



*Service de l'Innovation et de l'Expérimentation
Coopérative Forestière
des Hautes-Laurentides*



**Ressources naturelles
Canada**
**Service canadien
des forêts**

**Natural Resources
Canada**
**Canadian Forest
Service**

ANALYSE DE LA PRODUCTION LIGNEUSE DE PEUPELEMENTS FEUILLUS 10 ET 15 ANS APRÈS COUPE DE JARDINAGE DANS LA RÉGION DES HAUTES-LAURENTIDES (QUÉBEC)

RAPPORT FINAL

Présenté à

Monsieur Ronald Brizard, ing.f.

Madame Lynne Brochu, ing.f.

Monsieur Sébastien Meunier, ing.f.

Direction de l'aménagement et des forêts publiques et privées

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Préparé par

Jesus Pascual, Ph.D.

Pascal Gauthier, ing.f.

Coopérative Forestière des Hautes-Laurentides

Et

Jean-Martin Lussier, ing.f., Ph.D.

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts

Mars 2009

REMERCIEMENT

Les renseignements contenus dans le présent document ont été obtenus grâce au financement fourni par le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune et la contribution de Ressources naturelles Canada. Nous tenons à remercier toutes les personnes et les organismes qui ont collaborés à la réalisation de ce projet.

RÉSUMÉ

Le présent rapport fait l'analyse de données dendrométriques récoltées dans des peuplements traités sur une base opérationnelle suivant le régime de jardinage en vigueur en forêt publique.

Depuis les débuts de l'application du régime de jardinage dans la région, la prescription sylvicole a évolué au cours du temps, suivant un processus d'amélioration continue et d'ajustement des pratiques. En 1993-94, la consigne était de récolter jusqu'à 35% de la surface terrière sans dépasser une surface terrière résiduelle minimale de 16 m²/ha, avec une certaine augmentation de la qualité du peuplement (exprimé par la proportion de tiges de catégorie I). Dans ce dernier cas, aucun seuil minimal d'amélioration n'était fixé. En 1997-98, les mêmes consignes concernant l'intensité de la récolte et la surface terrière s'appliquent. À cela s'ajoute l'obligation d'effectuer un prélèvement uniforme dans le peuplement, avec le maintien de la composition spécifique du peuplement, sauf pour le sapin baumier et le peuplier faux-tremble ayant atteint le diamètre à maturité, qui ont fait l'objet d'une récolte préférentielle. À la Coopérative forestière des Hautes Laurentides, les coupes de jardinage se sont effectuées d'abord par un système de récolte manuelle jusqu'en 1995, puis progressivement par des systèmes mécanisés, avec des abatteuses groupeuses. Dans les deux cas, la vidange des bois s'est faite avec une débusqueuse à câble.

En 2008, 139 placettes échantillons ont été remesurées dans des peuplements ayant subi une coupe de jardinage en 1993-94 et en 1997-98. Les parcelles échantillons sont des parcelles à rayon variable, établies au prisme avec un facteur relascope égal à deux, pour les tiges de plus de 9 cm de DHP. Les parcelles ont été mesurées à trois reprises : immédiatement avant et après l'intervention et en 2008 (10,5 ou 14,5 années plus tard, selon le groupe).

Avant intervention, les deux sous-groupes sont comparables quant à leur surface terrière et leur structure diamétrale. Le groupe 9798 présentait cependant une plus forte proportion de tiges feuillues de qualité supérieure (classes I, III et V) que le groupe 9394. La proportion de tiges vigoureuses (classes I, II et V) était comparable dans les deux groupes. La structure diamétrale, la composition en essences et le type de couvert par groupe varie peu pendant les trois mesures. Même s'il n'y a pas de différence concernant le type de couvert entre les groupes, le bouleau jaune est plus abondant dans le groupe 9798, tandis que la pruche de l'est et le frêne noir sont plus abondants dans le groupe 9394.

La surface terrière en 2008 est plus faible dans le groupe 9798 que dans le groupe 9394, en raison d'une surface terrière initiale plus faible, d'une récolte plus forte (33% face à un 26% au groupe 9394) et un intervalle de temps moindre entre la récolte et la dernière mesure. Dans les deux groupes la récolte a été réalisée de manière préférentielle chez les gros bois, au profit des

petits bois et bois moyens. Entre les mesures 2 et 3, les proportions par grosseur sont restées stables. La récolte de quelques essences a été favorisée, notamment le sapin baumier qui prédomine la récolte des petits bois. Chez les gros bois, le bouleau jaune et l'érable à sucre forment au moins les trois quarts de la récolte. Au groupe 9798 le prélèvement par essence est moins variable que pour le groupe 9394, ce qui est une conséquence directe de la prescription sylvicole de l'époque.

La coupe a eu un effet neutre sur la proportion de sciage (I-III-V) dans le peuplement sur pied dans les deux groupes; cette proportion a cependant augmenté substantiellement entre les mesures 2 et 3. En apparence, la coupe semble avoir eu un effet améliorant sur la vigueur du peuplement; cependant la fiabilité de cette tendance est mise en doute. La vigueur semble avoir augmenté de manière sensible entre les mesures 2 et 3. À la troisième mesure les différences de qualité-vigueur entre les groupes ont disparu. Une analyse a été réalisée pour tenter d'identifier les causes de l'amélioration de la vigueur et de la qualité dans le temps. Des pistes de solution sont proposées pour améliorer l'évaluation de la vigueur et de la qualité dans les opérations de jardinage.

Entre la première et la troisième mesure, 31,7% des placettes ont changé de type de couvert. On peut souligner le fait que il n'y a aucune placette qui devient résineuse, et que les placettes dominées par les feuillus tolérants sont les plus stables du point de vue de la composition.

L'accroissement net en surface terrière est très variable d'une parcelle à l'autre, avec des valeurs moyennes de 0,25 et 0,18 m²/ha/an aux groupes 9394 et 9798 respectivement. Ces valeurs se situent entre celles issues de parcelles expérimentales de jardinage (0,32 ± 0,04 m²/ha, (2005)) et celles mesurées dans le réseau des effets réels du jardinage (0,14 ± 0,06 m²/ha, (Bédard et Brassard 2002)). L'analyse de régression linéaire multiple a permis d'identifier les variables qui influencent significativement l'accroissement, notamment le groupe, le type de couvert, la surface terrière des tiges vigoureuses et la surface terrière des tiges non vigoureuses. Le passage à la futaie a été estimé en 26 et 35 tiges/ha/5 ans pour les groupes 9394 et 9798 respectivement. À l'échelle de l'arbre, la probabilité de survie entre les mesures 2 et 3 est significativement reliée à l'essence, le diamètre à hauteur de poitrine et la classe de qualité-vigueur (I-II-III-IV-V-VI) à la mesure 2.

Concernant l'occurrence de défauts, plus de la moitié des tiges ont au moins un défaut, pendant que la proportion des tiges avec deux ou trois défauts est de l'ordre de 20% et de 5% respectivement. La fréquence des tiges avec défauts ne varie pas significativement par groupe ou grosseur des tiges. Par contre elle varie significativement par code MSCR et essence.

Table des matières

RÉSUMÉ.....	3
TABLE DES MATIÈRES	5
1. INTRODUCTION.....	6
2. MÉTHODES	7
2.1 Acquisition des données.....	7
2.2 Méthodes d'analyse.....	9
2.2.1 Plan de sondage et établissement des points de contrôle	9
2.2.2 Mortalité	10
2.2.3 Matrices de transition de l'évolution de la structure diamétrale	10
2.2.4 Passage à la futaie	11
3. DESCRIPTION DES INTERVENTIONS SYLVICOLES	13
4. STRUCTURE DES PEUPEMENTS	17
4.1 Surface terrière.....	17
4.2 Composition en essences.....	19
4.3 Type de couvert.....	22
4.4 Structure diamétrale	23
4.4.1 Tiges marchandes (DHP>9cm).....	23
4.4.2 Gaules (DHP≤9cm)	25
4.5 Qualité et vigueur (I-II-III-IV-V-VI)	26
4.5.1 Évolution de la qualité et de la vigueur du peuplement	26
4.5.2 Défauts sur la tige.....	32
5. CROISSANCE ET DYNAMIQUE	35
5.1 Accroissement en surface terrière	35
5.1.1 Statistiques descriptives	35
5.1.2 Relation entre l'accroissement et les caractéristiques du peuplement	36
5.2 Mortalité	42
5.2.1 Taux de mortalité.....	42
5.2.2 État des tiges mortes.....	45
5.3 Évolution de la structure diamétrale.....	46
5.4 Passage à la futaie	50
5.5 Évolution du type de couvert.....	51
6. ANNEXES	57
6.1 Groupes d'essences.....	57
7. BIBLIOGRAPHIE	58

1. INTRODUCTION

Sous le régime du jardinage, le suivi de la production ligneuse est un élément essentiel de la gestion des peuplements en vue d'assurer un aménagement forestier durable. Le système sylvicole du jardinage se définit comme un mode de gestion visant à produire et à maintenir des peuplements capables de générer des biens et des services de manière soutenue sur des rotations courtes, par un mélange équilibré d'arbres d'âge et de taille diverses (De Turckheim 2006; Nyland 2002; Schütz 1997). Ce système utilise des interventions de coupe partielle pour donner aux peuplements une structure stable dans le temps capable de répondre aux objectifs d'aménagement ou encore pour conserver une telle structure lorsqu'elle est atteinte.

L'application du régime de jardinage a débuté sur une base opérationnelle dans la région des Hautes-Laurentides au début des années 1990. Les objectifs sylvicoles sont (a) la production de bois d'œuvre et de bois de déroulage de feuillu noble et (b) le maintien de peuplement inéquienne à couvert continu. Le martelage est inspiré des travaux de recherche menés par la direction de la recherche forestière du Ministère des Ressources naturelles du Québec (Majcen et al. 1990). Les détails de la prescription sylvicole sont présentés à la Section 3.

Le présent rapport fait l'analyse de données dendrométriques récoltées dans des peuplements traités sur une base opérationnelle suivant le régime de jardinage en vigueur en forêt publique. Deux ensembles de placettes, le premier établi en 1993-94 et l'autre en 1997-98, permettent d'observer la structure et la croissance des peuplements forestiers après intervention. Cette information est capitale pour la conduite du jardinage, notamment pour évaluer la période de rotation pour la prochaine coupe, pour valider les hypothèses sur la croissance et le développement du peuplement en regard aux objectifs sylvicoles et pour éventuellement corriger le tir pour la prochaine prescription.

2. MÉTHODES

2.1 Acquisition des données

Lors de 2008, le personnel de la CFHL en conjoint avec du personnel temporaire du MRNF ont fait la relecture de 139 placettes échantillons (PE) situées dans les Hautes-Laurentides, dans les secteurs de coupe qui avaient un fort potentiel de relecture. L'objectif initial de remesurer 50 PE traitées en 1993-94 (Groupe 9394) et 100 PE traitées en 1997-98 (Groupe 9798) a été presque accompli, malgré la perte des coordonnées GPS de certaines PE. L'effectif final est de 53 PE par le groupe 9394 et de 86 pour le groupe 9798, pour un total de 1 516 arbres remesurés, provenant de 19 secteurs différents. (Tableau 1). Chaque secteur comporte une ou deux virées d'au moins 5 PE. La Figure 1 montre la localisation des placettes remesurées.

Les parcelles échantillons étaient des parcelles à rayon variable, établies au prisme avec un facteur relascope égal à deux, pour les tiges de plus de 9 cm de DHP. Les parcelles ont été mesurées à trois reprises : immédiatement avant et après l'intervention et en 2008 (10,5 ou 14,5 années plus tard, selon le groupe). Nous ferons référence aux mesures 1, 2 et 3 respectivement dans le reste du document.

Lors de la mesure initiale avant l'intervention sylvicole (Mesure 1), les tiges vivantes étaient numérotées. L'essence, la classe de dhp (2 cm) et la classe de qualité-vigueur (système I-II-III-IV-V-VI) étaient notées. La mesure 2 est en fait une mise à jour de la mesure 1, pour noter les tiges abattues et blessées et, le cas échéant, pour corriger l'évaluation de la vigueur des tiges. En 2008, les tiges numérotées ont été remesurées, ainsi que les tiges recrutées depuis le dernier inventaire (Mesure 3). Dans tous les cas, l'essence, l'état de la tige (vivante, morte, tombée, etc.), la qualité et la vigueur ont été évalués. En plus du système de classification de qualité-vigueur utilisé initialement, la vigueur des tiges vivantes a été évaluée à l'aide du système MSCR (Boulet 2005) tandis que la qualité de la tige a été évaluée par tronçons à l'aide du système ABCD (Anonyme 1984).

Un inventaire des gaules et de la végétation arbustive/arborescente a été réalisé sur une parcelle à rayon fixe de 100 m². Les détails du protocole de mesures sur le terrain figurent dans Fortin (2008).

Tableau 1: Placettes par secteur et groupe.

Groupe	Secteur	n° placettes
9394	Baskatong	5
	Butor	10
	Demerest	5
	Kiamika	6
	Lac Rochon	5
	Petawaga	5
	Piscatonsin	5
	Pont de Fer	5
	Val-Limoges	7
Total 9394		53
9798	Beaudry	5
	Beauregard	14
	Blois	5
	Crevier	21
	Leman	9
	Petawaga	5
	Ruby	7
	Sere	5
	Serpelet	10
	Sproule	5
Total 9798		86
TOTAL		139

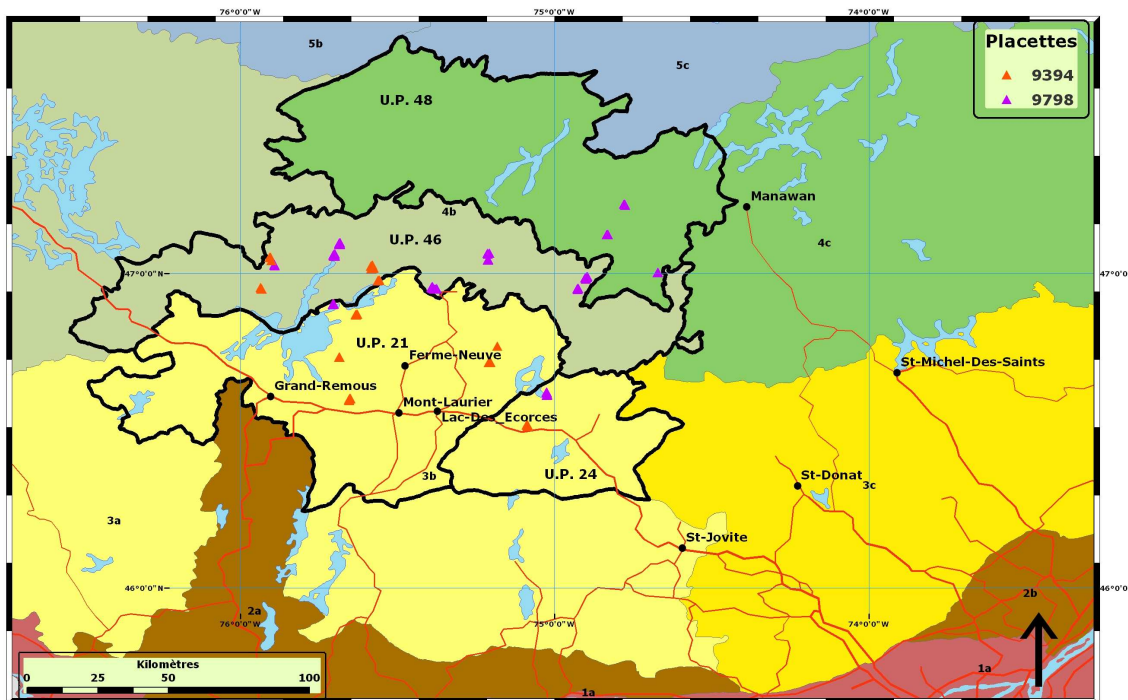


Figure 1: Localisation des placettes.

2.2 Méthodes d'analyse

2.2.1 Plan de sondage et établissement des points de contrôle

L'accroissement net en surface terrière a été calculé à l'échelle de la placette échantillon par la différence de surface terrière vivante sur pied des tiges marchandes entre les mesures 2 et 3. L'accroissement brut et la mortalité en surface terrière n'ont pas été estimés à cause du biais causé par la méthode d'inventaire à l'aide de placettes à rayon variable. En effet, cette méthode tend à sous-estimer la mortalité et par conséquent l'accroissement brut du peuplement¹. La régression linéaire multiple a été utilisée pour évaluer l'effet des variables suivantes :

- a) Groupe
- b) Région écologique
- c) Type de couvert
- d) Surface terrière initiale en tiges vigoureuses
- e) Surface terrière initiale en tiges non-vigoureuses
- f) Surface terrière initiale totale
- g) Surface terrière initiale en petit, moyen et gros bois

Plusieurs modèles ont été calibrés, avec différentes combinaisons de variables explicatives et toutes les interactions de second ordre (modèle saturé). Dans une seconde étape, les modèles ont été épurés des variables non significatives. Les modèles ont été retenus selon deux critères; (a) le coefficient de détermination (R^2) qui représente le pouvoir prédictif du modèle et (b) l'indice d'Akaike (AIC), basé sur le maximum de vraisemblance, qui considère à la fois le pouvoir

¹ Dans le cas de placettes permanentes à rayon fixe, toutes les tiges de l'échantillon sont présentes et numérotées à la mesure initiale, hormis les gaules de taille non marchandes qui sont présentes mais non numérotées. Il est par conséquent aisé de recenser de manière précise la mortalité périodique au sein des tiges marchandes et de calculer l'accroissement brut. Dans le cas de placettes à rayon variables, toutes les tiges ne sont pas comptées. Dans la placette à la mesure initiale: certaines tiges qui sont trop éloignées compte tenu de leur DHP pour être comptées à la mesure initiale, le sont à la mesure 2 une fois qu'elles ont crû. Cela correspond à un recrutement de nouvelles tiges dans l'échantillon, qui s'effectue dans toutes les classes diamétrales (contrairement au passage à la futaie, qui correspond au recrutement de nouvelles tiges qui étaient préalablement de taille non marchande).

