'âge des souches (constaté sur le terrain) et de l'âge théorique de la dernière coupe (donnée du programme de coupe du PSG)

De plus, nous envisageons ici des hypothèses basse et haute afin de pouvoir encadrer le résultat de l'estimation finale (principe des hypothèses haute et basse présenté au 2.1.3). Nous retranchons donc 5 ans à T pour obtenir l'hypothèse basse et nous ajoutons 5 ans pour l'hypothèse haute. Le choix des 5 ans est justifié par le fait que c'est d'une part le temps maximum d'avance ou de report d'une coupe inscrite au PSG et que c'est d'autre part le pas de temps séparant deux classes d'âge des souches estimé sur le terrain.

2.3.2.3.3. Une durée de rotation unique fixée pour les calculs à venir

Les durées de rotation, servant à estimer le temps avant la prochaine coupe, ne sont pas systématiquement disponibles. Elles s'étendent de plus sur une durée 5 à 20 ans selon les propriétés. Les durées de rotation sont tout de même généralement proches de 10 ans (moyenne : 9,8 années et médiane : 10 ans).

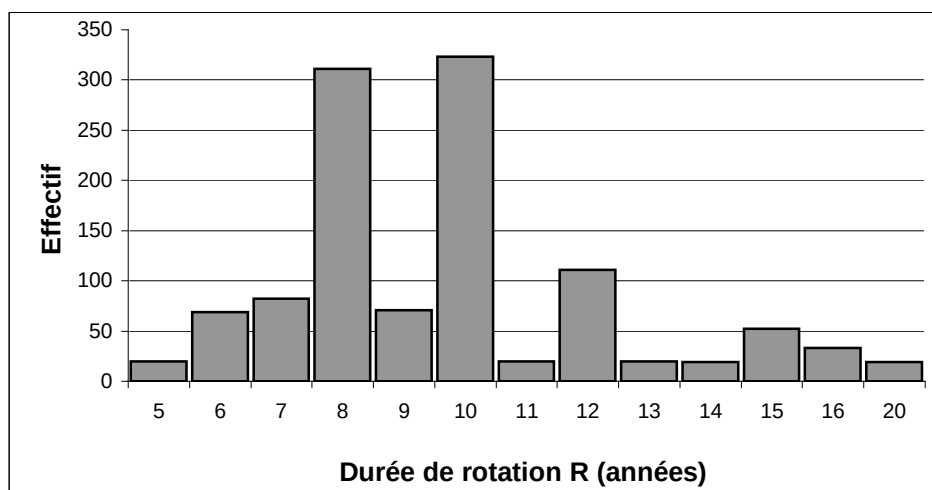


Figure 7 : Répartition des durées de rotation dans l'échantillon des placettes de mesure

Afin de simplifier les calculs, nous choisissons de considérer que R est égal à 10 ans pour toutes les placettes. Nous pouvons ainsi supposer que toutes les parcelles seront potentiellement passées en coupe dans les 10 ans, ce qui permet de fixer une échéance commune et une période sur laquelle s'applique l'étude. De cette manière, les calculs de possibilité pourront être réalisés sur les périodes 2011-2020, 2021-2030 et 2031-2040.

Le choix de se limiter à une période de 10 ans autorise aussi à négliger certains facteurs liés à la croissance des peuplements tels que le passage à la futaie ou le changement de classes de grosseur.

Il a par ailleurs pu être vérifié que l'allongement des rotations les plus basses ne provoque pas de situations où l'accroissement des peuplements sur 10 ans est supérieur au prélèvement maximal conseillé².

Avec les valeurs de T et de R pour chaque placette, il nous est possible de calculer le temps avant la prochaine coupe (R-T). Lorsque ce temps est négatif, nous considérons qu'il y a retard de coupe et (R-T) vaut alors 0.

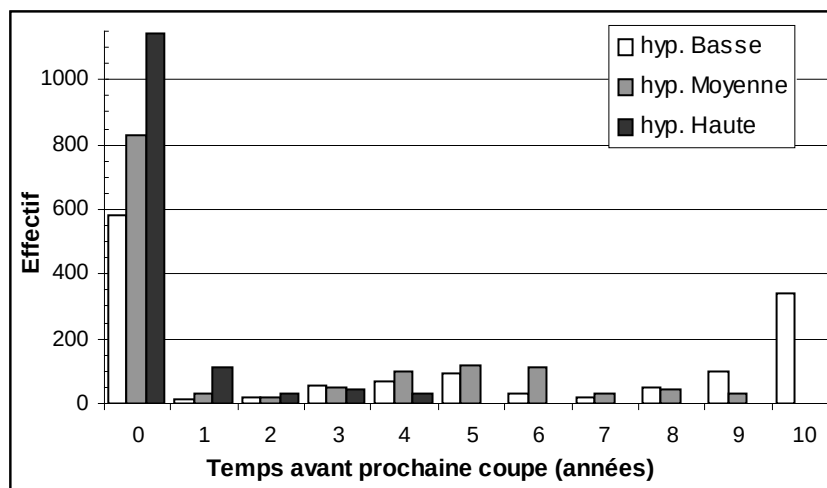


Figure 8 : Répartition des temps avant la prochaine coupe au sein de l'échantillon

Nous pouvons constater que quelle que soit l'hypothèse considérée, un grand nombre de placettes de l'échantillon a un retard de coupe. Ce résultat est en partie dû à un artefact : le fait de fixer une rotation à dix ans y compris pour des unités ayant une rotation réelle supérieure implique que l'on sous-estime leur date de prochaine coupe. Certaines placettes devant normalement passer en coupe dans quelques années peuvent donc ici se trouver classées en retard de coupe. Cependant ce cas est relativement rare : seules 274 placettes ont une durée de rotation supérieure à 10 ans parmi les 1150 placettes de rotation connue (210 placettes ne sont pas renseignées à ce sujet dans les PSG) et il est peu probable que la totalité de ces placettes soit dans ce cas limite. Nous pouvons donc en déduire qu'une grande partie des placettes mesurées sur le terrain est en retard de coupe.

Au vu de ces informations, il est important de remarquer que l'estimation du capital potentiellement mobilisable sur les trois périodes de calcul ne sera pas équitablement répartie au cours de chaque décennie. En effet si l'on considère que toutes les parcelles en retard de coupe passent en exploitation immédiatement, cela implique qu'un important volume de bois serait immédiatement potentiellement récoltable. Il est en réalité peu probable que cela se passe ainsi, mais rappelons que nous travaillons sous l'hypothèse que les peuplements sont gérés de manière optimale d'un point de vue sylvicole. Ce type de comportement serait de plus plausible puisque nous supposons que les rotations sont de 10 ans et qu'il est légalement possible à un propriétaire d'avancer ou de reculer une coupe prévue au PSG de 5 ans au maximum.

Notons par ailleurs que nous ajoutons malgré tout un an d'accroissement aux parcelles devant passer en coupe immédiatement. En effet, les mesures de terrain ont été réalisées de mi-janvier à mi-avril 2011, soit avant ou au début de la période de végétation de l'année 2011 et nous considérons que les exploitations prises en compte dans l'étude débuteront à l'automne 2011 soit après cette période de végétation.

² Hormis pour les coupes de régénération en futaie régulière, il est généralement déconseillé de prélever plus de 30 % du capital sur pied au cours d'une seule coupe. Ce point sera développé plus loin.

Une autre démarche aurait pu être envisagée. Afin de lisser les résultats et de s'affranchir des estimations de date de la prochaine coupe, nous aurions pu choisir d'imposer pour toutes les unités une date de coupe centrée sur le milieu de la période considérée, ce qui correspond à 5 ans d'accroissement. Cependant, cela aurait pour conséquence d'augmenter encore le capital des peuplements déjà en retard de coupe, et ainsi de sur-estimer le capital potentiellement mobilisable. Nous choisissons donc de ne pas tenir compte de cette démarche dans la suite du développement mais les calculs correspondants seront menés en parallèle et les résultats seront présentés en annexe 15.

Connaissant maintenant (R-T) pour chaque placette, il nous est possible de calculer $G_{Mes}(R)$ à l'aide de la formule vue au 2.3.2.1.

Nous disposons donc finalement de toutes les données nécessaires à l'estimation du capital au moment de la coupe pour chaque point de mesure, qu'il est possible de détailler en essences et en classes de grosseur. En comparant ce capital à la référence appropriée de surface terrière optimale après coupe, nous pouvons donc estimer en chaque point de mesure quelle surface terrière il est possible de prélever.

Il faut cependant faire l'hypothèse que le passage à la futaie et les changements de classes de grosseur sont négligeables, de manière à ne pas changer de type de peuplement (au sens des typologies de peuplement) entre l'instant de la mesure et la date de récolte : cela aurait pour conséquence de modifier le seuil de capital optimal et donc la quantité de bois potentiellement mobilisable. Étant donné la période d'étude relativement courte, l'écart entre les proportions-seuil séparant les différents types de peuplement (cf annexe 9) et l'évolution généralement continue des G_{Ref} pour deux types de peuplement successifs, les approximations faites sont admissibles. Il faut maintenant pouvoir caractériser les volumes potentiellement récoltables en termes d'essence et de grosseur.

2.4. La méthode de caractérisation de la récolte en essences et en grosseurs

2.4.1. La caractérisation de la récolte, une nécessité

Lorsque l'on obtient pour chaque placette le capital avant coupe $G_{Mes}(R)$ et le capital après coupe optimal $G_{Ref}(0)$, faire la différence des deux et obtenir le capital potentiellement mobilisable brut n'est pas suffisant pour répondre entièrement à la problématique de cette étude. D'une part, il faut pouvoir distinguer les proportions de hêtre et de chêne au sein de ce capital récoltable, notamment en raison de leur poids économique respectif. Par ailleurs, nous devons aussi prendre en compte dans ce résultat brut la part des autres essences, qui peut être importante dans certains cas. Un exemple frappant et assez fréquent est celui des mélanges de taillis et de futaie pauvre du Plateau Lorrain : ce type de peuplement est généralement constitué de quelques tiges de futaie de chêne (bois moyen ou gros bois) noyées dans des cépées vieillies de charme (petit bois et bois moyen, voire même gros bois). Dans ce cas il convient généralement de baisser fortement la part du charme afin de l'empêcher de pénétrer le houppier des chênes et si possible pour amorcer et favoriser la régénération du chêne. Ces peuplements ne produiront donc dans les années à venir quasiment que du charme et très peu de chêne. La répartition de la récolte potentielle en PB, BM et GB représente aussi un enjeu important en lien avec le type d'utilisation de ces bois dans la filière aval (différenciation BIBE – BO entre autre).

Il est donc important de pouvoir caractériser la récolte potentielle brute en termes d'essence et de grosseur. Cependant le processus de choix de récolte est complexe et dépend de nombreux facteurs. Il est d'une part difficile d'appréhender cette réalité de terrain d'une manière théorique et globale, mais d'autre part pour des questions de délai il est impossible de traiter chaque placette au cas par cas pour déterminer la récolte optimale. Il a donc fallu créer un programme traitant les placettes de

manière automatisée et donnant pour chacune la répartition de la récolte potentielle en essences et en classes de grosseur, en fonction des paramètres disponibles.

2.4.2. La modélisation de la récolte : différents raisonnements pour différents contextes

2.4.2.1. Le principe général

Afin de caractériser la récolte potentielle de la manière la plus réaliste, il faut pouvoir prendre en compte le plus de paramètres possibles, d'autant plus que les choix de modélisation auront une forte influence sur les résultats finaux. Cependant, la création de ce programme n'est pas le cœur du sujet d'étude et l'ajout de facteurs le complexifie et allonge le temps consacré à la programmation. Il faut donc faire des choix et opérer des simplifications acceptables. Les informations d'entrée retenues pour l'élaboration du programme seront donc le capital $G_{Mes}(R)$ détaillé en essences et classes de grosseurs, le capital à récolter $G_{Mes}(R) - G_{Ref}(0)$, l'essence objectif du peuplement (hêtre, chêne ou mélange) et le traitement appliqué (FI, FR amélioration et FR régénération). Les données de sortie seront les surfaces terrières exploitées théoriques (en m²/ha) pour chaque classe de grosseur de chaque essence. La somme de chacun de ces prélèvements devra être égale au capital récoltable total $G_{Mes}(R) - G_{Ref}(0)$.

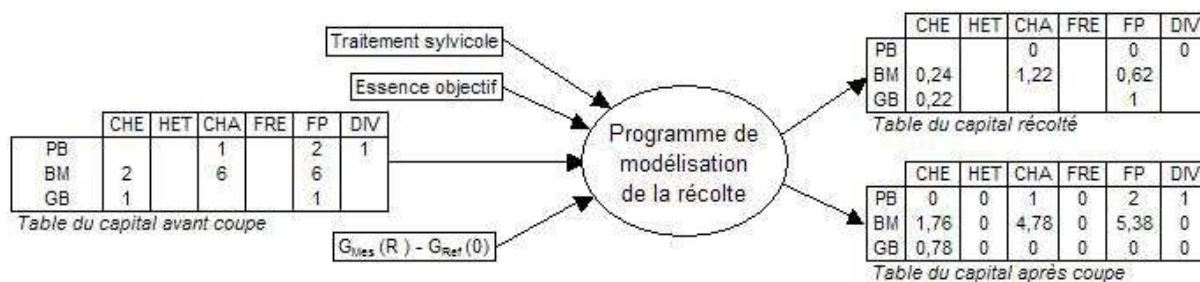


Figure 9 : Schéma du fonctionnement du programme de modélisation de récolte

Le raisonnement appliqué ainsi que le mode de fonctionnement de ce programme sont différents selon le traitement sylvicole envisagé :

2.4.2.2. La récolte en futaie irrégulière

Pour la futaie irrégulière, il est considéré que les essences sont généralement récoltées proportionnellement à leur part dans le capital d'avant coupe. Le mélange en essences est ainsi maintenu. Cependant lorsque la part de charme dépasse un certain seuil, on le considère comme envahissant et on applique un facteur augmentant la récolte de charme proportionnellement à son importance.

Pour la répartition de la récolte en classes de grosseur, nous considérons que la récolte est uniquement constituée de bois moyens (BM) et de gros bois (GB) afin d'éviter les sacrifices d'exploitabilité engendrés par la coupe de petits bois. Le *pourcentage de prélèvement* des GB est 30 % plus élevé que le *pourcentage de prélèvement* des BM, ce qui ne veut pas dire que le *prélèvement* en GB est systématiquement supérieur de 30 % à celui des BM. Cela permet de mettre l'accent sur la récolte des GB tout en laissant encore un certain nombre sur pied. La récolte des GB est expliquée par leur arrivée à maturité ou par des raisons sanitaires tandis que la récolte des BM se justifie par des raisons sanitaires ou sylvicoles (au profit de tiges d'avenir mieux conformées par exemple).

Il arrive cependant que les BM et les GB ne soient pas suffisamment présents pour permettre la récolte préconisée, ce qui arrive lorsque les PB sont largement majoritaires. Dans ce cas, le

prélèvement dans chaque classe de grosseur est réalisé proportionnellement à leur part respective dans le capital d'avant coupe. Ce type de situation est exceptionnel.

2.4.2.3. *La récolte en futaie régulière en phase d'amélioration*

La caractérisation du prélèvement en phase d'amélioration se distingue en deux phases :

- a) la maîtrise du sous-étage
- b) la récolte de l'essence objectif

Ces étapes se font dans un ordre différent en fonction de l'essence objectif considéré pour chaque point de mesure mais le principe est le même : on prélève successivement le capital des différentes essences (selon leur classe de grosseur) jusqu'à ce que l'on atteigne le capital à récolter $G_{\text{Mes}}(R) - G_{\text{Ref}}(0)$.

a) Pour la maîtrise du sous-étage, l'objectif est d'abaisser si possible la surface terrière des essences d'accompagnement à un niveau de 2,5 m²/ha. Les essences à récolter prioritairement sont les plus agressives (le charme notamment) et les feuillus précieux en GB et BM pour limiter leur perte de valeur par d'éventuelles détériorations.

b) Pour la récolte dans le peuplement objectif, on détermine grâce aux clés d'identification des typologies de peuplement s'il est en phase de croissance active (types 11, 12, 21, 22), de maturation (types 23, 32, 51, 52, 53) ou de mûrissement (types 33, 31 et 13) :

- S'il est en croissance active, on récolte les éventuels GB (loups) et pour le reste on récolte principalement les BM (loup + sanitaire + intérêt sylvicole) et une petite part de PB (sanitaire + intérêt sylvicole)
- S'il est en maturation, on ne touche pas aux PB (dominés, leur récolte est sans intérêt sylvicole) et on récolte un peu plus de GB que de BM (si possible 45% BM pour 55 % GB, soit 20 % de GB de plus par rapport aux BM)
- S'il est en mûrissement, on suit le même raisonnement que pour la maturation mais en inversant les proportions de BM et GB (55% BM pour 45 % GB)

Si l'essence objectif est le chêne, la maîtrise du sous-étage est considérée prioritaire. On exploite d'abord le hêtre et le charme, puis on récolte les GB de feuillus précieux, puis le reste du sous-étage. Seulement après cela, on récolte ce qu'il est encore possible de récolter dans le peuplement objectif selon les critères du b).

Si l'essence objectif est le hêtre, il y a peu à craindre du sous-étage. On récolte d'abord les feuillus précieux pour éviter leur perte de valeur. On passe ensuite à la récolte du hêtre. Enfin s'il est encore possible de prélever du capital, on le fait dans le restant du sous-étage.

Si l'objectif est de maintenir le mélange chêne-hêtre, on applique une méthode intermédiaire. On récolte d'abord les charmes afin de préserver les chênes, puis on prélève les feuillus précieux. On passe ensuite à l'exploitation du peuplement objectif, de manière à maintenir les proportions actuelles de chêne et de hêtre. Pour compléter la récolte si besoin, on prélève dans le reste du sous-étage.

2.4.2.4. *La récolte en futaie régulière en phase de régénération*

Pour la modélisation des prélèvements en phase de régénération, nous adoptons une démarche différente. Le principe est ici de constituer pas à pas le peuplement restant après coupe à l'aide de $G_{\text{Ref}}(0)$. Tout ce qui n'appartient pas à ce peuplement final est récolté.

