

Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
Institut de Recherche sur les Forêts
445, boulevard de l'Université
ROUYN-NORANDA, Québec, J9X 5E4

STRUCTURE, COMPOSITION ET DYNAMIQUE DES PEUPELEMENTS ISSUS DE COUPES PARTIELLES DANS LA FORÊT D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE DU LAC DUPARQUET

RAPPORT DE STAGE

Février – Août 2014

Claire BASTICK

Engagement de non plagiat

① Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

② Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

③ **Sanction** : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

④ Engagement :

Je soussignée Claire Bastick

Reconnait avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Rouyn-Noranda, le 2 août 2014

Signature :



Cet engagement de non plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Sommaire

Remerciements	- 4 -
Introduction.....	- 4 -
I. Contexte de l'étude	- 5 -
<i>I.1. La Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet</i>	<i>- 5 -</i>
<i>I.2. L'aménagement écosystémique</i>	<i>- 6 -</i>
<i>I.3. Brève revue de littérature sur les coupes partielles.....</i>	<i>- 8 -</i>
<i>I.4. Problématique</i>	<i>- 10 -</i>
II. Démarches et méthodes	- 11 -
<i>II.1. Aire d'étude</i>	<i>- 11 -</i>
<i>II.2. Inventaire de suivi de l'aménagement</i>	<i>- 11 -</i>
<i>II.3. Classification des peuplements utilisée</i>	<i>- 12 -</i>
<i>II.4 . Plan de sondage.....</i>	<i>- 12 -</i>
<i>II.5. Protocole d'inventaire</i>	<i>- 13 -</i>
<i>II.6. Analyse des données dendrométriques</i>	<i>- 14 -</i>
<i>II.6. Mesure et analyse des carottes.....</i>	<i>- 15 -</i>
III. Résultats des analyses.....	- 17 -
<i>III.1. Caractérisation des peuplements</i>	<i>- 17 -</i>
<i>III.2. Caractérisation des coupes.....</i>	<i>- 18 -</i>
<i>III.3. Evolution des peuplements après la coupe</i>	<i>- 20 -</i>
IV. Discussion.....	- 25 -
<i>IV.1. Implications sylvicoles</i>	<i>- 25 -</i>
<i>IV.2. Limites</i>	<i>- 26 -</i>
<i>IV.3. Perspectives.....</i>	<i>- 27 -</i>
Conclusion	- 28 -
Bibliographie.....	- 28 -
Liste des annexes.....	- 30 -

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier les personnes qui m'ont permis de réaliser ce stage et l'ont rendu enrichissant pour moi.

D'abord, un très grand merci à mon maître de stage, Brian Harvey, qui m'a fait confiance dès le début et a mis tous les moyens à ma disposition au long de ces six mois. Merci aussi pour tous ces moments passés à m'expliquer le fonctionnement des écosystèmes et de la foresterie de la région, dépaysant pour moi qui n'avait vu que des petites forêts tempérées européennes. Merci également, à vous deux avec Suzanne pour votre accueil.

Je voudrais également remercier Claude-Michel Bouchard pour avoir décortiqué avec moi cette base de données et Philippe Duval pour m'avoir partagé sa connaissance du terrain par ses précieux conseils.

Merci également à Marie et Raynald pour leur accueil chaleureux à la station de recherche et pour avoir rendu mon séjour aussi agréable.

Ce travail n'aurait pas été possible sans Pier-Alex Bordeleau, mon assistant de terrain. Merci de m'avoir accompagné sur toutes ces placettes, d'avoir compté tous ces arbres et ce malgré la compagnie des mouches. Merci aussi à lui pour le temps passé sur ces nombreuses petites carottes de bois.

Enfin, un dernier remerciement aux autres étudiants, tant de foresterie que des mines, pour leur bonne humeur communicative au long de ces journées.

Introduction

Dans les dernières années, des questionnements sont nés par rapport à la durabilité de l'aménagement traditionnel par coupe totale des forêts boréales québécoises. Ainsi, de nouvelles pratiques sylvicoles, dont les coupes partielles, ont commencé à se développer en lien avec un aménagement écosystémique plus proche de la dynamique naturelle.

La Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet est un terrain majeur pour l'expérimentation des principes de cet aménagement en forêt boréale mixte. Des projets de recherches y sont donc menés afin d'apporter des réponses aux incertitudes concernant ces nouveaux types de récolte.

C'est de façon à suivre et analyser l'évolution de ces peuplements traités par coupe partielles, que cette étude a été réalisée. Ainsi, après un état des lieux des concepts et des connaissances sur ce type de traitement, un ré-inventoriage a été établi et appliqué sur le terrain avant d'analyser et de discuter les résultats obtenus lors de ce suivi.

I. Contexte de l'étude

I.1. La Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet

La Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet (FERLD), territoire forestier de 8045 ha doté d'une station de recherche, est le terrain d'étude de nombreux chercheurs et étudiants. Située en forêt boréale québécoise au Nord-Ouest de l'Abitibi (cf. Figure 1), elle permet la compréhension de cet écosystème forestier ainsi que l'expérimentation de nouveaux modes de gestion et d'aménagement (Plan d'aménagement de la FERLD, 1999). Ces projets se déroulent notamment dans le cadre des activités de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM¹ en aménagement forestier durable, une sorte de consortium universitaire de recherche qui œuvre pour le développement de la recherche forestière dans le cadre de l'aménagement écosystémique (voir <http://chaireafd.uqat.ca/>). Bien qu'ayant fait l'objet de recherches des les années 70, la FERLD a été officiellement créée en 1995 grâce au partenariat entre le gouvernement du Québec et les deux Universités du Québec - à Montréal (UQAM) et en Abitibi-Témiscamingue (UQAT). C'est par ailleurs en tant que stagiaire à l'UQAT, université basée à Rouyn-Noranda (cf. Figure 1), que j'ai travaillé sur des projets de la FERLD.

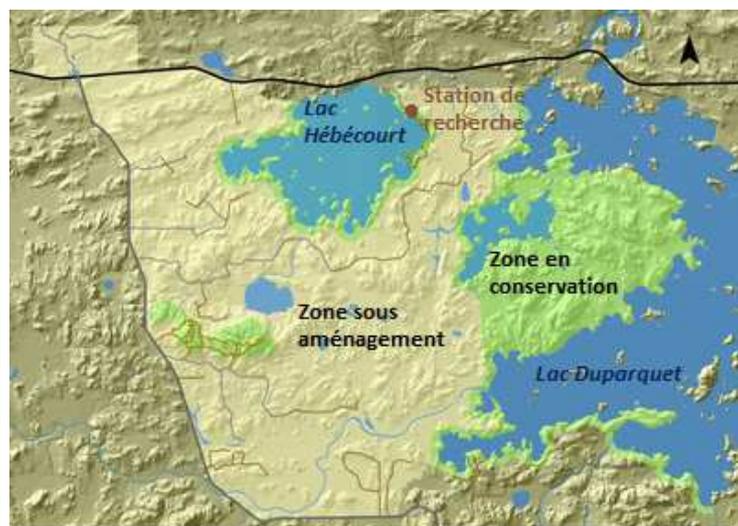


Figure 1 : Carte de localisation de Rouyn-Noranda et de la FERLD au Québec

Figure 2 : Carte de la FERLD et de son zonage (source : FERLD)

Du fait de sa mission particulière, la FERLD est divisée de deux zones (cf. Figure 2) :

- une zone de conservation à grande valeur écologique (environ 25% du territoire) permettant à la fois de fournir une référence et de comprendre la dynamique naturelle des écosystèmes forestiers et les régimes de perturbations.
- une zone sous aménagement (environ 75% du territoire) dont la mission est à la fois de fournir un rendement soutenu mais aussi de permettre l'investigation de nouveaux modes d'aménagement, et entre autre des coupes partielles. C'est essentiellement cette zone qui est visée par le plan général d'aménagement rédigé pour la période 1998-2023. Ainsi plusieurs récoltes ont été réalisées, notamment sur des sites expérimentaux implantés dans le cadre du projet SAFE (Sylviculture et Aménagement Forestier Ecosystémique), mais également sans objectif principal de recherche dans le cadre de

¹ Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie – Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue – Université du Québec à Montréal

l'aménagement sur le reste de la zone aménagée. C'est sur ces coupes partielles dites « opérationnelles » de la FERLD que porte cette étude.

Les deux compagnies forestières ayant cédé leurs droits sur le territoire, le Groupe des Produits forestiers Tembec et les Industries Norbord, restent des partenaires privilégiés dans différents projets de recherche et dans la réalisation des travaux. Par ailleurs, la FERLD a reçu en 2011 la certification FSC, incitant à la poursuite de cet aménagement proche de la dynamique naturelle, l'aménagement écosystémique.

1.2. L'aménagement écosystémique

En forêt boréale québécoise, vaste écosystème encore largement naturel, l'aménagement traditionnel est, depuis les années 1960, essentiellement constitué de coupes totales et, à partir des années 1990, de coupes avec protection de la régénération et du sol (CPRS). Ces coupes sont donc majoritairement réalisées dans des forêts encore vierges et entraînent les paysages forestiers dans une évolution différente de celle qu'ils auraient naturellement. En effet, si ces pratiques peuvent, en quelque sorte, s'apparenter aux effets d'un feu, perturbation naturelle dominante en forêt boréale, la révolution de ce type de coupe est plus courte que le cycle de feu, ce qui entraîne un rajeunissement important de la matrice forestière. Par ailleurs, cet aménagement n'a pas les mêmes patrons et ne reproduit pas la variabilité naturelle – en termes de taille, intensité et intervalle - des perturbations et de la dynamique naturelle (Bergeron, et al., 1999).

Ainsi au cours des dernières années, divers questionnements sont nés par rapport à l'aménagement conventionnel qui produit des forêts jeunes, équiennes, avec peu de legs biologiques et disproportionnellement composées de feuillus pionniers intolérants à l'ombre (Gauthier, et al., 2008). Le concept d'aménagement écosystémique découle donc de ces préoccupations et vise à « réduire les écarts entre la forêt aménagée et la forêt naturelle, de manière à assurer le maintien de la biodiversité et la viabilité des écosystèmes » selon la définition du Ministère des Ressources Naturelles du Canada.

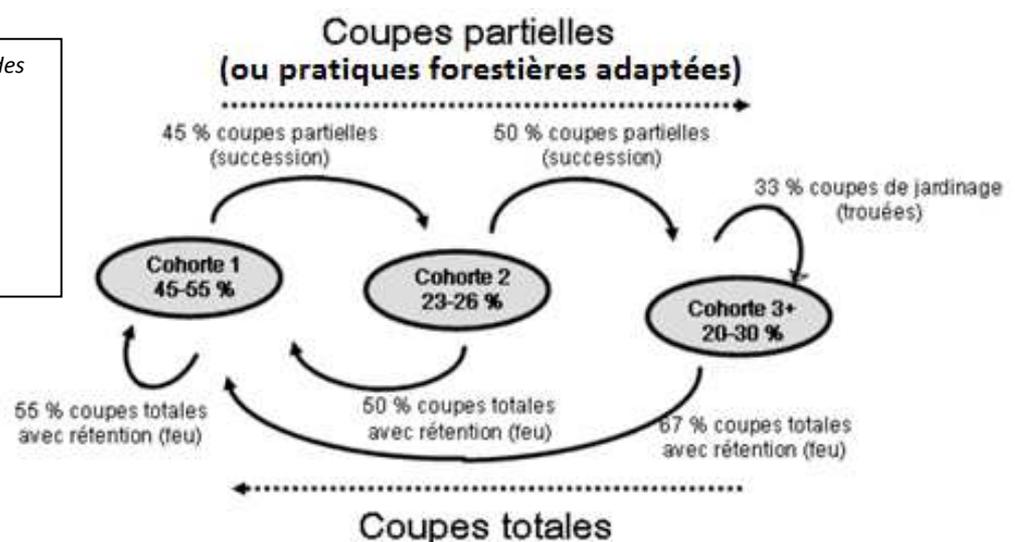
En d'autres termes, l'aménagement écosystémique cherche à exploiter et intégrer des connaissances sur la dynamique naturelle, notamment les perturbations naturelles et l'évolution des peuplements, afin de maintenir les attributs assurant l'intégrité écologique tant au niveau du paysage que des peuplements. Ces attributs sont des éléments clés dans la constitution de divers habitats (Vaillancourt, et al., 2009 ; Gauthier, et al., 2008) :

Attribut	Aménagement par coupe totale	Forêt naturelle
Distribution des peuplements dans le paysage <i>(Schémas issus du plan d'aménagement de la FERLD : a : territoire aménagé et structure d'âge de la forêt b : territoire non aménagé et temps depuis le dernier feu)</i>	Peuplements équiens et jeunes (aucun peuplement ne dépasse l'âge de révolution), avec des patrons de coupes géométriques et agglomérés 	Perturbations spatialement aléatoires (ou presque) sur le territoire. Peuplements variés, certains ayant été longtemps épargnés par les feux (dépassant l'âge du cycle de feu), avec des patrons laissant des îlots et aux frontières aléatoires

Attribut	Aménagement par coupe totale	Forêt naturelle
Composition en essences	Favorisation des essences feuillues intolérantes à l'ombre et de début de succession, du fait des révolution courtes (phénomène d'enfeuillage)	Mosaïque de forêts feuillues, mixtes et résineuses en fonction du stade de succession des différents peuplements et temps depuis le dernier feu
Structure horizontale et verticale	Structure équiennne et relativement homogène des peuplements	Structures variées, équiennne pour les peuplements post-feu, inéquiennne et avec des trouées pour les peuplements âgés
Bois mort	Relativement peu de bois mort au sol et sur pied, le volume étant récolté	Différents types et états de décomposition de débris ligneux (chicots après un feu, chablis après une tempête...)
Productivité des sols	Changement dans l'apport en matière organique, dans les perturbations du sol. Risque de baisse de productivité, de paludification dans la pessière noire ou d'envahissement par les éricacées sur sites pauvres.	Modification physique (exposition du sol minéral) et chimique (libération d'éléments nutritifs) par le feu, et apport de matière organique par le bois mort.
Legs biologiques	Peu d'arbres fauniques, peu de connectivité entre habitats résiduels, peu de chicots et d'îlots verts	Attributs de vieilles forêts (arbres fauniques et de gros diamètres) et sauvegarde d'îlots et de chicots

Afin de rapprocher les forêts aménagées des forêts naturelles au niveau de ces différents attributs, la stratégie de l'aménagement forestier écosystémique consiste à s'inspirer des perturbations naturelles. Ces perturbations sont des éléments influant fortement la dynamique naturelle en forêt boréale, et celles-ci sont de plusieurs types (feu de surface, feu profond, épidémies, chablis), pouvant être de sévérité, de temps de retour et de taille et distribution spatiale variables (Bergeron, et al., 1999 ; Vaillancourt, et al., 2009). Ces éléments entraînent une mosaïque de peuplements évoluant selon la dynamique de succession entrecoupée par les divers événements. Afin d'appliquer un aménagement proche de cette dynamique, des analogues sylvicoles aux perturbations sont déterminées (types de coupes ayant les mêmes effets) et la distribution et les superficies cibles de chaque cohorte sont déterminés pour répartir les différents traitements à l'échelle du paysage (cf. Figure 3).

Figure 3 : Modèle conceptuel des cohortes structurales et de l'utilisation de différents traitements de coupe dans le cadre d'un aménagement écosystémique (Harvey, et al., 2002)



Ce concept d'aménagement écosystémique est donc aujourd'hui largement étudié au niveau de la recherche et de plus en plus mis en œuvre au niveau opérationnel, si bien qu'il a été introduit des les premières lignes dans la nouvelle loi forestière de 2013.

I.3. Brève revue de littérature sur les coupes partielles

L'aménagement en forêt boréale canadienne a donc fortement évolué dans les dernières années avec l'adoption d'un aménagement écosystémique, s'inspirant de la dynamique naturelle. Les pratiques sylvicoles traditionnelles, équiennes et de révolution courte, ont eu tendance à favoriser l'enfeuillage et le rajeunissement de ces forêts. Les coupes partielles semblent ainsi représenter une bonne alternative permettant de maintenir des peuplements mixtes et résineux ainsi que des attributs de vieilles forêts (Bergeron & Harvey, 1997 ; Prévost, et al., 2003). En lien avec cette récente évolution, les impacts de ce type de coupes au niveau sylvicole et sur le long terme, restent relativement peu documentés (Thorpe & Thomas, 2007 ; Bose, et al., 2013). De plus, la coupe partielle, définie comme « *toute coupe enlevant une partie des arbres d'un peuplement* », selon le Ministère des Ressources Naturelles, est un terme susceptible d'englober une certaine variété de pratiques. Selon les études (Groot, et al., 2005 ; Thorpe & Thomas, 2007 ; Bose, et al., 2013), ce terme peut représenter toute coupe à rétention variable, même celles se rapprochant des effets d'un incendie en ne laissant sur pied que quelques arbres marchands, ou bien ne prendre en compte uniquement que les coupes ayant un prélèvement moins fort et se rapprochant plutôt de perturbations secondaires (épidémies, chablis, trouées) (Bergeron & Harvey, 1997 ; Bergeron, et al., 1999).

Bénéfices écologiques des coupes partielles

Un certain nombre d'études a déjà montré l'impact positif des coupes partielles sur différentes espèces tant au niveau de la faune que de la flore (Thorpe & Thomas, 2007). Ainsi pour différents taxons, les peuplements issus des coupes partielles supportaient des communautés fauniques et floristiques semblables aux peuplements non coupés ou intermédiaires entre ceux-ci et les peuplements issus de coupes totales (Gauthier, et al., 2008, chap. 15). Globalement, selon plusieurs auteurs, les coupes partielles ayant une intensité de coupe inférieure à 50% maintiendraient des conditions adéquates pour la plupart des groupes d'espèces en comparaison avec des coupes plus intenses ou totales (Fenton, et al., 2013 ; Ruel, et al., 2013 ; Solarik, et al., 2012). Les legs biologiques ainsi que la biodiversité laissée après les coupes partielles sont autant d'éléments favorisant la résistance et la résilience de ces écosystèmes (Gauthier, et al., 2008, chap. 1).

Par ailleurs, en mimant la mortalité naturelle et des perturbations peu sévères, ce type de coupe favorise la succession vers des peuplements de cohorte supérieure, à structure inéquienne et aux caractéristiques de forêts plus âgées (Bergeron & Harvey, 1997 ; Bergeron, et al., 1999 ; Brais, et al., 2013). Lors des coupes partielles, la présence de bois mort et de chicots seraient potentiellement également plus important, ayant un effet positif sur la biodiversité (Brais, et al., 2013 ; Fenton, et al., 2013). La présence de ces peuplements âgés ou surannés dans le paysage bénéficie donc non seulement à certaines espèces animales (Ruel, et al., 2013) mais également à une représentation plus adéquate de la répartition spatiale des forêts engendrée par la variabilité dans l'occurrence des perturbations naturelles (Bose, et al., 2013). En effet, contrairement aux coupes totales, même ayant un âge de rotation similaire à la durée du cycle de perturbations, les feux laisseront intacts certaines zones qui évolueront naturellement vers des stades plus avancés et subiront éventuellement des perturbations secondaires telles que les épidémies ou des chablis (Bergeron & Harvey, 1997 ; Bergeron, et al., 1999).