Or, une partie des tiges qui potentiellement pourraient être recrutées dans l'intervalle de mesure meurent entre-temps. Ces tiges, qui normalement seraient considérées comptabilisées dans la mortalité dans un inventaire à placettes à rayon fixe, ne sont pas inventoriées lorsque l'inventaire à placettes à rayon variable ne compte que les tiges vivantes. Les seules tiges mortes répertoriées sont celles qui ont été numérotées à la mesure initiale. Il n'est donc pas possible de calculer la mortalité de manière directe sans produire de sous-estimation.

prédictif du modèle et le nombre de variables utilisées, favorisant les solutions parcimonieuses en variables explicatives.

2.2.2 Mortalité

L'analyse de la mortalité a porté en premier lieu sur l'analyse des facteurs déterminant la probabilité de mourir d'une tige entre les mesures 2 et 3. Une analyse de régression logistique a été menée, suivant une démarche comparable à celle employée pour l'analyse de l'accroissement en surface terrière. L'analyse a porté sur les tiges résiduelles vivantes identifiées à la mesure 2. Les variables explicatives considérées dans l'analyse sont :

- a) DHP initial
- b) Essence
- c) Classe de qualité-vigueur initiale
- d) Groupe
- e) Type de couvert
- f) Région écologique
- g) Surface terrière résiduelle totale
- h) Intensité de la récolte

2.2.3 Matrices de transition de l'évolution de la structure diamétrale

Des matrices de transition (aussi appelées matrices de Markov) ont été calculées pour modéliser simplement l'évolution de la structure diamétrale des peuplements entre les mesures 2 et 3. Les matrices ont été calculées pour estimer les taux quinquennaux de stagnation, de promotion et de mortalité d'une classe de grosseur à l'autre (PB, BM et GB). Une matrice de transition a été estimée pour chaque groupe d'essence (cf. Annexe) et pour chaque groupe de parcelles. Le calcul a été réalisé en deux étapes :

1. Une première matrice de transition est calculée à partir des données brutes de l'inventaire, par un tableau croisé dynamique. Selon le groupe, la matrice de transition s'applique à une période de 15 ans (groupe 9394) ou de 10 ans (groupe 9798).
2. Chaque matrice est transformée sur une base quinquennale en présumant que les taux de transition sont constants dans l'intervalle de mesure. La méthode employée cherche à estimer une « matrice de Markov cachée » (hidden Markov matrix) : À partir d'une matrice quinquennale dont les paramètres sont à trouver, une matrice de transition « prédite » sur 10 ou 15 ans (selon le cas) est calculée, en utilisant les transitions quinquennales pour établir les transitions tenant compte des événements probables (arbre de probabilité). Les combinaisons d'événements probables sont établies en considérant quelques contraintes, comme l'impossibilité pour une tige de

passer à une classe de grosseur inférieure et l'impossibilité d'une double promotion sur un horizon de 5 ans. La probabilité de la mortalité est égale à 1 moins la sommation des probabilités de stagnation et de promotion. Un algorithme de programmation linéaire est utilisé pour trouver les taux de transition quinquennaux qui permettent de minimiser l'écart entre les valeurs de transition observées et prédites sur un intervalle de 10 ou 15 ans.

À partir de l'ensemble des tiges échantillonnées, il est alors possible d'estimer les matrices de transition moyennes pour chaque groupe de parcelle. Pour estimer la variabilité statistique des taux de transition et calculer leurs intervalles de confiance, une approche « Bootstrap » a été appliquée. Cette méthode consiste à calculer plusieurs matrices de transition à partir d'un même échantillon, en faisant un sous-échantillonnage itératif. Ainsi, pour chaque matrice, 300 tirages avec remise ont été réalisés pour le groupe 9394, constitué chacun de 400 tiges. Pour le groupe 9798, 400 tirages de 600 tiges ont été réalisés. Pour chaque sous-échantillon « bootstrap » on calcule la matrice de 5 ans suivant la méthode décrite plus haut. On compile par la suite pour chaque cellule de la matrice de transition la valeur moyenne et l'intervalle de confiance. Cette dernière correspond aux percentiles 2,5 et 97,5 pour une probabilité cumulée de 95%.

2.2.4 Passage à la futaie

Le passage à la futaie correspond au nombre de tiges à l'hectare qui passe périodiquement de l'état de gaule ($d_{hp} < 9\text{cm}$) à celui de tige marchande ($d_{hp} > 9\text{cm}$). C'est un élément difficile à évaluer à partir de placettes à rayon variable. En effet, dans le cas de placettes à rayon fixe, le passage à la futaie correspond au recrutement de nouvelles tiges depuis le dernier inventaire, puisque le nombre brut de tiges marchandes dans la placette ne change pas entre deux mesures. Ce n'est pas le cas pour des placettes à rayon variable, où il y a un recrutement dans toutes les classes diamétrales, puisque le nombre brut de tiges marchandes change entre deux mesures. La difficulté est d'évaluer quelles sont les tiges recrutées qui n'avaient pas une taille marchande à la mesure initiale.

Il est possible cependant de faire une estimation indirecte, connaissant la quantité de petits bois au début et à la fin de l'intervalle de mesure (ici PB_2 et PB_3) et le taux de stagnation des petits bois pendant cette période ($STAG_{PB_{23}}$). Le passage à la futaie (PF) correspond à la quantité de PB à la fin de l'intervalle qui ne proviennent pas de la stagnation de tiges qui proviennent de l'inventaire précédent :

- $PF = PB_3 - (PB_2 \times STAG_{PB_{23}})$.

Dans notre cas, le passage à futaie obtenu est divisé par 2 ou 3 pour obtenir un passage à la futaie quinquennal.

Deux variantes de cette méthode ont été employées ici :

- **Méthode « A »** : puisque la classe PB est très large et comprend des tiges entre 9 et 23 cm de dhp, seule la somme des tiges de 9 à 15 cm a été considérée pour estimer PB₂ et PB₃. On évite ainsi de compter le recrutement de tiges qui n'ont probablement pas été des gaules à l'inventaire précédent. En effet, à partir de l'accroissement diamétral observé sur les tiges échantillons, on peut estimer la probabilité qu'une tige ait été une gaulle à l'inventaire précédent (Tableau 2). On constate alors que seules les tiges de classes 10, 12 et 14 cm à la mesure finale sont susceptibles d'avoir des tiges qui étaient des gaules à la mesure initiale.
- **Méthode « B »** : elle consiste à appliquer la même approche que pour la méthode « A », mais en calculant les taux de stagnation des matrices de transition d'une classe diamétrale à l'autre (classes 10, 12, 14 et 16 cm, Tableau 3) au lieu d'une valeur pour l'ensemble des petits bois.

Tableau 2 : Probabilité d'une tige d'avoir été une gaulle à la mesure précédente, en fonction des statistiques d'accroissement diamétral.

DHP (cm)	Accroissement diamétral (cm/an)		Probabilité d'avoir été une gaulle à la mesure initiale	
	Moyenne	Écart-type	10 ans	15 ans
10	0,291	0,149	73%	85%
12	0,303	0,191	31%	57%
14	0,291	0,233	9%	32%
16	0,359	0,194	1%	19%
18	0,297	0,172	0%	2%
20	0,254	0,160	0%	0%

Tableau 3: Matrices de transition par classe diamétrale.

GROUPE 9394				
M2				
	DHP	10	12	14
M3	10	0,00	0,00	0,00
	12	0,22	0,14	0,00
	14	0,28	0,43	0,05

Groupe 9798				
M2				
	DHP	10	12	14
M3	10	0,14	0,00	0,00
	12	0,29	0,04	0,00
	14	0,21	0,17	0,11

3. DESCRIPTION DES INTERVENTIONS SYLVICOLES

Depuis les débuts de l'application du régime de jardinage dans la région, la prescription sylvicole a évolué au cours du temps, suivant un processus d'amélioration continue et d'ajustement des pratiques. En 1993-94, la consigne était de récolter jusqu'à 35% de la surface terrière sans dépasser une surface terrière résiduelle minimale de 16 m²/ha, avec une certaine augmentation de la qualité du peuplement (exprimé par la proportion de tiges de catégorie I et III). Dans ce dernier cas, aucun seuil minimal d'amélioration n'était fixé. En 1997-98, les mêmes consignes concernant l'intensité de la récolte et la surface terrière s'appliquent. À cela s'ajoute l'obligation d'effectuer un prélèvement uniforme dans le peuplement, avec le maintien de la composition spécifique du peuplement, sauf pour le sapin baumier et le peuplier faux-tremble ayant atteint le diamètre à maturité, qui ont fait l'objet d'une récolte préférentielle.

Le système de classification des tiges (système I-II-III-IV-V-VI) a aussi subi une évolution continue au cours des années. Ce système de classification est utilisé pour prioriser la sélection et la récolte des tiges, dans le but d'améliorer et d'optimiser la production ligneuse. Ce système utilise un critère de qualité du bois et un critère de vigueur, associé à la probabilité de survie de l'arbre d'ici la prochaine rotation (Majcen et al. 1990). Les critères de classification de la vigueur des arbres ont été modifiés progressivement, en fonction de l'évolution des connaissances, notamment par une meilleure identification des pathogènes d'importance. L'évaluation des chances de survie des arbres était basée sur des critères établis a priori, à partir des connaissances disponibles. Une évaluation récente a permis de valider cette classification. Il est à noter que la présence de blessures résultant de la récolte a pour effet de déclasser les tiges vigoureuses.

En ce qui concerne la classification en fonction de la qualité des tiges, les critères sont restés inchangés jusqu'en 2003 pour l'unité de gestion 064. Dans ce cas présent, une tige feuillue de forte valeur (classes I et III) correspondait aux catégories A, B ou C, selon le système de classification A-B-C-D (Gouvernement du Québec 1984).

Tableau 4 : Système de qualité-vigueur utilisé pour le régime de jardinage au Québec de 1990 à 2003.

Essence	Feuillus				Résineux	
	Vigoureux		Non vigoureux		Vig.	Non Vig.
Qualité						
Vigueur	Sciage	Pâte	Sciage	Pâte	Sciage	Pâte
Code	I	II	III	IV	V	VI

En 2003, ce système de classification a été remplacé par le système M-S-C-R qui évalue la vigueur des tiges en fonction principalement de critères pathologiques (Boulet 2005). À cela s'ajoute une évaluation de la qualité selon la classification « O-P », faisant la distinction entre une tige de qualité « bois d'oeuvre » (O) et une autre de qualité « pâte » (P), sur la base de la présence ou l'absence d'au moins une bille de sciage, n'importe où dans l'arbre, sans tenir compte des critères de la classification « ABCD ». Par conséquent, une certaine proportion de tiges considérées « pâte » avant 2003 sont devenues de qualité « sciage » après 2003.

Dans le cadre de la présente étude, les tiges ont été classifiées en 2008 selon le système I-II-III-IV-V-VI, suivant les critères appliqués jusqu'en 2003, ainsi qu'avec les systèmes A-B-C-D et M-S-C-R.

Il est à noter qu'à la Coopérative forestière des Hautes Laurentides, les coupes de jardinage se sont effectuées d'abord par un système de récolte manuelle jusqu'en 1995, puis progressivement par des systèmes mécanisés, avec des abatteuses groupeuses. Dans les deux cas, la vidange des bois s'est faite avec une débusqueuse à câble.

Les données de suivi dendrométriques montrent que le taux de récolte a été de 26% pour le groupe 9394 et de 33% pour le groupe 9798 (Tableau 5), avec des surfaces terrières résiduelles de 20 et 17 m²/ha, respectivement.

La récolte a été réalisée de manière préférentielle chez les gros bois, comme en témoignent des taux de prélèvements de 40% dans les deux groupes. Cependant, cette préférence a été plus marquée pour le groupe 9394, comme en témoignent les plus grands écarts de taux de prélèvements entre les petits, moyens et gros bois.

Tableau 5: Récolte en surface terrière par groupe (en m²/ha).

	9394	9798
Minimum	0,0	2,0
10e Percentile	2,0	4,0
25e Percentile	4,0	6,0
Médiane	8,0	8,0
Moyenne	7,3	8,4
Écart type	4,0	3,9
75e Percentile	10,0	10,0
90e Percentile	12,0	13,0
Maximum	16,0	24,0

Tableau 6: Taux de récolte en surface terrière par grosseur pour chaque par groupe.

	9394	9798
PB	18,6%	27,1%
BM	20,9%	30,3%
GB	40,3%	41,3%
Total	27,2%	33,3%

La récolte a aussi été effectuée de manière préférentielle pour certaines essences. Ainsi, si on compare le taux de récolte global au taux de récolte par essence pour chaque groupe (Figure 2), on remarque que pour les deux groupes, le sapin a fait l'objet d'une récolte supérieure à la moyenne. Ce fut aussi le cas pour la pruche pour le groupe 9394. À l'inverse, le thuya et l'épinette blanche (pour le groupe 9394) et l'érable rouge (pour le groupe 9798) présentent des taux de récolte inférieurs à la moyenne des autres essences. On constate dans l'ensemble que le prélèvement par essence est moins variable pour le groupe 9798 que pour le groupe 9394, ce qui semble une conséquence directe de la prescription sylvicole de l'époque exigeant une répartition homogène de la récolte et le maintien de la composition des peuplements.

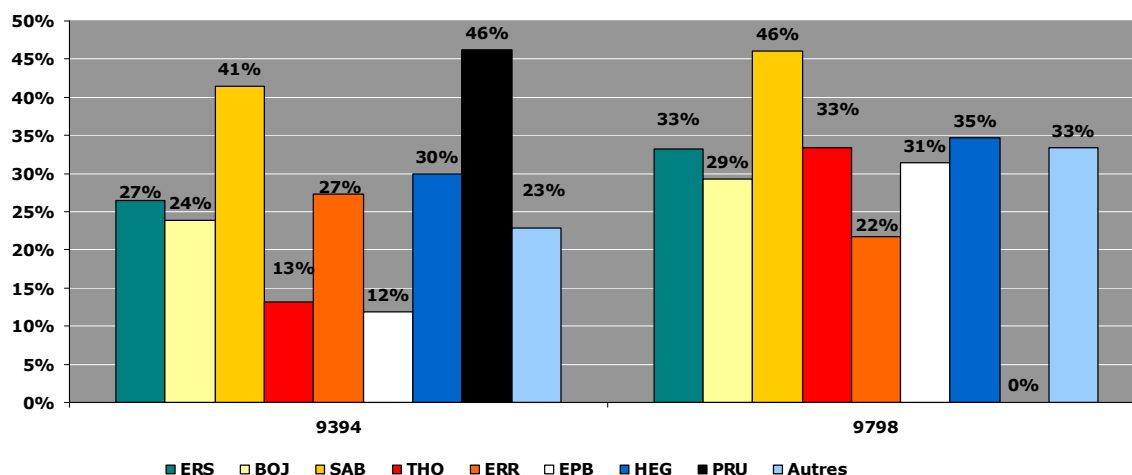


Figure 2: Intensité du prélèvement par essence pour chacun des groupes.

La Figure 3 ventile la récolte par essence par catégorie de grosseur, tandis que les Figure 4 et Figure 5 montrent les taux de récolte par essence et par catégorie de grosseur. On note que :

1. Dans les deux groupes, le sapin prédomine la récolte des PB, avec une récolte nettement supérieure à la moyenne du prélèvement par groupe.
2. Le groupe 9394 se distingue par une plus forte récolte des sapins en bois moyen.
3. Dans les deux groupes, le bouleau jaune et l'érable à sucre forment 75% et plus de la récolte des GB.
4. Le groupe 9394 se distingue par une forte récolte d'érable rouge dans les PB.

5. Dans le groupe 9394, le taux de récolte d'EPB et THO a été inférieur à la moyenne du prélèvement pour les trois classes de grosseur (Figure 4 et Figure 5).
6. Dans le groupe 9798, le même constat s'applique pour ERR.

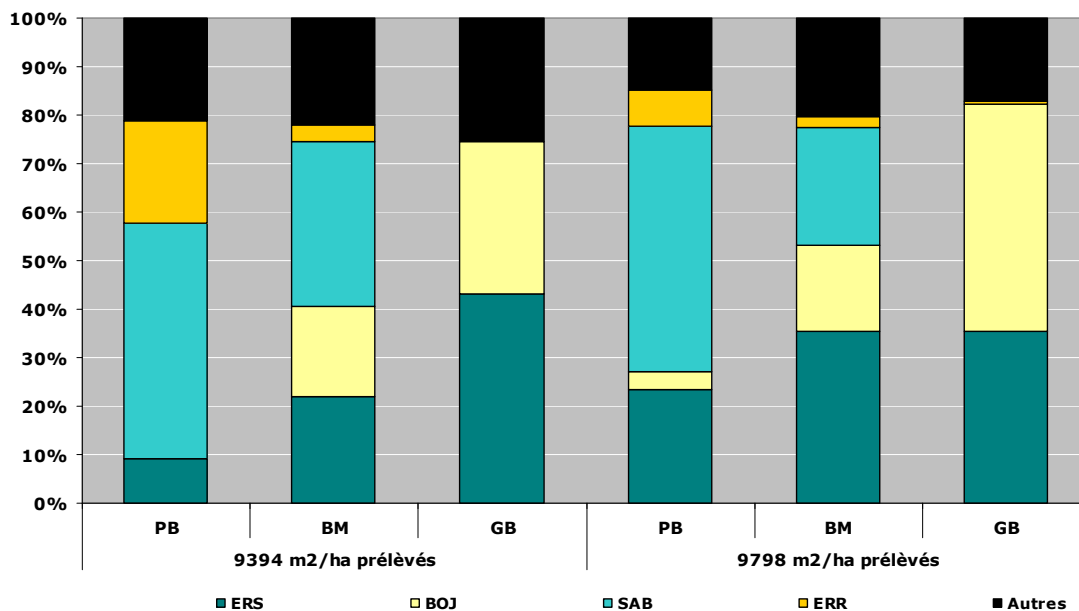


Figure 3: Récolte en surface terrière par groupe, essence et grosseur.