Il faut tout d'abord savoir si la prochaine coupe à réaliser est une coupe d'ensemencement ou une coupe secondaire. Pour cela, plusieurs moyens sont envisageables. Nous pouvons tout d'abord nous servir du programme de coupe présent dans le PSG : si la coupe précédente était une coupe d'amélioration alors la coupe de régénération à venir sera une coupe d'ensemencement, dans le cas contraire cela sera une coupe secondaire. Si cette information n'est pas disponible dans le PSG, il est possible d'évaluer l'avancement de la phase de régénération par les données de terrain. Nous

connaissions déjà le $G_{Ref}(0)$ correspondant à la coupe d'ensemencement, nous considérons que si $G_{Mes}(R) > G_{Ref}(0) + 2 \text{ m}^2/\text{ha}$, alors la coupe à venir est une coupe d'ensemencement, dans le cas contraire cela sera une coupe secondaire. Une fois la nature de la coupe fixée, nous posons que $G_{Ref}(0)$ ne change pas s'il s'agit d'une coupe d'ensemencement et qu'il vaut $6 \text{ m}^2/\text{ha}$ si c'est une coupe secondaire. Le cas des coupes définitives n'est pas incorporé au raisonnement puisque les peuplements d'un capital inférieur à $7 \text{ m}^2/\text{ha}$ ont été exclus de la zone d'étude (vu au 2.2.1.3)

Il faut ensuite simuler le peuplement conservé après coupe. Pour cela nous suivons successivement les règles suivantes :

- On conserve au maximum $2 \text{ m}^2/\text{ha}$ de PB de feuillus précieux ($1 \text{ m}^2/\text{ha}$ en coupe secondaire) afin de préserver ce capital pour la prochaine révolution.
- On conserve au maximum $1 \text{ m}^2/\text{ha}$ de GB ou BM de frêne ($0,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ en coupe secondaire) pour garder des semenciers de frêne et diversifier la régénération.
- On conserve au maximum $3 \text{ m}^2/\text{ha}$ de PB de charme ($1 \text{ m}^2/\text{ha}$ en coupe secondaire) pour maintenir un couvert protecteur et gainant sans être trop étouffant.
- Pour compléter le peuplement à préserver, on garde dans l'essence objectif (chêne ou hêtre ou mélange des deux) uniquement les GB (80 % du capital conservé) et les BM (20 % du capital conservé). S'il y a un défaut dans l'une des classes de grosseur, on complète le capital avec l'autre. Le cas où il n'y a pas suffisamment de capital dans ces deux classes de grosseur n'est jamais survenu.

Le capital d'avant coupe ne constituant pas ce peuplement est alors considéré comme exploité.

2.4.3. Le prélèvement maximal par placette : une contrainte supplémentaire

Ce programme de modélisation de coupe permet de répartir en essences et en grosseurs le surplus de capital, qu'il faudrait théoriquement prélever pour ramener le peuplement à l'optimum sylvicole. Cependant dans les peuplements fortement surcapitalisés, cela conduirait à exploiter une grande part du peuplement. Une coupe trop forte a pour conséquence de fragiliser le peuplement par le stress occasionné et par la perte de cohérence physique due aux trouées, le rendant bien plus sensible aux attaques de pathogènes et au chablis en cas de tempête. Il est donc généralement admis qu'une coupe ne doit pas prélever plus de 30 % du capital sur pied. Il s'agit d'une règle empirique et approximative, à adapter aux situations, mais qui peut s'appliquer au capital en volume comme en surface terrière.

Dans le cas de nos modélisations de récolte, il faut fixer un seuil unique et global. Nous choisissons donc une limite de 30 %. Pour chaque point de mesure, si le capital à récolter théorique dépasse ce seuil, nous fixons le prélèvement à 30 % du capital avant d'appliquer le programme de modélisation de récolte. Cela implique que la totalité du capital excédentaire ne pourra pas être prélevée au cours d'une seule rotation mais sera récoltée au cours des suivantes. Il faut par ailleurs noter que ce critère limitant n'est pas appliqué pour les peuplements en phase de régénération (coupe d'ensemencement ou secondaire) : ces peuplements subissent une forte décapitalisation sur un faible intervalle de temps et ne sont pas appelés à être pérennes de par le mode de fonctionnement de la futaie régulière.

Quelques exemples de l'application de ce programme sont présentés en annexe 10.

Maintenant qu'il est possible de caractériser le capital potentiellement mobilisable en termes d'essences et de classes de grosseur, il nous reste à aborder le sujet de la qualité de ces bois.

2.5.L'intégration du paramètre de qualité des bois

2.5.1. Le raisonnement utilisé

Dans le cadre de l'estimation de la qualité des bois potentiellement récoltables, un certain nombre d'informations ont été relevées sur le terrain. À chaque point de mesure, deux arbres (chêne ou hêtre uniquement, dits « arbre-qualité ») de diamètre supérieur à 30 cm ont été choisis. Pour chacun de ces arbres, le diamètre a été relevé, par classe de 5 cm. La hauteur totale a été mesurée, ainsi que les longueurs de grume de différentes qualités (pour la définition précise de ces qualités, se reporter au 2.2.2.2 et à l'annexe 7). Nous disposons donc d'une « base arbre » riche de 2798 individus.

Le but est d'évaluer les volumes concernés par chaque qualité lors de l'obtention des résultats finaux à l'échelle de l'Alsace-Lorraine. Pour cela, nous allons calculer la proportion de chaque qualité dans l'ensemble de la base arbre et étendre ces proportions aux résultats finaux, en supposant que l'échantillon considéré est représentatif. Cependant afin d'affiner les résultats obtenus, nous opérerons quelques distinctions au sein de cet échantillon, en termes d'essence et de diamètre notamment.

2.5.2. Des données nécessairement en volume

Jusqu'à ce point de l'étude, toutes les données de capital relevées ou calculées étaient en surface terrière (m^2/ha). Le passage des m^2 aux m^3 pourrait induire des biais éventuellement amplifiés par les calculs ultérieurs à cause des imprécisions des méthodes de conversion, c'est pourquoi seuls les résultats finaux seront convertis en volumes. Cependant ici un problème se pose. Nous avons relevé le diamètre de deux arbres les plus proches du centre de la placette. Cette méthode de relevé est incompatible avec les surfaces terrières mesurées par ailleurs : nous pouvons obtenir la surface terrière des arbres-qualité en m^2 mais il nous est impossible d'avoir la donnée en m^2/ha puisque les placettes de mesure sont à angle fixe. Nous choisissons par conséquent, uniquement dans ce cas, de travailler directement avec les volumes.

Il faut donc pouvoir convertir les données récoltées en volume, sachant que nous disposons pour chaque arbre de son diamètre, des hauteurs grume par qualité et de la hauteur totale. L'idéal aurait été d'utiliser les mêmes facteurs de conversion que ceux employés plus loin pour le capital récolté (exposés dans le 3.1) mais il s'agit de coefficients valables pour les peuplements et non les individus.

Pour calculer le volume total, nous choisissons de recourir aux tarifs de cubage Schaeffer lent³. Les résultats obtenus sont donc des volumes bois fort total à la découpe 7 cm. Nous considérons que chaque unité inventoriée est suffisamment homogène pour qu'un même numéro de tarif puisse y être appliqué. Pour trouver le numéro de tarif adapté à chaque unité, nous estimons le volume des arbres-qualité de diamètre égal au diamètre médian à l'aide de la formule d'Algan : $0,5 \times D^2 \times H$ avec D le diamètre en mètres et H la hauteur totale en mètres. À partir de ce volume et du diamètre, nous calculons le numéro de tarif correspondant pour chaque arbre considéré. Le numéro de tarif retenu est la moyenne des numéros obtenus pour chaque arbre de diamètre égal au diamètre médian. Ce numéro est donc appliqué à tous les arbres-qualité de l'unité.

Pour calculer les volumes de grume, nous employons la formule d'Algan-Monin :

- si la grume mesure entre 4 et 12 m : $0,5 \times D^2 \times (H+2)$
- si la grume mesure plus de 12 m : $0,4 \times D^2 \times (H+5)$

Avec D le diamètre à 1,3 m (en mètres) et H la hauteur de grume (en mètres)

Connaissant le volume total de l'arbre (volume bois fort) et le volume de grume, détaillé en qualités A-B, C+ et C-, la différence des deux permet d'obtenir le volume de BIBE (aussi appelé qualité D dans cette étude).

³ Le tarif lent est préféré au tarif rapide car il a été établi pour des peuplements plus homogènes, ce qui est notre cas puisque chaque unité inventoriée est constituée d'un seul et même type de peuplement.

2.5.3. Les résultats obtenus : des coefficients à appliquer aux volumes finaux

Grâce à ces données, il est possible de calculer la part des différentes qualités dans le volume total de chaque arbre mesuré. À partir de cela des moyennes (pondérées par le volume des arbres-qualité puisqu'il s'agit de pourcentages) sont calculées afin d'obtenir la proportion de chaque qualité au sein du volume total des arbres inventoriés. Cependant ces résultats sont généraux et ne tiennent pas compte de facteurs ayant une forte influence sur la répartition des qualités. Pour obtenir des résultats plus précis, nous choisissons de détailler ces proportions en fonction de certains de ces facteurs.

La grosseur d'un arbre est un élément important dans les critères de classement des bois : plus son diamètre est important, plus les défauts mineurs peuvent être compensés par ses dimensions. Par ailleurs, le type de peuplement au sein duquel l'arbre s'est développé impacte son architecture, sa croissance et sa conformation : la différence est frappante lorsque l'on compare les futaies et les anciens taillis sous futaie. Enfin, l'essence considérée a une influence sur la qualité du bois de par ses spécificités biologiques (vitesse de cicatrisation, sensibilité aux altérations) et architecturales (développement de gourmands, polycyclisme, angle d'insertion des branches, *etc.*). Les proportions de chaque qualité sont donc distinguées selon trois critères : le diamètre (bois moyen ou gros bois), le type de peuplement (futaie ou MTF) et l'essence (Chêne ou Hêtre). La répartition des effectifs d'arbres-qualité dans chacune des classes est présentée en tableau 10 :

Effectif		Futaie	MTF	Total
Chêne	BM	265	557	822
	GB	251	526	777
Hêtre	BM	476	172	648
	GB	333	218	551
Total		1325	1473	2798

Tableau 10 : Répartition de l'échantillon des arbres-qualité selon les classes considérées

Nous pouvons constater que les effectifs sont supérieurs à 170 pour chaque classe considérée. De tels effectifs permettent sans problème l'utilisation de la loi de Student dans le cadre de statistiques inférentielles.

Les résultats obtenus par les calculs de proportion pour chaque qualité sont présentés dans le tableau 11 :

Futaie		% Vol. A-B	% Vol. C+	% Vol. C-	% Vol. BIBE
Chêne	BM	1,43%	8,63%	31,40%	58,54%
	GB	6,24%	13,09%	27,79%	52,88%
Hêtre	BM	1,44%	8,16%	18,78%	71,62%
	GB	6,52%	11,39%	24,43%	57,66%

MTF		% Vol. A-B	% Vol. C+	% Vol. C-	% Vol. BIBE
Chêne	BM	1,38%	6,91%	36,43%	55,27%
	GB	8,60%	11,76%	30,78%	48,86%
Hêtre	BM	2,13%	10,06%	30,29%	57,52%
	GB	7,32%	13,13%	26,98%	52,58%

Tableau 11 : Proportion du volume par qualités de bois

Ces pourcentages seront utilisés dans le 3.2.2 pour caractériser les volumes potentiellement mobilisables en termes de qualité des bois. Nous pouvons cependant nous interroger sur la validité de ces résultats. Afin d'évaluer leur fiabilité, nous calculons dans chaque cas un intervalle de confiance de ces moyennes au seuil de sûreté de 95 %, en valeur relative et absolue. Le tableau 12 présente les valeurs des demi-intervalles de confiance. Ainsi pour une proportion estimée $\bar{A}$ de la valeur réelle A et un demi-intervalle de confiance X en valeur absolue, il est probable à 95% que la valeur réelle A soit

située dans l'intervalle $[\bar{A} - X ; \bar{A} + X]$. Soit Y le demi-intervalle de confiance en valeur relative, alors A est situé dans l'intervalle $\bar{A} \times (1 \pm Y \%)$.

Futaie		IC Vol. A-B		IC Vol. C+		IC Vol. C-		IC Vol. BIBE	
		Absolu	Relatif	Absolu	Relatif	Absolu	Relatif	Absolu	Relatif
Chêne	BM	0,84%	59%	1,85%	21%	2,54%	8,1%	2,44%	4,2%
	GB	1,58%	25%	2,01%	15%	2,51%	9,0%	1,70%	3,2%
Hêtre	BM	0,60%	42%	1,36%	17%	1,78%	9,5%	1,98%	2,8%
	GB	1,41%	22%	1,73%	15%	2,01%	8,2%	1,89%	3,3%

MTF		IC Vol. A-B		IC Vol. C+		IC Vol. C-		IC Vol. BIBE	
		Absolu	Relatif	Absolu	Relatif	Absolu	Relatif	Absolu	Relatif
Chêne	BM	0,56%	41%	1,18%	17%	1,64%	4,5%	1,48%	2,7%
	GB	1,25%	15%	1,40%	12%	1,68%	5,5%	1,17%	2,4%
Hêtre	BM	1,27%	60%	2,41%	24%	3,47%	11%	3,37%	5,9%
	GB	1,91%	26%	2,31%	18%	2,50%	9,3%	2,20%	4,2%

Tableau 12 : Valeur des demi-intervalles de confiance, en valeur absolue et relative

Nous pouvons constater que les valeurs absolues sont toujours faibles (entre 0,56 % et 3,47 %) mais il faut les mettre en relation avec leur valeur relative correspondante. Ainsi pour les bois moyens de chênes en futaie, 1,43 % du volume peut être espéré de qualité A-B, à plus ou moins 0,84 %. Cela signifie que la moyenne réelle est comprise dans un intervalle de confiance allant du simple au quadruple ! Cependant dans l'absolu, la valeur de cet intervalle reste faible et ce cas de figure s'applique principalement pour la qualité A-B, en raison de sa rareté à l'échelle de l'échantillon. Au contraire les résultats sont bien meilleurs pour les qualités plus fréquentes et plus importantes en volume, en particulier pour le BIBE.

2.6. Récapitulatif du traitement des données effectué pour chaque placette de mesure

Un certain nombre d'informations et de calculs a été nécessaire pour obtenir une estimation du capital potentiellement mobilisable de chaque point de mesure. La figure 10 résume de manière simplifiée les étapes successives permettant de passer des données réelles aux résultats calculés.

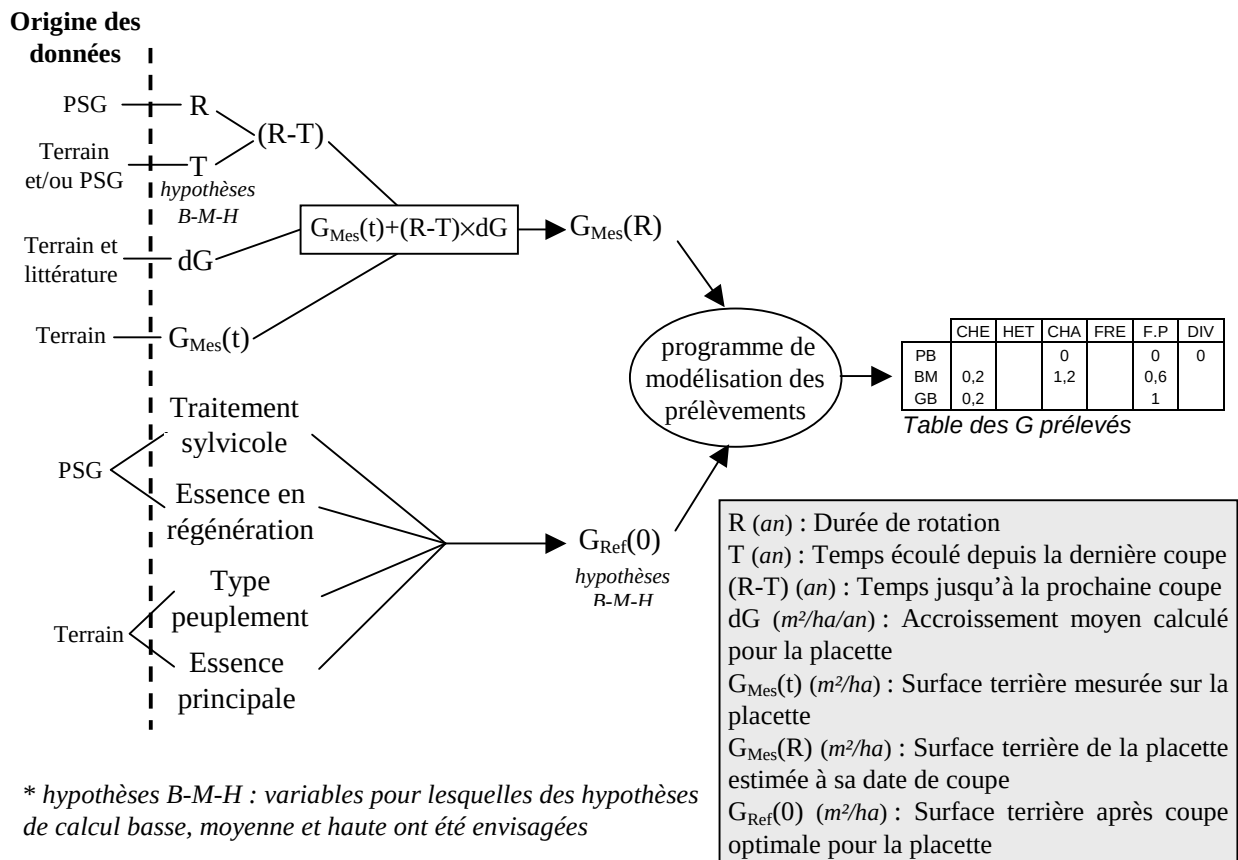


Figure 10 : Schéma récapitulatif du traitement des informations d'une placette de mesure

3. Les résultats de l'étude

3.1.L'état actuel des peuplements de la zone d'étude

Suite à la phase de terrain nous disposons de valeurs de surface terrière relevées sur un grand nombre de points de mesure, détaillées en grosseur et en essence et regroupées en unités appartenant à différentes catégories (issues de la stratification de l'échantillon : voir 2.2.1.1). L'objectif est maintenant d'étendre ces mesures à l'ensemble de la zone d'étude.