Composition en essences

En parallèle, la succession liée aux coupes partielles permettrait de maintenir des peuplements mixtes, limitant l'envahissement par les feuillus intolérants, notamment le tremble (Prévost, et al., 2003 ; Bose,

et al., 2014 ; Man, et al., 2008). En effet, plusieurs études dans des peuplements mixtes avec une forte composante de tremble en forêt boréale ont montré quelques années après la coupe partielle, une bonne croissance de la régénération ainsi qu'un bon recrutement de résineux tolérants (Gendreau-Berthiaume, et al., 2012 ; Prévost, et al., 2010 ; Man, et al., 2008). Cependant, dans les coupes partielles, la germination et la survie de la régénération peuvent être handicapées par la moins grande dispersion des graines, l'envahissement possible d'espèces arbustives et le risque d'accumulation de matière organique dans certaines stations dû à l'absence de minéralisation par le feu ou à l'absence d'exposition et de préparation de terrain après coupe totale (Bose, et al., 2013 ; Bergeron, et al., 1999). La capacité des coupes partielles à maintenir des résineux au moins dans les strates inférieures a malgré tout été vérifiée dans des peuplements mixtes dominés par le tremble une dizaine d'années après les opérations (Prévost, et al., 2010 ; Man, et al., 2008 ; Gendreau-Berthiaume, et al., 2012).

Implications économiques

Si le maintien de résineux est intéressant pour l'industrie forestière, qui en dépend en grande partie (Prévost, et al., 2003), la rentabilité à court-terme de la coupe totale reste supérieure à celle des coupes partielles (Ruel, et al., 2013 ; Etheridge & Kayahara, 2013). Les coûts liés à l'exploitation pourraient également augmenter. De plus, la qualité du bois pourrait être dégradée par les dommages d'exploitation et la baisse de la densité du bois (Bose, et al., 2013). Néanmoins, compte-tenu des enjeux de conservation actuels, les coupes partielles constituent une alternative s'approchant de la dynamique naturelle tout en permettant d'obtenir un revenu économique (Prévost, et al., 2003 ; Harvey, et al., 2002). Par ailleurs, sur le long terme, l'augmentation de croissance des arbres résiduels ainsi que les dimensions plus importantes de ces derniers pourraient augmenter la rentabilité des coupes partielles (Ruel, et al., 2013 ; Etheridge & Kayahara, 2013 ; Bose, et al., 2013).

Croissance des arbres résiduels

La croissance des arbres résiduels après coupe partielle a été mesurée dans différentes expérimentations, la réponse pouvant être immédiate (Bose, et al., 2014) ou décalée de quelques années par rapport à la récolte (Thorpe & Thomas, 2007 ; Man, et al., 2008). Ces accroissements concerneraient des essences variées des forêts mixtes de l'est de la forêt boréale, tant sur les résineux (Prévost, et al., 2010), que sur les feuillus, notamment le tremble (Bose, et al., 2014 ; Man, et al., 2008). L'intensité de coupe représente un facteur important de variation, avec généralement une réponse plus importante pour des intensités plus fortes (Bose, et al., 2014 ; Prévost, et al., 2010). Cette réponse en croissance, liée à la diminution de la compétition (Thorpe & Thomas, 2007 ; Bose, et al., 2014), peut cependant être limitée par l'exposition à différents stress et la hausse de la mortalité post-coupe (Bose, et al., 2013 ; Thorpe & Thomas, 2007).

Mortalité post-traitement

La mortalité serait une des grandes limites des coupes partielles en forêt boréale (Bose, et al., 2013 ; Thorpe & Thomas, 2007). En effet, si un peu de mortalité post-coupe permet la présence de bois mort favorable à la biodiversité (Fenton, et al., 2013), des taux trop élevés peuvent remettre en cause la production durable de bois (Thorpe & Thomas, 2007). Une surmortalité dans des peuplements issus de coupes partielles a ainsi été mesurée dans plusieurs études en forêt boréale mixte (Harvey & Brais, 2007 ; Bose, et al., 2014 ; Solarik, et al., 2012). Celle-ci peut être attribuée aux différents dommages mécaniques mais surtout à l'augmentation de l'exposition et de la vitesse du vent provoquant dépérissements et chablis (Bose, et al., 2013 ; Thorpe & Thomas, 2007). Cependant, les dégâts

provoqués par les tempêtes dans des peuplements récoltés concernent souvent des coupes à faible rétention (Solarik, et al., 2012 ; Lavoie, et al., 2012). De façon générale, les peuplements issus de coupes partielles d'intensité faible (inférieure à 50%) ont une mortalité inférieure ou égale à celle des peuplements non coupés (Solarik, et al., 2012 ; Harvey & Brais, 2007 ; Bose, et al., 2014 ; Gendreau-Berthiaume, et al., 2012).

La mortalité constitue donc un thème important dans les recherches sur les impacts des coupes partielles, de même que le suivi sur le long terme de l'évolution structurale et de la composition de ces peuplements (Bose, et al., 2013 ; Thorpe & Thomas, 2007).

I.4. Problématique

Ce projet de stage s'insère dans la problématique de l'utilisation des coupes partielles dans le contexte de l'aménagement forestier écosystémique appliqué à la FERLD. Bien que plusieurs dispositifs expérimentaux sur le thème de coupes partielles aient été mis en place et suivis depuis une quinzaine d'années dans la forêt, c'est sur les effets des coupes partielles « opérationnelles » et moins suivies que les gérants de la FERLD avaient plusieurs interrogations. C'est suivant cette évolution et ces interrogations récentes sur les pratiques sylvicoles que depuis plusieurs années des coupes partielles ont été réalisées dans différents peuplements de la FERLD. Des données d'inventaires y ont été régulièrement collectées à des fins de suivi, via un réseau de placettes. Par rapport au suivi de l'aménagement, mais aussi aux questionnements soulevés par ces nouvelles pratiques, il est particulièrement intéressant de ré-inventorier ces zones après plusieurs années d'évolution et d'analyser ces données dendrométriques. Par ailleurs, beaucoup d'études en forêt boréale mixte portant sur des peuplements équiens de tremble ou de pin, les coupes de la FERLD permettent d'étudier ces impacts sur d'autres types de peuplements minoritaires. Les coupes partielles étudiées dans ce rapport se basent sur les coupes partielles répertoriées comme telles dans la FERLD, c'est-à-dire n'incluant pas les coupes avec rétention (*cf. Annexe 2*).

Le but de cette étude est donc de connaître la dynamique de différents peuplements traités par coupes partielles « opérationnelles » dans la FERLD, et plus spécifiquement, de savoir s'il y a un changement de composition et de structure de ces peuplements, de déterminer quelle est l'évolution post-coupe en termes d'accroissement, de recrutement et de mortalité, et de comprendre les éventuelles différences entre les peuplements. Dans ce cadre, une première analyse des placettes préexistantes a été réalisée avant de remesurer certaines placettes pour pouvoir suivre cette évolution.

II. Démarches et méthodes

II.1. Aire d'étude

Les coupes partielles étudiées se situent donc dans la Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet en Abitibi-Témiscamingue (48°30'N, 79°20'O, à environ 300m d'altitude). Cette forêt appartient au domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc et plus exactement à la région écologique des plaines de l'Abitibi. Cela signifie donc que cette forêt pousse majoritairement sur des dépôts argileux d'origine glacio-lacustres résultant de l'inlandsis Laurentidien puis du lac pro-glaciaire Ojibway disparu depuis 8000 ans. Le climat y est continental avec une température annuelle moyenne de 2.5°C et des précipitations annuelles d'environ 800 mm à 30% sous forme de neige (Guide de reconnaissance des types écologiques, 2002).

Les essences dominantes dans les peuplements matures sont donc majoritairement des mélanges de résineux tolérants à l'ombre (sapin baumier, épinettes blanche et noire, thuya de l'est) avec quelques bouleaux blancs. Cependant, un grand nombre de peuplements plus jeunes sont présents avec une majorité d'essences intolérantes à l'ombre, notamment du peuplier faux-tremble et du pin gris, qui poussent généralement sur les dépôts à textures respectivement fines et grossières (Harvey, et al., 2002), (cf. Annexe 1).

Ce mélange d'essences est essentiellement dû aux différentes perturbations qu'a subi la FERLD au cours des derniers siècles avec notamment un grand feu en 1760, d'où sont issus des peuplements d'âge variable (250 ans et moins), puis un feu plus petit, en 1923, ayant renouvelé une grande partie des peuplements maintenant âgés d'environ 90 ans. Par ailleurs, diverses épidémies d'insectes, notamment la dernière épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) dans les années 70 et 80 a entraîné une mortalité relativement importante, surtout dans les sapins (Plan d'aménagement de la FERLD, 1999).

L'étude porte donc volontairement sur des types de peuplements différents - surtout en terme de composition - résultant de ces perturbations et de cette dynamique naturelle.

II.2. Inventaire de suivi de l'aménagement

Afin de planifier les récoltes ainsi que de suivre l'aménagement dans la FERLD, un réseau de placettes d'inventaire est mis en place progressivement depuis 2003. Chaque année, des inventaires ont donc été menés à la fois avant les coupes (de façon à prévoir le volume récoltable) et après les coupes (pour le contrôle de la coupe et le suivi de l'évolution). Cependant les inventaires n'ont pas systématiquement été réalisés juste avant et juste après la coupe mais parfois à quelques années d'écart, et ce sur des placettes temporaires les premières années (donc pas situées au même endroit avant et après coupe) puis devenant permanentes vers 2010. Par ailleurs, les protocoles d'inventaire utilisés suivant les années ont évolués (cf. Annexe 4). Ces éléments de variation dans l'inventaire ont donc particulièrement influencé les choix d'échantillonnage et d'analyse qui suivent.

Ces données d'inventaires de 2003 à 2013 ont été compilées dans une base de données Access, où environ 800 placettes ont servi à une première analyse, de façon à caractériser globalement les zones inventoriées « originelles » (n'ayant pas subi de coupe) de la forêt. Ce portrait global a également permis de regrouper des peuplements aux caractéristiques semblables entre eux. Par la suite, ces différents

groupes de peuplements ont été analysés séparément, ceux-ci réagissant supposément de manière différente aux coupes partielles du fait de leur composition, structure et dynamique variable.

De la même manière, les données avant et après coupe ont été analysées de façon à caractériser les variantes de coupe partielles en terme d'intensité et nature de prélèvement. Le rapport $K = \frac{Dg_{arbre\ éclairci}}{Dg_{avant\ coupe}}$ a été utilisé pour caractériser la nature, par le haut si $K > 1$, c'est-à-dire lorsque le prélèvement concerne essentiellement les gros bois et par le bas dans l'autre cas.

II.3. Classification des peuplements utilisée

Bien que différents types de classification aient été testées (notamment une classification statistique ou une classification structurale), c'est finalement la classification par appellation cartographique qui a essentiellement été utilisée pour l'analyse. Cette appellation est issue de déterminations par photo-interprétation du mélange d'essence, du pourcentage de fermeture du couvert, de l'âge, de la hauteur du peuplement et du type de sol (dépôt de surface et classe de drainage). Si cette stratification par photo-interprétation ne reflète pas toujours exactement la réalité du peuplement trouvée sur les placettes (une comparaison des essences majoritaires selon la cartographie et l'inventaire donnait seulement environ 50% de correspondances identiques), celle-ci donnait malgré tout des résultats globaux comparables et surtout reste plus universelle et plus pratique d'utilisation. L'appellation utilisée pour la classification est celle de 2006 (4^{ème} inventaire décennale) pour les zones non coupées ou coupées après 2006 et la précédente (3^{ème} inventaire décennale) pour les zones coupées avant 2006, ceci de façon à mieux coller au peuplement d'origine.

II.4 . Plan de sondage

Suite à l'analyse des placettes d'inventaire disponibles et au constat des effectifs par regroupement, un bilan des strates traitées en coupes partielles a été dressé. Par rapport au nombre de placettes disponibles ainsi qu'à l'intérêt relatif du suivi, cinq grands types de peuplements ont été choisis pour la remesure des placettes :

- tremblaies équiennes
- pinèdes équiennes composée principalement de petits bois sur dépôts minces
- pinèdes équiennes composée principalement de bois moyen sur dépôts argileux
- pessières inéquiennes
- cédrières inéquiennes.

Dans chaque type de peuplement, des placettes ont été choisies dans une ou plusieurs variantes de coupe partielle. Par ailleurs des placettes dites « témoins » ont été choisies dans des peuplements non coupés, dont les paramètres étaient les plus proches possibles de l'état avant coupe des zones analysées. Cependant, pour certaines zones, il a été impossible de trouver des peuplements « témoins » proches (notamment pour la pessière, beaucoup plus résineuse dans la zone coupée que dans la zone témoin, et pour la tremblaie située à l'est, beaucoup moins dense et plus résineuse dans la zone coupée que dans la zone témoin). En tout, 125 placettes (dont 34% de témoins) ont été remesurées puis comparées à 271 placettes déjà existantes, dont la répartition est indiquée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Synthèse du plan de sondage (nombre de placettes et caractéristiques principales des peuplements)

	Nombre de placettes		Type** majoritaire	Essence majoritaire	G (m ² /ha)	N (/ha)	V (m ³ /ha)	Dg (cm)	Rt (% tiges)	Fi (% tiges)
Tremble	Témoins*	17	4GA - MS22	PET	35,7	1037	280,7	21,4	29%	60%
Coupe progressive (secteur nord) 2009-2010 et 2010-2011	Avant	21	4GA - MS23	PET	34,3	1029	269,5	20,9	37%	53%
	Après	21								
	Remesuré	21								
Coupe progressive (secteur ouest) 2007-2008	Avant	3	4GA - MS23	PET	41,5	833	370,1	25,2	14%	59%
	Après	4								
	Remesuré	4								
Coupe progressive (secteur est) 2006-2007	Avant	10	1AY - MS22	PET	25,4	555	216,9	24,0	50%	50%
	Après	17								
	Remesuré	6								
Pin gris (petit bois)	Témoins*	4	R1A - RS20	PIG	36,2	1513	234,4	17,9	30%	24%
Coupe progressive 2009-2010	Avant	10	R1A - RS20	PIG	34,5	1393	237,0	18,3	30%	13%
	Après	10								
	Remesuré	10								
Pin gris (bois moyen)	Témoins*	8	4GA - RS20	PIG	29,7	903	200,0	21,8	26%	20%
Coupe 2/3 2005-2006 et 2006-2007	Avant	9	4GA - RS23	PIG	31,0	828	226,3	22,3	12%	14%
	Après	11								
	Remesuré	6								
ECT (secteur est) 2004-2005, 2005-2006 et 2006-2007	Avant	26	4GA - RS23	PIG	32,5	824	239,2	22,9	3%	30%
	Après	51								
	Remesuré	12								
ECT (secteur ouest) 2007-2008	Avant	5	4GA - RS23	PIG	27,5	580	207,7	26,0	1%	39%
	Après	7								
	Remesuré	7								
ECT inversée 2007-2008	Avant	0	4GA - RS23	PIG	27,5	580	207,7	26,0	1%	39%
	Après	3								
	Remesuré	3								
Cèdre	Témoins*	7	4GA - RS16	THO	38,1	593	226,0	28,8	87%	12%
Coupe progressive 2010-2011	Avant	3	4GA - RS16	THO	40,2	683	227,3	27,4	94%	6%
	Après	3								
	Remesuré	3								
Epinette	Témoins*	7	1AM - RS12	THO	20,5	864	110,8	17,5	74%	26%
Jardinage 2003-2004	Avant	4	4GS - RS24	EPN	26,2	1369	142,4	15,3	95%	5%
	Après	10								
	Remesuré	10								

* Tous les témoins ont été remesurés

** Dépôt de surface et type écologique (cf guide des types écologiques région 5a)

G : surface terrière / N : densité de tiges / V : volume marchand / Dg : diamètre quadratique moyen / Rt : résineux tolérants / Fi : feuillus intolérants
 PET : peuplier faux-tremble / PIG : pin gris / THO : thuya occidentale / EPN : épinette noire
 ECT : éclaircie commerciale tardive

II.5. Protocole d'inventaire

Même si le protocole d'inventaire a évolué au fil des années, il reste globalement proche des normes d'inventaires du Ministère des Ressources Naturelles (Normes d'inventaire forestier, 2009), avec notamment des placettes à rayon fixe. L'inventaire réalisé lors de la remesure en est donc très fortement inspiré mais quelques particularités ont été ajoutées (cf. Annexe 3) :

Le dénombrement des arbres s'est donc effectué sur une placette circulaire de 400m², où chaque arbre sur pied (vivant ou mort) a été identifié, puis son diamètre a été mesuré précisément (au ruban) et sa vigueur a été évaluée (classe de décomposition et pourcentage de cime. La mesure de ces arbres pré-comptables a été faite à partir de 10cm de diamètre (et non 9.1cm comme avant). Ceci entraîne donc une diminution du nombre de tiges dans la classe de 10 lors de la remesure et une valeur de recrutement qui est dans l'absolu un peu plus basse que la réalité, ce qui n'est donc à comprendre que comme un artefact de la méthode.

Les gaules des essences commerciales et non commerciales (à partir d'1cm de diamètre jusqu'aux arbres pré-comptables) ont été dénombrées par classe diamétrale de 2 cm sur une placette de 40m². Les feuillus non commerciaux, non pris en compte les années précédentes, l'ont été dans le but de savoir si l'état post-coupe favorisait l'envahissement par ces essences.

L'inventaire des semis a été modifié par rapport aux inventaires précédents, dans la mesure où il a été réalisé par une estimation du recouvrement sur la placette circulaire de 40m² (et non par une indication de l'absence ou de la présence). Cela a été effectué par essence (y compris les feuillus non commerciaux) et sur deux classes de hauteur (inférieure à 60cm de hauteur et supérieure à 60cm de hauteur mais ne comptant pas dans les gaules).

Le bois mort au sol a été mesuré sur un transect de 22.56m et classé suivant son stade de décomposition.

Une mesure des souches (diamètre et essence) a été réalisée, de façon à établir l'image du peuplement avant coupe et calculer les prélèvements. En effet, si une comparaison des placettes avant et après coupe est possible et a été réalisée, celle-ci donne des valeurs faussées et aberrantes pour plusieurs raisons : ces placettes n'ont pas forcément été remesurées au même endroit (en plus d'être en faible nombre) et les mesures après et avant coupe peuvent avoir jusqu'à 5 années d'écart (années durant lesquelles la mortalité et le recrutement interviennent en plus de la coupe). Cet inventaire des souches permet donc de calculer des intensités de prélèvement fiables.

Une mesure de l'accroissement a également été réalisée par le prélèvement de carottes à la tarière de Pressler sur des arbres de statuts sociaux variés dans l'essence majoritaire ainsi que sur des résineux tolérants, qui sont particulièrement intéressants en terme de développement futur des peuplements. Les voisins des arbres prélevés ont été repérés afin d'étudier l'influence de la compétition sur cet accroissement.