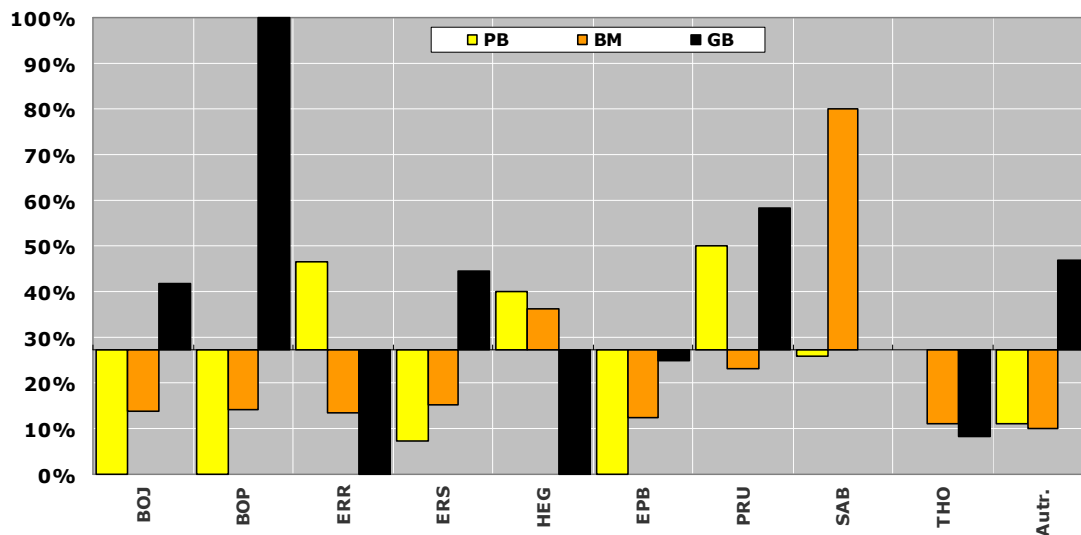


Figure 4: Intensité du prélèvement en surface terrière par essence et par grosseur pour le groupe 9394. L'axe des abscisses coupe à l'axe des ordonnées à la valeur moyenne du prélèvement de ce groupe (27,2%).

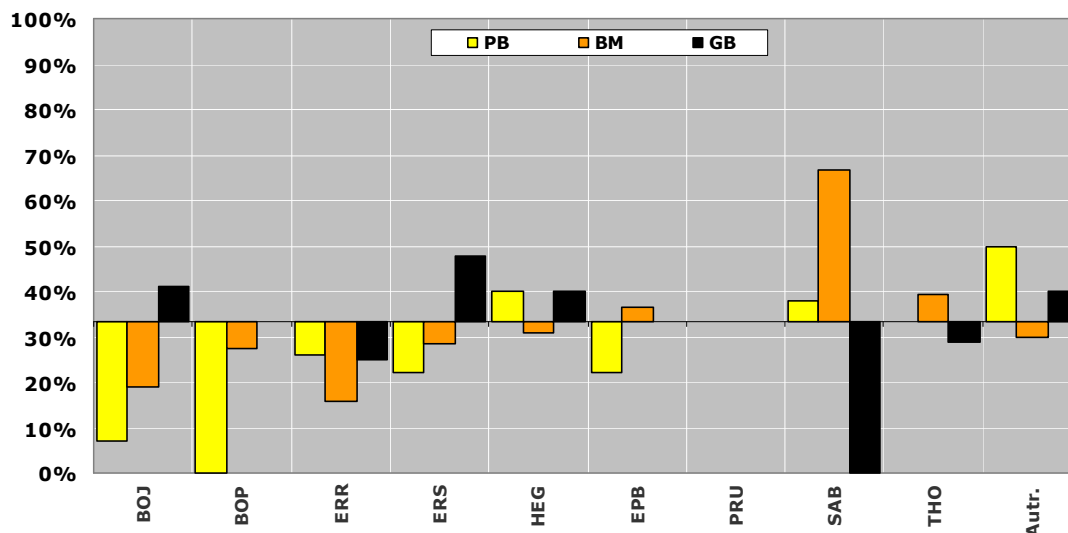


Figure 5: Intensité du prélèvement en surface terrière par essence et par grosseur pour le groupe 9798 L'axe des abscisses coupe à l'axe des ordonnées à la valeur moyenne du prélèvement de ce groupe (33,3%).

4. STRUCTURE DES PEUPEMENTS

La structure des placettes échantillons est analysée par la fréquence des parcelles échantillons par type de couvert (FI, FT, MF, MR et R), ainsi que par la répartition des tiges par catégorie de grosseur (PB, BM et GB), par essence et par classe de vigueur-qualité (I-II-III-IV-V-VI). Les tableaux de fréquence ont été compilés par groupe pour chacune des trois mesures. Pour chaque critère, un test de chi-carré a été effectué pour évaluer si les différences entre les groupes étaient significatives. Dans le cas contraire, les fréquences ont été calculées en combinant les deux groupes. Dans le cas de différences significatives, les catégories responsables des différences sont identifiées à l'aide des résidus standardisés de Pearson (Agresti, 2002).

4.1 Surface terrière

Le Tableau 7 et la Figure 6 présentent l'évolution de la surface terrière sur pied avant et après la coupe, pour les deux groupes (9394 et 9798). Le niveau de prélèvement est présenté à la Figure 7. Les données suggèrent que :

1. La surface terrière initiale était plus forte pour le groupe 9394 (26,9 Vs. 25,4 m²/ha) et ;
2. La récolte était plus faible dans ce groupe (7,3 versus 8,4 m²/ha).

Cependant ces différences ne sont pas statistiquement significatives selon l'analyse de variance. Toutefois, l'analyse confirme que la surface terrière résiduelle, issue l'addition des différences précédent, est significativement différentes entre les groupes aux mesures 2 ($p = 0,0119$) et 3 ($p < 0,001$). En conséquence, on constate une différence de $2,6 \text{ m}^2/\text{ha}$ juste après la récolte entre les deux groupes. L'écart entre les deux groupes atteint $4,4 \text{ m}^2/\text{ha}$ en 2008. Il faut toutefois rappeler que l'intervalle de temps entre les mesures 2 et 3 est de 14,5 ans pour le groupe 9394 et de 9,5 ans pour le groupe 9798.

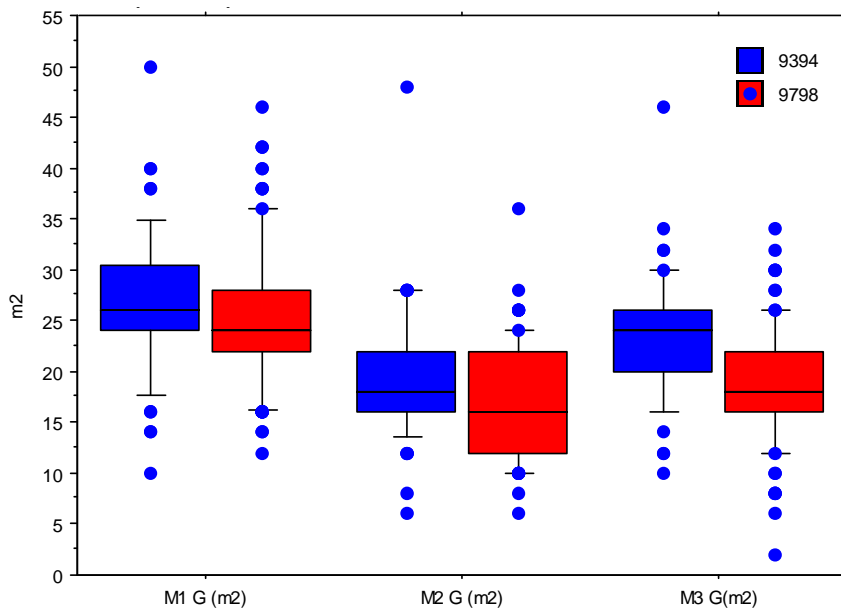


Figure 6 : Surfaces terrières sur pied (en m^2/ha) par groupe aux mesures 1, 2 et 3

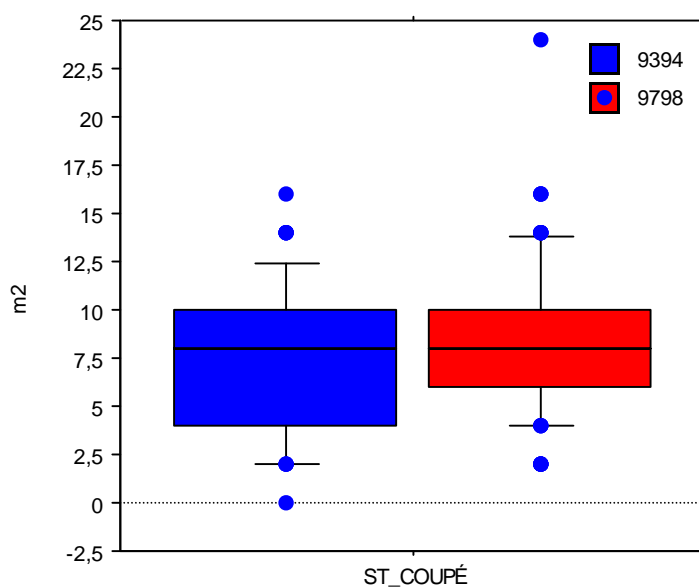


Figure 7: Prélèvement en surface terrière (en m^2/ha) par groupe.

Tableau 7: Surfaces terrières (en m²/ha) récoltées et sur pied aux mesures 1, 2 et 3 pour les deux groupes

	Avant coupe Mesure 1		Après coupe Mesure 2		Récolte		En 2008 Mesure 3	
	9394	9798	9394	9798	9394	9798	9394	9798
Minimum	10,0	12,0	6,0	6,0	0,0	2,0	10,0	2,0
10e Percentile	18,0	17,0	14,0	10,0	2,0	4,0	16,0	12,0
25e Percentile	24,0	22,0	16,0	12,0	4,0	6,0	20,0	16,0
Médiane	26,0	24,0	18,0	16,0	8,0	8,0	24,0	18,0
Moyenne	26,9	25,4	19,5	16,9	7,3	8,4	23,1	18,7
Écart type	7,4	7,0	6,4	5,5	4,0	3,9	6,1	6,0
75e Percentile	30,0	28,0	22,0	21,5	10,0	10,0	26,0	22,0
90e Percentile	34,0	36,0	28,0	24,0	12,0	13,0	29,6	26,0
Maximum	50,0	46,0	48,0	36,0	16,0	24,0	46,0	34,0

4.2 Composition en essences

Cette analyse porte sur la fréquence globale des essences présentes dans chaque groupe, sans tenir compte des mélanges à l'échelle de la placette échantillon (qui est traitée à la section suivante).

Si on considère les huit espèces les plus représentées, la composition des peuplements avant coupe diffère entre les deux groupes (Figure 8), en raison principalement d'une plus grande proportion de bouleau jaune (BOJ) dans le groupe 9798 et de pruche (PRU) et frêne (FRN) dans le groupe 9394 (différence significative pour les trois mesures, Tableau 8). Cependant, au sein d'un même groupe, la composition demeure statistiquement comparable entre les trois mesures.

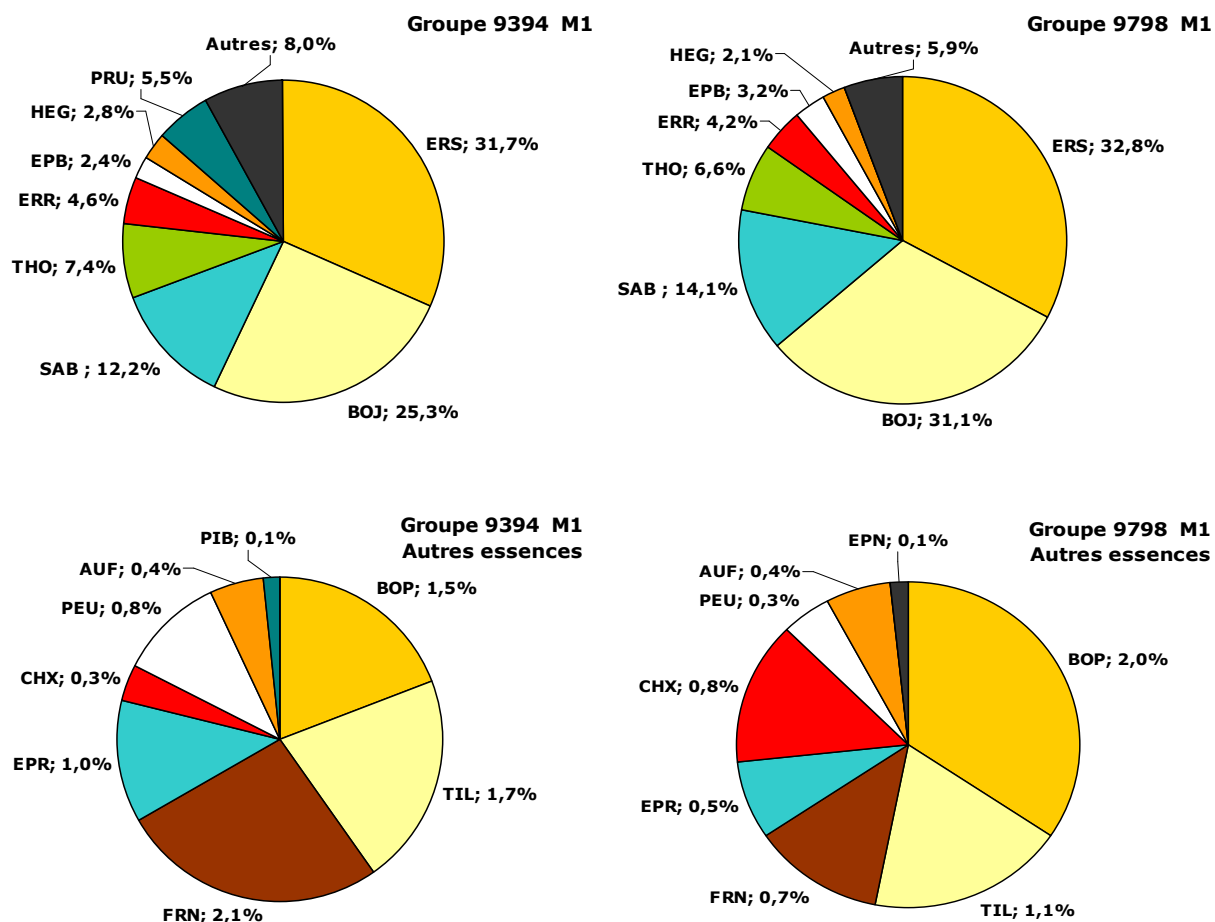


Figure 8: Distribution de la surface terrière par essence par groupe à la première mesure.

Tableau 8: Résidus standardisés de Pearson (RSP) résultant de la comparaison des proportions des deux groupes dans les trois mesures.

Les valeurs significativement inférieures sont en jaune et celles significativement supérieures en orange.

	Mesure 1		Mesure 2		Mesure 3	
	9394	9798	9394	9798	9394	9798
ERS	-0,5	0,5	-0,3	0,3	-1,1	1,1
BOJ	-2,7	2,7	-2,5	2,5	-2,5	2,5
SAB	-1,2	1,2	-0,9	0,9	0,6	-0,6
THO	0,7	-0,7	1,5	-1,5	1,8	-1,8
PRU	7,8	-7,8	5,2	-5,2	5,4	-5,4
ERR	0,4	-0,4	-0,3	0,3	-0,8	0,8
HEG	1,0	-1,0	0,7	-0,7	-0,4	0,4
EPB	-1,0	1,0	-0,4	0,4	-0,4	0,4
FRN	2,5	-2,5	3,0	-3,0	3,4	-3,4
TIL	1,1	-1,1	0,5	-0,5	0,6	-0,6
BOP	-0,7	0,7	-0,9	0,9	-0,7	0,7
EPR	1,3	-1,3	2,4	-2,4	1,8	-1,8
PEU	1,7	-1,7	2,1	-2,1	2,8	-2,8
AUF	0,3	-0,3	1,4	-1,4	0,3	-0,3
CHX	-1,5	1,5	-1,5	1,5	-1,3	1,3

Tableau 9: Distribution de la surface terrière par groupe et par mesure.