Pour cela, la valeur moyenne de capital est calculée par unité, détaillée elle aussi en grosseur et en essence. Ensuite, connaissant la surface de chaque unité et sa catégorie d'appartenance, la surface de l'échantillon pour cette catégorie et la surface totale concernée par cette catégorie au sein de la zone d'étude, il est possible de calculer un coefficient de proportionnalité. Ainsi en multipliant les données de capital par ce coefficient et en sommant toutes les données pour une même catégorie, nous obtenons une estimation du capital sur pied pour l'ensemble de la surface concernée par cette catégorie.

Les coefficients permettent de détailler les caractéristiques du capital en surface terrière. Cependant, le volume est une unité plus simple à appréhender et plus répandue, notamment dans l'aval de la filière. Il est donc nécessaire de pouvoir convertir ces données en volume. Pour cela, nous nous appuyons sur les facteurs de conversion de G (m^2/ha) vers V (m^3/ha) indiqués dans les typologies de peuplement déjà utilisées (repris en annexe 12), correspondant à une hauteur de forme. Ces facteurs s'appliquent pour des données de peuplement et non d'individus et les volumes obtenus sont des volumes bois fort total à la découpe 7 cm. Cela permet une cohérence avec les recherches effectuées sur la qualité (détaillées au 2.5), elles aussi calculées pour un volume bois fort à la découpe 7 cm.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 13 et 14 :

	Chêne	Hêtre	Charme	Frêne	Feuillus préc.	Divers	Total
m^2	234 277	268 970	109 746	34 152	42 720	74 757	764 623
m^2/ha	5,9	6,8	2,8	0,9	1,1	1,9	19,2
	Chêne	Hêtre	Charme	Frêne	Feuillus préc.	Divers	Total
%	30,6%	35,2%	14,4%	4,5%	5,6%	9,8%	100,0%

Tableau 13 : Caractérisation du capital actuel de la zone d'étude, en surface terrière

	Chêne	Hêtre	Charme	Frêne	Feuillus préc.	Divers	Total
m^3	2 487 671	2 675 865	904 016	361 869	407 789	738 517	7 575 727
m^3/ha	62,4	67,2	22,7	9,1	10,2	18,5	190,2
	Chêne	Hêtre	Charme	Frêne	Feuillus préc.	Divers	Total
%	32,8%	35,3%	11,9%	4,8%	5,4%	9,7%	100,0%

Tableau 14 : Caractérisation du capital actuel de la zone d'étude, en volume

La valeur moyenne de capital obtenue est de 19,2 m^2/ha pour 190 m^3/ha . Le capital moyen en forêt feuillue à PSG est donc globalement supérieur aux valeurs de surface terrière de référence après coupe. Cependant, nous avons vu plus haut qu'une part non négligeable des placettes mesurées sur le terrain devrait théoriquement passer en coupe dans les années qui viennent (figure 8, au 2.3.2.3.3). Cela implique que cette 'surcapitalisation' est en partie due à la proximité des dates de coupe ou à leur retard et qu'elle est appelée à être exploitée à très court terme, si les coupes sont réalisées dans les

temps. D'un point de vue général, la forêt concernée par la zone d'étude n'est donc pas autant capitalisée qu'il y paraît au premier abord.

En comparaison, les résultats de l'IFN (selon la « nouvelle méthode ») annoncent un capital moyen de 22,8 m³/ha pour 195 m³/ha pour l'ensemble des forêts feuillues d'Alsace et de Lorraine (privé et public confondus) (IFN, site internet). Les valeurs obtenues pour notre zone d'étude sont légèrement inférieures à celles annoncées par l'IFN, bien que les peuplements clairs en aient été retirés au préalable. Cela peut donc laisser penser que les forêts concernées par la zone d'étude (*i.e.* la majeure partie des forêts privées feuillues à PSG) seraient moins capitalisées que la petite propriété feuillue ou la forêt feuillue publique. Il est cependant impossible de l'affirmer clairement au vu des ordres de grandeur considérés et des marges d'incertitude sur les résultats.

Il ne s'agit là que de valeurs moyennes, pouvant masquer la disparité des situations. Les résultats obtenus pour notre zone d'étude sont donc détaillés par catégorie de peuplement et présentés en annexe 11. De plus, il peut être intéressant de caractériser plus précisément les peuplements, notamment en matière de structure et de composition en essences.

La notion de structure utilisée ici est celle définie dans les typologies de peuplement, en fonction des types de peuplement identifiés. La caractérisation de la composition en essences pourrait se faire de manière détaillée mais il a été choisi de ne représenter que les configurations les plus fréquentes afin de faciliter la lisibilité des résultats. Les critères de chaque modalité sont définis dans le tableau 15 :

Types de peuplement		Part de l'essence dans le peuplement	
Croiss. Active	11 ; 12 ; 21 ; 22	CHE Pur	G(Chêne) ≥ 75 %
Maturation	23 ; 32 ; 51p ; 52p ; 53p	CHE Dom.	50 % ≤ G(Chêne) < 75 %
Mûr	33 ; 31 ; 13	HET Pur	G(Hêtre) ≥ 75 %
Irrégulier	51r ; 52r ; 53r	HET Dom.	50 % ≤ G(Hêtre) < 75 %
		CHA Pur	G(Charme) ≥ 75 %
		CHA Dom.	50 % ≤ G(Charme) < 75 %
		MEL	Autres

Se reporter à l'annexe 9 pour la description des types de peuplement

Dom. : dominant

Tableau 15 : Critère de classification des types de structure et de composition

Une structure et un type de composition sont définis pour chaque point de relevé de terrain puis les résultats sont extrapolés à l'échelle de la zone d'étude. Les résultats obtenus sont présentés dans en figures 11 :

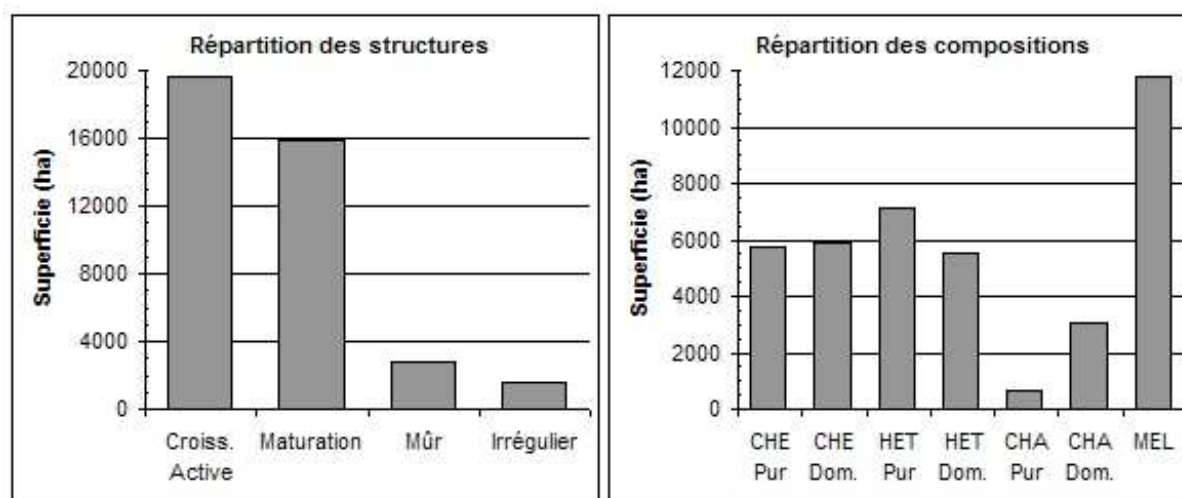


Figure 11 : Répartition de la zone d'étude en termes de structure et de composition en essences

Nous pouvons constater que la moitié de la zone d'étude en termes de superficie est estimée en phase de croissance active. Cela ne signifie pas nécessairement que ces peuplements sont jeunes mais que les petits bois y sont relativement fréquents, ce qui peut être dû à la présence de taillis en proportion importante comme c'est le cas dans les mélanges de taillis et de futaie (MTF). Cela révèle cependant qu'une part importante des peuplements de notre zone d'étude doit être maintenue en phase de capitalisation durant un certain temps avant de pouvoir fournir des produits d'exploitation de qualité et de diamètre satisfaisants. La conversion des anciens taillis sous futaie en futaie, dont les MTF sont un stade transitoire, s'appuie d'ailleurs sur cette méthode : cela peut expliquer de tels résultats.

Les peuplements estimés en phase de maturation semblent aussi assez importants mais il faut y apporter un bémol. En effet la structure « maturation » regroupe notamment les types de peuplement 51p, 52p et 53p. Ce sont en fait des peuplements à structure irrégulière mais ne présentant pas suffisamment de tiges d'avenir à l'hectare pour pouvoir être gérés en traitement irrégulier de manière durable et efficace, selon les typologies de peuplement. Ce cas concerne environ la moitié de la superficie dite « en maturation ». Selon la définition choisie, il est donc possible d'évaluer les peuplements en maturation à 8 000 ha et les peuplements irréguliers à 9 500 ha, au sein de la zone d'étude.

Concernant la composition en essence des peuplements de la zone d'étude, nous pouvons constater que les peuplements à chêne ou hêtre majoritaire ($\geq 50\%$ du capital) sont présents en proportion équivalente. Une surface importante présente aussi des peuplements mélangés. Le fait d'avoir distingué la gestion des essences en mélange lors de l'établissement des surfaces terrières après coupe (voir 2.3.1.2.1) représente donc un gain non négligeable de la fiabilité des résultats.

Les peuplements à charme majoritaire représentent quant à eux 3 700 ha, soit près de 10 % de la zone d'étude. Il s'agit presque exclusivement de mélanges de taillis et de futaie pauvre (MTF pauvre) et dont l'essence de futaie est généralement le chêne. Ce cas de figure n'a pas été pris en compte dans l'élaboration des tables de surface terrières objectif théorique mais c'est ici le mode de fonctionnement du programme de simulation de récolte (voir 2.4) qui adapte les résultats. À nouveau, les peuplements n'étant pas largement composés de hêtre ou de chêne sont abordés.

Les chiffres détaillés concernant la structure et la composition des peuplements, en surface et en proportion, sont présentés en annexe 13.

3.2. La mobilisation potentielle estimée sur les 10 prochaines années

3.2.1. Les résultats de mobilisation sur l'ensemble de la zone d'étude

Par l'application de la succession de calculs présentés précédemment (récapitulés en 2.6), nous obtenons pour chaque placette de mesure le capital qu'il serait souhaitable de récolter à la date du passage en coupe afin d'atteindre un état sylvicole idéal. Ce capital est caractérisé en termes d'essence et de grosseur (en PB, BM et GB). De plus à partir d'hypothèses de calcul sur certaines valeurs, il nous est possible d'évaluer pour chacune de ces placettes une fourchette haute et basse encadrant la valeur moyenne, toujours détaillées en essence et grosseur.

Comme pour l'obtention du capital actuel, il est possible d'extrapoler ces résultats afin d'estimer le capital mobilisable à l'échelle de la zone d'étude en totalité. Pour cela, nous calculons la surface terrière moyenne potentiellement mobilisable pour chaque unité puis nous appliquons les mêmes coefficients de proportionnalité que précédemment (présentés au 3.1), et ce dans le cas des hypothèses basse, haute et moyenne. Nous ajoutons cependant une contrainte : si à l'échelle d'une unité le capital moyen à récolter est inférieur à $1 \text{ m}^2/\text{ha}$ (environ équivalent à $10 \text{ m}^3/\text{ha}$), celle-ci est considérée non exploitable. Cela permet d'écarter les unités globalement sous-capitalisées, pour lesquelles le capital avant coupe $G_{\text{Mes}}(R)$ est inférieur au capital $G_{\text{Ref}}(0)$ correspondant sur un grand

nombre de placettes. Il est en effet peu probable qu'une exploitation soit déclenchée pour un si faible capital à récolter car l'opération ne serait pas rentable. Par ailleurs la plupart des stations les plus pauvres, à faible accroissement et à rotation longue (15 à 20 ans), sont aussi exclues : le biais induit par le choix de fixer les rotations à 10 ans pour toutes les unités est ainsi en partie estompé.

Il est à nouveau possible de passer des données de surface terrière aux volumes, à partir des mêmes coefficients de conversion que précédemment. Les résultats ainsi obtenus sont des volumes bois fort à la découpe 7 cm. Ils correspondent à la fois à la récolte de l'accroissement produit au cours de la rotation et à la surcapitalisation due à une éventuelle sous-exploitation antérieure et/ou à l'évolution des normes sylvicoles au cours du temps.

Il faut enfin garder à l'esprit ce à quoi correspond le capital dit 'potentiellement mobilisable' dans cette étude. Ce capital est donné pour la zone d'étude telle que définie au 1.3.1 et en considérant le retranchement des zones jugées non productives ($G < 7 \text{ m}^2/\text{ha}$) présenté au 3.1.1 : cela concerne au total 39 800 ha de forêt. De plus, il s'agit d'une ressource mobilisable uniquement d'un point de vue sylvicole. Cela implique que même s'il est souhaitable que ce capital soit récolté dans l'intérêt du peuplement, l'exploitation pourra très bien ne pas être réalisée : cette décision appartient au propriétaire et celui-ci peut être influencé par divers facteurs (critères économiques et effets psychologiques). Il ne s'agit donc pas directement de la quantité de bois qui pourra effectivement sortir des forêts privées d'Alsace et de Lorraine. Enfin, nous avons fixé une durée de rotation de 10 ans pour toutes les unités. Cela permet d'annoncer des résultats homogènes de récolte potentielle sur les 10 ans à venir, soit la période 2011-2020.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans la figure 12 et le tableau 16, les chiffres détaillés sont disponibles en annexe 14.

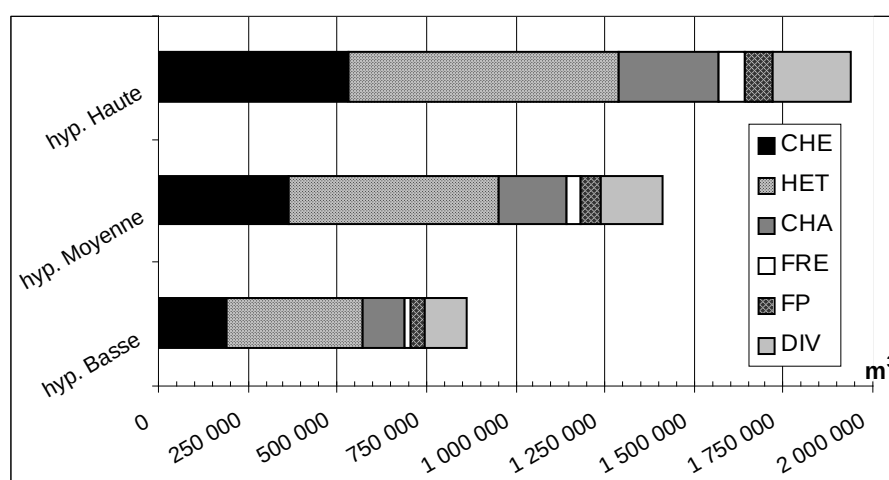


Figure 12 : Volumes potentiellement mobilisables pour la période 2011-2020, détaillés en essences

	Totalité de la zone d'étude			Uniquement surface exploitable		
	Surface considérée	Nb unités considérées	Possibilité (m³/ha/an)	Surface considérée	Nb unités considérées	Possibilité (m³/ha/an)
hyp. Haute	39 836	77	4,862	32 957	62	5,877
hyp. Moyenne	39 836	77	3,539	32 721	54	4,308
hyp. Basse	39 836	77	2,171	27 197	35	3,180

Tableau 16 : Possibilité correspondant au volume potentiellement mobilisable

Rappel : les résultats selon les hypothèses basse et haute sont obtenus à partir d'hypothèses de valeur minimale et maximale faites sur la surface terrière objectif $G_{Ref}(0)$ (vu au 2.3.1.3) et la date calculée de la dernière coupe (vu au 2.3.2.3.2)

On obtient qu'en moyenne la récolte sur la décennie à venir serait de $4,3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ sur l'ensemble de la surface exploitée, dont 2/3 de hêtre et de chêne. Sur la totalité de la zone d'étude, ce prélèvement théorique équivaut à une possibilité de $3,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$, soit $0,35 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$, toutes essences confondues. En comparaison, l'accroissement moyen des peuplements sur l'ensemble de la zone d'étude vaut quant à lui $0,56 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$. Si le prélèvement moyen est inférieur à l'accroissement, cela signifie que la zone d'étude est en moyenne sous-capitalisée par rapport aux valeurs de références choisies. Mais il s'agit ici d'une récolte « tronquée », soumise à une limitation de récolte de 30 % du capital sur pied au maximum. Si l'on ne tenait pas compte de ce critère, la possibilité serait plus élevée : $0,46 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ pour l'hypothèse moyenne, sur la totalité de la zone d'étude. Nous constatons que cette valeur est toujours inférieure à l'accroissement, ce qui confirme la sous-capitalisation de la zone d'étude, d'un point de vue global.

Il est par ailleurs intéressant de noter que la proportion de chaque essence au sein de la récolte totale évolue en fonction de l'hypothèse considérée. Ainsi la part relative de chêne augmente alors que celle du hêtre diminue en passant de l'hypothèse basse à l'hypothèse moyenne ou haute. Cela est dû au mode de fonctionnement du programme de récolte, qui prend en compte la sensibilité des essences à la concurrence et la quantité totale de capital à prélever.

Il resterait en principe à comparer ces valeurs de disponibilité aux données d'exploitation effectives pour savoir si l'on peut théoriquement espérer exploiter plus de bois qu'actuellement. Mais les seuls chiffres facilement accessibles concernant la récolte, agglomérés à l'échelle de la région, proviennent des enquêtes annuelles de branche (EAB). Or il est impossible de comparer les données de celles-ci aux nôtres car le champ d'étude n'est pas le même : la provenance des bois exploités n'est pas différenciée en propriétaire privé ou public, et *a fortiori* en propriété à PSG à peuplement feuillu. Il faut de plus noter que ces EAB s'appuient sur les volumes de bois arrivant à l'entrée des unités de transformation. Or les bois exploités en Lorraine ou en Alsace peuvent être exportés dans d'autres régions de France voire à l'étranger, de même que les industries de la région peuvent importer leur matière première. Ces biais possibles doivent donc être pris en compte lors de l'utilisation de tels chiffres.