II.6. Analyse des données dendrométriques

Avant de compiler les données de la remesure sous Access, un maximum d'erreurs de saisie ou de valeurs aberrantes a été corrigé. Mais que ce soit pour l'analyse préliminaire permettant de caractériser les peuplements et les types de coupe, ou pour l'analyse des résultats de la remesure, les calculs sur les données des placettes ont été réalisés sous Excel. Des fiches regroupant les résultats pour chaque peuplement et type de coupe ont été réalisées (cf. Annexe 5). Ces groupes (cf. Tableau 1) ont été analysés séparément, de façon à isoler l'influence des types de peuplement, des variantes de coupe et des années écoulées depuis la coupe. Même si le but était d'avoir des échantillons de taille maximum dans chaque groupe, des coupes trop espacées dans le temps n'ont donc pas été regroupées pour éviter de mélanger les effets à très court terme des effets à moyen terme. En effet, l'évolution post-coupe pourrait varier rapidement entre les années suivant la coupe (Thorpe & Thomas, 2007).

Outre les paramètres classiques (surface terrière, densité, volume commercial calculé avec le tarif de cubage local de la FERLD, densité de gaules, volume de bois mort, etc.), d'autres variables ont été analysées.

L'intensité de coupe calculée par différence entre les placettes avant coupe et après coupe n'étant pas très précise (cf. § II.2.), la mesure des souches a également servi à calculer cette intensité en utilisant les facteurs de conversion entre diamètre à hauteur de souche (Dhs) et diamètre à 1m30 (Dhp) édité par le

Ministère des Ressources Naturelles du Québec (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2005).

Ainsi, la structure du peuplement a été représentée à l'aide d'un triangle des structures, assez peu utilisé au Québec, représentant sur les trois côtés du triangle la proportion relative en surface terrière de trois grandes classes diamétrales de bois (les petits bois, les bois moyens et les gros bois). La limite entre ces catégories a été reprise d'un travail d'étudiant sur une typologie structurale des peuplements mixtes dans cette zone du Québec (Larouche, 2013). Ainsi la classe des petits bois concerne les arbres de 9.1cm à 17cm de dhp, les bois moyens ceux de 17.1cm à 25cm de dhp, et les gros bois à partir de 25.1cm de dhp. La représentation selon ce triangle a été obtenue grâce à la fonction *ternaryplot{vcd}* dans R.

De façon à faciliter l'analyse, les essences ont souvent été classées suivant des grandes catégories aux caractéristiques autécologiques semblables (*cf. Annexe 1*). Ainsi, les feuillus intolérants (essentiellement le peuplier faux-tremble et le bouleau à papier), les résineux tolérants (les épinettes, le sapin et le cèdre), les autres (résineux) comme notamment le pin gris et les feuillus non commerciaux forment généralement ces différents groupes.

Par ailleurs de façon à analyser et surtout comparer l'abondance de la régénération malgré le changement de méthode d'inventaire, un indice de présence des semis à été créé, correspondant à une abondance relative par essence sur une échelle de 5 (de 0=absence à 5=très abondant, *cf. tableau en Annexe 5*).

Les variables d'évolution (changement entre la dernière mesure et la remesure) n'ont pu être calculées que par essence (et pas par arbre ou par catégorie de diamètre). Ceci est dû au fait que pour un certain nombre de placettes, les arbres n'avaient pas été identifiés lors de la dernière mesure et la numérotation a été attribuée de façon à ce qu'au moins l'essence reste cohérente. Les valeurs ont été calculées par année et permettent d'avoir des indications sur le recrutement, la mortalité (différence entre les arbres vivants à la première mesure et ceux qui sont restés vivants entre les deux mesures) et l'accroissement brut (gain en mm sur le rayon des survivants calculé via la différence des dhp entre les mesures). Les diamètres ayant été mesurés par classe de 2cm lors de la première mesure, cet accroissement calculé est relativement peu précis, même s'il concerne un grand nombre d'arbres.

II.6. Mesure et analyse des carottes

De façon à connaître plus précisément la réponse des arbres résiduels des coupes partielles en terme d'accroissement radial, qui peuvent être très faibles en forêt boréale, des carottes radiales de 350 arbres ont été prélevées. Les carottes ont été collées sur des baguettes puis sablées (avec des papiers à densité de grains croissante) et enfin les cernes d'accroissement de chaque année ont été mesurés à l'aide du logiciel *WinDendro* (*™Instruments Regents, Québec*).

Cette mesure précise des accroissements a permis de calculer des moyennes d'accroissement avant la coupe (sur les 10 ans avant la coupe) et après la coupe (sur toutes les années après la coupe) pour chaque arbre. De même des moyennes d'accroissement ont été calculées sur les arbres des peuplements témoins pour les années correspondantes, de façon à masquer l'influence des variations climatiques interannuelles. Ces différentes moyennes ont été comparées statistiquement via des tests de Student pour chaque groupe (chaque croisement peuplement/coupe) et chaque essence. Ainsi, suivant les essences et les groupes, la coupe a un effet positif sur l'accroissement seulement si l'accroissement annuel moyen des cernes après coupe est significativement plus grande que celui avant coupe et/ou si la

moyenne après coupe des peuplements coupés est significativement plus grande que celle des témoins alors qu'elle ne l'était pas avant coupe (cf. Annexe 5).

Par ailleurs, de façon à mieux comprendre l'influence relative de la coupe et d'autres facteurs sur cet accroissement, différents modèles de régression multiple ont été testés à l'air du logiciel R à partir de ces données (c'est-à-dire sur l'ensemble des carottes d'une même essence). Différentes variables explicatives quantitatives ont donc été calculées puis leur influence sur l'accroissement des quatre dernières années (Moyenne.2011.2014) a été testée. Seules les quatre dernières années ont été choisies pour différentes raisons : d'une part, les coupes les plus récentes datent de l'hiver 2010, donc ce sont des accroissements post-coupe quels que soient les arbres ; d'autre part, certaines variables explicatives évoluent rapidement dans le temps (comme les indices de compétition) et ne peuvent avoir une influence que sur l'accroissement des dernières années. Les différentes variables explicatives choisies sont :

- le diamètre de l'arbre (Diametre), très fortement corrélé au statut social de l'arbre (Une analyse de la variance a montré une très forte corrélation entre les deux paramètres)

- l'intensité de coupe en surface terrière (c'est-à-dire le pourcentage de surface terrière prélevé) au niveau de la placette (Int.G). Cette variable représente de façon quantitative l'effet de la coupe.

- le nombre d'années depuis la coupe (Annee.coupe). En effet, il a parfois été observé un laps de temps entre la coupe et la réaction sur l'accroissement (Thorpe & Thomas, 2007).

- la composition des essences du voisinage (RT). La variable utilisée est le pourcentage de résineux tolérants dans un rayon de 5m autour de l'arbre, une différence pouvant être attendue compte tenu de la longueur relative des cimes et de l'architecture du houppier de ces conifères par rapport aux feuillus ou même au pin gris.

- l'indice de compétition du voisinage situé dans les 5 mètres (IC.Reineke). Plusieurs indices de compétition indépendants de la distance ont été calculés (Prévosto, 2005), de façon à ne pas avoir de variables explicatives trop corrélées entre elles, seul le plus corrélé à l'accroissement a été retenu, soit l'indice de Reineke :

$$IC = N \left(\frac{Dg}{25.4} \right)^{1.625} \text{ où } N = \text{densité de tiges et } Dg = \text{diamètre quadratique moyen.}$$

- le pourcentage de cime de l'arbre (Cime), généralement associé à la vigueur de l'arbre et donc à sa production ligneuse.

- l'accroissement avant la coupe (Moyenne.2000.2003). En effet, un arbre poussant déjà plus vite avant la coupe a plus de chance de réagir fortement à la coupe. La moyenne a été faite sur quatre années avant coupe quel que soit l'arbre (c'est-à-dire les années 2000 à 2003, la première coupe étudiée ayant eu lieu en hiver 2003).

Le modèle le plus complet testé était donc le suivant :

Moyenne.2011.2014 ~ Diametre + Int.G + Annee.coupe + RT + IC.Reineke + Cime + Moyenne.2000.2003

A partir de ce modèle-ci les variables ont été sélectionnées par la méthode AIC (par procédure Stepwise) et ce pour les différentes essences du jeu de données (cf. Annexe 6).

III. Résultats des analyses

III.1. Caractérisation des peuplements

Une analyse « préliminaire » de caractérisation des peuplements forestiers d'intérêt a été réalisée sur l'ensemble de la zone inventoriée. Sur cette zone de la forêt (soit environ 800 placettes), on obtient les résultats suivants (cf. *Tableau 2*) pour les grands indicateurs :

Tableau 2 : Moyennes des variables dendrométriques de base sur la FERLD

	Surface terrière (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Densité (tiges/ha)	Densité de gaules d'essences commerciales (tiges/ha)
Moyenne	24,8	174,9	723,7	1797,3
Ecart-type	12,4	24,8	419,1	3144,4
Coefficient de variation	50%	63%	58%	175%
Erreur relative	3%	4%	4%	12%

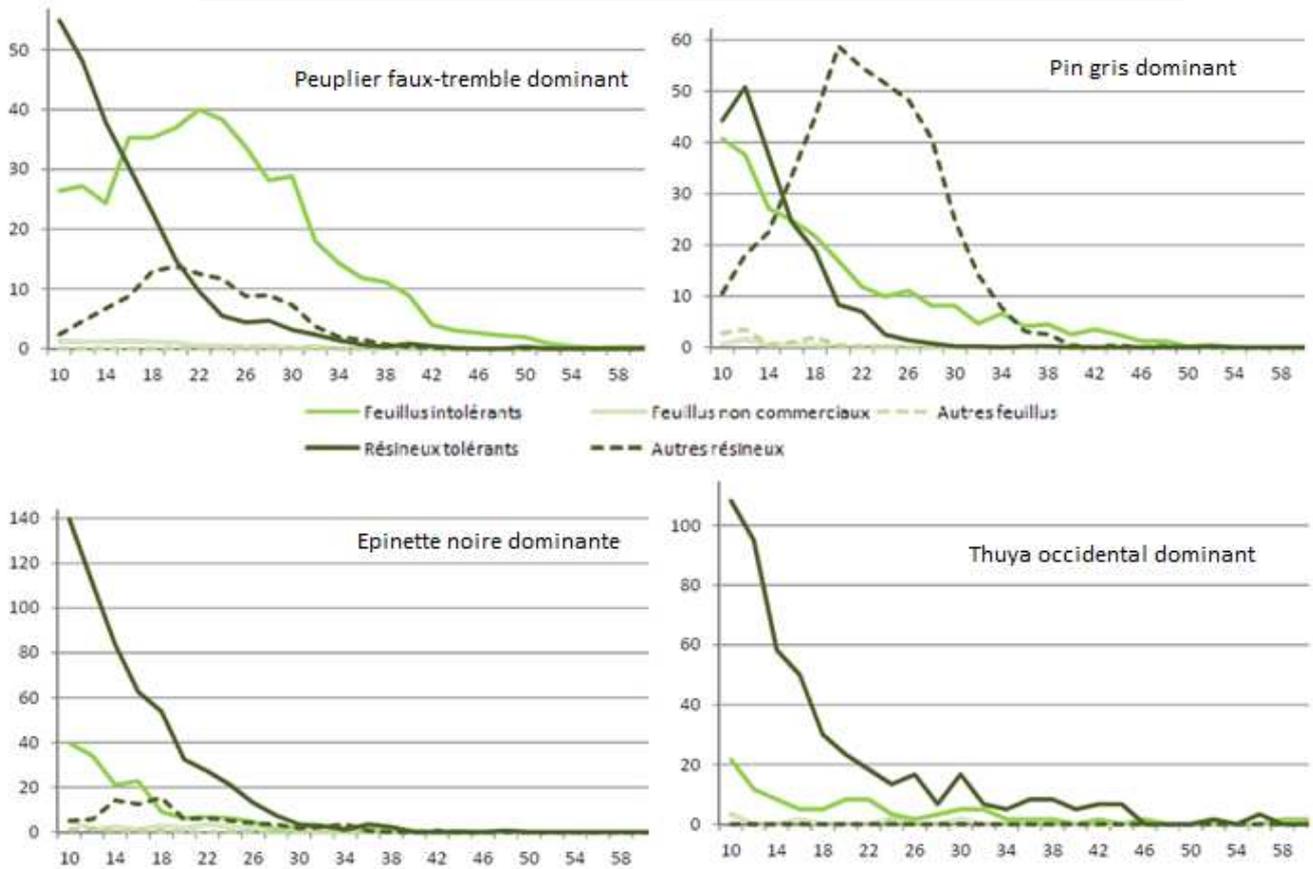
Ces peuplements étant essentiellement issus du feu de 1923, donc ayant autour de 80 ans lors des inventaires, leur volume à l'hectare correspond bien à la moyenne des peuplements en Abitibi-Témiscamingue (130m³/ha à 70 ans et 135m³/ha à 90 ans, Ministère des Ressources Naturelles, 2013). Par ailleurs, le bois mort sur pied est relativement important (près d'une tige sur cinq) dans ces peuplements naturels qui n'ont pas fait l'objet de traitements sylvicoles précédant les coupes partielles.

Les essences principales sont majoritairement les essences pionnières : le peuplier tremble (23%) et le pin gris (20%). Ces essences composent les deux grands peuplements majoritaires, peuplements équiens de première venue. Les résineux tolérants, sont eux surtout présents dans les petites tiges et les gaules ainsi que quelques rares peuplements résineux souvent irréguliers. La variabilité relativement importante (supérieure à 50%) souligne ces différences notables entre les peuplements.

La structure des peuplements est aussi fortement liée à l'essence majoritaire (cf. *Graphique 1*). Ainsi, ce sont les peuplements équiens de pins et de trembles qui ont les surfaces terrières et les volumes les plus élevés (surface terrière moyenne de 31 m²/ha). Cependant ces peuplements ne sont pas les plus denses (autour de 800 tiges/ha), reflétant un processus d'auto-éclaircissement déjà bien entamé et des structures plutôt à gros bois, où les arbres arrivent à maturité avec des diamètres quadratiques moyens autour de 23cm pour les trembles et 21cm pour les pins. Les peuplements à dominance de tremble sont relativement plus mélangés que ceux de pins. En effet, les pins sont présents dans les peuplements de tremble alors que l'inverse est moins fréquent. Cela est peut-être dû à la faible fertilité des sols des pinèdes, convenant moins bien aux autres essences.

Les peuplements à dominance de résineux tolérants à l'ombre sont globalement irréguliers plutôt à petits bois pour l'épinette (diamètre moyen autour de 15-16 cm) et à gros bois pour le cèdre (diamètre moyen autour de 19-20cm). Les pessières ont de ce fait une relativement faible surface terrière (autour de 20 m²/ha) alors que les rares cédrières ont une plus grande surface terrière plus importante (environ 30m²/ha).

Graphique 1 : Répartition des tiges (nb/ha) par classe de diamètre dans différents peuplements



Le sous-étage des peuplements (gauls et semis) est principalement constitué de résineux tolérants (à plus de 80%). Cependant, certains peuplements, comme ceux de pin gris sont pauvres en gauls (environ 1000 tiges à l'hectare) alors que ceux de tremble sont dans la moyenne (environ 1500 tiges à l'hectare) et ceux d'épinette en sont très riches (environ 3500 tiges à l'hectare).

Les densités plus faibles sont plus riches en résineux tolérants et en gauls et témoignent ainsi du passage vers une structure et une composition plus caractéristiques des vieux peuplements qui ont subi des perturbations secondaires (épidémies, chablis) ou de la mortalité de sénescence.

L'essence majoritaire étant un facteur influençant en très grande partie les caractéristiques des peuplements, c'est ainsi qu'ont été différenciés les peuplements remesurés (cf. *Tableau 1*). Ces peuplements ont un couvert supérieur à 40% (les autres peuplements étant trop peu denses pour faire l'objet de coupes partielles). De même, les tremblais et pinèdes ont autour de 90 ans, car issues du feu de 1923 (bien que la photo-interprétation évalue cet âge entre 60 et 80 ans) alors que les pessières et cédrières sont inéquiennes (même si elles sont respectivement répertoriées dans les classes d'âge de 60 à 80 et 80 et 100 ans sur la cartographie).

III.2. Caractérisation des coupes

La nature et l'intensité du prélèvement dépendent essentiellement du type de coupe et seulement très peu du peuplement dans lequel celle-ci a lieu (cf. *Tableau 3*). En effet, les seules différences entre peuplements sont liées au fait que chaque grand type de peuplement est associé à un type de coupe. Ainsi, dans la zone inventoriée, les peuplements de pin gris sont essentiellement traités en coupe partielle 2/3 et éclaircie commerciale tardive (ECT), les peuplements de tremble en coupe progressive et les résineux en jardinage ou coupe progressive irrégulière (cf. *Annexe 2* pour les surfaces concernées).

Tableau 3 : Intensités moyennes de coupe selon les traitements

	G	N	V	K	PB	BM	GB
Coupe partielle 2/3	54%	62%	54%	Par le bas	76%	69%	31%
Eclaircie commerciale tardive	29%	40%	28%	Par le bas	58%	46%	14%
Coupe progressive	24%	26%	23%	Par le bas	27%	31%	17%
Jardinage	27%	26%	28%	Par le bas	27%	36%	11%
<i>ECT inversée</i>	<i>55%</i>	<i>51%</i>	<i>56%</i>	<i>Par le haut</i>	<i>53%</i>	<i>48%</i>	<i>81%</i>

Calculs issus de l'inventaire des souches, la comparaison des placettes avant vs. après donnait des résultats un peu plus élevés.

Puisque les objectifs de ces traitements sont de favoriser l'accroissement des tiges résiduelles ainsi que le développement des peuplements vers des stades successionnels plus avancés, les résineux tolérants sont beaucoup moins prélevés que les essences pionnières : globalement, environ 31% des feuillus intolérants sont prélevés, 24% des pins gris et seulement 8% des résineux tolérants.

Les coupes progressives (régulières)

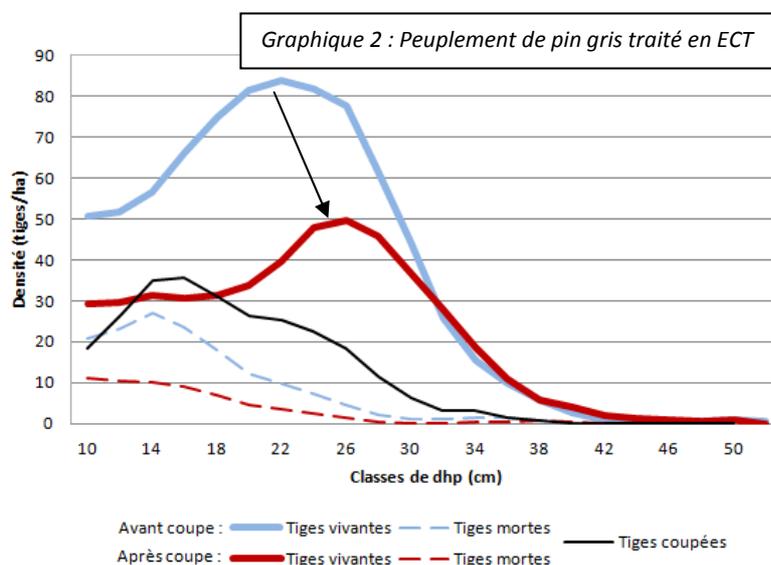
Ces coupes prélevant autour de 25% des tiges et du volume concernent essentiellement les essences tolérantes, laissant les petits bois de résineux sur pied et permettant d'ouvrir le couvert forestier.