Essence	9394			Essence	9798		
	M1	M2	M3		M1	M2	M3
ERS	31,7%	32,0%	30,6%	ERS	32,8%	32,8%	33,3%
BOJ	25,3%	26,4%	25,7%	BOJ	31,1%	33,0%	31,6%
SAB	12,2%	9,8%	12,8%	SAB	14,1%	11,4%	11,9%
THO	7,4%	8,9%	8,8%	THO	6,6%	6,6%	6,3%
PRU	5,5%	4,1%	3,6%	ERR	4,2%	4,9%	5,2%
ERR	4,6%	4,6%	4,3%	EPB	3,2%	3,3%	3,1%
HEG	2,8%	2,7%	2,8%	HEG	2,1%	2,1%	3,1%
EPB	2,4%	2,9%	2,8%	BOP	2,0%	2,5%	2,4%
FRN	2,1%	2,3%	2,9%	TIL	1,1%	1,2%	1,0%
TIL	1,7%	1,5%	1,3%	CHX	0,8%	0,8%	0,6%
BOP	1,5%	1,7%	1,8%	FRN	0,7%	0,8%	0,9%
EPR	1,0%	1,2%	1,0%	EPR	0,5%	0,1%	0,2%
PEU	0,8%	1,0%	1,0%	AUF	0,4%	0,1%	0,2%
AUF	0,4%	0,6%	0,3%	PEU	0,3%	0,1%	0,0%
CHX	0,3%	0,2%	0,2%	PIB	0,1%	0,1%	0,1%
EPN	0,1%	0,0%	0,2%				

Une seconde série d'analyse a été réalisée avec des regroupes d'espèce pour avoir une meilleure vue d'ensemble. Trois groupes d'espèces ont été retenus : feuillus longévifs (FL),

résineux longévifs (RL) et espèces non longévives (NL, liste en Annexe). Les tendances sont les mêmes que pour les résultats plus détaillés : si des différences significatives sont constatées entre les groupes pour les trois mesures, les compositions ne changent pas d'une mesure à l'autre pour un même groupe. Plus spécifiquement, si on étudie les proportions des essences mais cette fois par groupes (FL, RL et NL) on trouve des résultats cohérents avec ce qu'on a vu concernant les proportions des essences : une plus grande proportion des essences FL (plus grande proportion de BOJ) dans le groupe 9798 et une plus petite proportion de RL (moindre proportion de PRU) dans le groupe 9798.

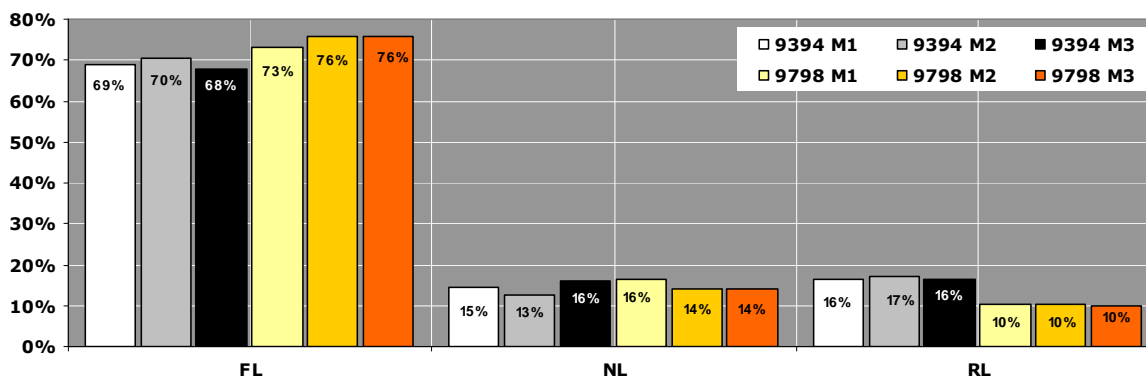


Figure 9: Pourcentages des tiges par groupes d'essences et groupe.

4.3 Type de couvert

Le type de couvert permet de classer les parcelles échantillons en fonction du mélange d'essences en place. Cinq types de couvert sont assignés en fonction du pourcentage des essences résineuses, feuillues tolérants et intolérants de chaque parcelle suivant cinq types de couvert.

- **Résineux (R)**: Plus de 75% des arbres sont d'essences résineuses.
- **Feuillu intolérant (FI)** : Plus de 75% des arbres sont essences feuillues et plus de la moitié des essences feuillues sont des espèces intolérantes à l'ombre.
- **Feuillu tolérant (F)**: Plus de 75% des arbres sont essences feuillues et moins de la moitié des essences feuillues sont des espèces intolérantes à l'ombre.
- **Mélangé à résineux (MR)**: Entre 50% et 75% des arbres son essences résineuses.
- **Mélangé à feuillus (MF)**: Entre 50% et 75% des arbres sont d'essences feuillues.

La répartition des placettes échantillons par type de couvert indique que :

1. Les fréquences des types de couvert ne sont pas différentes entre les deux groupes, et ce pour chacune des trois mesures.

2. La fréquence des types de couvert n'évolue pas dans le temps de manière significative.
3. Les parcelles de type « Feuillu tolérant » prédominent, suivie des parcelles « Mélangées feuillues », constituant à elles seules plus des deux tiers de l'échantillon.

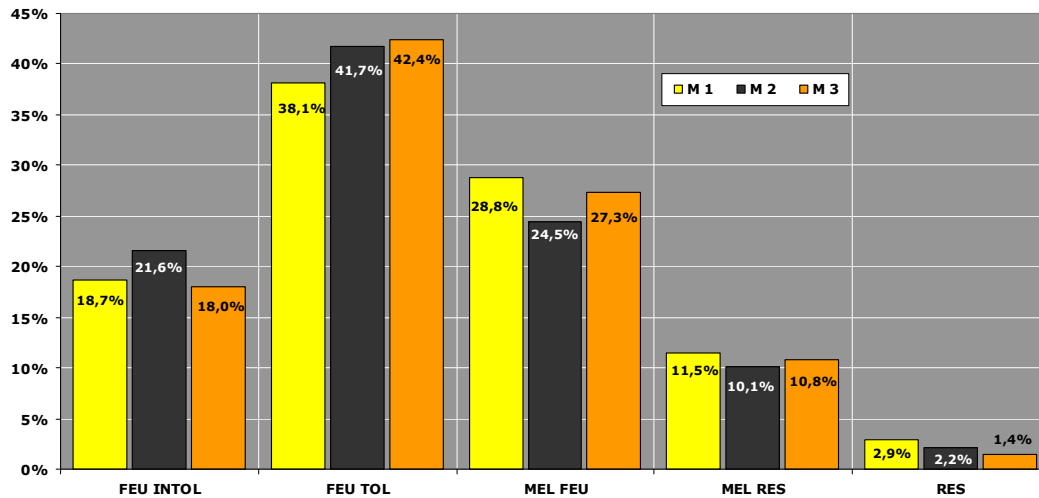


Figure 10: Fréquence par placettes par type de couvert (deux groupes confondus).

4.4 Structure diamétrale

4.4.1 Tiges marchandes (DHP>9cm)

Les arbres vivants sont répartis en trois catégories de grosseur :

- PB (petit bois) DHP [9-22 cm]
- BM (bois moyen) DHP [23-39 cm]
- GB (gros bois) DHP [\geq 40 cm]

Selon l'analyse des tableaux de fréquence, les proportions des types des tiges ne sont pas différentes entre les groupes 9394 et 9798 pour les mesures 1, 2 et 3 (Figure 11 et Figure 12).

La coupe a réduit la proportion de GB, au profit des PB et des BM. Entre les mesures 2 et 3, ces proportions restent stables.

Les structures diamétrales ont été comparées aux guides de densité de Eyre et Zilgitt (1953) et de Nyland (2002), qui établissent les densités résiduelles souhaitables pour maximiser la

production de bois de sciage pour des rotations de 10 et 25 ans respectivement. On constate que les structures diamétrales des deux groupes à la mesure 2 sont statistiquement comparables à celle de Eyre et Zillgitt (1953), mais pas avec celle de Nyland (2002). Ainsi les données des deux groupes confondus présentent une quantité de GB supérieure aux valeurs de Nyland, alors que la situation inverse prévaut pour les PB (Figure 11).

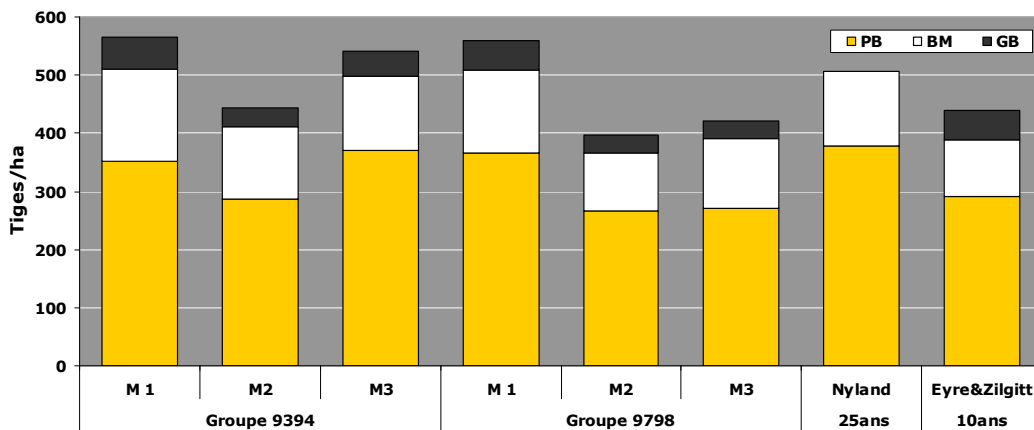


Figure 11 : Structure diamétrale observées aux trois mesures pour chaque groupe, comparée aux guides de densité d'Eyre & Zilgitt (1953) et de Nyland (2002)

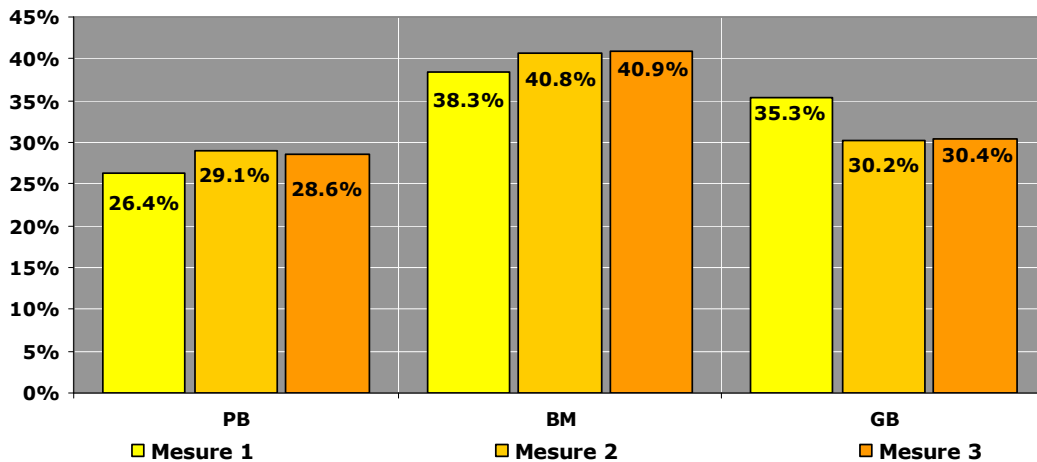


Figure 12: Fréquences relatives des tiges par catégorie de grosseur (deux groupes confondus).

4.4.2 Gaules (DHP≤9cm)

À la mesure 3, le groupe 9394 est légèrement plus riche en gaules et en petits bois que le groupe 9798 (différence de 10 à 37%).

La densité des petites gaules (2-4cm) est supérieure à celle attendue par les guides de la densité produits par Eyre et Zilgitt (1953) et par Nyland (2002) alors que c'est la situation inverse pour les grandes gaules (6-8 cm).

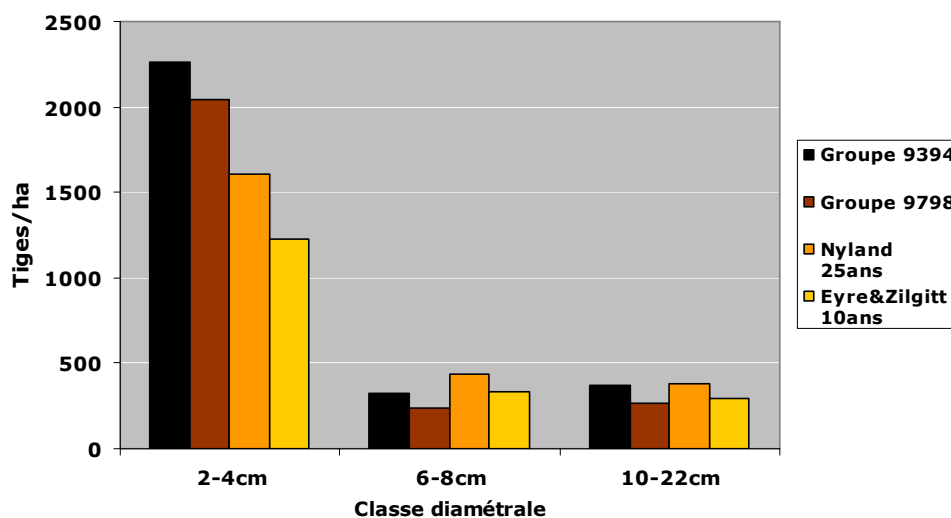


Figure 13 : Densité des gaules et des petits bois comparées aux guides de la densité d'Eyre et Zilgitt (1953) et de Nyland (2003)

4.5 Qualité et vigueur (I-II-III-IV-V-VI)

Rappelons ici que la classe de qualité-vigueur, évaluée selon le système I-II-III-IV-V-VI, a été suivie pour les trois mesures, tandis que la qualité (selon le système A-B-C-D) et la vigueur (selon le système M-S-C-R) n'ont été évaluées qu'à la mesure 3. Par conséquent, l'évolution dans le temps n'a pu être analysée qu'avec le système I-II-III-IV-V-VI; la correspondance entre les trois systèmes a été analysée qu'à partir des observations à la mesure 3.

4.5.1 Évolution de la qualité et de la vigueur du peuplement

La répartition des tiges par classe de qualité-vigueur diffère entre les deux sous-échantillons avant et après la récolte (Figure 14). Pour simplifier l'analyse les groupes suivants ont été constitués :

- Sciage : Classes I+III+V
- Pâte : Classes II+IV+VI
- Vigoureux : Classes I+II+V
- Non vigoureux : Classes III+IV+VI

On trouve une plus grande proportion de tiges feuillues de qualité supérieure (« sciage », classes I et III) dans le groupe 9798 et une moindre proportion des tiges de qualité inférieure (« pâtes », classes II et IV). Ces différences s'atténuent avec le temps, si bien qu'en 2008 il n'y a pas des différences entre les deux groupes. Concernant les essences résineuses (codes V et VI), il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes et pour les trois mesures.

La Figure 14 montre de manière plus synthétique l'évolution dans le temps de la qualité-vigueur (I-II-III-IV-V-VI) pour chaque groupe. On constate que :

- La coupe a eu un effet neutre sur la proportion de sciage (classes I+III+V) dans le peuplement sur pied dans les deux groupes.
- La proportion de sciage augmente substantiellement entre les mesures 2 et 3.
- La coupe semble avoir eu en apparence un effet améliorant sur la vigueur du peuplement. Cependant, la fiabilité de cette tendance est douteuse, puisque la base de données des placettes ne comportait que la classe de qualité-vigueur des tiges après la récolte. Sachant qu'en pratique, la vigueur de certaines tiges évaluée avant l'intervention a été révisée à la baisse en raison de blessures d'exploitation, il est possible que la vigueur à la mesure 1 soit sous-estimée. La révision de la base de données à partir des fiches d'inventaire permettrait de corriger le tir.
- La vigueur augmente de manière significative entre les mesures 2 et 3.

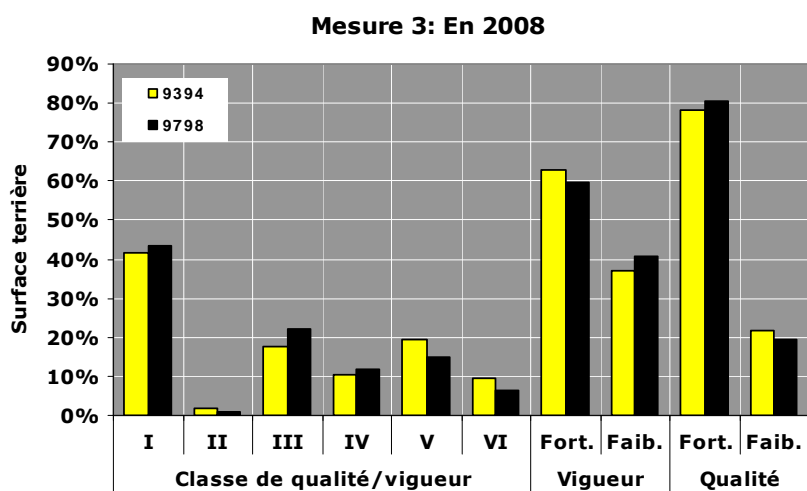
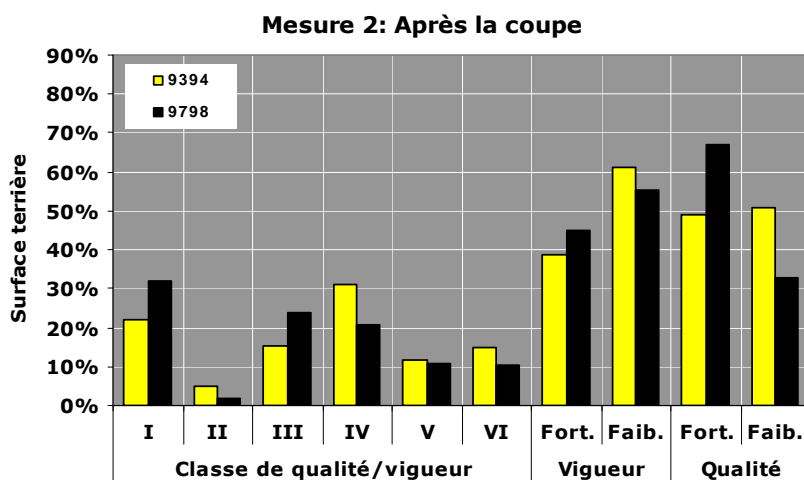
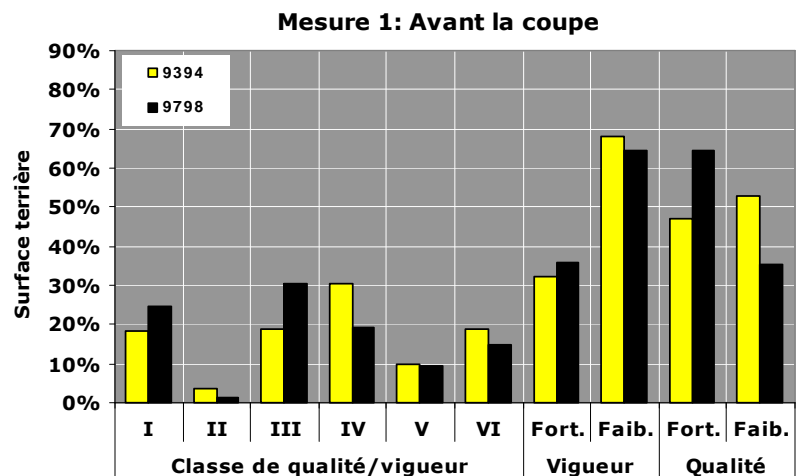


Figure 14: Répartition des tiges par classe de qualité-vigueur à chacune des trois mesures.