Il aurait tout de même été possible d'estimer les récoltes effectives à ce niveau de détail en s'adressant aux principaux experts forestiers ainsi qu'aux coopératives de la région, mais le temps a manqué pour pouvoir mener cette démarche avec toutes les garanties de fiabilité nécessaires à ce type d'approche. Une méthode moins coûteuse en temps aurait été de soustraire les chiffres de récolte totale de l'ONF aux chiffres des EAB. Cependant, nous n'aurions eu de cette manière que les volumes exploités en forêt privée, sans distinction 'peuplement feuillu/résineux' et 'avec/sans PSG', cette imprécision s'ajoutant aux biais sur les résultats des EAB évoqués plus haut.

3.2.2. La prise en compte de la qualité des bois, un facteur primordial

A partir des coefficients de répartition de la qualité des bois, calculés au 2.5.3, et de l'estimation des volumes potentiellement mobilisables de hêtre et de chêne, il est possible d'évaluer la répartition de la ressource potentiellement mobilisable en différentes qualités, pour les bois moyens et les gros bois. Les petits bois de hêtre et de chêne sont systématiquement comptabilisés en BIBE. Les résultats sont présentés en figure 13 :

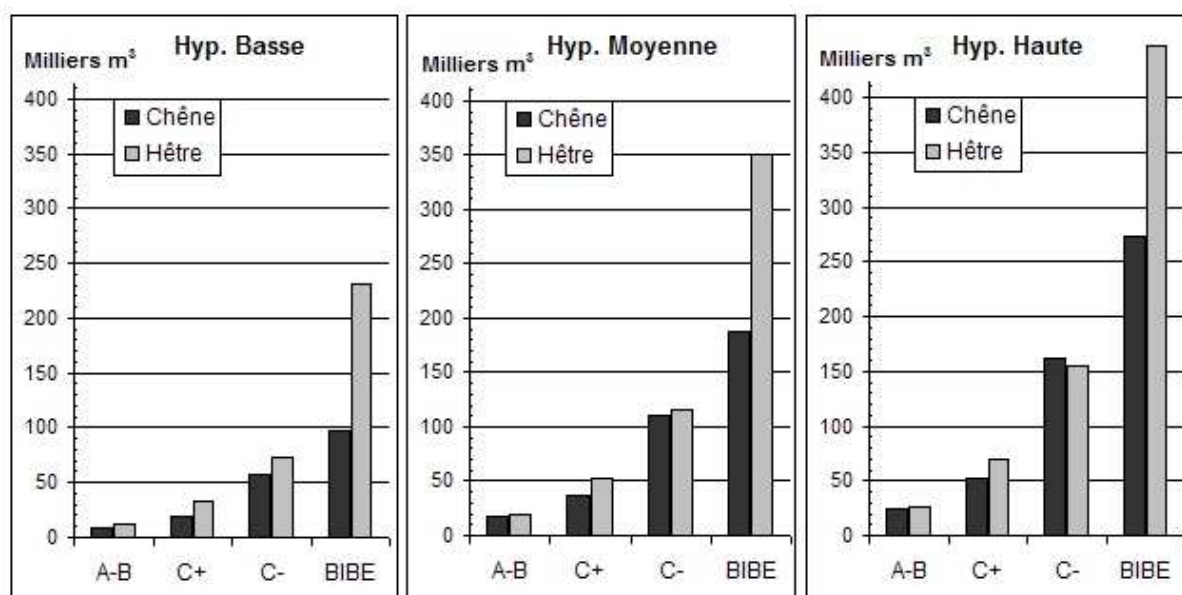


Figure 13 : Volumes de hêtre et de chêne potentiellement mobilisables dans les 10 ans, distingués en qualité

Il n'est pas surprenant de constater que les meilleures qualités représentent une part minime du volume potentiellement mobilisable tandis que le BIBE en constitue la majeure partie. Il peut être intéressant de mettre ces volumes en lien avec leur valeur économique. Nous nous appuyons pour cela sur les prix moyens annoncés par l'Observatoire des prix du bois en Lorraine (DRAF Lorraine, 2011) déjà évoqué plus haut (au 1.2.1.3). Le but n'est pas ici d'évaluer la valeur de la récolte potentielle des 10 prochaines années mais uniquement d'avoir des ordres de grandeur afin de relativiser les résultats obtenus en volume. La figure 14 présente ces ordres de grandeur.

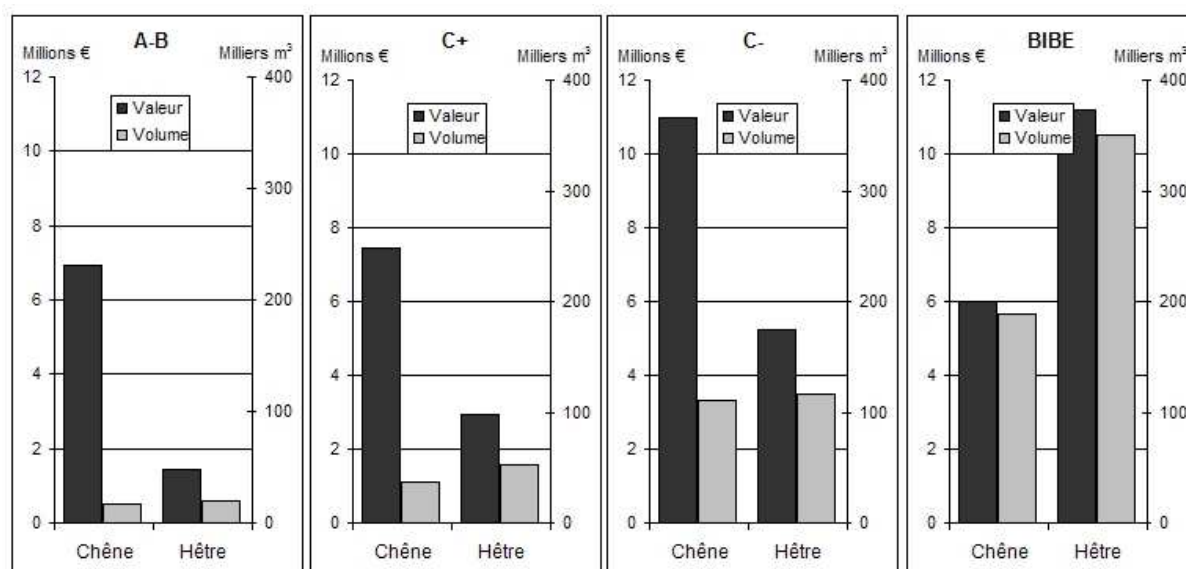


Figure 14 : Estimation de la valeur économique des bois potentiellement mobilisables dans les 10 ans par rapport aux volumes considérés, pour chaque qualité ; hypothèse moyenne

Ces graphiques ne présentent que le cas de l'hypothèse moyenne mais les hypothèses basse et haute présentent des résultats dans les mêmes proportions, seule les valeurs absolues variant. Comme l'on pouvait s'y attendre, malgré un très faible volume la qualité A-B représente une valeur relativement importante et le chêne y prend une grande part. Cependant malgré un prix unitaire plus

faible, les autres qualités présentent des valeurs plus fortes en raison de volumes bien plus importants et le hêtre y prend une place non négligeable. En particulier, chêne et hêtre confondus, le BIBE présente une valeur potentielle deux fois supérieure à la qualité A-B et 1,5 fois supérieure à la qualité C+. Malgré les simplifications effectuées pour obtenir ces résultats, nous pouvons penser que le BIBE représente un gisement potentiel bien plus important que les bois de qualité pour les propriétaires, d'un point de vue financier. Il faut cependant garder à l'esprit que les bois de qualité supérieure alimentent toute une branche du secteur de la première transformation et permettent l'obtention d'une forte valeur ajoutée lors de leur transformation. Il serait donc néfaste de favoriser la filière BIBE si cela se fait au détriment du sciage de qualité.

Notons que les volumes annoncés ici ne tiennent compte que de la récolte potentielle en hêtre et en chêne. La prise en compte des autres essences pourrait sensiblement augmenter ces chiffres, notamment en ce qui concerne les volumes de BIBE. Cependant, il ne s'agit pas là du cœur de l'étude et aucune recherche n'a été faite quant à la répartition des qualités de bois pour celles-ci. À défaut de mesures aussi précises que sur le chêne et le hêtre, il aurait été possible de demander à des professionnels, à dire d'expert, les proportions de qualité sciage et BIBE pour chaque essence : cela aurait permis une estimation relativement précise.

Il est tout de même possible d'employer des approximations grossières visant à estimer un volume *minimum* de BIBE que l'on peut potentiellement espérer mobiliser (il faut bien garder à l'esprit qu'il s'agit de volumes *potentiels théoriques*). Supposons pour cela que, pour les essences autres que le hêtre et le chêne, les petits bois sont intégralement classés en BIBE, ainsi que 60 % des bois moyens et des gros bois. En ajoutant aux données du hêtre et du chêne celles des autres essences, nous obtenons les résultats suivants :

m^3	hyp. Basse	hyp. Moyenne	hyp. Haute
Vol. BIBE	562 242	904 578	1 241 927

Tableau 17 : Volume minimal de BIBE potentiellement mobilisable dans les 10 ans à venir

Nous pouvons donc estimer que dans le cadre de l'hypothèse moyenne, il serait théoriquement possible de sortir des forêts étudiées au moins 90 400 m^3 /an de bois destinés à l'énergie ou l'industrie lourde. Pour comparaison, les chiffres additionnés des EAB (pour le BI) et du CEREN (pour le BE) indiquent qu'en 2009 environ 2 820 000 m^3 de BIBE ont été récoltés en Alsace et en Lorraine, tous type de propriétaires (public et privé) et toutes essences confondus. Rappelons que notre zone d'étude concerne 3,4 % de la surface forestière totale des deux régions ; cette récolte potentielle en BIBE, sous-estimée, équivaudrait quant à elle à 3,2 % de la récolte de BIBE de 2009.

Il est cependant difficile de comparer ces deux ratios, il ne faut les considérer que comme des ordres de grandeur. Le fait qu'ils soient égaux ne signifie pas que les forêts considérées ont la capacité de « fournir leur part » des besoins en BIBE : il faut replacer ces résultats dans leur contexte. D'une part, la zone d'étude considérée concerne des forêts présentant un PSG, qui sont donc généralement bien suivies et exploitées ; de plus les zones les moins productives ont été exclues. D'autre part, la production de BIBE des peuplements feuillus n'est pas comparable celle des peuplements résineux (productivité plus importante, importants volumes de premières éclaircies en futaie régulière).

À partir de ces seuls chiffres, il n'est donc pas possible de déterminer clairement si la forêt concernée par la zone d'étude est capable de répondre aux attentes en matière de bois énergie évoquées au 1.1.1. Les résultats d'autres études doivent pouvoir être mis à contribution afin d'évaluer les capacités des forêts d'Alsace-Lorraine à répondre à la demande, notamment concernant le bois énergie. À titre d'élément de comparaison, l'étude préalable à celle-ci (Des Robert, 2009), qui s'est intéressée au compartiment des résineux blancs dans les propriétés à PSG, a évalué que les forêts résineuses de montagne en Alsace Lorraine pourraient potentiellement fournir 37 900 m^3 /an de BIBE pour une surface d'environ 11 600 ha. Cela équivaut à 1,3% de la consommation BIBE de 2009 pour 1,0 % de la surface forestière de la région.

3.3. Les volumes potentiellement mobilisables pour les périodes 2021-2030 et 2031-2040

Les résultats présentés jusqu'ici sont calculés pour les 10 ans à venir, soit la période 2011-2020. Mais certains volumes sur pied excédentaires n'ont pu être comptabilisés dans la mobilisation potentielle en raison du seuil maximal d'exploitation, fixé à 30 % du capital du peuplement (voir 2.4.3). Le tableau 18 reprend ces chiffres, pour les trois hypothèses de calcul.

	hyp. Basse	hyp. Moyenne	hyp. Haute
G (m ²)	26 863	45 651	84 951
V (m ³)	265 679	451 489	840 161

Tableau 18 : Capital excédentaire non mobilisable lors de la période 2011-2020

Il peut donc être intéressant d'envisager la récolte potentielle sur la décennie suivante (2021-2030). Cependant, il a été évoqué plus haut des problèmes liés à la croissance des peuplements : il est difficile de prendre en compte le passage à la futaie des perches et la promotion des bois déjà précomptables (changement de classe de grosseur). Ces paramètres peuvent être négligés sur une période de 10 ans, mais l'application de notre méthodologie sur une période de deux fois 10 ans aboutit à des résultats aberrants, notamment dus au mode de fonctionnement du programme de modélisation de récolte.

Il est par contre possible d'évaluer de manière moins détaillée le capital potentiellement mobilisable au cours de cette seconde décennie. Pour cela, nous devons faire l'hypothèse que chaque peuplement conserve le même type (au sens des typologies de peuplement) après le premier passage en coupe. Ainsi chaque placette de mesure conserve la même surface terrière de référence d'après coupe $G_{Ref}(0)$. Nous supposons aussi que l'accroissement moyen de chaque placette reste le même. Connaissant la surface terrière après la première coupe de chaque placette, effectuée au cours de la période 2011-2020, il est donc possible de calculer la surface terrière avant la seconde coupe, notée $G_{Mes}(2R)$, toujours en considérant une rotation moyenne de 10 ans. Nous obtenons ainsi le capital potentiellement mobilisable lors de la seconde rotation par différence de $G_{Mes}(2R)$ et de $G_{Ref}(0)$. Ensuite, tout comme pour les données de la période 2011-2020, nous calculons les moyennes pour chaque unité et nous appliquons les coefficients de proportionnalité appropriés afin d'extrapoler les résultats à l'ensemble de la zone d'étude (pour rappel, voir le 3.2.1).

Les mêmes critères de limitation de récolte que ceux de la première décennie sont appliqués à ces calculs, à savoir la limitation de la récolte à 30 % du capital sur pied d'une placette et l'abandon des unités dont la récolte est inférieure à 1 m²/ha. Nous considérons aussi que les futaies régulières en phase de régénération désignées en coupe d'ensemencement lors de la première décennie passent en coupe secondaire lors de la deuxième décennie ($G_{Ref}(0) = 6$ m²/ha) et que celles en coupe secondaire passent en coupe définitive ($G_{Ref}(0) = 0$ m²/ha). Pour les coupes définitives, l'accroissement du peuplement est divisé par deux pour tenir compte du faible intervalle de temps entre la dernière coupe secondaire et celle-ci (généralement moins de 5 ans). Enfin lorsque l'information est disponible dans le PSG, il est tenu compte pour les peuplements de futaie régulière du passage de la phase d'amélioration à la régénération.

Notons que le recours à cette méthode implique que nous ne pouvons pas disposer du détail du capital en termes d'essence et de grosseur puisque le programme de modélisation de coupe, inutilisé ici, est indispensable pour tenir compte des essences. De plus le passage de la surface terrière au volume se faisait jusqu'ici à l'aide de coefficients choisis en fonction de l'essence et de la classe de grosseur (pour rappel, voir annexe 12). Cela n'étant plus possible, la conversion des m² aux m³ ne pourra se faire que de manière grossière et approximative. Afin d'avoir un ordre de grandeur des volumes, nous employons la formule $V = F \times G \times H$ en prenant $F = 0,43$ et $H = 23$ m, soit un

coefficient de hauteur de forme de 9,89 : il s'agit des valeurs moyennes constatées lors des conversions des surfaces terrières aux volumes pour la période 2011-2020.

Le tableau 19 présente le capital qu'il sera théoriquement possible de prélever ainsi que le surplus restant à récolter lors de la rotation suivante :

	hyp. Basse		hyp. Moyenne		hyp. Haute	
	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus
G (m²)	165 643	10 089	197 736	22 819	227 671	53 073
V (m³)	1 638 213	99 779	1 955 614	225 682	2 251 668	524 892

Tableau 19 : Estimation du capital potentiellement mobilisable et du surplus non mobilisable pour la période 2021-2030

Deux évolutions sont à noter dans ces chiffres, par rapport aux résultats de la période 2011-2020. D'une part les volumes potentiellement mobilisables ont augmenté. Cela est dû au fait qu'une certaine superficie de la zone d'étude qui n'était pas jugée exploitable lors de la première décennie le soit devenue lors de la seconde. Nous pouvons d'ailleurs noter que l'augmentation est la plus forte dans le cas de l'hypothèse basse, pour laquelle une proportion relativement importante de la zone d'étude n'était pas jugée exploitable lors de la première période et l'est devenue lors de la suivante. D'autre part le surplus restant à mobiliser au cours de la rotation suivante a diminué, passant pour l'hypothèse moyenne de 45 600 m² à 22 800 m² sur l'ensemble de la zone d'étude. Cela signifie que la surcapitalisation d'un certain nombre de peuplements est progressivement réduite, mais que 20 ans ne suffiront probablement pas à résorber cet excédent. Cette constatation seule ne suffit cependant pas à affirmer que la zone d'étude est globalement surcapitalisée.

Puisque deux rotations ne permettent pas la mobilisation de la totalité du capital potentiellement mobilisable, nous pouvons réutiliser la méthode qu'employée précédemment pour la prise en compte d'une troisième rotation sur les peuplements considérés, au cours de la période 2031-2040. Cependant il est à noter que plus on avance dans le temps, moins les estimations sont précises. En effet l'hypothèse de stabilité des valeurs d'accroissement et de conservation du même type de peuplement (et donc des valeurs de $G_{Ref}(0)$) sont d'autant moins robustes que l'intervalle de temps pris en compte est long. Par ailleurs, il nous est impossible de prévoir les surfaces de futaie régulière passant en phase de régénération à l'échelle de 30 ans, alors qu'il s'agit de la phase où les plus grosses quantités de bois sont exploitées. Nous considérons ici que la totalité des peuplements en amélioration lors de la période précédente le reste et que les peuplements passés en coupe définitive ne produisent plus de bois potentiellement exploitable. En acceptant ces hypothèses, nous obtenons les chiffres suivants :

	hyp. Basse		hyp. Moyenne		hyp. Haute	
	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus
G (m²)	206 601	4 993	220 458	13 857	233 685	37 917
V (m³)	2 043 288	49 383	2 180 329	137 042	2 311 148	374 998

Tableau 20 : Estimation du capital potentiellement mobilisable et du surplus non mobilisable pour la période 2031-2041

L'évolution des chiffres constatée pour la deuxième décennie se poursuit ici, pour les mêmes raisons qu'évoqué plus haut. Nous pouvons de plus remarquer que l'écart entre les valeurs des hypothèses basse et haute s'est fortement réduit. Cela s'explique par le fait que la quasi-totalité de la surface de la zone d'étude est jugée exploitable lors de cette troisième période, quelle que soit l'hypothèse considérée. À ce stade le seul critère différenciant significativement les trois scénarios envisagés est le seuil de surface terrière de référence $G_{Ref}(0)$ choisi dans la plage de valeur correspondant au peuplement (voir 2.3.1.2.3).