Des variantes de coupes progressives ont été réalisées de façon très éparse. Les coupes progressives régulières ayant pour but de favoriser la succession dans des peuplements équiens, elles reposent globalement toutes sur les mêmes principes ; c'est-à-dire une éclaircie afin d'augmenter la croissance des arbres restants, un détournage des tiges d'avenir ou des semenciers, et la création d'ouvertures afin de favoriser la régénération, de préférence, résineuse. Les variantes correspondent donc plus à des adaptations locales de la coupe progressive, qui, en fonction de la régénération préétablie et de la nature du couvert, insiste sur un des principes de cette coupe :

- la coupe d'ensemencement : permet de garder des semenciers pour favoriser la production de semis
- la coupe progressive d'abri : laisse un couvert protecteur pas nécessairement de l'essence désirée pour une régénération déjà acquise
- la coupe par puits de lumière : sorte de détournage autour d'arbres de valeur ou de semenciers
- la coupe par trouées : agrandissement des trouées naturelles pour régénérer

Les éclaircies commerciales tardives (ECT)

La zone d'aménagement de la FERLD a été affectée par deux incendies forestiers principaux, un couvrant environ les 2/3 du territoire qui date de 1760 et l'autre, couvrant le tiers, qui remonte à 1923. Puisque le tiers de la forêt issu de ce dernier arrive à maturité, les éclaircies commerciales tardives ont été appliquées principalement dans le but de récolter du volume tout en prolongeant la rotation de ces peuplements et en maintenant un couvert forestier. Ces coupes ont donc été réalisées notamment dans les peuplements équiens de pin gris arrivés à



maturité commerciale. Le prélèvement est proche de celui des coupes progressives, réalisées surtout dans des tremblais du même âge, et touche surtout les petits et moyens bois des essences intolérantes. L'éclaircie est donc effectuée par le bas, de façon à récolter les arbres risquant de dépérir (« mortalité imminente »), c'est-à-dire essentiellement les arbres de statut social et donc de diamètre inférieur (cf. Graphique 2), avant de récolter dans une étape suivante les plus gros bois (souvent par coupe totale). Cela a pour effet d'augmenter le diamètre moyen du peuplement et de récupérer la mortalité (cf. Graphique 2).

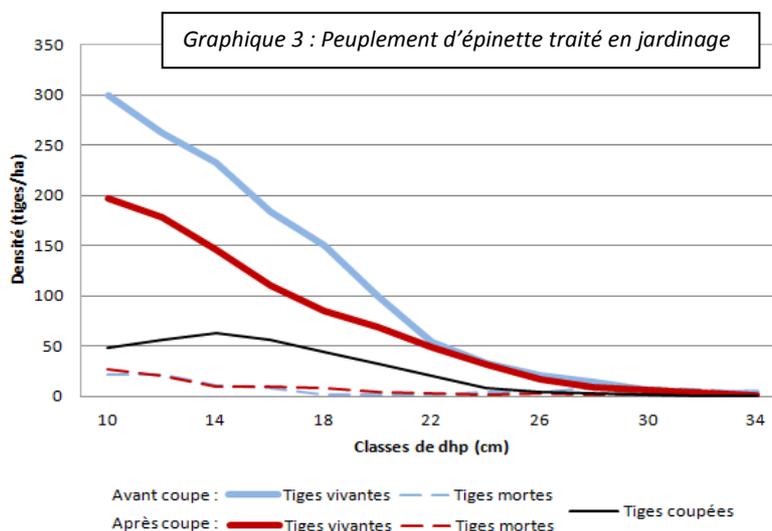
Une petite zone (environ 1ha) de la FERLD a aussi été traitée avec une « ECT inversée ». Le prélèvement s'est alors essentiellement réalisé dans les bois faisant le plus de concurrence au sous-étage de résineux, donc par le haut. L'intensité a donc été un peu supérieure à celle d'une ECT classique.

Les coupes partielles 2/3

Ces coupes d'intensité très forte (entre 60% des tiges) ont également été réalisées par le bas, ne laissant ainsi sur pied que très peu d'arbres et notamment des gros bois et les résineux tolérants. Ceci a pour effet de créer un « creux » dans les bois moyens qui constituaient auparavant la plus grande partie de ces peuplements équiens.

Le jardinage et les coupes progressives irrégulières

Les peuplements irréguliers de résineux tolérants ont été traités plus ou moins de la même manière avec un prélèvement de 20 à 30% des tiges. Le but du jardinage étant de garder une répartition diamétrale équilibrée, celle-ci reste effectivement inchangée sur le court terme après la coupe, mais évoluera vers des plus de gros bois sur le long terme (cf. Graphique 3).



III.3. Evolution des peuplements après la coupe

Cette évolution a été calculée à partir des placettes remesurées dans les peuplements et les coupes présentées au tableau 1. Les résultats détaillés sont regroupés en annexe 5.

Evolution globale

La comparaison des résultats pour les différents groupes révèle une diminution naturelle du nombre de tiges au fil des années, que ce soit dans les peuplements coupés ou dans les peuplements témoins (hormis dans la cédrière), dont les causes peuvent être multiples (auto-éclaircie, mortalité de sénescence ou stress, blessures, déstabilisation dus à l'exploitation). Les relations linéaires existant dans différents peuplements non traités entre les logarithmes de la densité et du diamètre moyen reflèteraient un phénomène d'auto-éclaircie dans les témoins (l'équation d'auto-éclaircie étant de type $\ln(N) = -a \times \ln(D_g) + b$). Malgré tout cette diminution est moins forte dans les peuplements coupés que dans les peuplements témoins : en moyenne, annuellement, 4 arbres/ha meurent dans les peuplements coupés

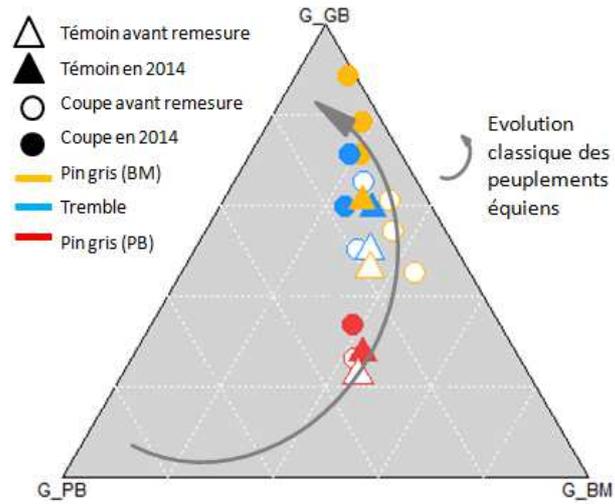
après coupe contre 11 dans les peuplements témoins. Par ailleurs, la surface terrière augmente dans tous les peuplements (de l'ordre de 0.20 à 0.50 m²/ha/an). (cf. Annexe 5)

Ce gain en surface terrière est d'ailleurs significativement plus important dans les zones coupées, à l'exception notable des coupes dans le pin gris sur sols argileux (bois moyens). Il en est de même avec le volume marchand, qui est plus faible dans ces mêmes coupes de pin gris en comparaison avec leurs témoins. Dans les autres peuplements au contraire, la coupe diffère des peuplements témoins avec une production en volume plus importante (environ 6m³/ha/an contre 3m³/ha/an).

Changement structural

En général, que ce soit dans les zones coupées ou témoins, les peuplements équiens remesurés évoluent vers des structures plus riches en bois moyens ou en gros bois que leur structure initiale. Ils suivent ainsi le trajet classique des peuplements réguliers (cf. Graphique 4). La coupe ne modifie guère cette évolution et aurait plutôt tendance à l'accélérer légèrement étant donné que les coupes sont effectuées « par le bas », faisant ainsi artificiellement augmenter le diamètre moyen.

Graphique 4 : Evolution structurale des peuplements équiens remesurés



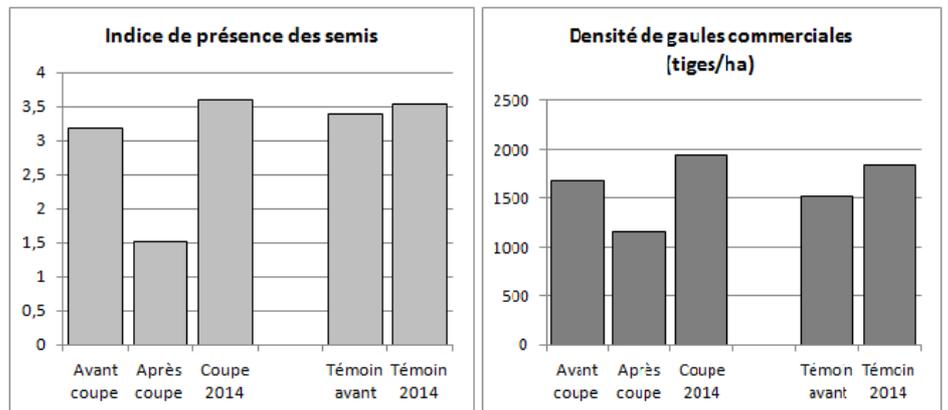
Dans les peuplements inéquiens, et notamment dans la cédrière très riche en gros bois, l'évolution structurale est logiquement moins importante, la répartition diamétrale restant à peu près la même.

Evolution du sous-étage

Un des buts des coupes partielles étant de favoriser les essences de fin de succession, c'est-à-dire essentiellement les résineux tolérants, la composition du sous-étage et de la régénération est un facteur particulièrement important.

L'exploitation et le passage des machines a pour effet de créer une nette diminution du nombre de gaules et des semis juste après la coupe (cf. Graphique 5). Cependant, plusieurs années après, le sous-étage s'est reconstitué au même niveau que les témoins et qu'avant la coupe (voire même un peu plus). Cela est le cas dans à peu près tous les

Graphique 5 : Evolution du sous-étage dans les peuplements témoins et traités

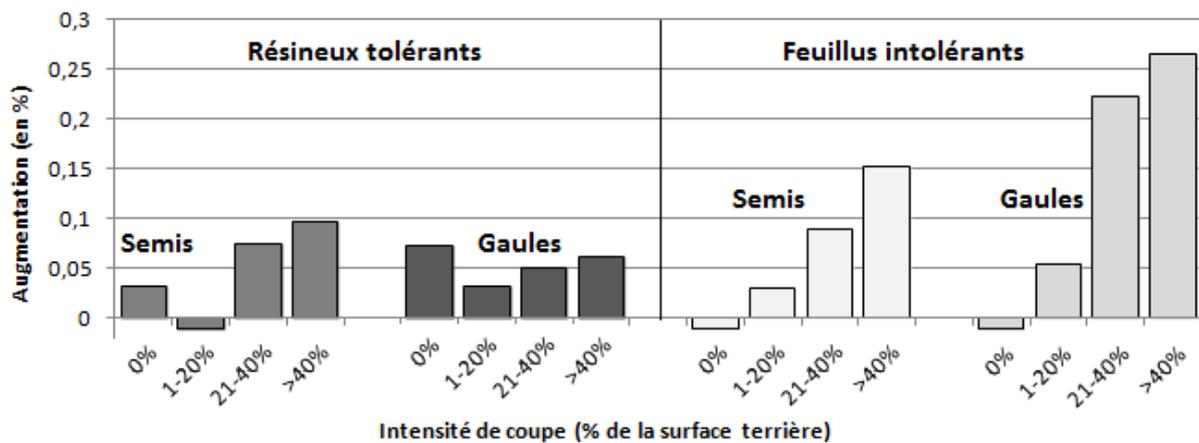


peuplements et types de coupe, mis à part la cédrière dont le sous-étage évolue relativement peu. De même le sous-étage dans les peuplements témoins ne subit pas de grand changement au cours de la période du suivi.

Cette augmentation du nombre de semis et de jeunes tiges n'est cependant pas la même selon les essences. Pour les feuillus non commerciaux, qui n'ont été pris en compte qu'en 2014, l'évolution n'est pas déterminable et il existe une forte variabilité entre les placettes. Mis à part dans les peuplements de pins gris, il n'y a pas de forte différence entre les zones témoins et coupées.

Les résineux tolérants augmentent surtout dans les peuplements témoins ou les peuplements de pin gris fortement coupés (coupes 2/3, ECT inversée), certainement en lien avec une forte présence résineuse dans ces peuplements avant la coupe. Les feuillus intolérants, eux, réagissent très bien à la coupe et augmentent d'autant plus que l'ouverture est forte (cf. Graphique 6). La densification du sous-étage concerne donc toutes les essences mais avec un avantage assez conséquent pour les feuillus, notamment dans les zones coupées des tremblais et pinèdes. Ceci est en lien avec leur installation et leur croissance rapide lorsque le couvert est faible.

Graphique 6 : Pourcentage d'augmentation annuelle des essences du sous-étage en fonction de l'intensité de coupe dans les peuplements remesurés

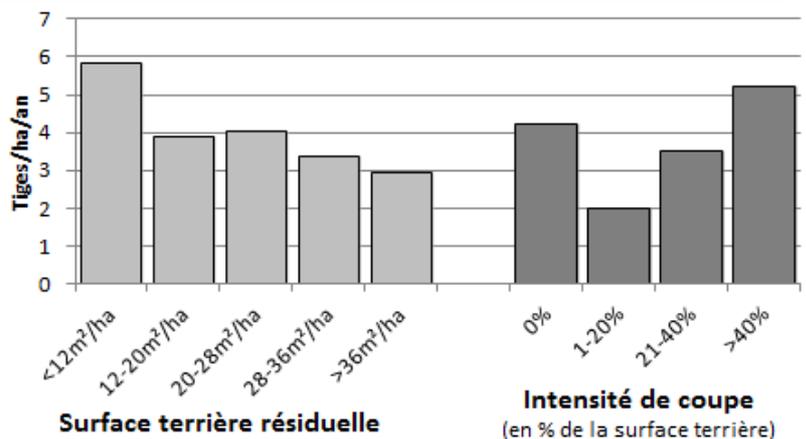


Nombre de placettes par groupe d'intensité : 0% : 48p., 1-20% : 20p., 21-40% : 35p., >40% (maximum = 65%) : 22p.

Recrutement de tiges commerciales

Le recrutement concerne les tiges ayant atteint 10cm de diamètre dans la période séparant les mesures, et reflète donc la croissance d'une régénération préétablie avant la coupe et le passage de tiges du stade de gaule en dimension commerciale. Quels que soient les peuplements et les coupes, ces recrues sont en grande majorité des résineux tolérants (à 90%) et composées surtout de sapin baumier (à 60%).

Graphique 7 : Recrutement de tiges de taille commerciale en fonction de la surface terrière et de l'intensité de coupe dans les peuplements remesurés



La variabilité du nombre de recrues entre les placettes est très importante, surtout dans les peuplements irréguliers de résineux.

Cependant, dans les peuplements de tremble, le recrutement est globalement le même dans les zones témoins que dans les zones coupées (environ 3,5 tiges/ha/an). Il en est de même dans les peuplements de petits pins gris.

En revanche, en ce qui concerne les peuplements de pin gris sur argile, le recrutement des zones coupées légèrement (ECT) est très faible, voire nul. Seuls les peuplements de pin gris avec de grandes ouvertures (coupe 2/3 et ECT inversée) ont des recrutements proches ou supérieurs à ceux des témoins.

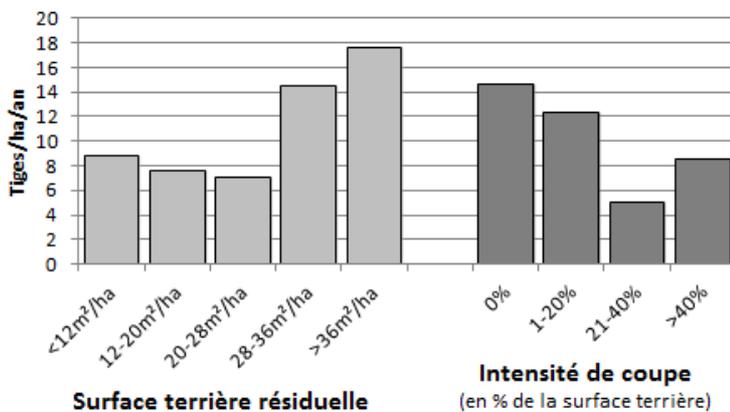
De façon générale, les analyses suggèrent que le recrutement est meilleur lorsque les intensités de coupe sont fortes et que la surface terrière résiduelle est faible. Cependant, ceci est à nuancer, les forts prélèvements étant souvent appliqués dans des peuplements déjà riches en régénération préétablie, de manière à justement favoriser cette régénération. Les peuplements témoins gardent aussi des bons taux de recrutement, certainement du fait de l'absence d'exploitation qui protège un certain nombre de jeunes tiges (cf. Graphique 7).

Mortalité des tiges résiduelles

Globalement, la mortalité des tiges de plus de 10cm de diamètre est plus élevée chez les témoins que dans les coupes, tant en valeur absolue qu'en proportion du nombre de tiges. Elle atteint ainsi environ 15.5 tiges/ha/an dans les zones témoins (soit 1.5% des tiges/an), et 8 tiges/ha/an dans les zones coupées (soit 1.3% des tiges/an). Cette mortalité concerne essentiellement les bouleaux, puisque plus de 2% des bouleaux meurent chaque année et, dans une moindre mesure, les pins. Les coupes étant majoritairement réalisées par le bas, les arbres peu vigoureux sont donc récoltés et la mortalité en est

diminuée. D'ailleurs, l'ECT inversée, seule coupe réalisée par le haut, entraîne une mortalité très importante des pins gris résiduels.

Que ce soit chez les témoins restés relativement denses ou les peuplements coupés à faible intensité, la mortalité est donc très élevée, du fait de la forte concurrence entre tiges et du phénomène d'auto-éclaircie. Et, dans les peuplements fortement récoltés ou de faible densité, la mortalité est également très élevée (surtout en proportion du nombre de tiges



Graphique 8 : Mortalité en fonction de la surface terrière et de l'intensité de coupe dans les peuplements remesurés

résiduelles). Finalement, bien que beaucoup d'autres éléments interviennent dans la prescription de récolte, de façon globale, le prélèvement optimal permettant de limiter la mortalité semblerait se situer autour de 30% et/ou autour de 25m²/ha de surface terrière. (cf. Graphique 8)

Accroissement radial

En moyenne, l'accroissement radial de tous les arbres échantillonnés est autour de 1mm/an. Pour les essences majoritaires et dominantes des peuplements, c'est-à-dire les arbres les plus âgés des peuplements respectifs (souvent autour de 90 ans), cet accroissement annuel a tendance à diminuer avec le temps. Dans les différents peuplements, une petite réaction des essences dominantes à la coupe est vérifiée statistiquement, mais consiste plutôt en une diminution de l'accroissement moins forte dans la coupe que dans les témoins.