Quatre hypothèses peuvent être formulées pour expliquer ces observations :

1. Les augmentations entre les mesures 2 et 3 seraient causées par une plus forte mortalité des tiges de qualité « pâtes » et des tiges non vigoureuses. Cette hypothèse est corroborée en partie par les résultats présentés à la section 5.2, qui présentent les taux de mortalité par tige. Il n'est cependant pas possible d'en mesurer l'importance en m²/ha.
2. L'augmentation de la qualité et de la vigueur serait causée par le recrutement de tiges plus vigoureuses. Cette hypothèse n'est pas validée par les données : à l'exception d'un recrutement de tiges plus vigoureuses pour le groupe 9798, la qualité et la vigueur du recrutement sont comparables aux tiges déjà acquises à la mesure 2 (Figure 15).

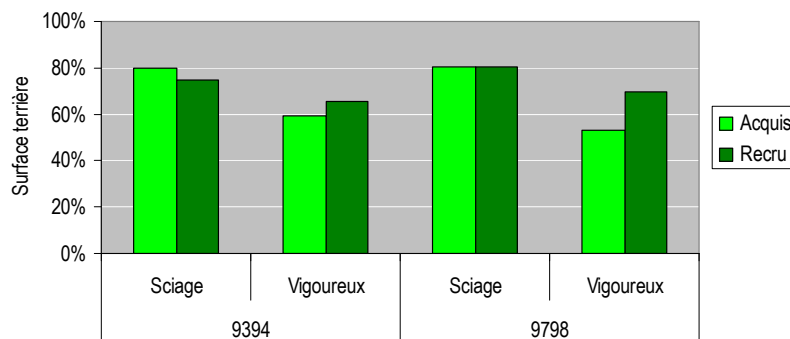


Figure 15 : Pourcentage de tiges vigoureuses et de qualité sciage à la mesure 3, pour les tiges présentes à la mesure 2 (« acquis ») et les tiges recrutées entre les deux mesures (« recru », toutes classes diamétrales confondues).

3. Une proportion significative des petits bois classés de faible qualité (classes II ou IV) à la mesure 2 sont passés à la classe de qualité sciage (I ou III) à la mesure 3. Il faut rappeler ici qu'il n'y a pas de système de classification formel de la qualité des petits bois, puisque le système A-B-C-D ne s'applique qu'aux arbres de 24 cm et plus. L'estimation de la qualité se fait au jugé, sur le potentiel de la tige de fournir une tige de qualité sciage dans le futur. Les risques d'erreur de pronostic sont donc probables. Les données confirment cette hypothèse, puisque 17 à 30% des petits bois ont vu une amélioration de leur qualité, contre 8% qui se sont dégradés (Figure 16). De la même manière, de 10 à 13% des PB présentent une augmentation de vigueur, contre 3 à 7% de réduction de vigueur.

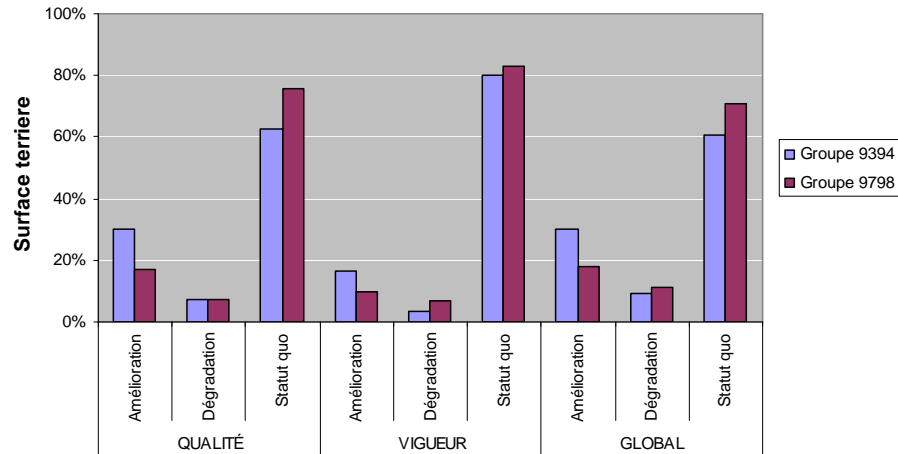


Figure 16 : Évolution de la qualité et de la vigueur chez les petits bois entre la mesure 2 et 3.

4. L'augmentation de la qualité et de la vigueur du peuplement serait due à une amélioration des tiges acquises. Les tendances observées pour le petit bois sont les mêmes pour l'ensemble des tiges présentes à la mesure 2 et qui ont survécu jusqu'à la mesure 3 (Figure 17). La majorité des tiges sont en *statu quo*, alors que le reste des tiges ont une franche tendance à l'amélioration de leur qualité et de leur vigueur. Plusieurs explications possibles peuvent être avancées :
- Certaines blessures d'exploitation se sont cicatrisées au point de permettre une appréciation de la vigueur.
 - La cime de certaines tiges jugées peu vigoureuses s'est développée et a permis leur promotion à la classe de vigueur supérieure.
 - L'augmentation du diamètre de certaines tiges de qualité marginale leur a permis de passer d'une classe de qualité « D » à une classe supérieure, passant de « Pâte » à « Sciage ». Ce serait notamment le cas pour les tiges de 24 à 28 cm de dhp.
 - Les variations observées entre les mesures 2 et 3 sont dues à une différence dans la méthode d'évaluation des tiges. Autrement dit, toute chose étant égale, une plus grande proportion de tiges étaient considérées vigoureuses ou de qualité supérieure en 2008 qu'à la mesure 2.

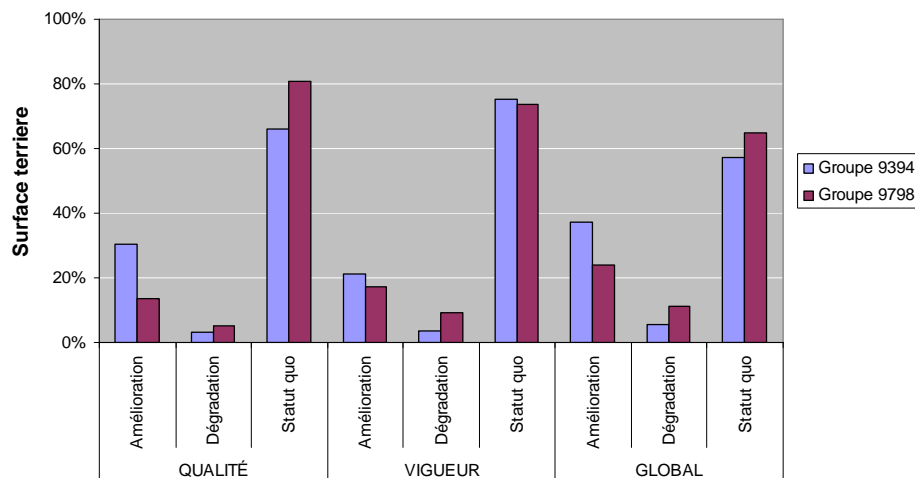


Figure 17 : Évolution de la qualité et de la vigueur entre la mesure 2 et 3 de l'ensemble des tiges acquises

À propos de cette dernière hypothèse (4d), rappelons que la classification de qualité-vigueur est basée sur des critères qualitatifs. Les critères considérés et leur poids ont évolué dans le temps en ce qui concerne la vigueur des arbres. Les critères définissant la qualité des arbres ont pour leur part subi peu de variation dans leur définition jusqu'en 2003, étant basée sur la classification « ABCD » des arbres feuillus en vigueur depuis le second programme d'inventaire décennal du MRNF. Cependant, l'analyse montre qu'en 2008, 22% des tiges de 24 cm et plus de dhp, qui ont été classées D ont aussi été classées I ou III, ce qui est incohérent (Figure 18). Il n'est pas possible avec les données disponibles d'évaluer si l'erreur vient de la classification I-II-III-IV, de la classification ABCD ou des deux. Cette valeur donne une idée de la marge d'erreur de l'évaluation sur le terrain.

La concordance entre la classification I-II-III-IV et la classification MSCR de la vigueur des arbres montre davantage de cohérence (Figure 19), avec une large prédominance de tiges C et R dans les classes I et II et en contrepartie une dominance de M et S dans les classes III et IV.

Ces résultats soulèvent la question de la nécessité de réviser la procédure pour l'évaluation de la qualité-vigueur des tiges (en particulier la qualité) de manière à assurer une homogénéité des données dans le temps et entre les échantillons. Il faudrait notamment formaliser la procédure de validation des évaluations faites par les équipes de terrain (pour corriger les biais et réduire les erreurs aléatoires d'évaluation) et d'étalonnage (pour s'assurer qu'il n'y ait pas de biais d'une remesure à l'autre). L'établissement d'un système plus formel d'évaluation de la vigueur par le système MSCR semble a priori un bon pas vers un système plus objectif et homogène. Les études publiées récemment permettront peut-être d'améliorer ce système par une pondération des critères en fonction de leur capacité à contribuer à prédire le risque de mortalité (Guillemette et al. 2008; Hartmann et al. 2008; Tominaga et al. 2008).

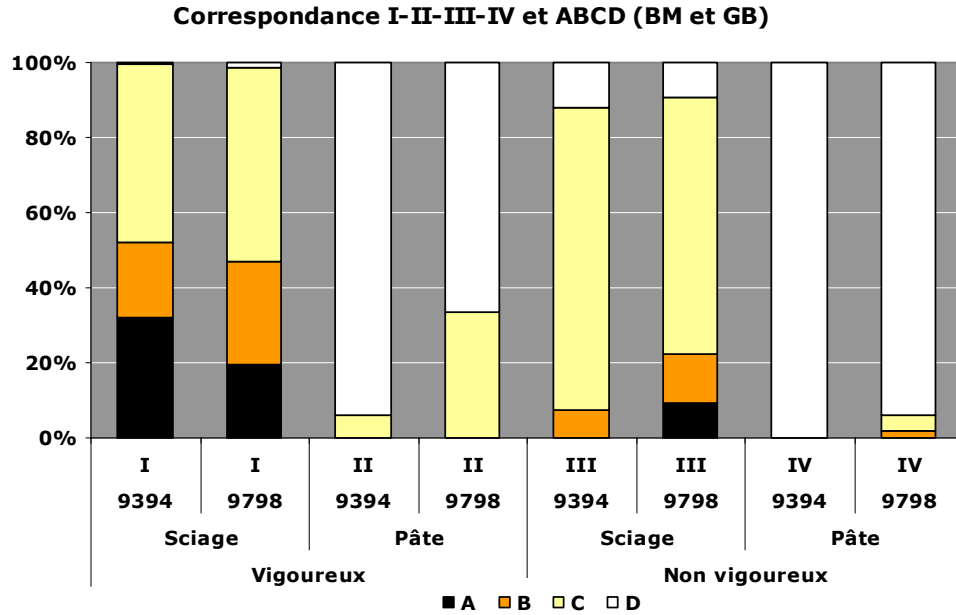


Figure 18 : Concordance à la mesure 3 entre la classification de qualité-vigueur (I-II-III-IV) avec les classifications de qualité ABCD pour les tiges de 24cm et plus de dhp.

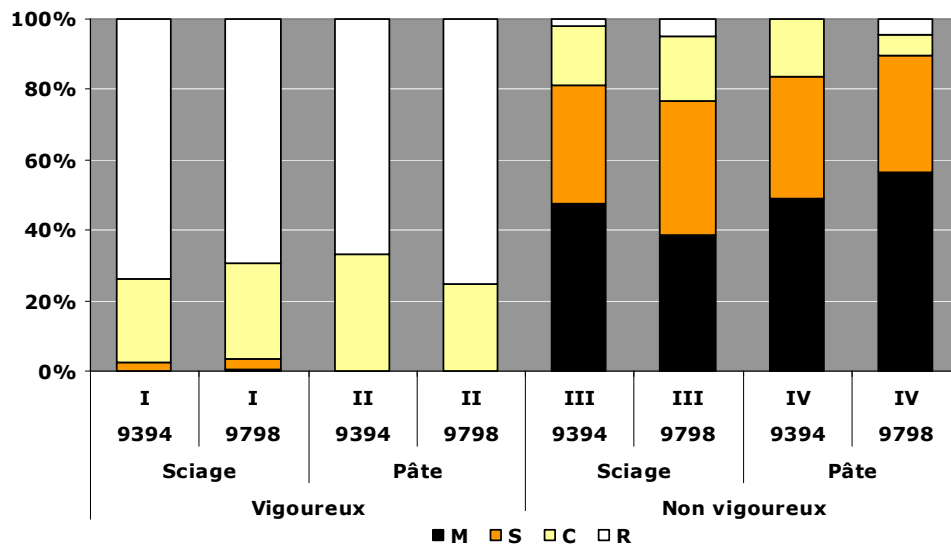


Figure 19 : Concordance à la mesure 3 entre la classification de qualité-vigueur (I-II-III-IV) avec les classifications de vigueur MSCR.

4.5.2 Défauts sur la tige

Étant donné qu'il n'y a pas d'information concernant les défauts des tiges dans les deux premières mesures, toute l'information des défauts provient de la mesure de 2008.

- L'occurrence de défauts sur la tige est statistiquement comparable entre les deux groupes (Figure 20). Plus de la moitié des tiges ont au moins un défaut, pendant que la proportion des tiges avec deux ou trois défauts est de l'ordre du 20% et du 5% respectivement.
- La fréquence des tiges avec défauts ne varie pas significativement en fonction de la grosseur des tiges.
- La fréquence des défauts par tige varie significativement en fonction de la classe MSCR; la classe R se démarque par la quasi-absence de tiges avec défauts, tandis que les classes M et S ont plus de 40% des tiges avec plus de deux défauts (Figure 21).
- L'occurrence de tiges avec défauts varie peu en fonction de la classe ABCD (Figure 21).
- En fonction de l'essence on peut grossièrement classer les essences en trois groupes :
 - Peu défectueuses : BOP, EPB et FRN
 - Moyennement défectueuses : ERS, BOJ, THO, PRU et SAB
 - Fortement défectueuses : HEG et ERR

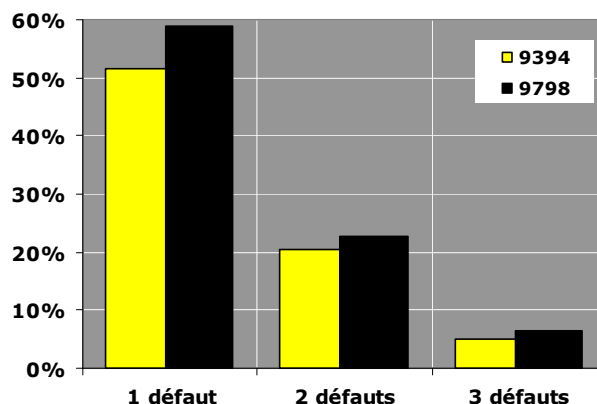


Figure 20: Pourcentage des tiges avec défauts, en fonction du groupe.