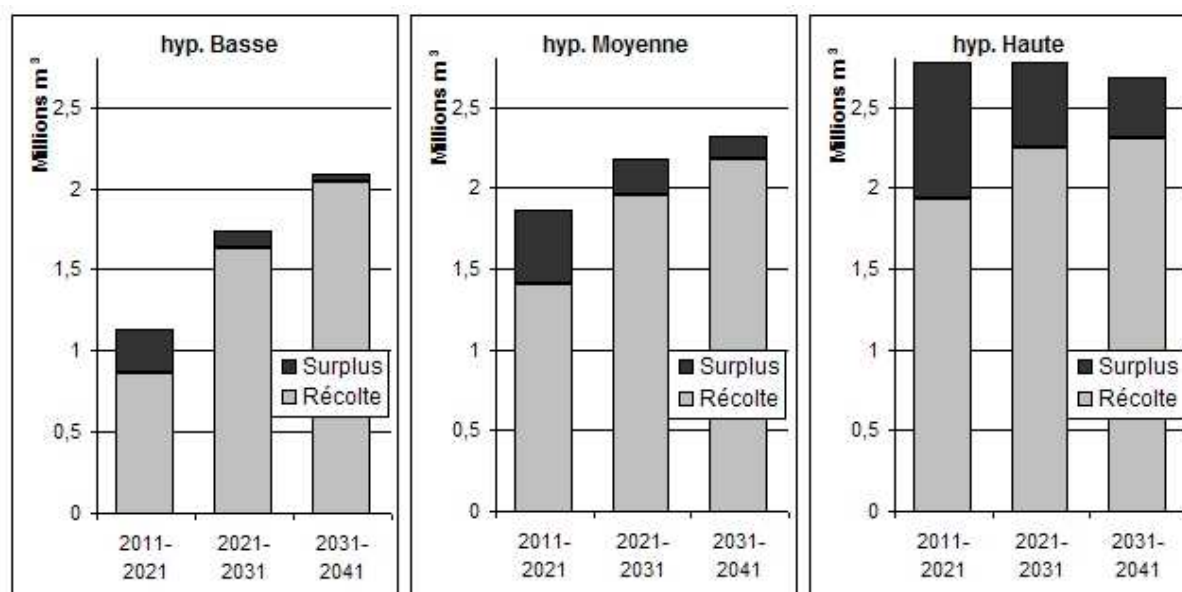


Figure 15 : Évolution des volumes totaux potentiellement mobilisables et des surplus non mobilisables pour les trois prochaines décennies

La figure 15 présente pour les trois hypothèses de calcul les volumes mobilisables potentiels totaux pour chaque période considérée. Ces volumes totaux sont détaillés en volume réellement mobilisable et en surplus non mobilisable à cause de la limite d'exploitation fixée à 30 % du capital sur pied des peuplements. Le surplus non mobilisable pour chaque décennie est repris en compte lors de la décennie suivante.

Hormis les remarques déjà faites précédemment, nous pouvons constater que les volumes mobilisables potentiels totaux sont croissants pour les hypothèses basse et moyenne alors que les valeurs d'accroissement sont supposées constantes dans les calculs. Cela signifie qu'au cours du temps de plus en plus de peuplements deviennent exploitables. Une part non négligeable de la zone d'étude est donc sous-capitalisée puisqu'elle n'autorise pas d'exploitation lors de la première décennie (nous avons vu plus haut que le fait de fixer les rotations à 10 ans n'avait qu'une faible incidence sur les résultats des unités de rotation supérieure). Cependant dans le cas de l'hypothèse haute, ces mêmes volumes totaux stagnent lors des deux premières décennies, ce qui indique que cette sous-capitalisation n'est pas fortement marquée : dans le cas contraire la même évolution aurait été constatée pour les trois scénarios. La diminution visible au cours de la troisième décennie est quant à elle uniquement due au passage de certains peuplements au stade de croissance juvénile suite à une coupe définitive et pour lesquels aucun volume ne sera mobilisable avant un grand nombre d'années.

Il serait possible de répéter ces calculs pour les décennies suivantes mais les incertitudes sur les hypothèses posées (en particulier la constance de l'accroissement et du type de peuplement) devenant de plus en plus lourdes, cela pourrait mener à des conclusions erronées. Nous nous limitons donc au calcul sur 30 ans.

3.4.L'influence de deux facteurs étudiés sur le niveau de capitalisation

3.4.1. Le principe appliqué

Nous avons évoqué plus haut à plusieurs reprises la sur-capitalisation ou la sous-capitalisation de certains peuplements. Il peut être intéressant de rechercher des critères pouvant expliquer ces différences de capitalisation. Nous avons décidé de tester deux facteurs : l'essence principale (hêtre ou chêne) et le type de peuplement (futaie ou MTF). L'information concernant le type de peuplement est obtenue à partir des renseignements tirés de la base Merlin pour chaque unité. Nous avons suivi la

même démarche pour la détermination de l'essence principale. Pour les peuplements mélangés chêne-hêtre, une rapide vérification dans la base des relevés de terrain permet de confirmer que l'essence majoritaire correspond bien à l'essence-objectif indiquée dans la base Merlin.

Pour mettre en avant une éventuelle différence de capitalisation entre deux groupes de relevés, nous procédons comme suit. Nous prenons comme date de référence la date de prochaine coupe telle que déterminée au 2.3.2.3 ainsi que la surface terrière $G_{Mes}(R)$ correspondante. Pour chaque placette de mesure, par différence de $G_{Mes}(R)$ avec le $G_{Ref}(0)$ correspondant nous obtenons donc un critère de capitalisation. Celui-ci peut être positif, négatif ou nul. S'il est négatif ou nul, cela signifie qu'il n'y a théoriquement aucun capital à prélever et une sous-capitalisation est d'autant plus marquée que ce critère est négatif. S'il est positif, cela signifie que le peuplement est correctement capitalisé voir sur-capitalisé selon l'ordre de grandeur considéré. Afin de s'affranchir des problèmes d'ordre de grandeur différents, nous travaillerons dans la suite avec le critère : $(G_{Mes}(R) - G_{Ref}(0)) / G_{Mes}(R)$, noté ΔG . Cela correspond au pourcentage de capital sur pied qu'il faudrait prélever pour revenir à la surface terrière de référence après coupe $G_{Ref}(0)$.

Une fois ce critère ΔG calculé pour tous les points de relevé, nous en faisons la moyenne pour chaque unité de peuplement. À l'aide des coefficients d'extrapolation exposés en 3.1, il suffit ensuite de calculer la moyenne pondérée de ΔG pour chacune des modalités à prendre en compte (chêne et hêtre ; futaie et MTF).

3.4.2. Les résultats obtenus

La méthode présentée ci-dessus est appliquée dans le cas des hypothèses d'encadrement basse, moyenne et haute et pour les deux modalités des variables étudiées.

Nous pouvons constater sur la figure 16 qu'en moyenne le ΔG des peuplements de chêne est inférieur à celui des peuplements de hêtre, quelle que soit l'hypothèse considérée. Cela signifierait donc que les peuplements à base de chêne sont plus exploités que ceux à base de hêtre, possiblement en raison d'un prix de vente bien plus élevé pour le bois de chêne depuis plus d'une décennie. De même au sujet des types de peuplement, les MTF semblent moins capitalisés que les futaies. Mais afin de s'assurer que ces différences entre modalités sont significatives, il faut recourir à un test de comparaison de moyenne par analyse de variance.

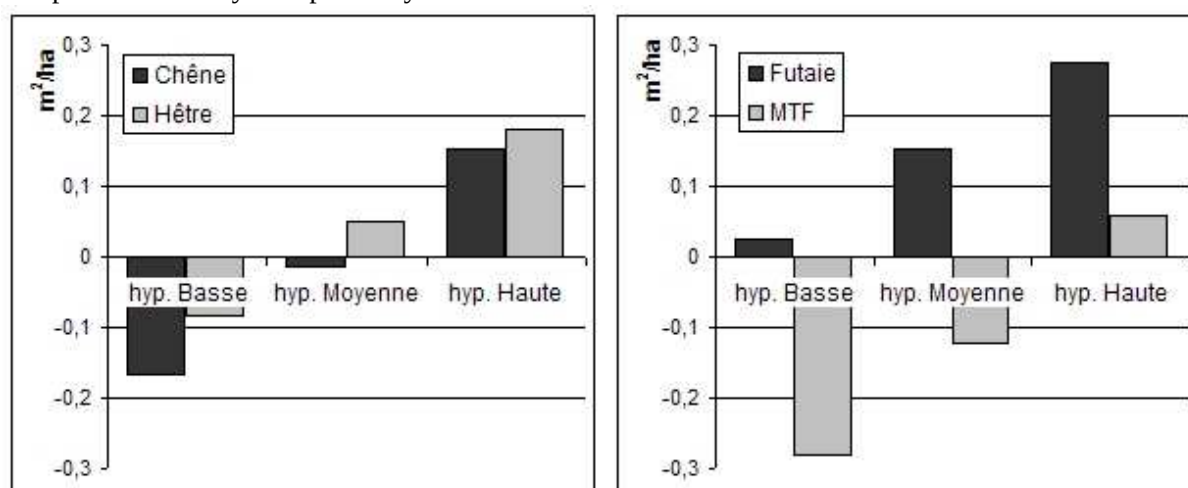


Figure 16 : Comparaison des ΔG moyens en fonction de l'essence principale et du type de peuplement

Une analyse de variance (ou ANOVA) se décompose en deux phases : le test en lui-même, permettant de dire à partir des variances si les moyennes de deux modalités sont significativement

différentes ou non, et les tests permettant de vérifier la validité des hypothèses sur lesquelles repose une ANOVA, à savoir la linéarité du modèle statistique, l'homoscédasticité (égalité des variances) des résidus et leur indépendance. La linéarité du modèle est vérifiée par le biais du test d'homoscédasticité. L'homoscédasticité est évaluée par un test de Lévène, c'est-à-dire une ANOVA appliquée aux résidus. L'indépendance des résidus est jugée par un test du χ^2 de comparaison à la loi normale. Notons que le résultat des différents tests peut dépendre du niveau d'erreur acceptable choisi. Nous travaillerons avec un niveau d'erreur α (ou 'risque de première espèce') de 5 %. Les résultats détaillés de ces tests sont présentés en annexe 16.

Concernant l'essence principale, l'ANOVA révèle qu'il n'y a pas de différence significative entre le hêtre et le chêne. Nous ne pouvons donc pas affirmer clairement que les peuplements à base de hêtre sont moins exploités que ceux à base de chêne. Cependant, le contexte économique actuel incite les propriétaires à conserver leurs peuplements de hêtre plus longtemps sur pied. Nous pouvons donc penser que la différence des moyennes n'est pas significative aujourd'hui car la dépréciation du hêtre est trop récente, mais que l'écart s'accroîtra dans les décennies à venir si la tendance actuelle se poursuit. Cela ne reste toutefois qu'une supposition.

Les résultats sont différents pour le test sur les types de peuplements. Les ANOVA montrent une différence significative entre les moyennes de ΔG quelle que soit l'hypothèse considérée. De plus presque toutes les hypothèses de l'ANOVA sont vérifiées (voir annexe 16 pour le détail). Nous pouvons donc affirmer, avec un risque d'erreur de 5 %, que les peuplements de futaie sont plus capitalisés que les peuplements issus du traitement en taillis sous futaie. Cela s'explique par le fait que les MTF, généralement en cours de conversion vers la futaie régulière ou irrégulière, nécessitent encore un certain temps pour être suffisamment capitalisés.

De nombreux autres paramètres aurait pu être testés par cette méthode mais nous avons choisi de nous limiter à ces deux facteurs, qui nous semblaient les plus significatifs.

3.5. Les principaux résultats en quelques tableaux

Afin de simplifier la consultation des résultats de l'étude, nous proposons ici quelques tableaux récapitulant les principaux chiffres annoncés tout au long cette section.

Période 2011-2020	G _{Récolte}		V _{Récolte}	
	Total (m ²)	m ² /ha/an*	Total (m ³)	m ³ /ha/an*
hyp. Haute	190 112	0,477	1 937 025	4,86
hyp. Moyenne	138 080	0,347	1 409 726	3,54
hyp. Basse	85 666	0,215	864 951	2,17

* Surface considérée : totalité de la zone d'étude, soit 39840 ha

Tableau 21 : Capital total potentiellement mobilisable au cours de la période 2011-2020, selon les trois hypothèses de calcul

Période 2011-2020	V _{BO} Chêne (m ³)				V _{BO} Hêtre (m ³)				BIBE (CHE+HET) (m ³)
	A-B	C+	C-	Total BO	A-B	C+	C-	Total BO	
hyp. Haute	24 749	52 448	161 213	238 410	26 702	68 899	154 940	250 541	720 578
hyp. Moyenne	17 408	36 600	110 688	164 696	19 899	52 235	116 605	188 738	537 934
hyp. Basse	8 268	18 691	56 738	83 697	11 637	32 814	73 409	117 860	328 706

Tableau 22 : Répartition des volumes de chêne et de hêtre potentiellement mobilisables selon les différentes qualités de bois d'œuvre et bois d'industrie – bois-énergie, période 2011-2020

Période 2021-2030	Récolte		Surplus		Total	
	G (m ²)	V (m ³)	G (m ²)	V (m ³)	G (m ²)	V (m ³)
hyp. Haute	227 671	2 251 668	53 073	524 892	280 744	2 776 560
hyp. Moyenne	197 736	1 955 614	22 819	225 682	220 556	2 181 295
hyp. Basse	165 643	1 638 213	10 089	99 779	175 732	1 737 992

Période 2031-2040	Récolte		Surplus		Total	
	G (m ²)	V (m ³)	G (m ²)	V (m ³)	G (m ²)	V (m ³)
hyp. Haute	233 685	2 311 148	37 917	374 998	271 602	2 686 145
hyp. Moyenne	220 458	2 180 329	13 857	137 042	234 315	2 317 371
hyp. Basse	206 601	2 043 288	4 993	49 383	211 595	2 092 671

Tableau 23 : Capital total potentiellement mobilisable et surplus non mobilisable pour les périodes 2021-2030 et 2031-2040, selon les trois hypothèses de calcul

CONCLUSION

Dans le cadre d'un développement durable, la question de l'approvisionnement en bois par les forêts locales se pose, concernant principalement la production d'énergie mais aussi le secteur de la construction.

En s'appuyant sur une campagne de terrain à travers l'Alsace et la Lorraine, il a été possible de caractériser les forêts privées à PSG comportant des peuplements de chêne et de hêtre. Des volumes de bois, potentiellement exploitables dans le cadre d'une gestion durable, ont pu être estimés pour les 10 années à venir. Enfin, la qualité des bois à exploiter a été intégrée aux résultats obtenus grâce à la mesure de près de 2800 individus.

Il en ressort que la forêt concernée par cette étude, représentant 35 % de la forêt privée à PSG en Alsace-Lorraine, est globalement jeune (du point de vue de la structure des peuplements) et sous-capitalisée. Cela s'explique par le fait qu'une part importante est constituée d'anciens taillis sous futaie actuellement en phase de conversion vers la futaie, qu'elle soit traitée de manière régulière ou irrégulière. Cette conversion passe nécessairement par le grossissement des baliveaux et des modernes de l'ancien TSF, elle exige du temps et implique une baisse de récolte temporaire. Ce constat de sous-capitalisation se retrouve de plus dans les résultats des possibilités de récolte des 10 années à venir puisque ces possibilités sont en moyenne inférieures à l'accroissement des peuplements. Notons cependant qu'il existe bien évidemment des forêts correctement capitalisées, voire sur-capitalisées, mais que celles-ci sont relativement minoritaires.

Par conséquent, les forêts incluses dans la zone d'étude pourront difficilement répondre aux attentes vis-à-vis d'une mobilisation supplémentaire d'ici 2020 en termes de production de bois-énergie ou même de bois d'œuvre. Mais pour pouvoir répondre clairement à cette question, il serait utile d'obtenir des chiffres d'exploitation ou de consommation actuels réels, à mettre en perspective avec nos possibilités théoriques calculées à partir d'une sylviculture supposée optimale.

Enfin, il pourrait être intéressant de se tourner vers les autres types de propriété. En effet la petite propriété (surface inférieure à 25 ha, voire inférieure à 10 ha), non gérée suivant un PSG, représente une surface deux fois plus importante que la forêt à PSG, en Alsace-Lorraine. Elle est globalement mal connue, ce qui constitue à la fois un grand intérêt et une difficulté sérieuse : rappelons que l'autorisation d'effectuer des mesures en forêts doit être systématiquement demandée au propriétaire, et que pour cette étude une partie des informations utilisées ont été obtenues à l'aide d'une base de données, la BdD Merlin, inexistante à l'échelle de la petite propriété. Nous pourrions cependant imaginer qu'à l'avenir la télé-détection soit intégrée à ce type de démarche, permettant des estimations à grande échelle.

Néanmoins pour la petite propriété comme pour la grande, il faut bien garder à l'esprit qu'il s'agit de propriété privée. Cela implique que la décision concrète d'exploiter une parcelle, et donc de mobiliser des volumes réels de bois, appartient en définitive au propriétaire ; ce dernier peut être influencé par des critères économiques et psychologiques bien plus que par des critères techniques. Les volumes potentiellement mobilisables estimés au cours de cette étude ne sont donc que potentiels : ce sont l'évolution du marché du bois, autant que les orientations en matière de politique forestière, qui ont la capacité d'impacter la mobilisation réelle du capital forestier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGRESTE. 2011 – Agreste Infos rapides, Bois et dérivés – Avril 2011, n°1/2

Document consultable sur internet :

< http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_bois1104note.pdf >

AGRESTE LORRAINE. 2011 – *La récolte forestière lorraine commercialisée en 2009*. – Metz :

DRAF Lorraine – 4 p.

Document consultable sur internet :

< http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_R4111A08.pdf >

BACHELET (Fabien). 2004 – *Typologie des Peuplements forestiers feuillus des Plateaux calcaires*. –

Le Ban Saint Martin : CRPF Lorraine-Alsace – 50 p.