Les essences en sous-étage, souvent des résineux tolérants, semblent avoir un accroissement un peu plus fort, du fait de leur jeune âge et peut-être également du fait que le prélèvement a été effectué à 1m30, soit une hauteur plus proche de la cime pour les arbres opprimés que pour les dominants (la production de bois étant plus forte vers le houppier qui photosynthétise).

Les résultats des tests de sélection de modèles de régression multiple sur l'ensemble des carottes sont compilés en annexe 6. Ces tests ont permis de voir l'influence relative de différentes variables explicatives sur l'accroissement annuel récent. Ainsi, sur l'ensemble des arbres (donc des essences et des peuplements), le modèle sélectionné prend en compte comme facteurs influents :

- l'accroissement annuel avant coupe : plus l'arbre croissait avant la coupe, plus il pousse après la coupe.
- le pourcentage de cime : plus l'appareil photosynthétique de l'arbre est important, plus ce dernier pousse.
- l'intensité de coupe : l'intensité de la coupe a une influence positive sur la croissance post-coupe des arbres.
- et dans une moindre mesure, le diamètre de façon négative : plus les arbres sont gros (et on suppose, âgés), moins leur accroissement est important.

L'ensemble de ces quatre facteurs permettent d'expliquer un peu moins de 60% des différences entre les arbres. Pour toutes les essences l'accroissement annuel pré-coupe est le facteur explicatif essentiel. Il explique à lui seul environ 45% de la variabilité.

Concernant la compétition, si celle-ci est significativement défavorable lorsqu'elle est considérée seule (modèle de régression simple : Moyenne.2011.2014 ~ IC.Reineke), son rôle est négligeable par rapport aux autres facteurs pris en compte dans le modèle complet.

Lorsqu'on considère les essences séparément, des différences notables existent. Ainsi, chez le pin gris, seul le pourcentage de cime semble influencer l'accroissement, le critère de vigueur de l'arbre pourrait donc être un bon critère de sélection des arbres lors de la récolte dans cette optique. Chez le peuplier faux-tremble, la cime joue également un rôle important dans l'accroissement, mais par ailleurs cette essence semble également mieux réagir lorsque la coupe a déjà plusieurs années (environ 7 ans) que lorsqu'elle vient d'être effectuée (environ 3 ans). Ceci pourrait rejoindre le décalage de la réponse du tremble observé dans certaines études, les arbres pouvant favoriser d'abord le développement racinaire (pour la stabilisation et la recherche de ressources) avant d'investir dans les parties aériennes (Thorpe & Thomas, 2007). Pour ces essences (pin gris et tremble), comme pour le cèdre et dans une moindre mesure pour l'épinette blanche, l'intensité de coupe n'est pas une variable significativement influente. Cela correspond à des essences qui sont souvent dominantes et de gros diamètre (les arbres prélevés de ces essences avaient en moyenne 25.8cm de dhp). Au contraire, pour les essences telles que le sapin baumier et l'épinette noire, beaucoup plus présentes et prélevées à l'étage des opprimés (en moyenne 17.4cm de dhp), l'intensité de coupe joue un rôle positif majeur dans l'accroissement.

Afin de vérifier statistiquement cette observation, l'influence combinée de l'intensité de coupe et du statut social a été testée via un modèle d'analyse de la variance à deux facteurs avec interaction (Moyenne.2011.2014 ~ Int.G + Statut + Statut:Int.G). Le résultat de ce test montre effectivement que l'interaction entre l'intensité de coupe et les arbres dominés (intermédiaires et opprimés) améliore significativement le modèle (p-value de 0.0002<5%) alors que ce n'est pas le cas pour les statuts dominants (p-value de 0.20>5%). Cela signifie donc que seuls les résineux tolérants situés en sous-étage réagiraient vraiment positivement à la coupe en terme d'accroissement radial.

IV. Discussion

IV.1. Implications sylvicoles

Ces variantes de coupes et ces différents peuplements étudiés montrent donc des résultats contrastés sur les objectifs principaux des coupes partielles que sont la venue de résineux tolérants, l'accroissement des arbres résiduels et la récupération de la mortalité.

Comme dans d'autres études (Prévost, et al., 2010), les coupes partielles d'intensité plutôt fortes dans des peuplements ayant déjà une forte composante résineuse avant coupe seraient plus favorables à l'arrivée de résineux tolérants. En effet, l'accroissement des jeunes tiges résineuses du sous-étage, ainsi que le nombre de semis et gaules semblent plus importants pour ces grandes ouvertures. Cependant, la régénération de feuillus non commerciaux peut devenir compétitrice dans ces situations et, en règle générale, c'est entre 25 et 35% de prélèvement en surface terrière que le rapport *régénération résineuse/régénération feuillue* est le meilleur. De façon générale, la composition du peuplement résiduel joue un rôle majeur dans l'installation de la régénération résineuse : à partir de 20-30% de résineux dans le peuplement post-coupe, un nombre plus important de résineux dans le sous-étage est observé (plus de 1000 gaules/ha et de 3 recrues/an). Par contre, à ce stade, ces résineux sont largement dominés par le sapin baumier, essence beaucoup moins recherchée par l'industrie de sciage que les épinettes. S'il est difficile de prédire la composition future du peuplement étant donné la nouveauté de ces coupes, réaliser des coupes progressives moyennement intenses en concentrant le prélèvement sur les feuillus pourrait donc permettre une installation très progressive d'essences de fin de succession dans des peuplements où les résineux sont déjà un peu présents. Ces coupes s'adaptent d'ailleurs en fonction du peuplement via les variantes de coupes progressives (ensemencement, trouées...). Ainsi dans les zones où la régénération résineuse est déjà acquise, une diminution de la concurrence un peu plus importante (par des éclaircies par le haut par exemple) peut permettre de favoriser la survie et la croissance de ces jeunes tiges. De même, réaliser des trouées, tout en assurant un brassage adéquat du sol pour créer des lits de germination lors d'années semencières de l'épinette blanche, pourrait favoriser l'installation de cette dernière.

Le fait de réaliser des éclaircies par le bas des petits arbres peu vigoureux permet effectivement de récolter la mortalité par rapport à des peuplements témoins, ce qui rejoint d'autres expérimentations (Bose, et al., 2014). Les peuplements trop denses ayant tendance à s'auto-éclaircir, un prélèvement autour de 30% semble permettre de récupérer cette mortalité sans pour autant déstabiliser le peuplement et créer de la mortalité supplémentaire avec des intensités fortes. Par ailleurs dans ces peuplements équiens, choisir les arbres à récolter par rapport à leur vigueur (pourcentage de cime) permet de maximiser l'accroissement futur des arbres dominants et co-dominants. Dans ce cadre, les éclaircies commerciales tardives permettraient effectivement de prolonger la durée de vie du peuplement tout en récoltant les arbres qui risquent de mourir à court et moyen terme. Cependant, étant donné le peu de résineux tolérants dans les ECT étudiées, ce traitement ne favorise pas le passage vers un peuplement mixte ayant une structure caractéristique de stades de succession plus avancés.

Pour les peuplements irréguliers, le jardinage et les coupes progressives irrégulières ne modifient que très peu la structure et la composition du peuplement, ce qui rejoint les objectifs de ces coupes.

IV.2. Limites

Cette étude ayant été réalisée sur des coupes dites « opérationnelles », cela a posé de nombreuses limites importantes à prendre en compte dans la lecture des résultats.

Tout d'abord, de nombreux éléments étaient susceptibles d'influencer les données. En effet, les années de coupes étaient différentes, les années de mesure des placettes aussi, les types de peuplements étaient nombreux, les variantes de coupes également. La combinaison de ces différents éléments peut rendre les placettes incomparables, il faut donc les regrouper selon des critères qui font évidemment perdre de la précision. Ainsi, plusieurs années, plusieurs coupes et plusieurs peuplements ont été regroupés afin d'obtenir un nombre de placettes statistiquement suffisant. Même après regroupement, certains groupes gardent un effectif très faible, souvent car une toute petite zone est considérée (coupe dans le cèdre, ECT inversée qui n'ont que trois placettes chacune). Un grand défaut de ces groupes est donc d'inclure une très grande variabilité, ce qui entraîne des écarts-types importants. Une analyse statistique plus poussée de ces données dendrométriques serait donc intéressante, de même que le test d'autres modèles statistiques sur les échantillons (incluant des interactions ou d'autres variables explicatives, par exemple).

Par ailleurs, la plupart des placettes n'étaient pas permanentes entre avant et après la coupe, d'où la nécessité de trouver le maximum de placettes possibles pour avoir des résultats statistiquement fiables. Ainsi, outre les placettes remesurées, d'autres placettes ont été incluses dans l'analyse de façon à mieux représenter le peuplement. De même, les placettes avant coupe ont été mesurées parfois jusqu'à 5 ans avant la coupe, et les placettes après coupe également jusqu'à parfois 5 ans après la coupe, et ce, sur des placettes temporaires. Ceci rend donc la comparaison avant vs. après coupe plus difficile et pour effectuer cette comparaison, il a donc été choisi de mesurer les souches, ce qui comporte également son lot d'imprécisions (difficultés dans la reconnaissance des essences, souches décomposées...).

D'autre part, le protocole d'inventaire a également évolué au fil des années pour s'adapter aux besoins. Evidemment, ceci complexifie la comparaison et le remesurage. Ainsi, certaines années, les arbres des placettes n'ont pas été identifiés (notamment des placettes témoins). Lors du remesurage, il a alors été décidé de faire correspondre au mieux les identifications des arbres : l'essence de l'arbre devait rester la même, mais cela n'a pas toujours été possible pour le dhp. De même, les erreurs lors du mesurage sont toujours possibles, et il a ainsi été trouvé des arbres qui réapparaissaient lors du remesurage. Les erreurs ont été corrigées au maximum de façon à éliminer les incohérences.

De plus, les témoins utilisés dans l'étude ne sont pas des placettes mises en place à cette fin, mais le plus souvent des placettes qui n'ont finalement pas été coupées. Pour certaines d'entre elles, c'est leur situation géographique qui fait qu'elles n'ont pas été coupées (fond de coupe totale, cap de roche, bande riveraine...) ce qui soulève la question de leur validité comme témoins des peuplements traités. Même si les placettes ont été choisies pour mieux correspondre aux caractéristiques des peuplements avant coupe, ces situations parfois particulières peuvent aussi influencer l'évolution des témoins. De même pour certains peuplements, il a été difficile voire impossible de trouver des témoins représentatifs. Ce suivi post-coupe gagnerait donc à être comparé avec des témoins plus proches des peuplements coupés ou bien avec des données d'évolution avant coupe dans les parcelles traitées.

IV.3. Perspectives

La comparaison de traitements et peuplements variés révèle quelques différences et souligne l'importance de tenir compte des particularités de départ des peuplements ainsi que des caractéristiques des variantes de coupes partielles dans les expérimentations comme dans les prescriptions. En effet, l'âge des arbres dominants, la proportion de résineux dans le peuplement comme le type de prélèvement sont autant d'éléments qui influencent la réaction du peuplement, au même titre que l'essence dominante ou l'intensité de coupe, sur lesquelles beaucoup d'études en forêt boréale mixte se basent. Selon les peuplements décrits et selon les objectifs poursuivis (favoriser la succession, l'accroissement ou éviter la mortalité), une palette de variantes de coupes partielles serait donc utilisable.

A une plus large échelle, la combinaison de ces traitements avec d'autres pratiques sylvicoles permettrait de recréer la mosaïque de peuplements liée aux différentes perturbations naturelles. Ceci est d'autant plus facile que la surface à aménager est grande avec des peuplements d'âges différents, étant donné que les perturbations ne concernent rarement que quelques hectares. Dans ce cadre d'aménagement écosystémique, il est également intéressant de comparer les effets des coupes avec des peuplements perturbés naturellement (en plus des peuplements témoins non perturbés) et de même pour les coupes totales et les coupes avec protection de la régénération et du sol (systèmes de coupe encore prédominants). Si ces coupes partielles ne peuvent pas suppléer complètement les perturbations naturelles secondaires (épidémies, chablis), elles se rapprochent de leurs effets, et ce nettement plus que les coupes totales tant au niveau dendrométrique (Gendreau-Berthiaume, et al., 2012 ; Bose, et al., 2014 ; Prévost, et al., 2010) qu'écologique (Fenton, et al., 2013).

Bien entendu, ces pratiques sylvicoles étant relativement récentes, leur développement est encore limité par le manque de recul et la formation des entrepreneurs forestiers. De plus, seuls les effets à court terme commencent à être bien connus. La poursuite des expérimentations sur le plus long terme est donc nécessaire (Thorpe & Thomas, 2007). Par ailleurs, dans ce cadre, le suivi de placettes permanentes, comme il a été effectué dans cette étude, semble particulièrement important de manière à éventuellement adapter les pratiques au fur et à mesure que des nouvelles connaissances de leurs effets sur la dynamique des peuplements se relèvent. Le développement d'un tel réseau permet ainsi d'éviter d'avancer sans savoir. En effet, l'incertitude liée à cette nouveauté incite fortement à réaliser un aménagement « adaptatif » (Vaillancourt, et al., 2009).

Conclusion

Le virage pris dans la gestion de la forêt québécoise via la nouvelle loi forestière et le développement de l'aménagement écosystémique, reflète la volonté de gérer cet écosystème de façon plus durable et plus proche de la dynamique naturelle de cet écosystème. De tels changements soulèvent des interrogations et des incertitudes. Il en est ainsi avec la réalisation des coupes partielles comme substitutions de pratiques conventionnelles telles que des coupes totales et leurs variantes, d'où l'intérêt de la mise en place de projets de recherche et de suivi sur ces nouvelles pratiques.

Les coupes partielles réalisées dans le cadre de l'aménagement de la FERLD ont donc été inventoriées et permettraient après quelques années de laisser les résineux tolérants s'installer dans le sous-étage, tout en récupérant un certain volume de bois et en limitant la mortalité. Ces récoltes partielles favoriseraient également l'accroissement de certains arbres et pourraient rapprocher les attributs de ces peuplements de ceux d'une forêt naturelle.

Cette étude fournit également un premier suivi de l'évolution des peuplements traités par les coupes partielles « opérationnelles » qui, dans le long terme, donnera des résultats permettant de mieux comprendre les effets de ces traitements et éventuellement de modifier les prescriptions dans le cadre d'un aménagement « adaptif ». Ces coupes partielles et ce suivi opérationnel s'inscrivent donc, en complément d'une surveillance écologique et d'autres projets expérimentaux, comme un élément de l'adaptabilité de l'aménagement écosystémique.

Bibliographie

Bergeron, Y. & Harvey, B., 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *Forest Ecology and Management*, Issue 92, pp. 235-242.

Bergeron, Y., Harvey, B., Leduc, A. & Gauthier, S., 1999. Stratégies d'aménagement forestier qui s'inspirent de la dynamique des perturbations naturelles : considerations à l'échelle du peuplement et de la forêt. *The Forestry Chronicle*, 75(1), pp. 55-61.

Bose, A., Brais, S. & Harvey, B., 2014. Trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) volume growth in the boreal mixedwood : Effect of partial harvesting, tree social status, and neighborhood competition. *Forest Ecology and Management*, Issue 327, pp. 209-220.

Bose, A., Harvey, B. & Brais, S., 2014. Sapling recruitment and mortality dynamics following partial harvesting in aspen-dominated mixedwoods in eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, Issue 329, pp. 37-48.

Bose, A. et al., 2013. Constraints to partial cutting in the boreal forest of Canada in the context of natural disturbance-based management: a review. *Forestry*, 87, pp. 11-18.

Brais, S. et al., 2013. Ecosystem Responses to Partial Harvesting in Eastern Boreal Mixedwood Stands. *Forests*, Volume 4, pp. 364-385.

Bureau du forestier en chef, 2013. *Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018*. Roberval, Québec : Gouvernement du Québec, 247 p.

Etheridge, D. & Kayahara, G., 2013. Challenges and implications of incorporating multi-cohort management in northeastern Ontario, Canada: A case study. *The Forestry Chronicle*, 89(3), pp. 315-326.

Fenton, N. et al., 2013. Lessons learned from 12 years of ecological research on partial cuts in black spruce forests of northwestern Québec. *The Forestry Chronicle*, 89(3), pp. 350-359.

Gauthier, S. et al., 2008. *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Canada: Presses de l'Université du Québec.

Gendreau-Berthiaume, B., Kneeshaw, D. & Harvey, B., 2012. Effects of partial cutting and partial disturbance by wind and insects on stand composition, structure and growth in boreal mixedwood. *Forestry*, 85(4), pp. 551-565.

Groot, A., Lussier, J.-M., Mitchell, A. & MacIsaac, D., 2005. A silvicultural systems perspective on changing Canadian forestry practices. *The Forestry Chronicle*, 81(1), pp. 50-55.

Harvey, B. & Brais, S., 2007. Partial cutting as an analogue to stem exclusion and dieback in trembling aspen (*Populus tremuloides*) dominated boreal mixedwoods: implications for deadwood dynamics. *Canadian Journal of Forest Research*, Volume 37, pp. 1525-1533.

Harvey, B. & Leduc, A., 1999. *Plan général d'aménagement Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet (1998-2023)*.

Harvey, B., Leduc, A., Gauthier, S. & Bergeron, Y., 2002. Stand-landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest. *Forest Ecology and Management*, Volume 155, pp. 369-385.

Larouche, S., 2013. *Typologie structurale des peuplements mélangés en forêt boréale de l'ouest du Québec*, : Université du Québec à Montréal.

Lavoie, S., Ruel, J.-C., Bergeron, Y. & Harvey, B., 2012. Windthrow after group and dispersed tree retention in eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, Issue 269, pp. 158-167.

Man, R., Kayahara, G. J., Rice, J. A. & MacDonald, G. B., 2008. Eleven-year responses of a boreal mixedwood stand to partial harvesting: Light, vegetation, and regeneration dynamics. *Forest Ecology and Management*, Issue 255, pp. 697-706.

Man, R., Kayahara, G. J., Rice, J. A. & MacDonald, G. B., 2008. Response of trembling aspen to partial cutting and subsequent forest tent caterpillar defoliation in a boreal mixedwood stand in northeastern Ontario, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, Volume 38, pp. 1349-1356.

Man, R., Rice, J. A. & MacDonald, G. B., 2010. Five-year light, vegetation, and regeneration dynamics of boreal mixedwoods following silvicultural treatments to establish productive aspen-spruce mixtures in northeastern Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, Volume 40, pp. 1529-1541.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2005. *Relations entre le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et le diamètre à hauteur de souche (DHS) pour les principales essences commerciales du Québec*, Québec : Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources Naturelles, Direction des inventaires forestiers, 2002. *Guide de reconnaissance des types écologiques, région écologique 5a, plaine de l'Abitibi*. Québec: Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources Naturelles, Direction des inventaires forestiers, 2009. *Normes d'inventaire forestier, Placettes-échantillons permanentes*, Québec : Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources Naturelles, 2013. *Le Guide sylvicole du Québec – Tome 1*. Québec : Gouvernement du Québec, 1044p.

Ministère des Ressources Naturelles, 2013. *Ressources et industries forestières-Portrait statistiques édition 2013*, Québec : Gouvernement du Québec, 104p.

Prévost, M., Dumais, D. & Pothier, D., 2010. Growth and mortality following partial cutting in a trembling aspen - conifer stand: results after 10 years. *Canadian Journal of Forest Research*, Volume 40, pp. 894-903.