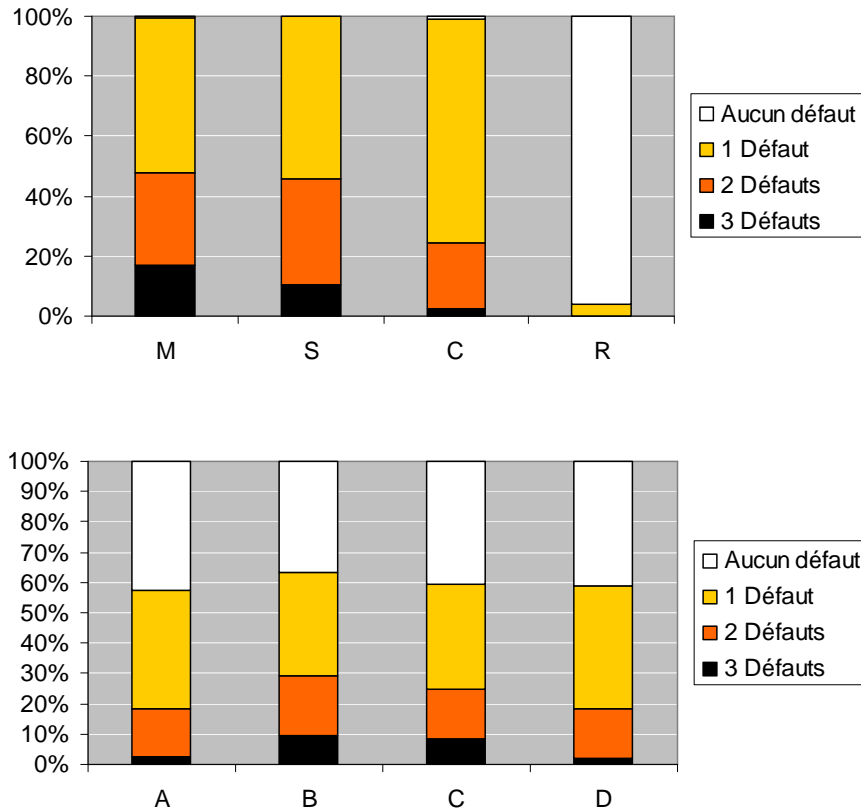


Figure 21: Pourcentage des tiges défectueuses, en fonction de la classe de vigueur MSCR et de la classe de qualité ABCD.

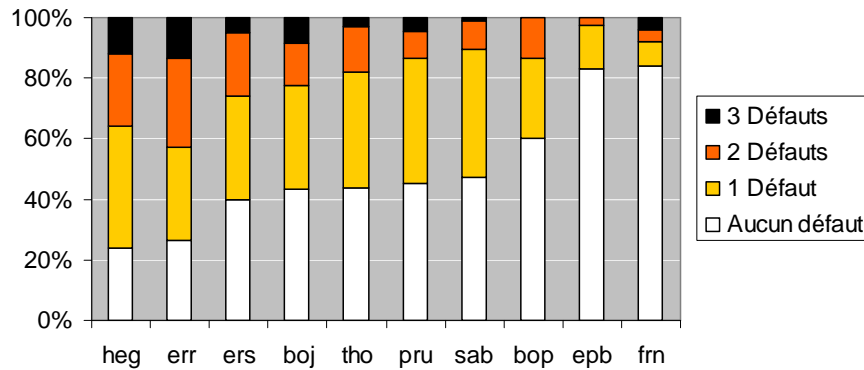
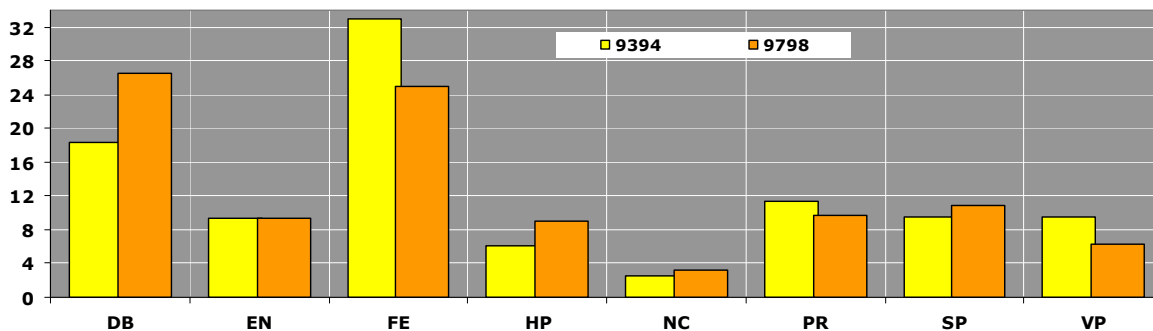


Figure 22 : Pourcentage des tiges défectueuses en fonction de l'essence

Les fentes et fissures (FE) de l'écorce ainsi que les déformations du tronc et blessures mécaniques (DB) regroupent plus de 50% des défauts (Figure 23). La catégorie de défauts la moins fréquente est celle des nécroses (NC) avec un taux de 3% (Figure 23).

De manière plus détaillée, on note des différences significatives dans la fréquence des déformations (DB, 9798>>9394), des fentes et fissures (FE 9394>>9798) et des vermoulures et piqûres d'oiseaux (VP, 9394>9798). Les fentes et fissures de l'écorce (FE) se retrouvent avec une égale fréquence dans les trois catégories de grosseur (PB, BM et GB), de même que les défauts de type EN, FE, HP, NC et SP. Par contre, les déformations du tronc et blessures mécaniques (DB) sont plus abondantes dans les tiges PB, tandis que les champignons y sont moins fréquents. Les anomalies du pied et des racines (PR) apparaissent très fréquemment dans les GB et moins dans les PB. À l'inverse, les vermoulures et piqûres d'oiseaux (VP) sont plus fréquentes dans les PB et moins dans le GB.



SP	Champignons
NC	Nécroses
DB	Déformations du tronc et blessures mécaniques
PR	Anomalies du pied et des racines
FE	Fentes et fissures de l'écorce
VP	Vermoulures et piqûres d'oiseaux
HP	Anomalies du houppier
EN	Défauts d'élagage naturel et embranchement

Figure 23: Fréquence des défauts par groupe.

Tableau 10: Pourcentage des tiges avec défaut par essence et famille de défaut.

	DB	EN	FE	HP	NC	PR	SP	VP
AUF	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%
BOJ	27,9%	10,2%	18,4%	10,0%	2,7%	9,0%	9,0%	0,5%
BOP	0,0%	10,0%	6,7%	30,0%	3,3%	0,0%	3,3%	0,0%
CHX	16,7%	16,7%	33,3%	16,7%	0,0%	16,7%	0,0%	0,0%
EPB	4,8%	7,1%	2,4%	0,0%	0,0%	4,8%	0,0%	0,0%
EPR	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ERR	36,8%	10,3%	20,6%	17,6%	4,4%	10,3%	23,5%	5,9%
ERS	14,5%	9,7%	30,3%	3,7%	3,3%	5,3%	12,1%	12,1%
FRN	12,0%	4,0%	0,0%	8,0%	0,0%	0,0%	4,0%	0,0%
HEG	28,6%	0,0%	38,1%	11,9%	11,9%	9,5%	19,0%	4,8%
PEU	0,0%	0,0%	16,7%	16,7%	0,0%	0,0%	50,0%	0,0%
PRU	18,2%	4,5%	27,3%	0,0%	0,0%	9,1%	0,0%	13,6%
SAB	11,9%	1,1%	38,1%	0,6%	0,0%	3,4%	0,0%	8,5%
THO	21,0%	1,9%	6,7%	2,9%	0,0%	36,2%	0,0%	8,6%
TIL	25,0%	25,0%	25,0%	6,3%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%

5. CROISSANCE ET DYNAMIQUE

5.1 Accroissement en surface terrière

5.1.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

L'accroissement périodique net en surface terrière (iG) des placettes varie de -27 à 0,69 m²/ha/an pour le groupe 9394 et de -0,38 à 0,67 m²/ha/an pour le groupe 9798 (valeurs du 10^e et du 90^e percentile, Tableau 11). Les valeurs moyennes respectives aux deux groupes sont de 0,25 et 0,18 m²/ha/an. Il s'agit de valeurs estimées en faisant la différence de la surface terrière obtenues aux mesures 2 et 3. Ces estimations correspondent à des valeurs à l'échelle de la placette échantillon et non pas à l'échelle d'un peuplement.

Cette comparaison entre les deux groupes est possible si on suppose que l'accroissement est plus ou moins constant après la coupe, et qu'immédiatement après cette dernière, il n'y a pas de période d'accélération ou de réduction de la croissance. Cette hypothèse semble raisonnable, considérant les tendances présentées sur 15 ans par Majcen et al (2005) pour plusieurs dispositifs expérimentaux de jardinage, qui montrent des valeurs d'accroissement comparables pour les trois périodes quinquennales qui suivent l'intervention.

Le Tableau 11 montre aussi que :

1. L'accroissement net est très variable d'une parcelle à l'autre, puisque l'écart-type est égal à deux fois la valeur moyenne.

2. 25% des placettes échantillons ont un accroissement inférieur ou égal à $-0,14 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ pour le groupe 9394, et $0 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ pour le groupe 9798 (25^e percentile).
3. En contrepartie, un autre 25% de l'échantillon présente un rendement supérieur à $0,55 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ pour le groupe 9394, et $0,57 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ pour le groupe 9798 (25^e percentile).

Tableau 11: Accroissement net par groupe (en $\text{m}^2/\text{ha}/\text{an}$).

	9394	9798	TOTAL
Minimum	-0,552	-1,524	-1,524
10e Percentile	-0,276	-0,381	-0,381
25e Percentile	-0,138	0,000	0,000
Médiane	0,276	0,190	0,190
Moyenne	0,247	0,175	0,203
Écart type	0,389	0,434	0,417
75e Percentile	0,552	0,571	0,552
90e Percentile	0,690	0,667	0,690
Maximum	1,241	0,762	1,241
N	53	86	139

Ces valeurs d'accroissement annuel net se situent entre celles issues de parcelles expérimentales de jardinage ($0,32 \pm 0,04 \text{ m}^2/\text{ha}$, (Majcen et al. 2005)) et celles mesurées dans le réseau des effets réels du jardinage ($0,14 \pm 0,06 \text{ m}^2/\text{ha}$, (Bédard et Brassard 2002)).

5.1.2 Relation entre l'accroissement et les caractéristiques du peuplement

Deux modèles de régression ont été retenus suites à l'analyse statistique. Le premier (Modèle A) permet de prédire l'accroissement net en fonction du groupe (GROUPE, 9394 ou 9798), du type de couvert (COUVERT) et de la région écologique (RE), Tableau 12. Ce modèle (modèle A) présente le meilleur compromis entre le pouvoir prédictif et le nombre de variable, selon l'indice d'AKAIKE. Cependant, c'est aussi le modèle qui présente le plus faible R^2 (0,17) des trois modèles comparés. Le second modèle (modèle B) est celui qui offre le R^2 le plus élevé (0,34), mais requiert davantage de données pour effectuer une prédiction. Ce modèle considère le groupe, le type de couvert, ainsi que la surface terrière des tiges vigoureuses (GVIG, correspondant aux tiges classées I, II et V) et la surface terrière des tiges non-vigoureuses (GNONVIG, correspondant aux tiges classées III, IV et VI, Tableau 13).

Cette analyse permet d'identifier les variables qui influencent significativement l'accroissement.

Il est à souligner dans les deux cas que le pouvoir prédictif est plutôt faible, puisqu'au mieux le tiers de la variation totale de l'accroissement est expliquée par le modèle. Les analyses graphiques qui suivent portent sur le modèle B. On observe que :

- a) L'accroissement varie significativement en fonction du type de peuplement et du groupe (Figure 24). Ainsi, le groupe 9394 se distingue par un accroissement supérieur ($>0,4 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$) pour les placettes à feuillus intolérants et résineuses, tandis que le groupe 9798 présente un très faible accroissement pour les parcelles résineuses. Pour les autres types de couvert, l'accroissement est comparable, entre $0,10$ et $0,30 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$, avec une légère supériorité du groupe 9798. La cause de ces différences demeure pour l'instant inexpliquée.
- b) La relation entre l'accroissement net et la surface terrière initiale des tiges vigoureuses varie en fonction du type de couvert (Figure 25). En effet, la relation est directement proportionnelle dans le cas des placettes dominées par les feuillus intolérants, alors qu'elle est inversement proportionnelle dans le cas des placettes de feuillus tolérants. Pour les autres types de couvert, l'accroissement est légèrement ou pas du tout affecté par cette variable.
- c) L'accroissement en surface terrière est inversement proportionnel à la surface terrière des tiges non vigoureuses (Figure 25), sans qu'il y ait d'interaction avec les autres facteurs considérés. On estime que pour chaque m^2/ha de surface terrière de tiges non vigoureuses, l'accroissement net est réduit de $0,033 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$.

L'effet significatif de la surface terrière des tiges non vigoureuses est cohérent avec l'hypothèse que ces dernières sont susceptibles de mourir à court ou moyen terme après l'intervention. Par conséquent, plus leur quantité résiduelle est importante, moins grande est la productivité nette. Il s'agit du facteur qui semble influencer le plus l'accroissement parmi les variables considérées dans le modèle « B ».

La relation inversement proportionnelle entre la productivité et la surface terrière des tiges vigoureuses est aussi cohérente, dans la mesure où on l'interprète ici comme étant le fruit de la compétition entre les arbres, qui réduit l'accroissement diamétral, la vigueur des arbres et leur survie. Cet effet est très marqué pour les placettes de feuillus tolérants; il l'est moins pour les placettes résineuses et mélangées à dominance résineuse. Cependant les placettes dominées par les feuillus intolérants montrent une relation proportionnelle qui semble invalider l'hypothèse de compétition. Une hypothèse possible serait que l'ensemble des parcelles sont sous-stockées; dans ce cas la productivité est proportionnelle au stock conformément à la théorie de Langsaeter (in Smith 1986). L'examen des données n'a pas permis cependant de confirmer cette hypothèse, ces placettes présentant la même gamme de surface terrière initiale que les autres types de couvert. Par conséquent, la proportionnalité entre l'accroissement et la surface terrière des tiges vigoureuses dans ce type de couvert reste sans explication. L'augmentation de la taille de l'échantillon permettrait de valider statistiquement s'il les variations de comportement en fonction du type de couvert est réel ou un artefact dû à une sur-paramétrisation du modèle.

Avec l'échantillon disponible, le modèle A demeure le modèle le plus robuste à utiliser, puisqu'il utilise une méthode plus exigeante pour la sélection des variables.

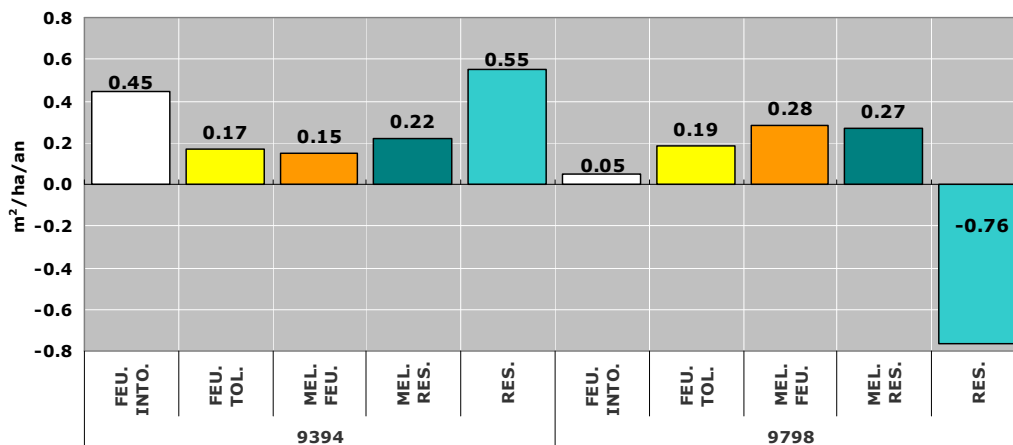


Figure 24 : Accroissement net en surface terrière en fonction du groupe et du type de couvert

Tableau 12: Modèle « A » prédisant l'accroissement net en surface terrière (en m²/ha/an)

MODÈLE					
IG = GROUPE + COUVERT + RE + GROUPE*COUVERT					
ANOVA					
Variable	dl	Somme des carrés Type III	Carrés moyens	Valeur de F	p
GROUPE	1	1,82029853	1,82029853	11,61	0,0009
COUVERT	4	0,42123375	0,10530844	0,67	0,6127
RE	2	1,56797813	0,78398907	5,00	0,0081
GROUPE*COUVERT	4	2,34587433	0,58646858	3,74	0,0065
PARAMÈTRES					
Variable	Valeur		Paramètre		
Ordonnée à l'origine			-0,564719483		
GROUPE	9394		1,313628900		
	9798		0,000000000		
COUVERT	FEU INTOL		0,718288264		
	FEU TOL		0,994373940		
	MEL FEU		1,025764866		
	MEL RES		1,034013605		
	RES		0,000000000		
RE	3b		-0,431560163		
	4b		-0,197185279		
	4c		0,000000000		
GROUPE*COUVERT	9394 FEU INTOL		-0,724080339		
	9394 FEU TOL		-1,182698072		
	9394 MEL FEU		-1,336612614		
	9394 MEL RES		-1,268542596		
	9394 RES		0,000000000		
	9798 FEU INTOL		0,000000000		
	9798 FEU TOL		0,000000000		
	9798 MEL FEU		0,000000000		
	9798 MEL RES		0,000000000		
	9798 RES		0,000000000		

Tableau 13 : Modèle « B » prédisant l'accroissement net en surface terrière (en m²/ha/an)

MODÈLE					
ig = GROUPE + COUVERT + GVIG + GNONVIG+ GROUPE*COUVERT + GVIG*COUVERT					
ANOVA					
Variable	dl	Somme des carrés Type III	Carrés moyens	Valeur de F	p
GROUPE	1	1,55648236	1.55648236	12.08	0.0007
COUVERT	4	1,40133203	0.35033301	2.72	0.0327
GVIG	1	0,05076891	0.05076891	0.39	0.5314
GNONVIG	1	3,06480886	3.06480886	23.78	<.0001
GROUPE*COUVERT	4	1,41260304	0.35315076	2.74	0.0317
GVIG*COUVERT	4	2,06110650	0.51527663	4.00	0.0044
PARAMÈTRES					
Variable	Valeur	Paramètre			
Ordonnée à l'origine		-0,464661695			
GROUPE	9394	1,223910878			
	9798	0,000000000			
COUVERT	FEU INTOL	0,618850486			
	FEU TOL	1,270825589			
	MEL FEU	1,067301137			
	MEL RES	1,105556267			
	RES	0,000000000			
GVIG		-0,004349626			
GNONVIG		-0,032805758			
GROUPE*COUVERT	9394 FEU INTOL	-0,831832939			
	9394 FEU TOL	-1,128077188			
	9394 MEL FEU	-1,247024129			
	9394 MEL RES	-1,047654537			
	9394 RES	0,000000000			
	9798 FEU INTOL	0,000000000			
	9798 FEU TOL	0,000000000			
	9798 MEL FEU	0,000000000			
	9798 MEL RES	0,000000000			
	9798 RES	0,000000000			
GVIG*COUVERT	FEU INTOL	0,029757675			
	FEU TOL	-0,044893121			
	MEL FEU	0,005058637			
	MEL RES	-0,003423465			
	RES	0,000000000			