BACHELET (Fabien). 2002 – *Typologie des Peuplements forestiers feuillus du Plateau lorrain*. – Le

Ban Saint Martin : CRPF Lorraine-Alsace – 48 p.

BARRY-LENGER (Anne), NEBOUT (Jean-Paul). 1993 – *Les chênes pédonculé et sessile en France et en Belgique*. – Liège : Éditions du Perron – 604 p.

CEMAGREF. 2009 – Évaluation des volumes de bois mobilisables à partir des données IFN

« nouvelle méthode » – Nogent-sur-Vernisson : CEMAGREF – 62 p.

CRPF LORRAINE-ALSACE, GROUPEMENT DES SYLVICULTEURS ASBL, SOCIÉTÉ

ROYALE FORESTIÈRE DE BELGIQUE. 2008 – *Gérer sa forêt en futaie irrégulière*. – Bruxelles :

Société Royale Forestière de Belgique – 47 p.

CRPF LORRAINE-ALSACE. 2006a – *Schéma régional de gestion sylvicole d'Alsace*. – Le Ban Saint

Martin : Centre régional de la propriété forestière Lorraine-Alsace – 184 p.

CRPF LORRAINE-ALSACE. 2006b – *Schéma régional de gestion sylvicole de Lorraine*. – Le Ban

Saint Martin : Centre régional de la propriété forestière Lorraine-Alsace – 210 p.

DRAF LORRAINE – *Observatoire du prix des bois en Lorraine (mise à jour juin 2011)*. – lien URL :

< http://draaf.lorraine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/prix_bois_faconnes_maj_30_juin_2011_cle02be79.pdf >

[consulté le 12/07/2011]

DES ROBERT (Marc). 2009 – *Mise au point d'une méthodologie en vue d'estimer le niveau de capitalisation des forêts dotées d'un plan simple de gestion en Lorraine Alsace*. – Nancy :

Agroparistech ENGREF – 115 pages (Mémoire de fin d'études de la formation des ingénieurs forestiers)

IDF. 2002 – *Le hêtre autrement*. – Limoges : Institut pour le développement forestier – 263 p.

IFN, site internet – Onglet « Tableaux et résultats », rubrique « Tableaux personnalisés » - lien URL :

< <http://www.ifn.fr/spip/?rubrique18> >

[consulté le 04 et 05/05/2011]

IFN, FCBA, SOLAGRO. 2009 – Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020. – Angers : ADEME – 105 p.

PUECH (Jean). 2009 – *Mise en valeur de la forêt française et développement de la filière bois.* – Paris : Conseil général de l'Agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux – 75 p.

RONDEUX (Jacques). – 1999 – *La mesure des arbres et des peuplements forestiers.* – Gembloux : les Presses agronomiques de Gembloux – 521 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Extrait de la base de données Merlin	61
Annexe 2 : Les catégories employées pour l'échantillonnage stratifié et leurs critères de stratification	62
Annexe 3 : Caractéristiques générales des unités de peuplement mesurées.....	63
Annexe 4 : Caractérisation de la zone d'étude et de l'échantillonnage, par catégorie de peuplement..	65
Annexe 5 : Résultat des contrôles de mesure de surface terrière sur le terrain	66
Annexe 6 : Fiche de mesure de terrain et notice explicative	67
Annexe 7 : Fiche de terrain de détermination des qualités de grume, Chêne et Hêtre	69
Annexe 8 : Extraits de la fiche de classement des perches et petits bois d'avenir (tirés de Bachelet, 2004).....	70
Annexe 9 : Clé d'identification des types de peuplements selon les typologies de peuplement des Plateaux Calcaires (en haut ; Bachelet, 2004) et du Plateau Lorrain (en bas ; Bachelet, 2002).....	71
Annexe 10 : Six exemples concrets d'application du programme de modélisation de récolte	72
Annexe 11 : Surface de peuplement clair, capital actuel et capital récoltable par catégorie de peuplement	73
Annexe 12 : Coefficients de hauteur de forme moyens, adaptés des typologies de peuplement des Plateaux Calcaires (en haut ; Bachelet, 2004) et du Plateau Lorrain (en bas ; Bachelet, 2002).....	74
Annexe 13 : Caractérisation de la zone d'étude en termes de structure et composition en essence ; données en surface et en proportions.....	74
Annexe 14 : Estimation du capital potentiellement mobilisable sur la période 2011-2020, détaillée en essences et en grosseur, en volume et en proportions, pour les hypothèses basse, moyenne et haute ..	75
Annexe 15 : Volumes potentiellement mobilisables (Récolte) et non mobilisable (Surplus) pour les périodes 2011-2020, 2021-2030 et 2031-2040, dans le cas alternatif de la prise en compte des dates de prochaine coupe (R-T) : (R-T) = 5 ans pour toutes les unités	76
Annexe 16 : Analyses de variance (ANOVA) comparant les ΔG moyens pour l'essence objectif (modalité 'Hêtre'/'Chêne') et pour les types de peuplement (modalité 'Futaie'/'MTF')	77

Annexe 1 : Extrait de la base de données Merlin

N°Unité	Propriétaire	Nom	Prénom	Adr1	Adr2	Code postal	Ville	Pays	Nom Forêt
54C10	R*** (Ind.)	R*** (Ind.)		***	***	54***	***	France	Forêt de la ***
55C35	M. R***	R***	J***	***		78***	***	France	Forêt de ***
55H10	B*** (Ind.)	B*** (Ind.)		***	***	55***	***	France	Bois du ***
57C25	G.F. du ***	G.F. du ***		***	***	57***	***	France	Bois du ***
57C31	M. R***	R***	K***	***				Allemagne	Bois de ***
57C34	M. P***	P***	R***	***		57***	***	France	Bois de ***
68H01	M. D***	D***	J***	***		59***	***	France	Forêt de ***
88C21	T*** (Sté)	T*** (Sté)		***	***	54***	***	France	Bois de la ***
88H56	G.F. du ***	G.F. du ***		***	***	88***	***	France	Forêt du ***

N°Unité	Région IFN	Commune principale	Code postal	Département	Surface de la forêt	Date début PSG	Date expiration PSG
54C10	Plateau de Haye	Bulligny	54113	54	39,54	19/9/08	19/9/28
55C35	Champagne humide	Mogneville	55340	55	532,3	24/3/06	24/3/21
55H10	Côtes et coll. de Meuse	St Mihiel	55463	55	115,01	6/6/08	6/6/23
57C25	Plateau Lorrain	Chesny	57140	57	52,49	14/3/03	14/3/13
57C31	Plateau Lorrain	Orny	57527	57	76,27	25/3/02	25/3/17
57C34	Plateau Lorrain	Pange	57533	57	297,2	13/9/99	13/9/14
68H01	Plateau de Haye	Oderen	68247	68	28,76	19/9/08	14/3/28
88C21	Vôge	Hautmougey	88240	88	23,97	24/3/06	24/3/16
88H56	Côtes et coll. de Meuse	Coussey	88118	88	75,84	16/3/07	16/3/18

N°Unité	Référence	Génération PSG	Type de rédacteur	Type peuplement	Surface Peuplem ^t	Essence Principale
54C10	54.2008.***	3	Technicien indépendant	Mélange taillis-futaie pauvre	11,05	Chêne-Feuillus
55C35	55.2006.***	4	Expert indépendant agréé	Mélange taillis-futaie riche	29,53	Chêne-Hêtre
55H10	55.2008.***	3	Administration et assimilés	Mélange taillis-futaie moyen	51,87	Hêtre
57C25	57.2002.***	3	Expert indépendant agréé	Futaie régulière	41,51	Chêne
57C31	57.2002.***	3	Groupement coopérative	Mélange taillis-futaie moyen	60,94	Chêne
57C34	57.99.***	2	Groupement coopérative	Futaie régulière	20,5	Chêne
68H01	68.2008.***	2	Groupement coopérative	Jeune futaie régulière	6,9	Hêtre-Sapin
88C21	88.2006.***	1	Propriétaire	Mélange taillis-futaie riche	4,02	Chêne-Hêtre
88H56	88.2007.***	3	Groupement coopérative	Mélange taillis-futaie pauvre	5,84	Hêtre-Frêne

Les renseignements personnels concernant les propriétaires ou leur forêt ont été remplacés par des ‘***’

Annexe 2 : Les catégories employées pour l'échantillonnage stratifié et leurs critères de stratification

Surface du PSG < 150 ha	Surface du peuplement : 3 à 30 ha	Futaie régulière	1	Surface du PSG > 150 ha	Surface du peuplement : 3 à 30 ha	Futaie régulière	25
		Jeune futaie	2			Jeune futaie	26
		Vieille futaie	3			Vieille futaie	27
		Futaie claire	4			Futaie claire	28
		Futaie irrégulière	5			Futaie irrégulière	29
		Mélange taillis-futaie pauvre	6			Mélange taillis-futaie pauvre	30
		Mélange taillis-futaie moyen	7			Mélange taillis-futaie moyen	31
		Mélange taillis-futaie riche	8			Mélange taillis-futaie riche	32
	Surface du peuplement : 30 à 100 ha	Futaie régulière	9		Surface du peuplement : 30 à 100 ha	Futaie régulière	33
		Jeune futaie	10			Jeune futaie	34
		Vieille futaie	11			Vieille futaie	35
		Futaie claire	12			Futaie claire	36
		Futaie irrégulière	13			Futaie irrégulière	37
		Mélange taillis-futaie pauvre	14			Mélange taillis-futaie pauvre	38
		Mélange taillis-futaie moyen	15			Mélange taillis-futaie moyen	39
		Mélange taillis-futaie riche	16			Mélange taillis-futaie riche	40
	Surface du peuplement : > 100 ha	Futaie régulière	17		Surface du peuplement : > 100 ha	Futaie régulière	41
		Jeune futaie	18			Jeune futaie	42
		Vieille futaie	19			Vieille futaie	43
		Futaie claire	20			Futaie claire	44
		Futaie irrégulière	21			Futaie irrégulière	45
		Mélange taillis-futaie pauvre	22			Mélange taillis-futaie pauvre	46
		Mélange taillis-futaie moyen	23			Mélange taillis-futaie moyen	47
		Mélange taillis-futaie riche	24			Mélange taillis-futaie riche	48

* Les catégories grisées n'existent pas en Alsace-Lorraine pour les peuplements considérés

Annexe 3 : Caractéristiques générales des unités de peuplement mesurées

N° Unité	Nb placettes théorique	Nb placettes G>7m²/ha	Gtotal (m²/ha)	Écart type de Gtotal	Coefficient de variation	Erreur relative
54C01	20	20	16,7	2,8	17,0%	8,0%
54C07	20	20	15,6	3,6	23,2%	10,8%
54C10	20	17	17,3	6,9	39,7%	20,4%
54C20	20	20	13,0	3,0	23,1%	10,8%
54C23	20	20	16,7	4,0	24,2%	11,3%
54C26	20	20	35,1	7,5	21,3%	10,0%
54C30	20	19	13,4	2,5	18,5%	8,9%
54C32	20	20	10,2	3,2	31,8%	14,9%
54C37	20	17	18,6	5,6	30,2%	15,5%
54C38	20	13	17,3	5,0	29,0%	17,5%
54H01	18	15	18,4	3,6	19,8%	11,0%
54H02	20	15	31,3	6,3	20,0%	11,1%
54H03	20	15	12,1	3,3	27,1%	15,0%
54H08	20	19	26,5	7,5	28,5%	13,7%
54H55	20	16	18,3	6,8	37,0%	19,7%
55C14	19	18	18,1	4,8	26,2%	13,0%
55C15	17	17	11,5	3,6	31,3%	16,1%
55C16	20	19	14,2	3,6	25,4%	12,3%
55C22	18	18	14,9	2,5	16,6%	8,3%
55C28	20	20	14,6	2,7	18,5%	8,6%
55C35	20	18	10,7	1,8	17,0%	8,5%
55C42	20	20	14,5	3,4	23,5%	11,0%
55C53	20	19	7,6	3,0	39,8%	19,2%
55H01	20	18	19,4	3,1	16,2%	8,1%
55H02	20	20	10,1	2,9	28,6%	13,4%
55H03	13	13	12,4	3,6	29,0%	17,5%
55H05	20	20	8,2	2,7	33,5%	15,7%
55H06	20	19	15,6	3,0	19,0%	9,2%
55H07	18	18	20,6	3,1	15,0%	7,5%
55H08	20	20	13,6	5,1	37,7%	17,7%
55H09	20	18	13,3	5,2	38,9%	19,3%
55H10	20	19	5,6	2,6	45,9%	22,1%
55H11	20	19	7,8	2,5	31,6%	15,2%
55H53	20	14	8,2	3,0	36,3%	20,9%
55H58	20	20	20,2	3,6	17,6%	8,2%
55H59	20	18	16,4	3,4	21,0%	10,5%
55H62	20	20	10,1	3,9	38,8%	18,2%
57C02	20	20	21,4	4,9	23,0%	10,7%
57C05	17	14	18,5	2,4	13,0%	7,5%
57C08	15	12	19,6	2,4	12,3%	7,8%
57C18	20	16	17,8	4,1	23,0%	12,3%
57C19	20	20	18,0	5,1	28,4%	13,3%
57C25	20	19	16,9	2,5	14,6%	7,0%
57C27	20	14	16,7	3,3	20,0%	11,6%
57C29	20	20	23,1	4,8	20,9%	9,8%
57C31	20	20	18,3	5,5	29,9%	14,0%
57C33	20	20	17,8	3,3	18,7%	8,8%
57C34	20	20	19,3	4,3	22,3%	10,4%
57C36	20	20	23,7	7,8	32,8%	15,3%
57C41	20	17	24,0	4,4	18,5%	9,5%
57C51	20	20	16,9	2,9	17,2%	8,0%
57H01	20	18	16,4	2,7	16,6%	8,3%
57H02	20	20	22,3	4,9	22,1%	10,3%
57H03	20	20	17,5	4,5	26,0%	12,2%
57H53	20	20	19,0	2,8	14,6%	6,8%
57H55	20	20	20,7	3,2	15,4%	7,2%
57H56	20	20	19,2	4,2	22,1%	10,3%

N° Unité	Nb placettes théorique	Nb placettes G>7m²/ha	Gtotal (m²/ha)	Écart type de Gtotal	Coefficient de variation	Erreur relative
67C06	20	19	26,2	6,7	25,7%	12,4%
67C52	20	15	23,8	8,2	34,7%	19,2%
67H01	20	18	25,9	8,7	33,7%	16,7%
67H02	13	12	29,5	6,2	21,1%	13,4%
67H51	17	16	33,4	8,8	26,4%	14,1%
67H52	14	7	28,6	5,8	20,2%	18,7%
68H01	16	15	32,6	6,4	19,7%	10,9%
68H03	20	20	14,7	6,1	41,3%	19,3%
68H04	20	20	20,3	6,4	31,7%	14,8%
88C04	17	16	17,9	4,5	24,9%	13,3%
88C09	20	19	14,7	3,2	21,5%	10,4%
88C13	20	18	16,7	4,2	25,2%	12,5%
88C17	20	20	16,7	3,1	18,4%	8,6%
88C21	12	12	17,6	3,3	18,5%	11,8%
88C39	20	19	19,1	2,9	15,3%	7,4%
88C50	20	20	17,5	3,3	18,6%	8,7%
88H01	20	19	25,6	4,6	18,0%	8,7%
88H03	20	20	8,8	3,7	41,6%	19,5%
88H09	20	20	17,0	4,0	23,4%	11,0%
88H10	20	20	25,2	5,8	23,0%	10,8%
88H11	20	20	23,4	6,7	28,8%	13,5%
88H12	20	20	15,9	2,7	16,8%	7,9%
88H54	20	19	17,0	4,2	24,6%	11,8%
88H56	16	13	11,4	4,4	38,3%	23,2%
88H58	20	20	23,2	5,8	25,2%	11,8%
Moyenne	Nb théorique	Plac. G>7	Gtotal	Écart type	C.V.	E.R.
Toutes unités	19,3	18,0	18,0	4,3	25,0%	12,6%
77 unités	19,4	18,3	18,3	4,3	24,2%	12,0%

* Les unités grisées ne sont pas conservées pour la suite des calculs

Annexe 4 : Caractérisation de la zone d'étude et de l'échantillonnage, par catégorie de peuplement

Catégorie	Échantillon		Base de Données		% de surface mesuré**	Écart des proportions***
	Surface totale (ha)	Part dans l'échantillon*	Surface totale (ha)	Part dans la zone d'étude*		
1	98,10	5,3%	2742,65	6,5%	3,58%	1,19%
2	6,90	0,4%	740,06	1,8%	0,93%	1,38%
3	28,46	1,5%	621,95	1,5%	4,58%	-0,07%
4	32,60	1,8%	560,25	1,3%	5,82%	-0,44%
5	33,46	1,8%	769,54	1,8%	4,35%	0,01%
6	129,41	7,0%	2186,23	5,2%	5,92%	-1,82%
7	159,87	8,6%	3181,09	7,5%	5,03%	-1,11%
8	33,54	1,8%	1490,36	3,5%	2,25%	1,72%
9	223,87	12,1%	2091,18	5,0%	10,71%	-7,15%
10	45,82	2,5%	486,61	1,2%	9,42%	-1,32%
11			215,76	0,5%		0,51%
12			239,65	0,6%		0,57%
13	69,15	3,7%	957,50	2,3%	7,22%	-1,47%
14	40,44	2,2%	1191,96	2,8%	3,39%	0,64%
15	218,98	11,8%	4166,18	9,9%	5,26%	-1,97%
16	72,91	3,9%	1241,57	2,9%	5,87%	-1,00%
17			116,32	0,3%		0,28%
18			122,92	0,3%		0,29%
20			105,00	0,2%		0,25%
23			102,40	0,2%		0,24%
24			116,46	0,3%		0,28%
25	47,12	2,5%	459,91	1,1%	10,25%	-1,46%
26			329,47	0,8%		0,78%
27			112,13	0,3%		0,27%
28			132,10	0,3%		0,31%
29			117,73	0,3%		0,28%
30			199,20	0,5%		0,47%
31			212,45	0,5%		0,50%
32	29,53	1,6%	235,49	0,6%	12,54%	-1,04%
33	49,25	2,7%	1800,59	4,3%	2,74%	1,60%
34			471,37	1,1%		1,12%
35			646,21	1,5%		1,53%
36			194,69	0,5%		0,46%
37			799,54	1,9%		1,89%
38	26,15	1,4%	802,59	1,9%	3,26%	0,49%
39	25,82	1,4%	1480,02	3,5%	1,74%	2,11%
40	32,82	1,8%	932,57	2,2%	3,52%	0,43%
41	98,40	5,3%	2579,26	6,1%	3,82%	0,79%
42			120,90	0,3%		0,29%
43	95,40	5,2%	1514,15	3,6%	6,30%	-1,57%
44			260,83	0,6%		0,62%
45	54,43	2,9%	1371,25	3,2%	3,97%	0,31%
46	80,80	4,4%	834,73	2,0%	9,68%	-2,39%
47	116,92	6,3%	2084,18	4,9%	5,61%	-1,38%
48			1088,87	2,6%		2,58%

*Part dans l'espace considéré : (surface de la catégorie) / (surface de l'espace considéré)

**Pourcentage de surface mesurée : (surface échantillonnée) / (surface totale dans la base de données)

***Écart des proportions : (part de l'échantillon) - (part dans la zone d'étude)

- % de surface mesurée :
pour une même catégorie, $100 \times (\text{Surface totale de l'échantillon}) / (\text{Surface totale dans la zone d'étude})$
- Écart des proportions :
pour une même catégorie, $(\text{Part dans la zone d'étude}) - (\text{Part dans l'échantillon})$

Annexe 5 : Résultat des contrôles de mesure de surface terrière sur le terrain

Protocole :

Sur une placette de mesure, le capital est estimé par tour d'horizon relascopique ($G_{\text{mesuré}}$). Ensuite, nous relevons pour chaque arbre des alentours son diamètre précis (noté D , en mètres) et sa distance au centre de la placette relascopique (noté L , en mètres). Pour un arbre donné, si $50 \times D \geq L$, alors l'arbre est réellement inclus dans la placette de mesure (remplacer 50 par $50/\sqrt{2}$ pour le facteur 2). Il est ainsi possible de comptabiliser les arbres réellement inclus dans la placette et donc de calculer la surface terrière moyenne locale ($G_{\text{réel}}$). La différence entre $G_{\text{réel}}$ et $G_{\text{mesuré}}$ nous permet d'évaluer l'erreur de mesure due à l'observateur.