Prévost, M., Roy, V. & Raymond, P., 2003. *Sylviculture et régénération des forêts mixtes du Québec (Canada) : une approche qui respecte la dynamique naturelle des peuplements*. Québec : Gouvernement du Québec.

Prévosto, B., 2005. Les indices de compétition en foresterie : exemples d'utilisation, intérêts et limites. *Revue Forestière Française*, LVII(5), pp. 413-430.

Ruel, J.-C., Fortin, D. & Pothier, D., 2013. Partial cutting in old-growth boreal stands: An integrated experiment. *The Forestry Chronicle*, 89(3), pp. 360-369.

Ruel, J.-C. et al., 2007. Mise au point d'une sylviculture adaptée à la forêt boréale irrégulière. *The Forestry Chronicle*, 83(3), pp. 367-374.

Solarik, K. A. et al., 2012. Factors affecting white spruce and aspen survival after partial harvest. *Journal of Applied Ecology*, Volume 49, pp. 145-154.

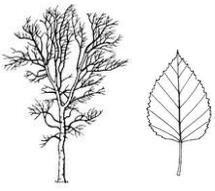
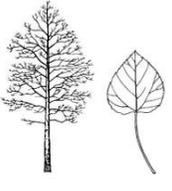
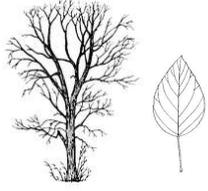
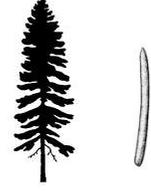
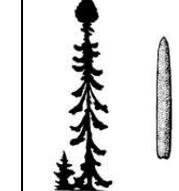
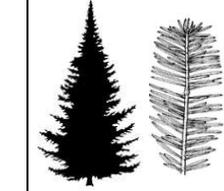
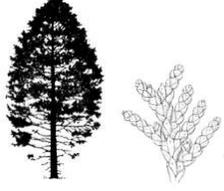
Thorpe, H. C. & Thomas, S. C., 2007. Partial harvesting in the Canadian boreal: Success will depend on stand dynamic responses. *The Forestry Chronicle*, 83(3), pp. 319-325.

Vaillancourt, M.-A., Gauthier, S., Kneeshaw, D. & Bergeron, Y., 2009. *Mise en oeuvre de l'aménagement écosystémique en forêt boréale, Exemples provenant de l'est du Canada*. Edmonton, Alberta: Réseau de gestion durable des forêts.

Liste des annexes

- **Annexe 1** : Autécologie des principales essences commerciales
- **Annexe 2** : Types de coupes pratiquées à la FERLD
- **Annexe 3** : Protocole de remesurage et exemple de fiche de relevé
- **Annexe 4** : « Historique » des inventaires 2003-2012 dans les coupes partielles de la FERLD
- **Annexe 5** : Guide de lecture et compilation des fiches par peuplement et par coupe
- **Annexe 6** : Résultats de la sélection des modèles de régression linéaire sur les accroissements des différentes essences

ANNEXE 1 : Autécologie des principales essences commerciales
(D'après Guide de sylviculture, Article B.D. Harvey FEM 2002 et Site du MRN : <http://aimfc.rncan.gc.ca/fr>)

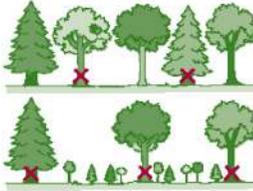
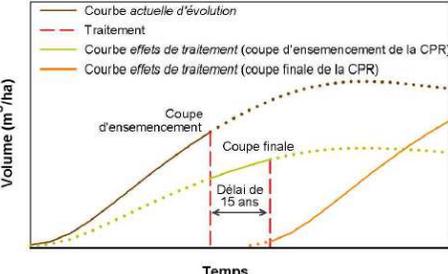
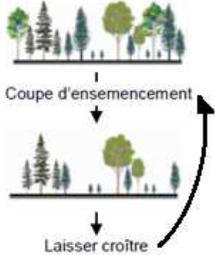
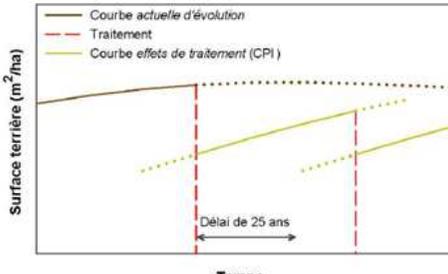
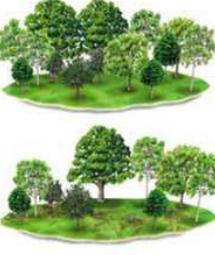
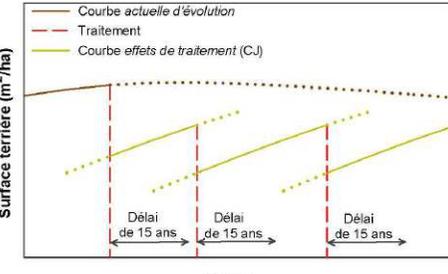
Essence	Bouleau blanc ou à papier (<i>Betula papyrifera</i>)	Peuplier tremble (<i>Populus tremuloides</i>)	Peuplier baumier (<i>Populus balsamifera</i>)	Epinette blanche (<i>Picea glauca</i>)	Epinette noire (<i>Picea mariana</i>)	Sapin baumier (<i>Abies balsamea</i>)	Pin gris (<i>Pinus banksiana</i>)	Mélèze laricin (<i>Larix laricina</i>)	Thuja occidentale (<i>Thuja occidentalis</i>)
Morphologie									
Type de site dominant	Tills et argiles mésiques à fertilité élevée, souvent sur des dépôts fluvioglaciers frais et humides	Tills et argiles mésiques et sub-hydriques à fertilité élevée	Sites à fertilité élevée ou modérée, terrains hydromorphes à nappe phréatique haute mais non stagnante	Tills et argiles mésiques à sub-hydriques et à fertilité élevée	Sites variable sans grande fertilité	Tills et argiles mésiques et dépôts organiques eutrophiés à fertilité modérée	Tills et sables mésiques et xériques à fertilité faible, souvent sur des alluvions sablonneux	Argiles sub-hydriques et dépôts organiques à fertilité faible	Argiles mésiques et sub-hydriques ainsi que dépôts organiques eutrophiés à fertilité élevée, quelques peuplements purs sur terrains à mauvais drainage
Longévité (ans)	Rotation : 60-90 Maximum : 235	Rotation : 50-90 Maximum : 170	Croissance rapide Maximum : 80-100	Rotation : 70-110 Maximum : 230	Rotation : 80-130 Maximum : 240	Rotation : 50-90 Maximum : 145	Rotation : 50-90 Maximum : 240	Rotation : 70-120 Maximum : 180	Rotation : 80-160 Maximum : 920
Tolérance à l'ombre	Intolérant	Très intolérant	Très intolérant	Semi-tolérant	Variable selon les stades (plutôt tolérant)	Tolérant à très tolérant	Très intolérant	Très intolérant	Variable selon les stades (plutôt très tolérant)
Cohorte	Pionnier	Pionnier	Pionnier	Mi-fin de succession	Fin de succession	Fin de succession	Pionnier	Pionnier	Mi-fin de succession
Accroissement moyen (mm/an)	(0,70-1,74)-(0,78-2,58)	(1,65-2,35) - (2,09-3,20)	2,91-2,84	1,64-2,77	(0,99-1,44)-(0,88-1,43)	(1,15-1,58)-(1,19-2,08)	1,06-(1,24-1,62)	1,86-2,36	
Risques, sensibilité	Sensible à la sécheresse prolongée	Sensible aux sols minces de texture grossière ou argile lourde, fréquemment attaqué par les castors	Sensible à la sécheresse, aux sols acides	Sensible à la sécheresse ou aux apports en eau excessifs, carences en azote ou potassium	Le drainage (risque de carie) est plus limitatif que le régime nutritif, système racinaire superficiel le rendant sensible au chablis	Sensible à la sécheresse ou aux apports en eau excessifs, au vent et à la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la vigueur du houppier est un bon indicateur	Les propriétés physiques du sol sont plus limitatives que les propriétés chimiques	Sensible à l'eau stagnante	Aération déficiente lors d'inondations, sensible au broutage et à la compétition
Réaction aux ouvertures	Augmentation de croissance après ouvertures dans le jeune âge mais réagit mal aux éclaircies tardives (blessures tiges et racines)	Bonne réaction mais élagage et éclaircie naturelle plus favorables	Réagit faiblement aux ouvertures (blessures) mais s'auto-éclaircie	Bonne réaction peu importe l'âge	Bonne réaction	Bonne réaction	Bonne réaction, les ouvertures partielles favorisent sa croissance, risque de perte de qualité à cause de son élagage naturel tardif et son tronc sinueux		Bonne réaction, les coupes progressives irrégulières conviennent bien
Régénération après feu	Régénération rapide par graines, rejets de souche	Régénération rapide par drageons	Reproduction végétative essentiellement	Régénération graduelle par graines	Régénération graduelle par graines	Régénération graduelle par graines	Régénération rapide par graines	Régénération rapide par graines	Régénération lente par graines
Régénération sans feu	Par graines dans les trouées	Dans les trouées, par drageons et graines		Graines dans le sous-étage	Marcottage	Graines dans le sous-étage	Régénération faible	Peu de régénération	Régénération par marcottage et semences

Essence	Bouleau blanc ou à papier (<i>Betula papyrifera</i>)	Peuplier tremble (<i>Populus tremuloides</i>)	Peuplier baumier (<i>Populus balsamifera</i>)	Epinette blanche (<i>Picea glauca</i>)	Epinette noire (<i>Picea mariana</i>)	Sapin baumier (<i>Abies balsamea</i>)	Pin gris (<i>Pinus banksiana</i>)	Mélèze laricin (<i>Larix laricina</i>)	Thuya occidental (<i>Thuja occidentalis</i>)
Conditions d'installation de la régénération	Bonne installation après feu de surface ou coupe, pic de production de semences vers 40 ans, tous les 2-3 ans, besoin de plus de 45% de lumière pour pousser	Prolifération après coupe ou incendie, encore meilleur après un léger scarifiage, besoin d'un très fort ensoleillement	Bonne installation après coupe ou feu surtout avec un très fort ensoleillement	Semences à partir de 45-60 ans, tous les 2 à 6 ans, besoin en ensoleillement croissant avec l'âge, établissement favorisé par coupes d'ensemencement	Production de semences tous les 4 ans environ mais avec une bonne conservation, libération des graines des cônes après incendie moyen, besoin d'un fort ensoleillement	Production de cônes à partir de 20-30 ans, tous les 2-4 ans, qui germent sous couvert (50% d'ensoleillement suffit), faculté de vivre longtemps sous couvert et bien réagir à l'ouverture	Production cônes sérotineux libérés lors de forts incendies, germent sur un terrain préparé (par le feu ou la scarification) sans risque d'envahissement par les plantes concurrentes	Production de semis à partir de 40 ans, tous les 3-6 ans, stimulation par les feux, sensible à la végétation concurrente	Marcottage et quelques semences tous les 3 à 5 ans, bonne régénération sur le bois mort
Enjeux et évolution	Risque d'envahissement après coupe totale, en expansion à cause de l'exploitation forestière	Risque d'envahissement après coupe totale	Risque d'envahissement après coupe totale	Raréfaction dans les sapinières en forêt boréale, risque d'envahissement du sapin et des feuillus intolérants après la coupe, surtout en courte révolution	Diminution possible après la coupe, surtout dans les pessières à sapin	Risque d'envahissement du sapin après la coupe	Faiblement représenté après la coupe car l'espèce est tributaire du feu pour se régénérer	Raréfaction voire disparition dans certains sites suite à de graves épidémies	
Utilisation du bois	Écorce flexible et résistante utilisée pour fabriquer des canoës et des pièces d'ornement	Fabrication de panneaux de lamelles orientées (OSB) et autres types de panneaux		Pâte à papier, bois d'œuvre	Pâte à papier, bois d'œuvre	Pâte à papier, bois d'œuvre, arbre de Noël	Construction générale, pâte à papier, traverses de chemin de fer, poteaux, pilotis, étais de mines		

ANNEXE 2 : Types de coupes pratiquées à la FERLD

(D'après L'aménagement écosystémique en forêt boréale, Manuel de détermination des possibilités forestières, Article A. K. Bose Forestry 2013, Article Y. Bergeron Forestry Chronicle 1999, Présentation B. Harvey Tour forestier Mattawa)

	Coupe	Description	Prélèvement en volume et rotation	Perturbation analogue ⁽¹⁾	Implications	Proportion ⁽⁴⁾		
						FERLD	QC	CA
« Coupes totales »	CTSP (Coupe totale sans préoccupation)	Récolte de toutes les tiges sans distinction.	Prélèvement de 90 à 99% du volume marchand à 60-100 ans.	Feu de forte intensité	<u>Peuplements réguliers et équiens</u> - Faible coût de récolte - Permet de recruter des espèces pionnières	19 %	68%	87%
	Coupe totale avec rétention	Conservation d'arbres individuels ou de groupes d'arbres à des fins écologiques.		Feu ou perturbation sévère laissant des survivants et épargnant des îlots	<u>Peuplements réguliers et équiens</u> - Laisse relativement peu de legs biologiques - Risque de remontée de la nappe phréatique	31 %		
	CPRS (Coupe avec protection de la régénération et des sols)	Protection de la régénération préétablie (sentiers).		Epidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	14 %			
	CRS (Coupe avec réserve de semenciers)	Récolte laissant des semenciers pour favoriser la régénération.		Feu de surface dans les peuplements de pins gris ou rouges	1 %	1%	1%	
	CPPTM (Coupe avec protection des petites tiges marchandes)	Récolte des tiges de diamètre supérieur à une limite fixée (souvent autour de 15 cm).	Prélèvement de 70 à 95% du volume marchand à 60-100 ans.		<u>Peuplements plutôt irréguliers</u> - Risque de chablis après la coupe - Favorise les peuplements à structure d'âge multimodale	0 %	-	-
« Coupes partielles »	EC (Eclaircie commerciale) ⁽²⁾	Classiquement l'éclaircie commerciale est la récolte d'une partie du peuplement non encore mature pour favoriser la croissance en diamètre ainsi que la vigueur des arbres résiduels.	Prélèvement d'environ 30% du volume marchand à 30-40 ans. ⁽²⁾	Compétition naturelle et auto-éclaircie.	<u>Peuplements réguliers et équiens</u> - Appliqué dans des peuplements productifs pour augmenter le volume et la qualité	17 % ⁽²⁾	10%	3%

<p>CPR (Coupe progressive régulière)</p>		<p>Coupes de succession composées de coupes d'ensemencement permettant d'établir la régénération puis de coupes finales (CPRS par ex.).</p>	<p>Prélèvement pour les coupes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'ensemencement : 40-50% vers 60-80 ans - définitives : 80-90% vers 80-100 ans 	<p>Perturbations moyennement sévères : épidémie, chablis</p>	<p><u>Peuplements réguliers et équiens</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Permet de régénérer des essences plus tolérantes - Favorable au paysage et à la faune - Permet de lutter contre l'effeuillement 	12 %	6%	4%
<p>CPI (Coupe progressive irrégulière)</p>		<p>Coupes partielles successives de façon à assurer la régénération en maintenant le peuplement inéquien.</p>	<p>Prélèvement régulier (tous les 30 à 40 ans) de 30 à 40% du volume marchand.</p> 	<p>Perturbations peu sévères et fréquentes : dépérissement, épidémie, chablis</p>	<p><u>Peuplements irréguliers</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Favorise les mélanges d'essence à longévité et tolérance à l'ombre variées - Risque de paludification ou d'invasion par les éricacées - Limite effeuillement - Permet le maintien des caractéristiques de vieilles forêts 	1 %	15%	5%
<p>Jardinage</p>		<p>Récolte par pied ou par groupe d'arbres visant un maintien du couvert et une production constante, et une amélioration de la qualité (récolte prioritaire des UGS en faveur des AGS⁽³⁾)</p>	<p>Prélèvement de 25-30% tous les 20-25 ans.</p> 	<p>Perturbations de faible intensité et fréquentes : chablis et renversement d'arbres sénescents provoquant des trouées</p>	<p><u>Peuplements irréguliers et inéquiens</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Vise une structure diamétrale équilibrée et variée - Imiter la dynamique naturelle de mortalité mais en laissant peu d'arbres morts 	2 %		
<p>Coupe partielle d'intensité forte</p>	<p>Récolte partielle mais relativement forte du peuplement, permettant la régénération, l'éducation et la récolte</p>		<p>Prélèvement de 60% du volume marchand selon des rotations relativement longues</p>	<p>Epidémie ou perturbation sévère</p>	<p><u>Peuplements multiétagés</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Alternative au jardinage pour des peuplements peu productifs et éloignés 	2 %	-	-

(1) à la différence que, dans le cas de la coupe, le sol ne brûle pas, qu'il y a moins de bois mort au sol et sur pied et que le sol minéral n'est que peu exposé (provoquant une perte des lits de germination).

(2) réalisés sous forme d'éclaircies commerciales tardives dans la FERLD, c'est-à-dire des éclaircies décalées d'une trentaine d'années (vers 70 ans) par rapport à la période classique d'exécution de ce type de traitement (éclaircie sur des peuplements mûrs permettant de retarder la coupe finale et donc de diminuer le volume récolté tout en limitant les pertes par mortalité dans les années suivantes).

(3) AGS : acceptable growing stock (arbres dépérissants, de mauvaise qualité ou risquant de perdre de la valeur), UGS : unacceptable growing stock (arbres dont la valeur va s'accroître).

(4) En pourcentage de la surface récoltée selon le SIG de la FERLD entre 1998 et 2012 et selon la base de données sur les forêts pour le Québec et le Canada en 2012 (<http://nfdp.ccfm.org>).

PROTOCOLE DE REMESURAGE – FERLD 2014

L'inventaire suit et reprend les normes de l'inventaire forestier pour les placettes échantillon dans les peuplements de plus de 7m.

La procédure d'échantillonnage des PET de la FERLD est globalement reprise avec un changement pour l'inventaire de la régénération inspiré de la méthode utilisée par Alexandre Guay-Picard.

Le but est de remesurer les placettes déjà existantes (donc de les retrouver), sinon d'en créer une nouvelle le plus possible à proximité de l'ancienne.

Matériel

- GPS, piles de rechange et cartes
- Boussole (décaler de 12° ouest)
- Fiches placettes, crayons et support
- Ruban forestier, piquets et étiquettes métalliques
- Double décamètre (ou autre appareil de mesure de distance)
- Peinture et pistolet à peinture
- Y à mesurer pour les gaules
- Tarière de Pressler, pailles, ruban adhésif et matériel de collage/conservation
- Sac à dos, trousse de secours, bombe à ours
- Radios, casque et lunettes de la FERLD

Identification et cheminement vers la placette

Cheminement vers la placette à remesurer grâce aux coordonnées géographiques entrées dans le GPS. Noter les observations lors du cheminement. S'aider des marquages aux arbres, s'ils existent, pour trouver précisément le centre de la placette.