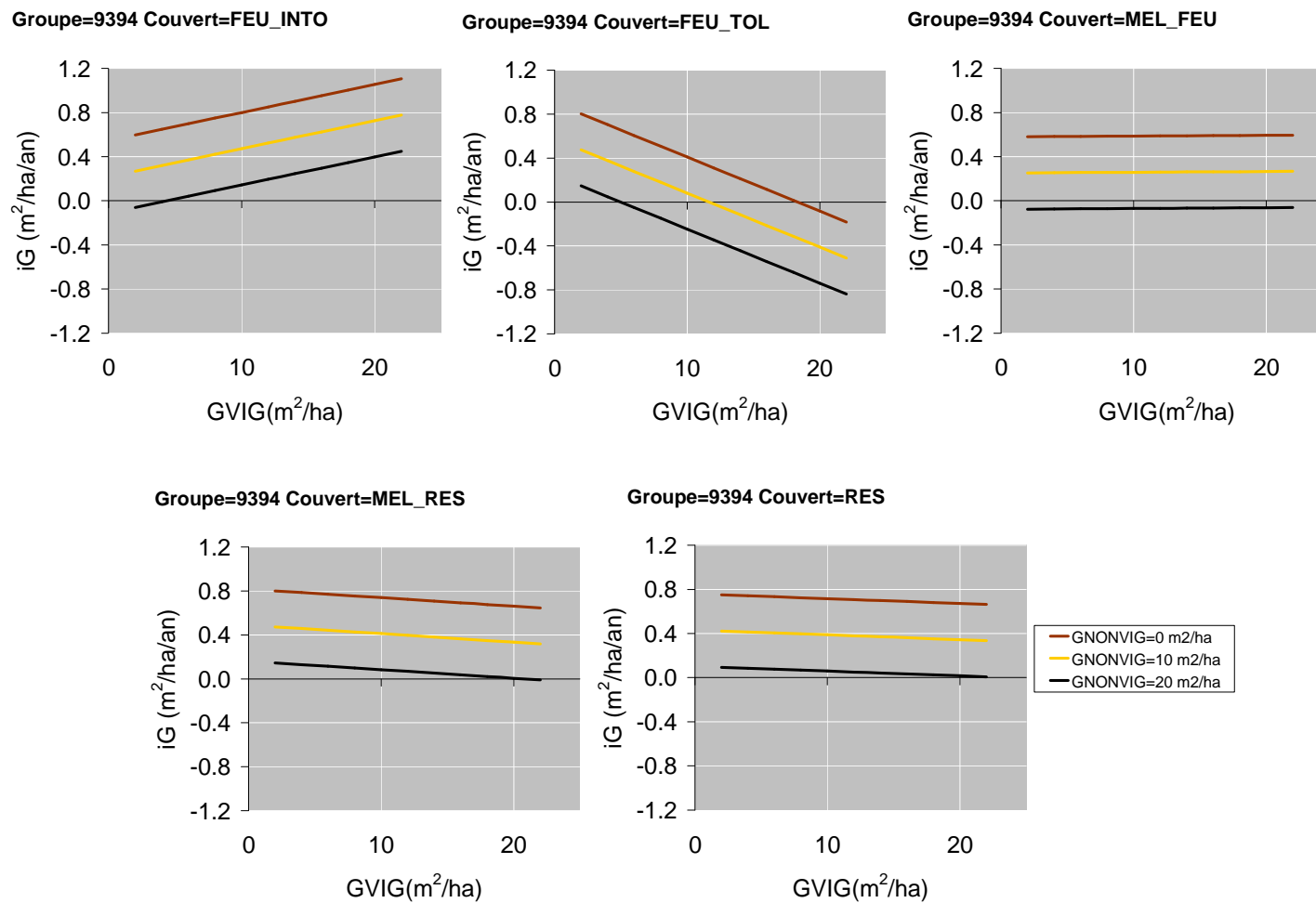


Figure 25 : Accroissement net en surface terrière (iG) en fonction des surfaces terrières initiales des tiges vigoureuses ($GVIG$) et non vigoureuses ($GNONVIG$), pour cinq types de couvert, pour le groupe 9394

5.2 Mortalité

5.2.1 Taux de mortalité

À l'échelle de l'arbre la probabilité de survie entre les mesures 2 et 3 ne semble significativement reliée qu'à l'essence (ESS), le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et la classe de qualité-vigueur (I-II-III-IV-V-VI) à la mesure 2. Toutes les autres variables de l'analyse ne semblent pas avoir d'effet significatif. Le taux de mortalité peut être calculé par l'inverse mathématique du taux de survie.

On observe que (Figure 26, Tableau 14) :

- a) La probabilité de mourir augmente avec le DHP.
- b) Tel qu'attendu, il y a d'importantes différences entre les taux de mortalité en fonction de la classe de qualité-vigueur. Chez les feuillus, ces différences s'expriment non seulement pour différents niveaux de vigueur (Classes I+II Vs. Classes III+IV), mais aussi en fonction de la classe de qualité (Classes I+III Vs. Classes II+IV).
- c) Le bouleau jaune et l'érable à sucre présente des patrons presque identiques. Le taux de mortalité observé entre les mesures 2 et 3 varie de 0 à 24% pour le bouleau, et entre 0 et 24% pour l'érable.
- d) Le taux de mortalité est beaucoup plus élevé chez les résineux, en particulier chez le sapin baumier. Dans ce dernier cas, le taux de mortalité varie de 0 à 68%.
- e) L'analyse n'a pas révélé de différence significative entre les groupes pour la probabilité de survie/mortalité entre les mesures 2 et 3. Compte tenu de la différence de l'intervalle de temps entre les deux groupes, nous pouvons en déduire que le taux de mortalité est supérieur pour le groupe 9798 que pour le groupe 9394.

Tableau 14 : Taux de mortalité moyen observé entre les mesures 2 et 3 en fonction de l'essence, de la qualité-vigueur et de la grosseur des tiges

Essence	Qual.-Vig.	Grosseur	Mortalité	
BOJ	I	PB	3%	
		BM	8%	
		GB	7%	
	II	PB	0%	
		BM	13%	
		GB	0%	
	III	BM	14%	
		GB	12%	
	IV	PB	16%	
		BM	21%	
		GB	24%	
	ERS	I	PB	0%
BM			5%	
GB			0%	
II		PB	0%	
		BM	0%	
III		BM	3%	
		GB	21%	
IV		PB	15%	
		BM	9%	
		GB	39%	
SAB		V	PB	22%
		VI	PB	54%
	BM		68%	
	GB		0%	
EPB	V	PB	10%	
		BM	20%	
		GB	30%	
	VI	PB	50%	
		BM	33%	
		GB	33%	

Tableau 15 : Modèle de régression logistique prédisant la probabilité de survie d'une tige entre les mesures 2 et 3.

MODÈLE			
$P_{mort} = 1/(1+\exp(-Y))$ Où $Y = ESS + DHP + Q \text{ I-II-III-IV-V-VI}$			
ANOVA			
Variable	df	Chi-carré de Wald	p
ESS	13	138,5073	<0,0001
Q I-II-III-IV-V-VI	13	146,4443	<0,0001
DHP	13	119,0240	<0,0001
PARAMÈTRES			
Variable	Valeur	Paramètre	
Ordonnée à l'origine		2,5767	
ESS	Autre	0,4887	
	BOJ	1,0517	
	EPB	-1,2836	
	ERR	0,5173	
	ERS	1,1211	
	HEG	0,2089	
	SAB	-2,2502	
	THO	0	
Q I-II-III-IV-V-VI	I	0,2157	
	II	0,1582	
	III	-0,4115	
	IV	-1,2055	
	v	1,1269	
	VI	0	
DHP		-0,0287	

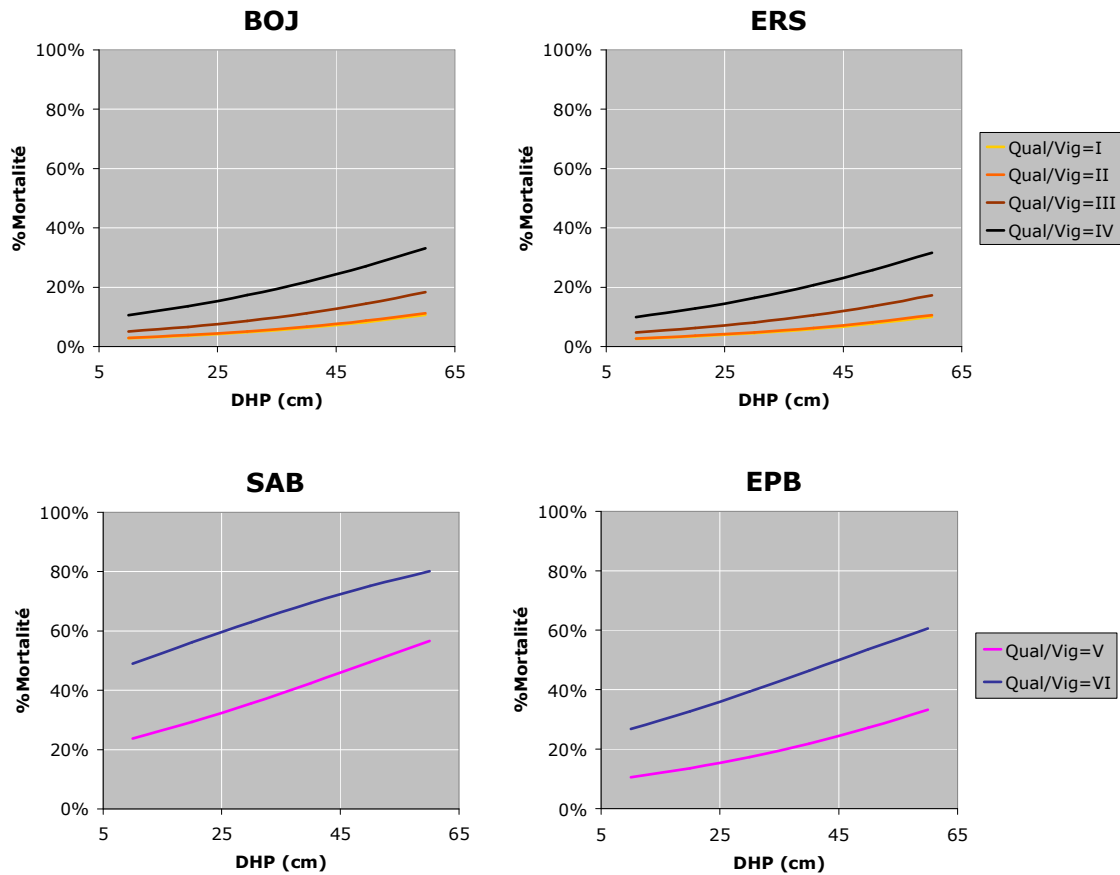


Figure 26 : Taux de mortalité estimé par le modèle entre les mesures 2 et 3 en fonction de l'essence, du DHP et de la classe de qualité-vigueur.

5.2.2 État des tiges mortes

La plus grande proportion des tiges mortes étaient cassées ou mortes debout, le chablis ne représentant qu'une portion mineure de la mortalité. La fréquence de la mortalité en fonction de l'état est statistiquement comparable entre les deux groupes.

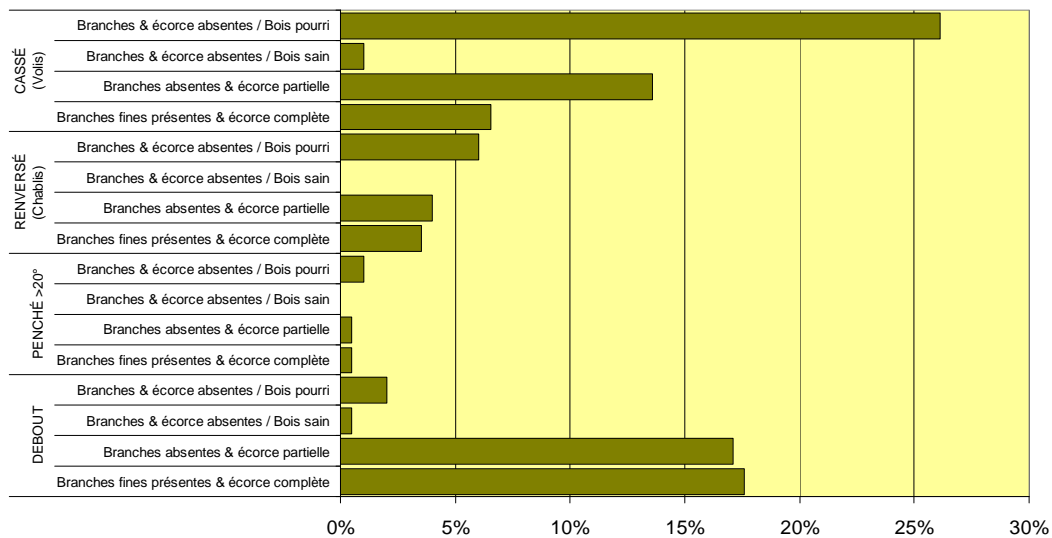
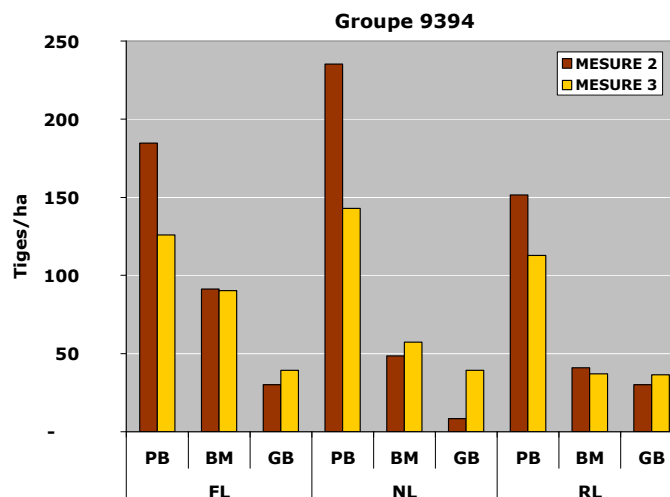


Figure 27: Répartition des tiges mortes à la mesure 3 en fonction de leur état.

5.3 Évolution de la structure diamétrale

La structure diamétrale des peuplements, ventilés par groupe d'essence, est statistiquement comparable entre les deux groupes à la mesure 2 (Figure 28). Il est de même à la mesure 3, hormis la quantité de gros bois de feuillus et de résineux longévifs qui est significativement plus élevée pour le groupe 9394. La structure diamétrale est significativement différente entre les mesures 2 et 3, et ce pour les deux groupes.



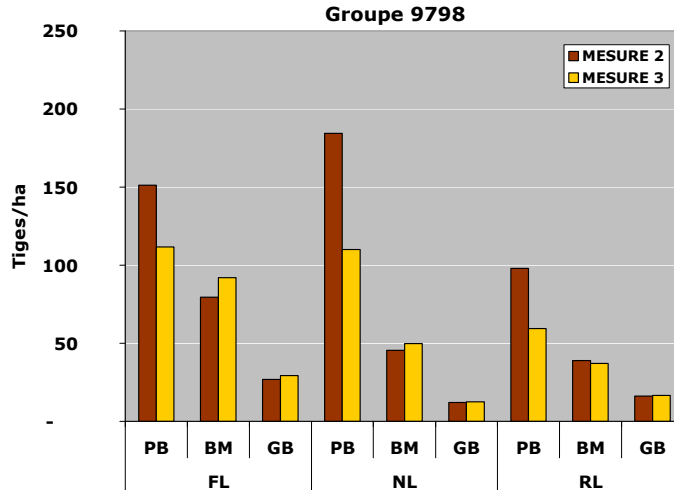


Figure 28: Structure diamétrale, par catégorie de grosseur et par groupe d'essence, pour les deux groupes d'échantillons.

Les figures ci-dessous présentent les matrices de transition quinquennales estimées pour les deux groupes d'échantillons, pour chaque groupe d'essence. On constate que :

1. Le taux de stagnation est plus faible en général pour le groupe 9798, ce qui est cohérent avec la croissance en surface terrière qui est légèrement moins élevée pour ce groupe (Figure 29).
2. Le taux de mortalité est généralement plus élevé chez le groupe 9798. Cette observation est aussi cohérente avec les analyses effectuées plus haut sur le taux de mortalité.
3. En raison de la faible taille de l'échantillon, les taux estimés pour les gros bois d'essences non longévives sont très imprécis.
4. Dans l'ensemble, les taux de stagnation sont plus faibles que ceux estimés à partir de placettes permanentes pour le modèle BIOLLEY. Les taux de mortalité sont en contrepartie plus élevés. Ces deux observations suggèrent que les peuplements analysés dans cette étude sont plus dynamiques que ce qui est escomptés à partir des placettes permanentes.

Tableau 16 : Matrices de transition quinquennales moyennes en fonction du groupe d'essence et du groupe d'échantillon.