Unité	G réel	G mesuré	Différence
54C26	36	38	-2
54C30	17,5	16	1,5
54C30	21	18	3
54C30	21	15	6
54C38	10,5	13	-2,5
54H01	21,5	14	7,5
54H01	21,5	16	5,5
54H02	15	32	-17
54H08	16	24	-8
55C14	18	26	-8
55C14	18	22	-4
55C14	22	22	0
55C14	22	20	2
55H09	17,5	11	6,5
55H09	17,5	10,5	7
55H09	21	18	3
57C02	26,5	23,5	3
57C02	34,5	26,5	8

Unité	G réel	G mesuré	Différence
57C02	34,5	24	10,5
57C19	22	29,5	-7,5
57C19	23	21	2
57C19	23	20	3
57C31	20	15	5
57C31	20	18	2
57C31	20	17,5	2,5
57C31	20	20	0
57C31	20	18	2
57C31	20	21	-1
57C31	22	26	-4
57C31	22	24	-2
57C31	22	24	-2
57C31	22	21	1
57C31	22	24	-2
88C09	13	15,5	-2,5
88C12	18	18	0

Moyenne des différences : $x = 0,5286 \text{ m}^2/\text{ha}$

Test t de comparaison des moyennes :

Soient μ la moyenne des écarts de $G_{\text{mesuré}}$ à $G_{\text{réel}}$ et x l'estimateur sans biais de μ .

Nous posons l'hypothèse nulle $H_0 : \mu = \mu_0 = 0$.

L'hypothèse alternative est $H_1 : \mu \neq \mu_0$ (alternative bilatérale)

Nous calculons les critères t_{obs} et $t_{\text{théo}}$ tels que :

$$t_{\text{obs}} = \frac{x - \mu_0}{\sqrt{\sigma^2/n}} \quad t_{\text{théo}} = t(n-1 ; 1-\alpha/2)$$

avec : n le nombre de mesures (ici 35), σ^2 la variance des mesures de l'échantillon, α le risque de première espèce (ici fixé à 5 %) et $t(\dots ; \dots)$ le quantile de Student correspondant aux paramètres précisés

Nous rejetons l'hypothèse H_0 avec un risque d'erreur α si $|t_{\text{obs}}| \geq t_{\text{théo}}$.

Dans notre cas : $t_{\text{obs}} = 0,58$; $t_{\text{théo}} = 2,35$

Nous conservons donc l'hypothèse H_0 : l'erreur de mesure constatée lors du tour d'horizon relascopique est nulle en moyenne.

Annexe 6 : Fiche de mesure de terrain et notice explicative

Fiche de mesure de capital sur pied

Pente (%)	Hg (m)	Fertilité ¹	Fact. relascopique ²	Etat sanitaire ³

Code unité :	Code placette :
Observateur :	Date :
N°PSG :	N°parcelle :

Pente	Accessibilité bonne	Accessibilité moyenne	Accessibilité mauvaise
> 30 %	< 40m en aval ou/et < 80m en amont	40-60m en aval ou/et 80-120m en amont	> 60 m en aval et > 120 m en amont
< 30 %	< 300m	entre 300 m et 500 m	> 500 m

Essences G/ha PB-BM-GB						
G (m²/ha)	CHE	HET	CHA	FRE	F.P	DIV
PB						
BM						
GB						
Total						

G sous-étage ⁴

Souches ⁵			
Récentes	Moyen ¹ récentes	Vieilles	Absentes

Qualité ⁶				
Essence	Diamètre (cm)	H _{A+B}	H _{C+}	H _{C-}
1 :				
2 :				

Nombre Perches et PB d'avenir sur 15 m de rayon	
CHE-HET	
CHA	
FRE	
F.P	
DIV	
Total	

Présomption mitraille ⁷

Remarques :

1 - Fertilité : « à dire d'expert » (riche, moyen, pauvre)

2 – Facteur relascopique : utilisé pour la mesure

3 – Etat sanitaire : bon ou mauvais

4 – G sous-étage : facteur 1/2 classe de diamètre 10 et 15 cm (m²/ha)

5 – Souches : barrer les mentions inutiles (récentes : 0-5ans, moyen¹ : 5-10ans, vieilles : >10ans)

6 – Qualité : mesure des deux arbres de BM ou GB (uniquement chêne et/ou hêtre) les plus proches du centre de la placette

7 – Présomption mitraille : présence/absence (information du PSG) corriger si nécessaire

Notice de la Fiche de mesure de terrain

Pente (%) : Mesurer au clinomètre s'il y a de la pente, estimer à l'œil en plaine (mais à remplir systématiquement)

Hq (m) : Estimer à l'œil. On pourra s'aider des hauteurs des arbres mesurés pour la qualité.

Fertilité : Estimer à l'œil, en fonction des hauteurs dominantes mais aussi éventuellement en fonction de la connaissance du contexte local. 'Riche', 'Moyen' ou 'Pauvre'

État sanitaire : Estimé à l'œil, 'Bon' ou 'Mauvais'

Accessibilité : Croiser les paramètres de pente ($<$ ou $>$ 30%) et de distance à la route accessible aux grumiers la plus proche

Code unité : Noté en haut de la carte de terrain, du type « 54H01 »

Code placette : numéro identifiant chaque point de relevé, noté et localisé sur la carte de terrain

N° PSG : Noté en haut de la carte de terrain

Tableau « Essences G/ha PB-BM-GB » : À mesurer par un tour d'horizon relascopique, ne pas oublier d'indiquer le facteur utilisé. Il est conseillé de remplir les cases 'Total' sur place, notamment pour vérifier plus facilement les données lors de la saisie au bureau.

Ne pas oublier le $G_{\text{sous-étage}}$ à mesurer au facteur $\frac{1}{2}$, uniquement pour les tiges de classe 10 et 15 (non précomptable).

CHE=Chêne ; HET=Hêtre ; CHA=Charme ; FRE=Frêne ; FP=feuillus précieux, soit merisier, alisier blanc et torminal, érable plane et sycomore, cormier ; DIV=Divers, soit toute autre essence non encore citée (tous les résineux, bouleau, tremble, tilleuls, érable champêtre, ...)

Non-précomptable	PB (petit bois)	BM (bois moyen)	GB (gros bois)
$\varnothing < 17,5 \text{ cm}$	$17,5 \leq \varnothing < 27,5 \text{ cm}$	$27,5 \leq \varnothing < 47,5 \text{ cm}$	$\varnothing \geq 47,5 \text{ cm}$

Tableau « Nombre Perches et PB d'avenir » : se référer à la fiche de diagnostique des perches et petits bois d'avenir. Compter comme perche d'avenir les bois jugés élite, récupérable et douteux. À relever dans un rayon de 15 m. Il est conseillé de remplir la case 'Total' sur place, notamment pour vérifier plus facilement les données lors de la saisie au bureau.

Souches : Rayer les mentions inutiles. On ne notera qu'un seul âge. Si les souches sont d'âge différent, on ne considérera que les plus récentes pour tenir compte de la dernière coupe.

Tableau « Qualité » : On ne considère ici que les tiges de chêne et de hêtre. Choisir les arbres à mesurer en fonction de la surface terrière en GB par rapport à la surface terrière en BM+GB :

Si $GB / (BM+GB) < 1/3$, mesurer 2 BM ; si $1/3 \leq GB / (BM+GB) < 2/3$, mesurer 1 GB et 1 BM ; si $GB / (BM+GB) \geq 2/3$, mesurer 2 GB

Choisir ensuite les deux arbres de grosseur concernée les plus proches du centre de la placette, chêne ou hêtre indifféremment. S'il n'y en a aucun dans les environs (dans les limites de la placette relascopique), abandonner cette partie

La mesure de hauteur se fait en cumulé : un arbre de 22 m contient un billon A-B de 4 m et un billon de C- de 8 m, on notera : H_{A-B} : 4 m ; H_{C-} : 12 m ; H_T : 22 m (il s'agit de la hauteur totale, jusqu'au bourgeon terminal).

Annexe 7 : Fiche de terrain de détermination des qualités de grume, Chêne et Hêtre

Fiche qualité pour le Chêne et le Hêtre

Critère	Qualité A-B	Qualité C+	Qualité C-
Diamètre à 1,50m	≥ classe 40	≥ classe 35	≥ classe 30
Diamètre fin bout	classe 35	classe 25	classe 25
Longueur minimum	3 m	4,50 m	3 m
Courbure	< 3 cm/m sur 1 seul plan	< 2 cm/m (plusieurs plans de courbure acceptés)	< 10 cm/m (plusieurs plans de courbure acceptés)
Fibre torse	Toléré si légère	Accepté	Accepté
Gélivure	Refusé	Refusé	Accepté
Petits nœuds sains (D<3cm), broussins, gourmands	Toléré si espacés d'1 m	Accepté	Accepté
Gros nœuds sains (D>3cm)	Toléré si espacés de 2,20 m	Si espacés d'1 m	Accepté
Gros nœuds noirs (D>3cm), chicots	Refusé	Si espacés d'1 m	Accepté
Roses et picots	Toléré si espacés d'1 m	Accepté	Accepté
Maladie du T (hêtre uniquement)	Refusé	Refusé	Accepté

Annexe 8 : Extraits de la fiche de classement des perches et petits bois d'avenir (tirés de Bachelet, 2004)

Classement de la tige en fonction de nombre de défauts et de la proportion de houppier vert (Hv/Ht) :

Défauts de la bille de pied potentielle	% hauteur de Hv/Ht	Classement	Déclassement
Au moins 1 défaut rédhibitoire	ou Houppier dépérissant	NUL	
		NUL	
Pas de défaut rédhibitoire	> 30 %	RECUPERABLE	
3 défauts significatifs ou plus	25 à 30 %	DOUTEUX	
1 ou 2 défauts significatifs	< 25 %	NUL	
	> 30 %	ELITE	
pas de défaut significatif	25 à 30 %	RECUPERABLE	
	< 25 %	DOUTEUX	

Rétrograder d'une catégorie en présence d'un houppier déséquilibré ou étriqué

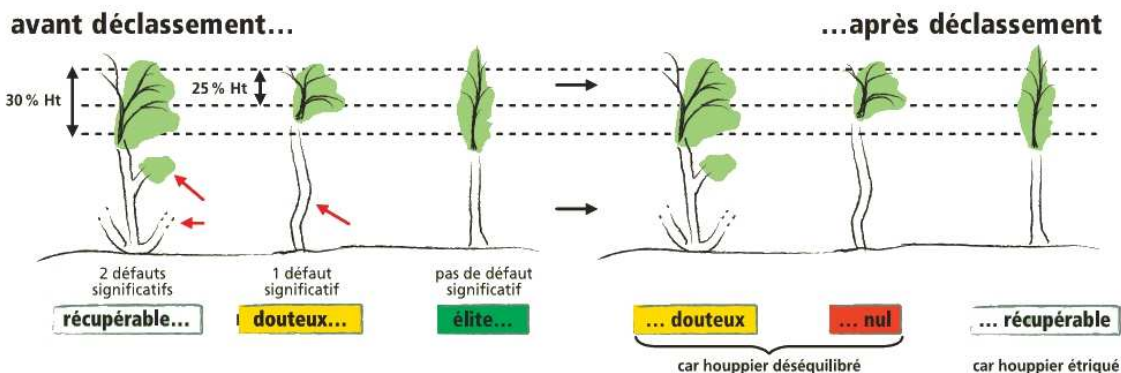
Définition des défauts rédhibitoires et significatifs :

Défauts rédhibitoires	Défauts significatifs
• sanitaires : chancre (quelle que soit sa hauteur), "T" du Hêtre, pourriture de la patte du Merisier • fourche sur la bille • forte inclinaison (> 22°) • courbure très marquée • blessure ✓ importante, ouverte ou mal cicatrisée (toutes essences) ✓ moyenne à importante (Hêtre, quelle que soit sa hauteur) • broussins et/ou gourmands > 30 cm de longueur : ✓ quelques-uns (Chênes) ✓ du pied au sommet (autres essences) • grosses branches du pied au sommet (diamètre > 5 cm) • autres défauts graves (gélivure > 1 m, fil tors > 5 cm/m, onde du Hêtre, ...)	• brin de cépée • fourche à plus de 6 m (Hêtre) • inclinaison (entre 11° et 22°) • courbure peu marquée • blessure peu marquée (toutes essences) • quelques broussins et/ou gourmands > 30 cm de longueur (sauf Chênes) • 1 à 3 grosses branches (diamètre > 5 cm)

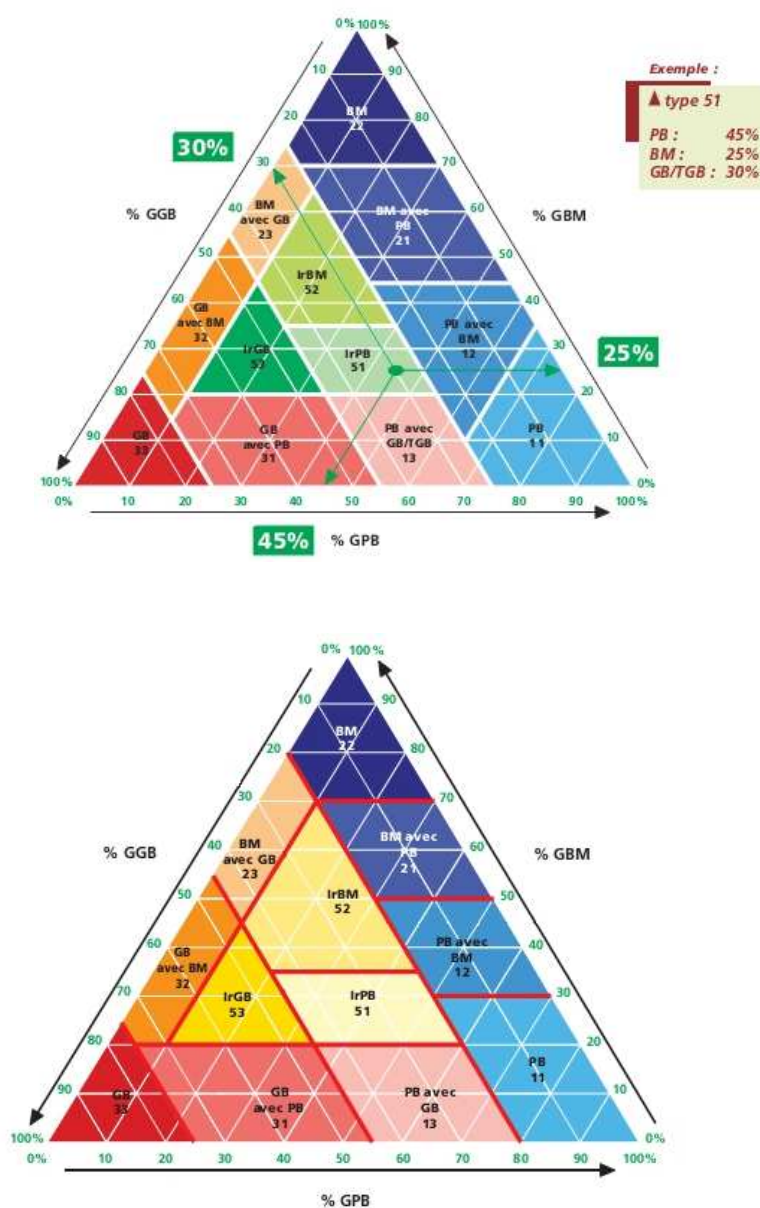
Prise en compte de la forme du houppier dans le déclassement des tiges d'avenir :



Exemples de prise en compte du déclassement dû à la forme étriquée ou déséquilibrée du houppier



Annexe 9 : Clé d'identification des types de peuplements selon les typologies de peuplement des Plateaux Calcaires (en haut ; Bachelet, 2004) et du Plateau Lorrain (en bas ; Bachelet, 2002)



Annexe 10 : Six exemples concrets d'application du programme de modélisation de récolte

Unité avant coupe							Traitement : F. I.						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV							
PB	2	2	2				$G_{Ref}(0) : 19$ $G_{Mes}(R) : 38$						
BM	19	1											
GB	11	1											
Unité après coupe							Prélèvement						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV		CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB	2	2	2				PB						
BM	13	0,7					BM	5,9	0,3				
GB	6,3	0,6					GB	4,7	0,4				