- Si la placette est retrouvée de façon exacte, le numéro sera le même que celui de la placette initiale en modifiant le 00 de la fin par 01, ou le 01 par 02.
- Si la placette n'est pas retrouvée de façon exacte, un nouveau numéro à partir de 800 : 2014-800 et suivants-00.

Encadré 1 : Exemple de numérotation

<i>Placette à remesurer :</i>	<i>2007052300</i>	<i>2008023601</i>
<i>Retrouvée exactement :</i>	<i>2007052301</i>	<i>2008023602</i>
<i>Non retrouvée exactement :</i>	<i>2014082300</i>	<i>2014083600</i>

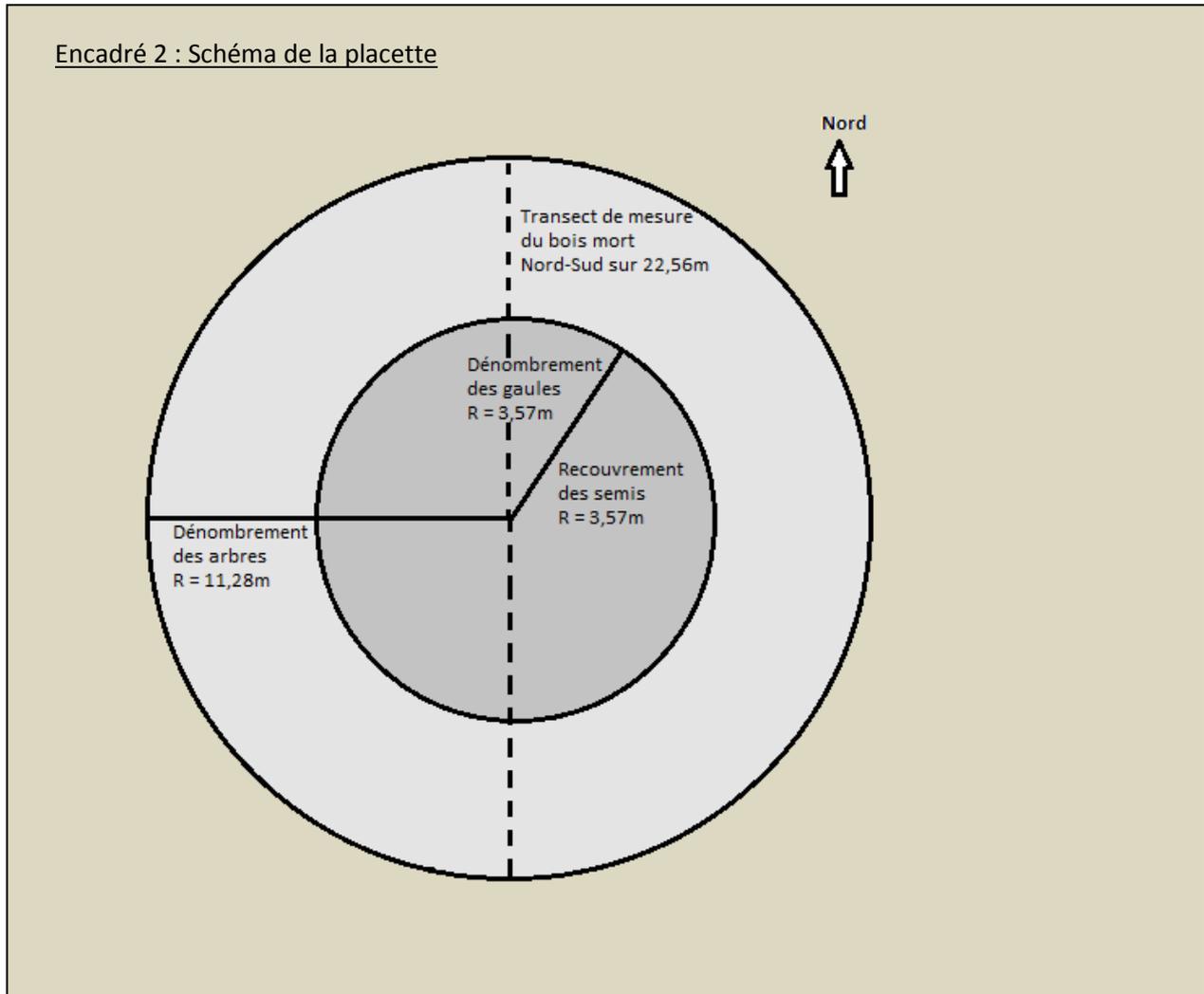
Le point GPS de la placette est repris dans tous les cas. Noter les informations de base sur la fiche placette correspondante (n°, obs. du cheminement, date, équipe, coordonnées, description basique comme les arbres les plus proches...).

Planter le piquet, y inscrire au feutre permanent le numéro d'identification de la placette et y ajouter une étiquette métallique (sauf si le piquet est déjà présent). Remarquer les numéros d'identification des arbres à la peinture orange en grattant un peu l'écorce (et tracer un trait horizontal à la peinture à 1m30).

Suivi dendrométrique, des gaules et de la régénération

Une fois le centre de la placette déterminé, établir plusieurs sous-placettes :

Encadré 2 : Schéma de la placette



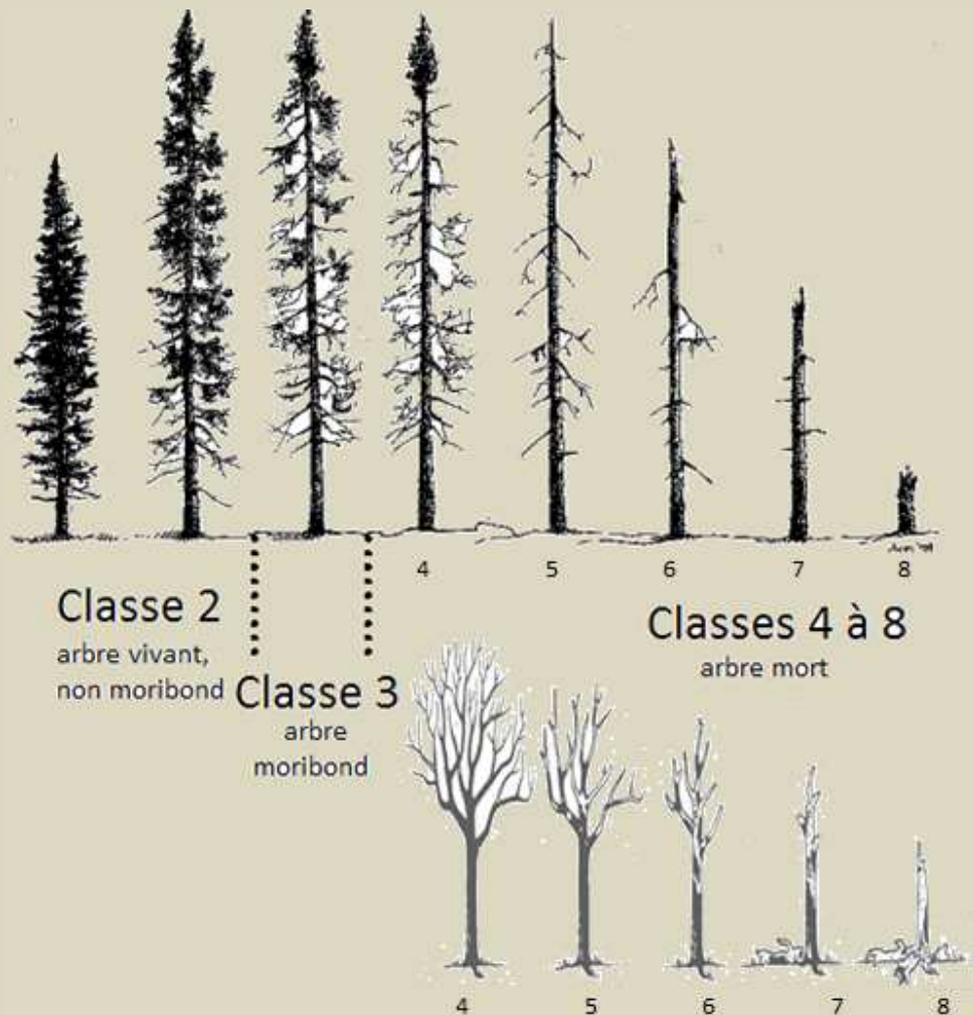
1. Sur un rayon de 11.28m (dénombrement des arbres) :

- Réaliser le dénombrement des arbres suivants :
 - Essences commerciales et non commerciales
 - Arbres vivants et morts (sur pied)
 - Diamètre supérieur à 10 cm (inclus), hauteur supérieure à 1,3 m
- Mesurer et noter (en réutilisant les numéros d'identification des arbres existants s'ils existent) :
 - L'essence (cf encadré 7 pour les codes d'essence)
 - Le diamètre à hauteur de poitrine (dhp), à 1m30 (à la précision du mm près)
 - La classe de décomposition (cf encadré 3)
 - Le pourcentage de cime

NB : Pour les placettes non retrouvées exactement, noter également les arbres visiblement morts et tombés récemment en précisant essence, dhp, et la lettre MS (mort au sol)

Si les arbres sont numérotés, ne pas oublier de remplir les nouvelles informations en correspondance (même identifiant) et utiliser des numéros non encore utilisés pour les passages à la futaie.

Encadré 3 : Les classes de décomposition



Ancienne classification	Classification utilisée	Description	
1	2	Arbre vivant, non moribond, plus de 20% du feuillage intact, aucun signe de maladie ou de champignon	
2			
3	F	Faunique : pourrait être utilisé par la faune (sur le plan alimentaire ou comme habitat)	Arbre moribond, risque mourir dans les 20 ans, moins de 20% du feuillage intact et/ou signe évident de blessure, maladie...
	M	Malade : beaucoup de champignons...	
	Z	Mort-vivant : portion importante des branches supérieures mortes, « toppe-secque »	
	S	Supprimé : risque très fort de mort dans les 20 ans (importante mortalité des branches sous-jacentes et cime rabattue)	
	B	Blessé : blessure compromettant la survie de l'arbre	
	P	Penché : 15% par rapport à la verticale et penché jusqu'à la base (non pas courbe)	
4	4	Arbre récemment mort, petites branches et petites ramilles encore présentes, bois généralement dur, écorce encore fermement attachée	Arbre mort
5	5	Arbre mort depuis quelque temps, petites branches et petites ramilles absentes, grandes branches encore attachées, bois encore dur	
6	6	Poteau, cime coupée mais atteint encore 50% de la hauteur des arbres vivants de même DHP, seules quelques grandes branches persistent	
7	7	Demi-poteau, cime coupée mais atteint moins de 50% de la hauteur des arbres vivants de même DHP	
8	8	Moignon, moins de 2m de hauteur	

2. Sur un rayon de 11.28m (souches) :

- Mesure des souches dans les placettes des zones récoltées :
Déterminer dans la mesure du possible l'essence et mesurer le diamètre de la souche

3. Sur un rayon de 3.57m (dénombrement des gaules) :

- Réaliser le dénombrement des gaules d'essences commerciales et non commerciales (Essences commerciales séparément et essences non commerciales ensemble) :
Par catégorie de diamètre (2, 4, 6 et 8 cm, cf encadré 4), et par essence, compter le nombre de tiges présentes dans le périmètre

Encadré 4 : Classes de diamètre pour les gaules

DHP	Classe
1 cm < DHP ≤ 3 cm	2
3 cm < DHP ≤ 5 cm	4
5 cm < DHP ≤ 7 cm	6
7 cm < DHP ≤ 9 cm	8

4. Sur un rayon de 3.57m (recouvrement des semis) :

- Sur la même placette que les gaules, estimer le pourcentage de recouvrement de différents types d'essences (Essences commerciales séparément et essences non commerciales ensemble), et ce pour deux classes de hauteur différentes (a et b) (cf encadré 5).
- Evaluer ce pourcentage visuellement sur l'ensemble de la sous-placette en 4 grandes catégories (0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100%)

Encadré 5 : Classes de hauteur pour les semis

Classe a : de 0 à 60 cm de hauteur

Classe b : supérieur à 61 cm de hauteur et inférieur à 1 cm de DHP

5. Sur un transect Nord-Sud de 22.56m (inventaire du bois mort au sol) :

- Parcourir le diamètre de la placette 1 du Nord au Sud et mesurer le diamètre des débris de bois (chicots penchés de moins de 30° par rapport à l'horizontale, branches et souches mortes) à l'intersection avec le transect
- Noter lorsque celui-ci est supérieur à 8 cm, puis évaluer la classe de décomposition de ce bois entre 9 et 13 (cf encadré 6)

Encadré 6 : Classes de décomposition du bois mort au sol

	Stade de décomposition	Description
Bille fraîche	9	Écorce saine, branches et brindilles présentes, fraîchement mort et tombé.
	10	Écorce saine, branches présentes, brindilles disparues, bois dur.
	11	Écorce détachée, bois assez dur bien que décomposition visible.
Bille décomposée	12	Forme ovale, bois mou, écorce absente, morceaux de bois se détachent facilement.
	13	Bois intégré dans couverture morte, pas d'intégrité structurale.



Classe 9



Classe 10



Classe 11



Classe 12



Classe 13

Encadré 7 : Codes des essences

Code	Nom commun	Nom latin	Code	Nom commun	Nom latin
AUR	Aulne rugueux	<i>Alnus rugosa</i> var. <i>americana</i>	NEM	Némopante mucroné	<i>Nemopanthus mucronatus</i>
BOJ	Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i> (<i>lutea</i>)	PEB	Peuplier baumier	<i>Populus balsamifera</i>
BOP	Bouleau à papier (blanc)	<i>Betula papyrifera</i>	PEH	Peuplier hybride	<i>Populus</i> sp.
COC	Noisetier à long bec	<i>Corylus cornuta</i>	PET	Peuplier faux-tremble	<i>Populus tremuloides</i>
EPB	Épinette blanche	<i>Picea glauca</i>	PIB	Pin blanc	<i>Pinus strobus</i>
EPN	Épinette noire	<i>Picea mariana</i>	PIG	Pin gris	<i>Pinus banksiana</i> (<i>divaricata</i>)
EPO	Épinette de Norvège	<i>Picea abies</i>	PIR	Pin rouge	<i>Pinus resinosa</i>
ERE	Érable à épis	<i>Acer spicatum</i>	PRP	Cerisier de Pennsylvanie	<i>Prunus pensylvatica</i>
ERP	Érable de Pennsylvanie	<i>Acer pensylvanicum</i>	PRU	Pruche de l'Est	<i>Tsuga canadensis</i>
ERR	Érable rouge	<i>Acer rubrum</i>	PRV	Cerisier de Virginie	<i>Prunus virginiana</i>
FRN	Frêne noir	<i>Fraxinus nigra</i>	SAB	Sapin baumier	<i>Abies balsamea</i>
HEG	Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i>	SAL	Saules	<i>Salix</i> sp.
MEH	Mélèze hybride		SOA	Sorbier d'Amérique	<i>Sorbus americana</i>
MEL	Mélèze laricin	<i>Larix laricina</i>	THO	Thuya occidental (cèdre)	<i>Thuja occidentalis</i>

Mesure de l'accroissement

1. Choisir 4 arbres étude au sein de la placette (11.28m) selon la méthode suivante :

- Essayer de prendre les arbres les plus proches du centre de la placette à chaque fois. Ne prendre que des arbres pré-comptables (diamètre ≥ 10 cm), de classe 2 et appartenant à la placette.
 - **Essence dominante** (en nombre de tiges de la placette) : choisir si possible un arbre **dominant**, un **co-dominant** ainsi qu'un **intermédiaire** ou un **opprimé** de cette essence (cf encadré 8)
 - **Résineux tolérants*** (sauf dans le cas des zones avec des résineux tolérants en essence majoritaire) : choisir un arbre de cette essence
- * *sapin baumier, épinette noire ou blanche, cèdre*

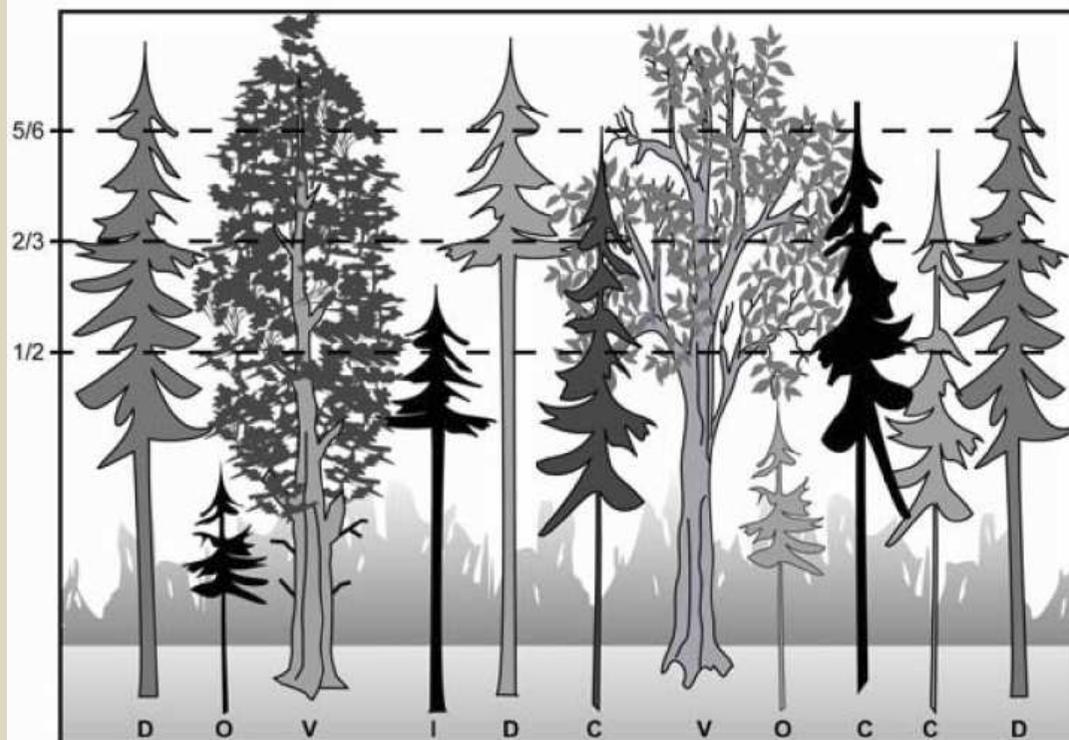
2. Réaliser 1 prélèvement sur chaque arbre :

- Avec la tarière réaliser un prélèvement à hauteur de poitrine en direction du centre de la placette
- Placer les carottes dans les pailles en prenant soin de noter l'identifiant de l'arbre et de la placette

3. Préciser le voisinage de l'arbre étude

- Noter tous les identifiants des arbres situés dans un rayon de 5m autour de l'arbre étudié (cf encadré 8)

Encadré 8 : Mesure de l'accroissement



Dominant : Code D

Arbre dont la hauteur dépasse visiblement l'espace occupé par les codominants. Sa cime s'étend au-delà du niveau général du couvert principal. Habituellement, ils sont peu nombreux. Les vétérans sont exclus de cette classe.