9394 FL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,854		
	BM	0,130	0,868	
	GB	0,000	0,101	0,921

9798 FL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,744		
	BM	0,202	0,870	
	GB	0,000	0,084	0,902

9394 RL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,881		
	BM	0,054	0,847	
	GB	0,000	0,138	0,950

9798 RL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,523		
	BM	0,445	0,833	
	GB	0,000	0,053	0,874

9394 NL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,785		
	BM	0,095	0,858	
	GB	0,000	0,126	0,074

9798 NL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,692		
	BM	0,130	0,659	
	GB	0,000	0,000	0,000

Tableau 17 : Intervalle de confiance des matrices de transition quinquennales des feuillus longévifs (FL), des résineux longévifs (RL) et des essences non-longévives.

9394 FL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,791-0,906		
	BM	0,080-0,188	0,828-0,903	
	GB		0,070-0,135	0,880-0,953

9798 FL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,669-0,803		
	BM	0,148-0,267	0,830-0,903	
	GB		0,054-0,122	0,866-0,935

9394 RL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,747-0,991		
	BM	0,000-0,153	0,754-0,920	
	GB		0,063-0,226	0,887-1,000

9798 RL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,000-0,877		
	BM	0,093-1,000	0,683-0,954	
	GB		0,000-0,142	0,786-0,949

9394 NL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,688-0,869		
	BM	0,038-0,164	0,694-0,969	
	GB		0,000-0,299	0,000-0,351

9798 NL		État initial		
		PB	BM	GB
État Final	PB	0,598-0,775		
	BM	0,059-0,201	0,459-0,832	
	GB		0,000-0,000	0,000-0,000

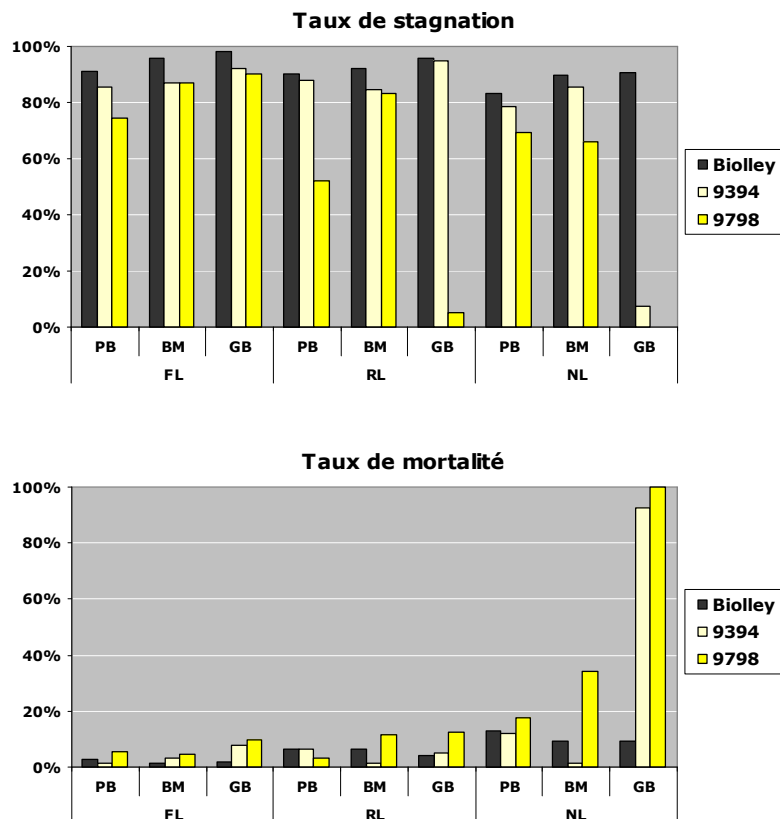


Figure 29 : Comparaison des taux de stagnation et de mortalité issus de BIOLLEY II, calibré à partir de placettes permanentes, aux valeurs obtenus à partir du suivi après jardinage.

5.4 Passage à la futaie

Les valeurs quinquennales de passage à la futaie (PFQ) varient de manière sensible selon la méthode et selon le groupe (Tableau 18). En guise de comparable, le recrutement quinquennal entre les mesures 2 et 3 a été calculé en fonction de trois gammes de DHP (Tableau 19). Ces valeurs correspondent à la somme du passage à la futaie et du recrutement des tiges qui avaient déjà une taille marchande à la mesure 2. Leur similarité avec les valeurs estimées par la méthode B suggère que cette dernière tend à surestimer PFQ. Par conséquent, les résultats de la méthode A semblent plus adéquats, avec des valeurs de 26 et 35 tiges/ha/5 ans pour les groupes 9394 et 9798 respectivement.

À titre de comparaison, les valeurs de PFQ estimées à partir d'un modèle calibré avec

les placettes permanentes du MRNF pour un peuplement moyen oscillent entre 16 et 50 tiges/ha/5 ans, avec une valeur médiane de 30 tiges/ha/5 ans.

Tableau 18: Passage à la futaie par groupe (tiges/ha/5 ans) selon les deux méthodes d'évaluation.

Les valeurs entre parenthèse indiquent l'intervalle de confiance pour la méthode A.

	9394				9798			
	FL	RL	NL	TOTAL	FL	RL	NL	TOTAL
Méthode A	5,3 [5,1-5,3]	11,3 [11,3-11,4]	9,6 [9,6-9,7]	26,2 [26,0-26,4]	19,7 [19,5-19,7]	4,3 [4,3-4,4]	11,1 [11,0-11,3]	35,1 [34,8-35,4]
Méthode B	nd.	nd.	nd.	39,0	nd.	nd.	nd.	46,6

Tableau 19: Recrutement quinquennal des classes DHP 10-14 cm.

Classe diamétrale	9394	9798	Toutes
DHP 10 cm	17,2	22,0	20,2
DHP 10-12 cm	27,6	40,4	35,5
DHP 10-14 cm	37,6	48,3	44,2

5.5 Évolution du type de couvert

Trois matrices de transition ont été calculées pour illustrer les changements de composition des placettes. La première porte sur le changement directement induit par la coupe (entre les mesures 1 et 2, Tableau 21, Figure 30). La seconde porte sur l'effet du temps entre les mesures 2 et 3 (Tableau 22, Figure 31). La dernière incorpore les deux étapes, en illustrant le changement net entre les mesures 1 et 3 (Tableau 23, Figure 32). Puisque le type de couvert des deux groupes est comparable pour les trois mesures, un seul ensemble de matrices a été calculé pour l'ensemble de l'échantillon.

- La récolte produit un changement de type de couvert dans 21,6% des placettes (Tableau 20). Ce pourcentage est similaire à celle qui se produit entre la coupe et la dernière mesure (24,5%).
- Quand on considère l'évolution des types de couvert dus à l'effet combiné de la récolte et du temps (transition entre les mesures 1 et 3), le taux de changement de type de couvert (31,7%) est moindre que la sommation de taux de changement dans les intervalles 1-2 et 2-3, ce qui suggère que des placettes ont retrouvé leur composition initiale à la dernière mesure. En quelques sortes, l'évolution après la coupe compense en partie les

changements induits par la coupe sur la composition du peuplement.

- c) Quelque soit l'intervalle de mesure considéré, il n'y a aucune placette qui devient résineuse.
- d) Dans l'ensemble, le type de couvert le plus stable est le FT. Les moins stables sont les types R et MR.
- e) Il n'y a aucun PE MR ou R qui soit devenus FT. Il y a des PE MR qui sont devenus FI

Tableau 20: Pourcentage des placettes dont sa composition change.

	Toutes	9394	9798
Coupe	21,6%	22,6%	20,1%
Période après coupe-2008	24,5%	24,5%	24,4%
Coupe+ Période après coupe-	31,7%	32,1%	31,4%

Tableau 21: Matrice de transition de l'effet de la récolte sur le type de couvert.

Passage Composition		Pourcentage					Tot. Final
		État initial (M 1)					
		FI	FT	MF	MR	R	
État final (M 2)	FI	14,4%	2,2%	4,3%	0,7%	0,0%	21,6%
	FT	3,6%	34,5%	3,6%	0,0%	0,0%	41,7%
	MF	0,7%	1,4%	19,4%	2,9%	0,0%	24,5%
	MR	0,0%	0,0%	1,4%	7,9%	0,7%	10,1%
	R	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,2%	2,2%
Tot. Initial		18,7%	38,1%	28,8%	11,5%	2,9%	100,0%

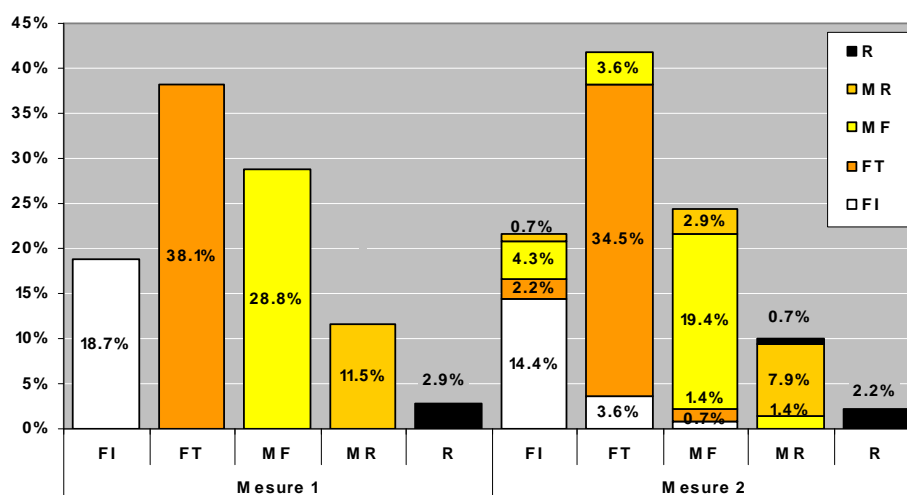


Figure 30: Type de couvert aux mesures 1 et 2, avec la répartition en fonction du type d'origine pour la mesure 2.

Tableau 22: Matrice de transition de l'effet du temps entre les mesures 2 et 3 sur le type de couvert.

Passage Composition		Pourcentage					
		État initial (M 2)					Tot. Final
		FI	FT	MF	MR	R	
État final (M 3)	FI	13,7%	2,2%	2,2%	0,0%	0,0%	18,0%
	FT	1,4%	36,7%	3,6%	0,0%	0,0%	41,7%
	MF	6,5%	2,9%	15,8%	2,2%	0,7%	28,1%
	MR	0,0%	0,0%	2,9%	7,9%	0,0%	10,8%
	R	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	1,4%
Tot. Initial		21,6%	41,7%	24,5%	10,1%	2,2%	100,0%

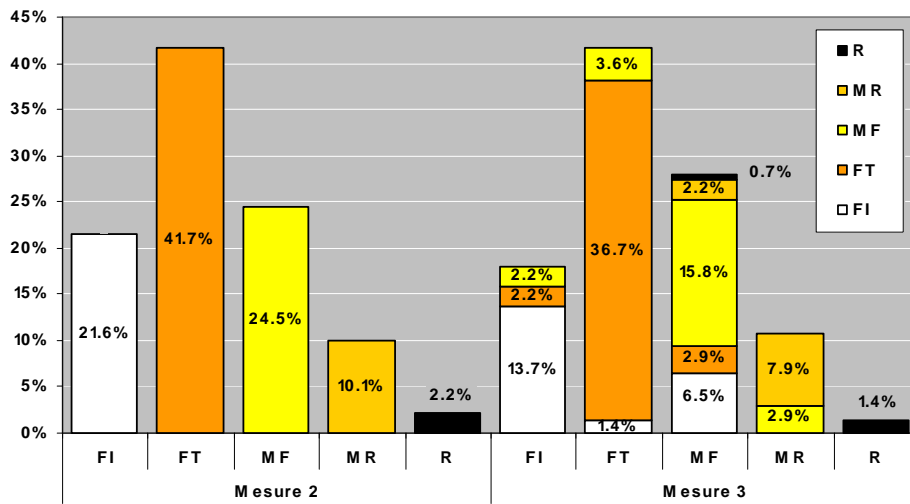


Figure 31: Type de couvert aux mesures 2 et 3, avec la répartition en fonction du type d'origine pour la mesure 3.

Tableau 23: Matrice de transition de l'effet de la récolte et du temps depuis la coupe jusqu'en 2008 sur le type de couvert - Deux groupes.

Passage Composition		Pourcentage					
		État initial (M 1)					Tot. Final
		FI	FT	MF	MR	R	
État final (M 3)	FI	11,5%	2,2%	3,6%	0,7%	0,0%	18,0%
	FT	2,2%	33,8%	5,8%	0,0%	0,0%	41,7%
	MF	5,0%	1,4%	15,8%	5,0%	0,7%	28,1%
	MR	0,0%	0,7%	3,6%	5,8%	0,7%	10,8%
	R	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	1,4%
Tot. Initial		18,7%	38,1%	28,8%	11,5%	2,9%	100,0%

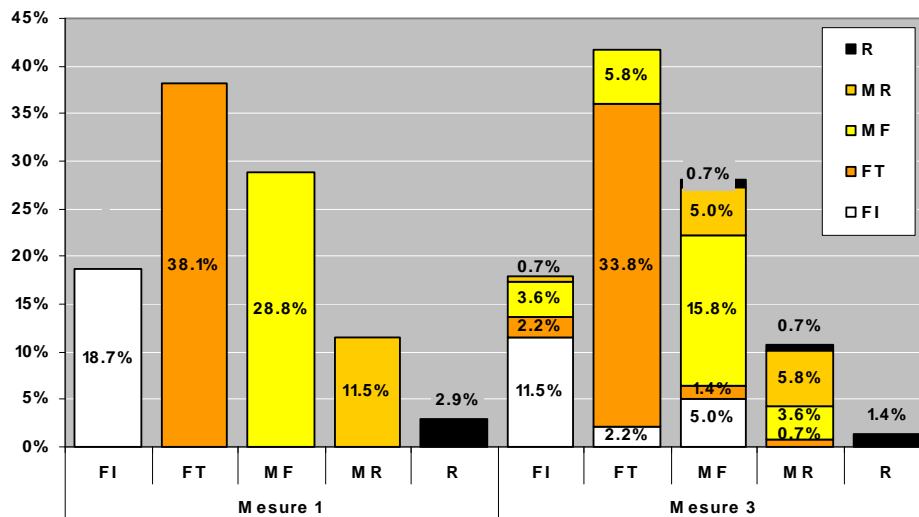


Figure 32: Type de couvert aux mesures 1 et 3, avec la répartition en fonction du type d'origine pour la mesure 3.

6. ANNEXES

6.1 Groupes d'essences

Le tableau suivant regroupe les essences en fonction des catégories utilisées pour l'analyse.

Feuillus longévifs FL	Résineux longévifs RL	Essences non longévives NL
AUF	EPB	BOP
BOJ	EPN	PEU
CHX	EPR	SAB
ERR	PIB	
ERS	PRU	
FRN	THO	
HEG		
TIL		

7. BIBLIOGRAPHIE

Agresti, A. (2002), *Categorical Data Analysis* (2nd ed.), New Jersey: Wiley-Interscience. ISBN 0-471-36093-7.

Anonyme. 1984. Normes d'inventaire forestier (2^e programme d'inventaire décennal). Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec.

Bédard, S., et Brassard, F. 2002. Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 ET 1996. Edité par Direction de la recherche forestière Ministère des ressources naturelles du Québec, Québec.

Boulet, B. 2005. Défauts externes et indices de la carie des arbres. Les publications du Québec, Québec.

De Turckheim, B. 2006. La Sylviculture Irrégulière Continue et Proche de la Nature (SICPN), un moyen d'améliorer la rentabilité de la forêt. Forêt Wallonne 85: 19-26.

Eyre, F.H., et Zillgitt, W.M. 1953. Partial cuttings in northern hardwoods of the Lake States: twenty-year experimental results. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Lake States Forest Experiment Station.

Fortin, M. 2008. Relecture de placettes de CJs de l'UAF 064-51. Phase 2: Exécution. Rapport final. Coopérative forestière des Hautes-Laurentides.

Gouvernement du Québec, Q. 1984. Normes d'inventaire forestier (2^e programme d'inventaire décennal). Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec.

Guillemette, F., Bédard, S., et Fortin, M. 2008. Evaluation of a tree classification system in relation to mortality risk in Québec northern hardwoods. For Chron 84(6): 886-899.

Hartmann, H., Beaudet, M., et Messier, C. 2008. Using longitudinal survival probabilities to test field vigour estimates in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.). *Forest Ecology and Management* 256(10): 1771-1779.

Majcen, Z., Bedard, S., et Meunier, S. 2005. Growth and mortality fifteen years after selection cutting in fourteen sugar maple stands in southern Quebec.; Accroissement et mortalité quinze ans après la coupe de jardinage dans quatorze érablières du Québec méridional. Mémoire de Recherche Forestière Direction de la Recherche Forestière, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs (148): xi.

Majcen, Z., Richard, Y., Menard, M., et Grenier, Y. 1990. Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique. Mémoire de recherche No.96. Direction de la Recherche et du Développement, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Forêts Québec, Québec.

Nyland, R.A. 2002. Silviculture, concepts and applications. Second Edition. McGraw-Hill, New York.

Schütz, J.P. 1997. Silviculture 2 : La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

Smith, D.M. 1986. The practice of silviculture. Wiley, New York Toronto.

Tominaga, K., Watmough, S.A., et Aherne, J. 2008. Predicting tree survival in Ontario sugar maple (*Acer saccharum*) forests based on crown condition. Canadian Journal of Forest Research **38**(7): 1730-1741.