Unité avant coupe							Traitement : F. I.						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV							
PB	2	1	1				$G_{Ref}(0) : 15$ $G_{Mes}(R) : 18$						
BM	3	1	2	2	1								
GB	2	2				1							
Unité après coupe							Prélèvement						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV		CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB	2	1	1				PB						
BM	2,4	0,8	1,6	1	0,8		BM	0,6	0,2	0,4	0	0,2	
GB	1,5	1,5				0,7	GB	0,5	0,5				0,3

Unité avant coupe							Traitement : FR - Amélio						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV							
PB	5	5				1	$G_{Ref}(0) : 17$ $G_{Mes}(R) : 25$						
BM	7	6											
GB		1											
Unité après coupe							Prélèvement						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV		CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB	4,1	4,1				1	PB	0,9	0,9				
BM	4	3,4					BM	3	2,6				
GB							GB		1				

Unité avant coupe							Traitement : FR - Amélio						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV							
PB		16	2		2		$G_{Ref}(0) : 16$ $G_{Mes}(R) : 23$						
BM	2		1										
GB													
Unité après coupe							Prélèvement						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV		CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB		10	2		2		PB			6			
BM	2						BM			1			
GB							GB						

Unité avant coupe							Traitement : FR - Régé						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Ensemencement						
PB			16				$G_{Ref}(0) : 17$ $G_{Mes}(R) : 42$						
BM	2	4			4								
GB	10				6								
Unité après coupe							Prélèvement						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV		CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB		5					PB		11				
BM	2						BM		4		4		
GB	10						GB				6		

Unité avant coupe							Traitement : FR - Régé						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Secondaire						
PB					1	1,4	$G_{Ref}(0) : 6$ $G_{Mes}(R) : 19$						
BM	1,4	2,7				2,8							
GB	1,2	4,1			1	2,8							
Unité après coupe							Prélèvement						
	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV		CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB					1		PB					1,4	
BM	0,7	1					BM		0,6	1,7		2,8	
GB	2,9						GB	1,2	1,2		1	2,8	

Annexe 11 : Surface de peuplement clair, capital actuel et capital récoltable par catégorie de peuplement

Catégorie*	Surface totale hors peuplement clair (G>7m²/ha)	Surface de peuplement clair (G<7m²/ha)	Proportion de peuplement clair	Capital actuel G (m²/ha)	Capital actuel V (m³/ha)	Accroissement moyen (m²/ha/an)	G (m²/ha/an) potentiellement mobilisable***	V (m³/ha/an) potentiellement mobilisable***
1	2650	93	3,4%	23,5	234	0,597	5,4	56,5
2	1070	0	0%	32,6	301	0,659	10,1	96,2
3	876	74	7,8%	17,3	184	0,627	4,7	51,3
4	1493	0	0%	21,1	207	0,598	4,2	41,8
5	690	198	22,3%	20,9	205	0,607	6,5	64,0
6	2049	336	14,1%	15,1	148	0,525	0,4	4,3
7	3318	75	2,2%	16,9	167	0,501	2,2	24,3
8	1268	222	14,9%	14,1	149	0,436	1,4	16,8
9	1952	139	6,6%	20,9	209	0,570	4,1	43,3
10	1202	0	0%	18,3	180	0,636	4,2	42,5
13	1757	0	0%	18,6	195	0,628	1,4	16,0
14	1192	0	0%	14,6	144	0,505	0	0
15	3940	226	5,4%	15,5	152	0,520	1,0	10,0
16	1358	0	0%	20,9	207	0,504	4,8	50,2
25	382	78	16,9%	15,1	147	0,541	3,2	29,6
32	235	0	0%	10,7	110	0,413	0	0
33	1801	0	0%	23,7	257	0,618	4,8	49,1
38	762	40	5,0%	18,6	195	0,578	4,1	45,4
39	1110	370	25,0%	17,3	142	0,621	2,8	22,0
40	2021	0	0%	19,1	188	0,505	2,3	21,8
41	2696	0	0%	24,3	235	0,649	7,7	79,5
43	2160	0	0%	19,5	189	0,618	3,1	29,8
45	1234	137	10,0%	22,0	206	0,662	5,1	50,2
46	835	0	0%	24,0	242	0,409	4,7	47,4
47	1786	401	18,3%	12,2	125	0,497	2,0	23,1
Moyenne**	Sans objet	Sans objet	5,1%	19,2	190	0,564	3,5	35,4
Somme	39836	2390	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet

* Seules les catégories échantillonnées sont représentées. Les catégories non échantillonnées sont regroupées avec leur catégorie la plus semblable

** Moyenne pondérée par les surfaces réelles (1^{ère} colonne)

*** Valeur pour l'hypothèse moyenne, pour la période 2011-2020

Annexe 12 : Coefficients de hauteur de forme moyens, adaptés des typologies de peuplement des Plateaux Calcaires (en haut ; Bachelet, 2004) et du Plateau Lorrain (en bas ; Bachelet, 2002)

Plateaux Calcaires

	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB	6,67	7,36	7,31	8,38	7,74	8,03
BM	10,26	9,22	10,02	11,02	9,66	10,19
GB	13,45	12,51	11,80	13,42	10,49	12,03

Plateau Lorrain

	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV
PB	7,01	8,04	7,17	9,05	10,59	8,54
BM	10,04	10,55	9,29	11,48	9,53	9,81
GB	12,50	12,55	12,75	11,84	9,05	10,18

Par exemple, pour un peuplement en Plateau Lorrain composé de 9 m²/ha de bois moyen de chêne et de 5 m²/ha de petit bois de charme, le volume à l'hectare (volume bois fort total) vaut : $9 \times 10,4 + 5 \times 7,17 = 130 \text{ m}^3/\text{ha}$

Annexe 13 : Caractérisation de la zone d'étude en termes de structure et composition en essence ; données en surface et en proportions

Superficie (ha)	CHE Pur	CHE Dom.	HET Pur	HET Dom.	CHA Pur	CHA Dom.	MEL	Total
Croiss. Active	1 938	2 659	3 661	2 518	573	2 413	5 820	19 584
Maturation	3 134	2 360	2 828	2 481	81	512	4 518	15 913
Mûr	652	509	452	172	14	110	842	2 749
Irrég.	27	350	177	391		29	616	1 590
Total	5 750	5 878	7 117	5 562	667	3 064	11 797	39 836

	CHE Pur	CHE Dom.	HET Pur	HET Dom.	CHA Pur	CHA Dom.	MEL	Total
Croiss. Active	4,9%	6,7%	9,2%	6,3%	1,4%	6,1%	14,6%	49,2%
Maturation	7,9%	5,9%	7,1%	6,2%	0,2%	1,3%	11,3%	39,9%
Mûr	1,6%	1,3%	1,1%	0,4%	0,0%	0,3%	2,1%	6,9%
Irrég.	0,1%	0,9%	0,4%	1,0%		0,1%	1,5%	4,0%
Total	14,4%	14,8%	17,9%	14,0%	1,7%	7,7%	29,6%	100%

MEL : peuplement mélangé ; Dom. : essence dominante, à plus de 50 % de surface terrière

Annexe 14 : Estimation du capital potentiellement mobilisable sur la période 2011-2020, détaillée en essences et en grosseur, en volume et en proportions, pour les hypothèses basse, moyenne et haute

Hypothèse basse

m^3	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Total
PB	9 352	33 318	26 039	5 953	303	6 842	81 808
BM	86 573	220 452	89 375	4 785	28 690	51 597	481 473
GB	95 037	128 201	1 520	5 709	12 520	58 683	301 670
Total	190 962	381 972	116 935	16 448	41 512	117 123	864 951

%	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Total
PB	1,1%	3,9%	3,0%	0,7%	0,0%	0,8%	9,5%
BM	10,0%	25,5%	10,3%	0,6%	3,3%	6,0%	55,7%
GB	11,0%	14,8%	0,2%	0,7%	1,4%	6,8%	34,9%
Total	22,1%	44,2%	13,5%	1,9%	4,8%	13,5%	100,0%

Hypothèse moyenne

m^3	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Total
PB	13 926	48 503	56 544	8 053	817	11 228	139 072
BM	151 158	306 403	128 480	16 139	42 474	78 824	723 479
GB	201 516	232 291	2 880	14 692	16 733	79 063	547 176
Total	366 601	587 197	187 904	38 884	60 024	169 116	1 409 726

%	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Total
PB	1,0%	3,4%	4,0%	0,6%	0,1%	0,8%	9,9%
BM	10,7%	21,7%	9,1%	1,1%	3,0%	5,6%	51,3%
GB	14,3%	16,5%	0,2%	1,0%	1,2%	5,6%	38,8%
Total	26,0%	41,7%	13,3%	2,8%	4,3%	12,0%	100,0%

Hypothèse haute

m^3	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Total
PB	20 432	58 688	95 797	13 153	1 585	22 473	212 128
BM	227 731	386 055	181 228	31 615	58 782	103 471	988 882
GB	283 168	312 574	3 544	26 839	21 249	88 642	736 016
Total	531 331	757 317	280 568	71 607	81 617	214 585	1 937 025

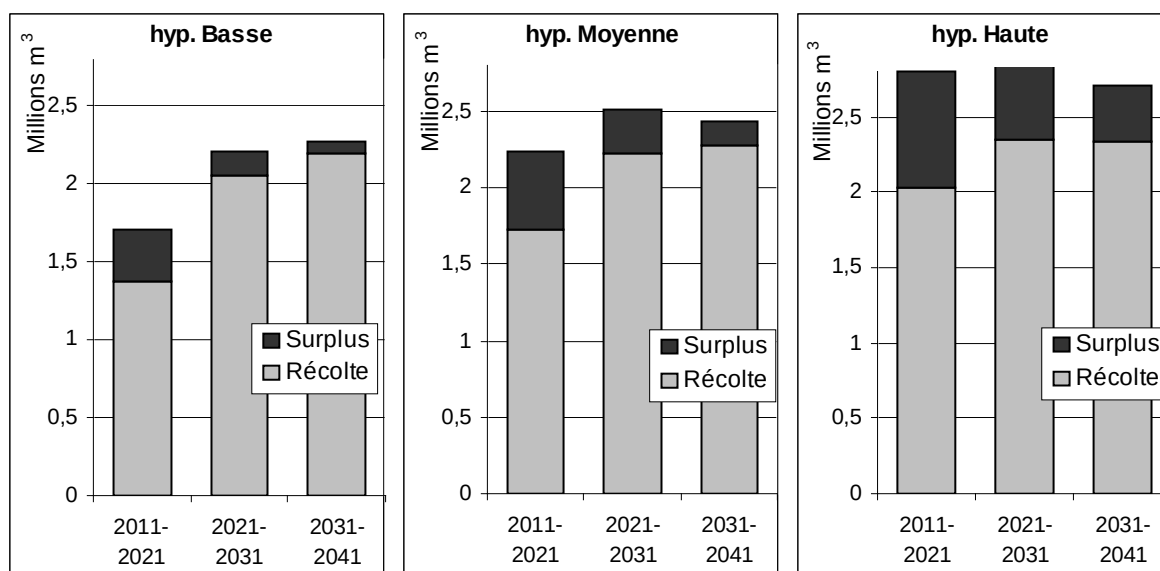
%	CHE	HET	CHA	FRE	FP	DIV	Total
PB	1,1%	3,0%	4,9%	0,7%	0,1%	1,2%	11,0%
BM	11,8%	19,9%	9,4%	1,6%	3,0%	5,3%	51,1%
GB	14,6%	16,1%	0,2%	1,4%	1,1%	4,6%	38,0%
Total	27,4%	39,1%	14,5%	3,7%	4,2%	11,1%	100,0%

Annexe 15 : Volumes potentiellement mobilisables (Récolte) et non mobilisable (Surplus) pour les périodes 2011-2020, 2021-2030 et 2031-2040, dans le cas alternatif de la prise en compte des dates de prochaine coupe (R-T) : (R-T) = 5 ans pour toutes les unités

2011-2020	hyp. Basse		hyp. Moyenne		hyp. Haute	
	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus
G (m²)	139 218	33 332	175 012	50 765	205 039	77 799
V (m³)	1 376 865	329 651	1 730 873	502 062	2 027 833	769 436

2021-2030	hyp. Basse		hyp. Moyenne		hyp. Haute	
	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus
G (m²)	207 357	16 293	224 708	29 103	237 747	52 412
V (m³)	2 050 758	161 142	2 222 363	287 832	2 351 318	518 353

2031-2040	hyp. Basse		hyp. Moyenne		hyp. Haute	
	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus	Récolte	Surplus
G (m²)	221 504	8 001	229 556	17 002	236 392	37 236
V (m³)	2 190 676	79 132	2 270 307	168 149	2 337 921	368 262



Annexe 16 : Analyses de variance (ANOVA) comparant les ΔG moyens pour l'essence objectif (modalité 'Hêtre'/'Chêne') et pour les types de peuplement (modalité 'Futaie'/'MTF')

Seul le cas de l'ANOVA pour les types de peuplement, dans le cadre de l'hypothèse moyenne sera détaillée. Les autres cas sont étudiés selon la même démarche et les résultats seront résumés en un tableau synthétique. Nous fixons pour tous les tests statistiques une erreur de première espèce α égale à 5 %.

Test : analyse de variance de ΔG selon le critère du type de peuplement

*** Analysis of Variance Model ***

Short Output:

Call:

```
aov(formula = dg.HM ~ Type.ppt, data = Compar.CHE.HET, weights = Poids,
     na.action = na.exclude)
```

Terms:

	Type.ppt	Residuals
Sum of Squares	758.4748	6.8152
Deg. of Freedom	1	75

Residual standard error: 0.3014444

Estimated effects may be unbalanced

	Df	Sum of Sq	Mean Sq	F Value	Pr(F)
Type.ppt	1	758.475	758.4748	18.43641	<u>0.00005191246</u>
Residuals	75	3085.503	41.1400		

Nous obtenons une p-value (ici notée Pr(F)) très inférieure à α . Nous pouvons supposer que les groupes 'Futaie' et 'MTF' présentent un ΔG significativement différent, avec un risque d'erreur de 5 %. Il reste maintenant à vérifier les hypothèses de l'ANOVA.

Test de Lévène : vérification de l'homoscédasticité (égalité des variances) des résidus des deux groupes.

*** Analysis of Variance Model ***

Short Output:

Call:

```
aov(formula = residuals.HM ~ Type.ppt, data = Compar.CHE.HET, weights = Poids,
     na.action = na.exclude)
```

Terms:

	Type.ppt	Residuals
Sum of Squares	0.000000	6.815153
Deg. of Freedom	1	75

Residual standard error: 0.3014444

Estimated effects may be unbalanced

	Df	Sum of Sq	Mean Sq	F Value	Pr(F)
Type.ppt	1	0.000	0.00000	1.917501e-032	<u>1</u>
Residuals	75	3085.503	41.14004		

Nous obtenons une p-value très supérieure à α . Nous en concluons que les résidus des deux groupes ont la même variance. Cela confirme aussi la linéarité du modèle de l'ANOVA.

Test du χ^2 : vérification de l'indépendance des résidus

Chi-square Goodness of Fit Test	
data: residuals.HM in Compar.CHE.HET	
Chi-square = 19.4675, df = 11, p-value = 0.0459	
alternative hypothesis:	
True cdf does not equal the normal Distn. for at least one sample point.	

Nous obtenons une p-value inférieure à α . Par conséquent, les résidus observés suivent une loi normale d'espérance nulle et sont donc indépendants.

Puisque nous avons vérifié les hypothèses de l'ANOVA (linéarité du modèle, homoscedasticité et indépendance des résidus), nous pouvons affirmer qu'il existe bien une différence significative de ΔG entre les peuplements de futaie et les mélanges de taillis et de futaie (MTF), avec un risque d'erreur de 5 %.

Ces tests sont appliqués pour les différentes hypothèses de calcul (basse, moyenne, haute) et pour les critères 'essence objectif' et 'type de peuplement'. Les résultats des différents tests sont présentés dans les tableaux suivants :

<i>Hêtre/Chêne</i>	Test ANOVA		Homoscédasticité		Indépendance	
	P-value	Résultat	P-value	Résultat	P-value	Résultat
hyp. Basse	0,2616	<i>Non significatif</i>	<i>Sans objet</i>		<i>Sans objet</i>	
hyp. Moyenne	0,3824	<i>Non significatif</i>	<i>Sans objet</i>		<i>Sans objet</i>	
hyp. Haute	0,6590	<i>Non significatif</i>	<i>Sans objet</i>		<i>Sans objet</i>	

<i>Futaie/MTF</i>	Test ANOVA		Homoscédasticité		Indépendance	
	P-value	Résultat	P-value	Résultat	P-value	Résultat
hyp. Basse	3,5E-05	<i>Significatif</i>	1	<i>Validé</i>	0,214	Non validé
hyp. Moyenne	5,2E-05	<i>Significatif</i>	1	<i>Validé</i>	0,0459	<i>Validé</i>
hyp. Haute	3,3E-04	<i>Significatif</i>	1	<i>Validé</i>	0,0492	<i>Validé</i>

Pour l'essence objectif, nous pouvons constater qu'aucune ANOVA n'est significative, quelle que soit l'hypothèse de calcul considérée.

Pour le type de peuplement, tous les tests sont significatifs mais pour l'hypothèse basse l'indépendance des résidus n'a pas pu être confirmée. Cependant, considérant les hypothèses basse et haute comme des extremums (donc des cas peu probables), nous nous intéressons plus particulièrement à l'hypothèse moyenne. Dans ce cas, toutes les vérifications sont valides et nous pouvons donc affirmer, avec un risque d'erreur de 5 %, que les ΔG moyens des peuplements de futaies et les MTF sont significativement différents.

Résumé

Dans le cadre d'un développement durable, la demande portant sur la ressource bois s'accroît. Cette étude vise à évaluer la capacité qu'ont les forêts privées feuillues d'Alsace et de Lorraine à répondre à cette demande. Seuls les peuplements à base de chêne ou de hêtre en forêt privée dotée d'un plan simple de gestion seront traités. La méthodologie appliquée devra être adaptée aux particularités de la forêt privée et prendra en compte la qualité des bois, un facteur primordial pour des feuillus tels que le hêtre ou le chêne.

Nous verrons que les peuplements considérés sont globalement sous-capitalisés et que les forêts pourront donc difficilement répondre à une augmentation de la demande en bois.