Codominants : Code C

Arbre qui occupe l'espace où se situe généralement la majorité des hauteurs de tiges d'un peuplement, soit approximativement supérieur au 2/3 de la hauteur des dominants. Sa cime contribue à former le niveau général du couvert du peuplement.

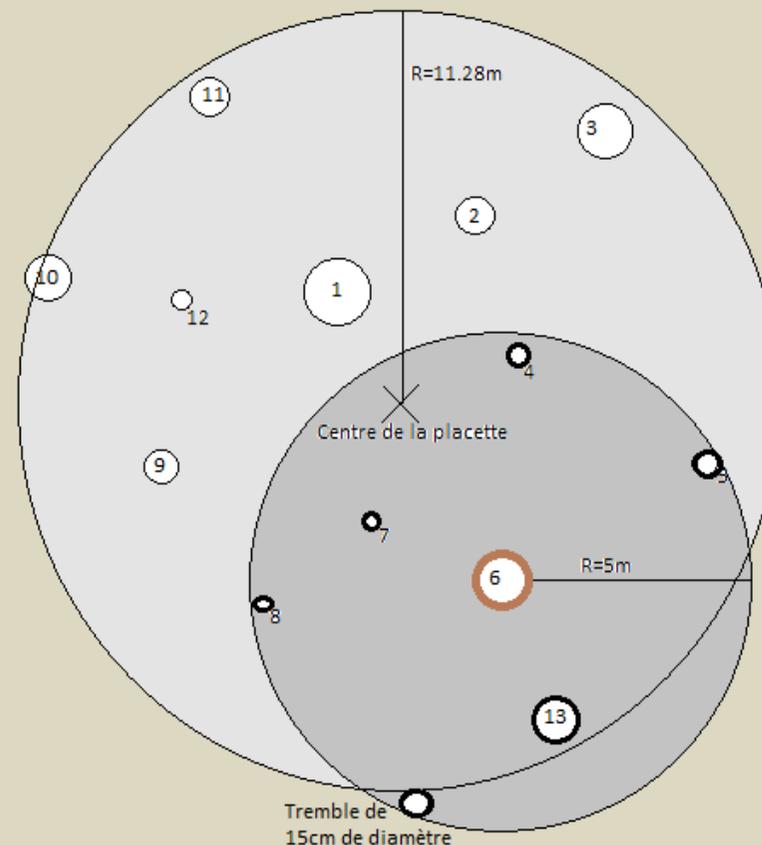
Intermédiaire : Code I

Arbre qui occupe l'espace inférieur à la majorité des hauteurs de tiges d'un peuplement, soit approximativement entre la 1/2 et les 2/3 de la hauteur des dominants. Sa cime s'étend dans la partie inférieure du couvert.

Opprimé : Code O

Arbre qui occupe l'espace sous-jacent de la majorité des hauteurs de tiges d'un peuplement, soit approximativement plus bas que la 1/2 de la hauteur des dominants. Sa cime est entièrement en dessous du niveau général du couvert.

Exemple : Placette dans un peuplement de pins gris



○ Arbre étude ● Arbres voisins

Essence majoritaire :	Statut	Arbre étude	Voisins					
PIG	D	6	2	7	4	5	13	PET15
	C	Etc.						
	I-O							
Résineux tolérants	Etc.							

Fiche de relevé

Placette d'origine : 2010003901	X :313990	Y :5372205	Année de mesure : 2011
Coupe : Coupe progressive 10-11	Type : Après coupe	Zone : Tremble	Nombre d'arbres identifiés : 47 (Id max : 73)

Placette _____ Coordonnées X : _____ Y : _____

Date : _____ Evalueur : Claire Bastick

Description (cheminement, arbres proches du centre,...) :

1. Dénombrement des arbres sur pied (R=11.28m)

Ess	D.	Id	Ess	Dhp	C	%	Ess	D.	Id	Ess	Dhp	C	%	Ess	D.	Id	Ess	Dhp	C	%
PET	10	1					SAB	12	41					-	0	81				
PET	32	2					SAB	12	42					-	0	82				
PET	16	3					PET	18	43					-	0	83				
BOP	10	4					THO	12	44					-	0	84				
THO	14	5					SAB	16	45					-	0	85				
PET	10	6					PEB	22	46					-	0	86				
SAB	12	7					-	0	47					-	0	87				
-	0	8					PET	20	48					-	0	88				
PET	28	9					SAB	14	49					-	0	89				
-	0	10					-	0	50					-	0	90				
SAB	20	11					SAB	12	51					-	0	91				
SAB	12	12					SAB	18	52					-	0	92				
-	0	13					-	0	53					-	0	93				
SAB	16	14					SAB	14	54					-	0	94				
-	0	15					PET	24	55					-	0	95				
-	0	16					PET	20	56					-	0	96				
-	0	17					-	0	57					-	0	97				
PET	30	18					PET	14	58					-	0	98				
-	0	19					SAB	16	59					-	0	99				
-	0	20					THO	10	60					-	0	100				
THO	16	21					-	0	61					-	0	101				
SAB	16	22					PET	18	62					-	0	102				
-	0	23					THO	14	63					-	0	103				
PET	14	24					PET	12	64					-	0	104				
THO	10	25					PET	22	65					-	0	105				
-	0	26					SAB	18	66					-	0	106				
PET	20	27					-	0	67					-	0	107				
PET	26	28					SAB	14	68					-	0	108				
-	0	29					PET	22	69					-	0	109				
PET	30	30					PET	18	70					-	0	110				
-	0	31					PEB	14	71					-	0	111				
-	0	32					-	0	72					-	0	112				
-	0	33					THO	10	73					-	0	113				
EPB	34	34					-	0	74					-	0	114				
-	0	35					-	0	75					-	0	115				
PET	16	36					-	0	76					-	0	116				
-	0	37					-	0	77					-	0	117				
-	0	38					-	0	78					-	0	118				
-	0	39					-	0	79					-	0	119				
-	0	40					-	0	80					-	0	120				

**ANNEXE 4 : « Historique » des inventaires 2003-2012
dans les coupes partielles de la FERLD**

Au fil des années, les inventaires ont un peu évolué mais toujours en se basant sur le modèle des placettes-échantillon de 400m² du ministère. Quelques éléments importants de ces inventaires sont énumérés ci-dessous de façon à mieux interpréter les résultats de comparaisons d'inventaires et à mieux comprendre les données compilées dans la base de données. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive car basée uniquement sur les inventaires pour les coupes partielles, les observations du terrain et de la base de données.

	Arbres	Gaules	Semis	Bois mort au sol
Globalement (toujours appliqué sauf mention contraire)	- sur 400m ² (R=11.28) - identification des arbres - essences commerciales et non commerciales à partir de 9.1cm - pourcentage de cime - par classe de 2 cm de dhp - arbres vivants (classes 1 à 3) et morts (classes >4)	- sur 40m ² (R=3.57m) - gaules commerciales seulement - dénombrement par classe de 2cm (2,4,6,8)	- sur 3 micro-placettes de 1.13m de rayon - absence ou présence sur la micro-placette commerciale - 3 classes de hauteur (0-15cm, 15-60cm, 60cm à dhp=1cm)	- sur un transect Nord-Sud de 22m56 - diamètre et classe de décomposition
2003	- pas de pourcentage de cime			- non pris en compte
2004 (placettes jusqu'à 100)	- pas d'identification des arbres (juste des points) - seulement les arbres vivants - pas de pourcentage de cime			- non pris en compte
2004 (placettes à partir de 900)	- pas de pourcentage de cime			- non pris en compte
2005	- pas d'identification des arbres (juste des points) - pas de pourcentage de cime			- non pris en compte
2006	- pas d'identification des arbres (juste des points) - pas de pourcentage de cime - arbres morts non comptabilisés pour les placettes 100 à 110			- non pris en compte
2007 (placettes jusqu'à 800)	- pas d'identification des arbres (juste des points)			- non pris en compte
2007 (placettes de Régis, à partir de 800)		- non pris en compte	- non pris en compte	- non pris en compte
2008 à 2012				

ANNEXE 5 : Guide de lecture et compilation des fiches par peuplement et par coupe

Nom de la coupe et du peuplement

p.1/2



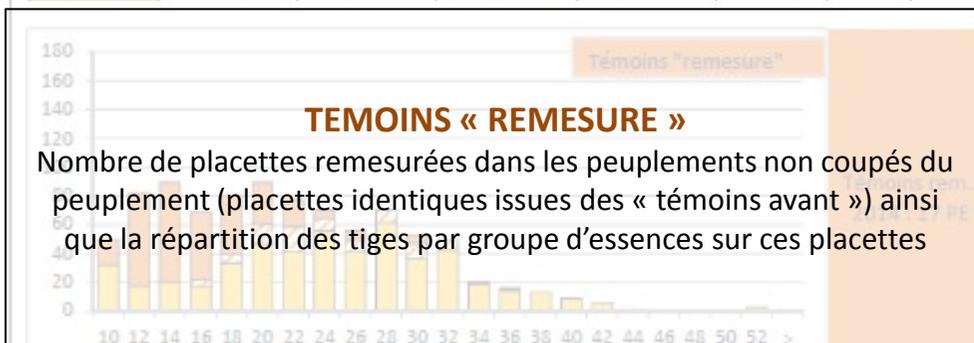
Variables de base (et écarts-types respectifs) pour chaque groupe de placettes (témoins « avant », témoins « remesure », coupe « avant », coupe « après », coupe « remesure ») et valeurs du prélèvement (nombre de tiges récoltées, surface terrière prélevée..., calculé d'après la mesure des souches).

	Témoins « avant »	Témoins « remesure »	Coupe « avant »	Coupe « après »	Coupe « remesure »
Prélèvement	226 ± 130	37,6 ± 9,0	312 ± 82	23,3 ± 3,2	307 ± 133
Coupe av.	1029 ± 321	34,3 ± 9,2	270 ± 95	20,9 ± 2,9	249 ± 145
Coupe après	663 ± 246	23,7 ± 7,0	203 ± 67	22,7 ± 3,3	93 ± 67

Le volume est le volume calculé avec le tarif de cubage de la FERLD

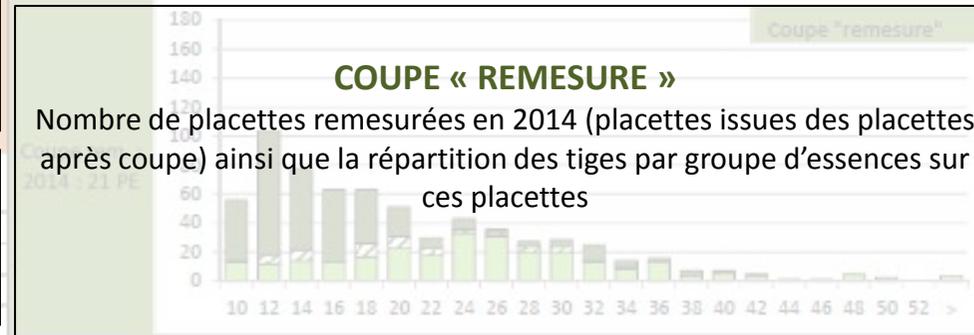
Année de la coupe, intensité et nature de prélèvement calculé d'après l'inventaire des souches (ligne « souches », plus fiable) et d'après la différence entre le nombre de tiges dans l'inventaire après coupe et celui avant coupe (ligne « placettes », moins précis)

43%



Légende des groupes d'essences (RT,FI...) et pourcentage en nombre de tiges de ces essences dans les placettes témoins et coupées en 2014

Essence	Témoins	Coupées
FI : bouleau, peuplier, tremble...	57%	41%
RT : épinettes, sapin, cèdre...	34%	31%



NB : Attention, le « creux » dans la classe de 10cm de dhp lors du remesurage est due au protocole utilisé (cf §II.5 du rapport)

Accroissement radial par essence mesuré sur les carottes

prélevées (ainsi que le nombre d'arbres prélevés) : moyennes annuelles calculées sur les dix ans avant coupe (et sur les années correspondantes pour les témoins) ainsi que sur les années entre la coupe et 2014 (et les années correspondantes pour les témoins).

Différences statistiquement significatives représentées par des * seulement si la moyenne après coupe est supérieure à celle du témoin (alors que les accroissements étaient semblables avant coupe) et/ou si la moyenne après coupe est supérieure à la moyenne avant coupe.

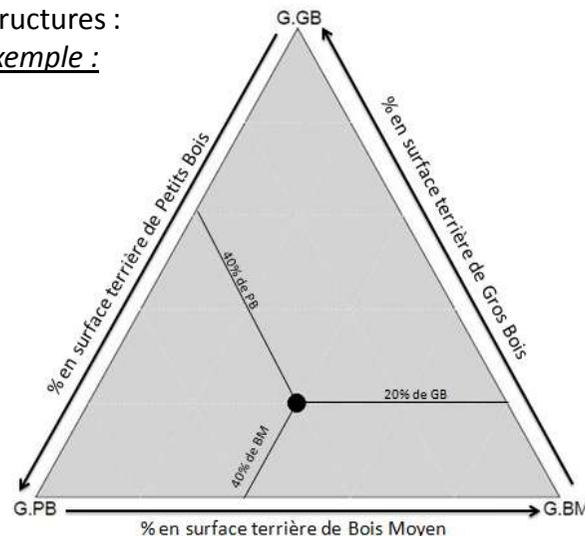
Accroissement radial calculé d'après les dhp

: différence entre le dhp en 2014 et le dhp après coupe divisé par le nombre d'années puis par 2 (transformation en radial) ; moins précis que l'accroissement mesuré sur les carottes mais réalisé sur un plus grand nombre d'arbres.

Mortalité et recrutement (en tiges/ha/an) dans les peuplements entre 2014 et avant la remesure. La mortalité calculée ainsi : $(Vivant\ avant - Vivant\ 2014) / Nb\ d'années$
Le recrutement concerne : nombre d'arbres qui ont dépassé 10 cm de dhp et qui n'étaient pas dans l'inventaire après coupe (divisé par le nombre d'années)

Evolution de la structure des peuplements témoins (en croix) et des peuplements traités (en rond) dans le temps en utilisant le triangle des structures :

Exemple :

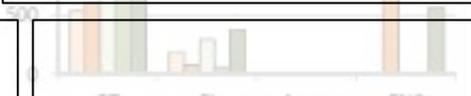


Evolution du sous-étage

Evolution du sous-étage avec la densité de gaules dans les différents groupes (témoins, traitement, remesure...) et avec l'indice des semis calculé à partir des relevés de terrain selon la grille de conversion située page suivante.



L'évolution de la densité, surface terrière et volume marchand, calculée en accroissement annuel : différence entre la valeur en 2014 et la valeur après coupe, divisée par le nombre d'années. C'est l'augmentation ou la diminution de ces valeurs depuis la coupe (n'inclut donc pas le prélèvement).



Légendes variées

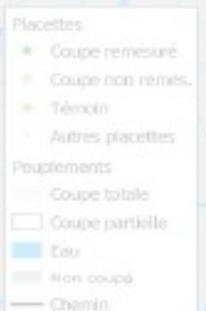
* différence significative entre avant et après la coupe ;
témoin seulement sur les années après coupe ;

Carte de localisation des placettes concernées dans la FERLD :

Témoins (avant et remesuré)

Avant coupe

Après coupe et coupe « remesuré »



Photos plus ou moins représentatives des peuplements témoins et coupés

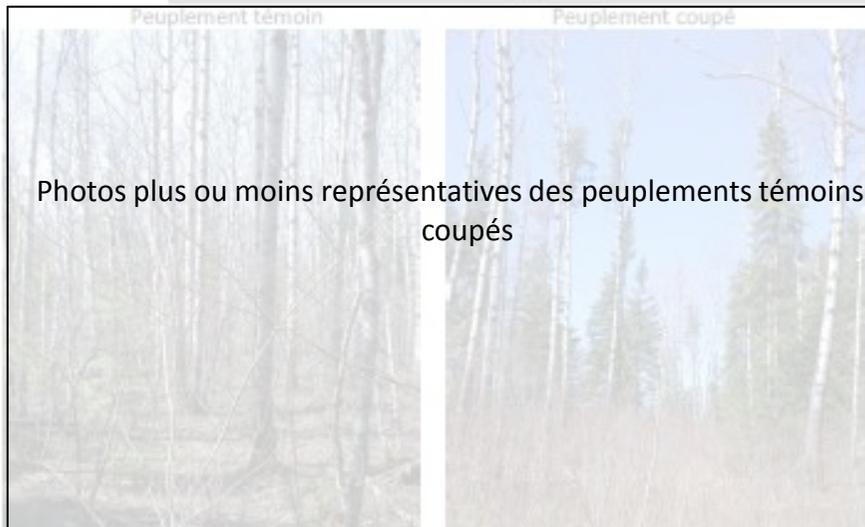


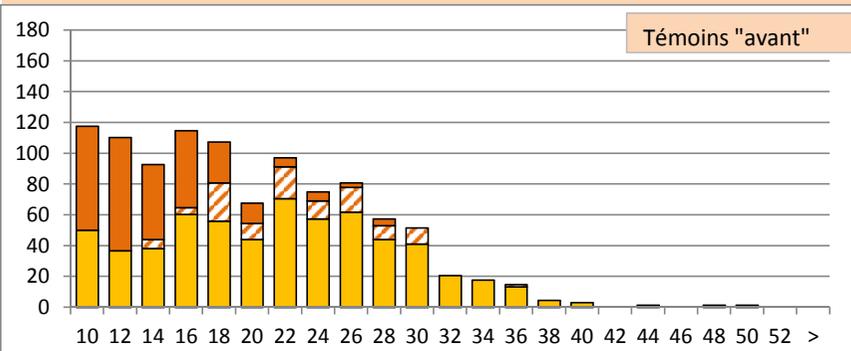
Tableau de correspondance entre l'indice de présence des semis et les valeurs relevées sur le terrain avec l'ancienne méthode et la nouvelle (utilisée en 2014) :

Nouvelle méthode		
Classe de hauteur		Indice de présence des semis
≤60%cm	>60%cm	
Pourcentage de recouvrement de		
0%	0%	0
1-2.5%		1
26-50%		2
51-75%		3
76-100%		3
0%	1-25%	2
1-2.5%		3
26-50%		3
51-75%		4
76-100%		4
0%	26-50%	3
1-2.5%		4
26-50%		4
51-75%		4
76-100%		4
0%	51-75%	4
1-2.5%		4
26-50%		4
51-75%		5
76-100%		5
0%	76-100%	4
1-2.5%		5
26-50%		5
51-75%		5
76-100%		5

Ancienne méthode				(suite)						
Classe de hauteur			Indice de présence des semis	Classe de hauteur			Indice de présence des semis			
≤15cm	16-60cm	>60cm		≤15cm	16-60cm	>60cm				
Nombre de microplacettes où l'essence est présente				Nombre de microplacettes où l'essence est présente						
0 Mp	0 Mp	0 Mp	0	2 Mp	0 Mp	0 Mp	2			
		1 Mp	3			1 Mp	3			
		2 Mp	4			2 Mp	4			
		3 Mp	4			3 Mp	5			
	1 Mp	1 Mp	0 Mp		1	1 Mp	1 Mp	0 Mp	3	
			1 Mp		3			1 Mp	4	
			2 Mp		4			2 Mp	4	
			3 Mp		4			3 Mp	5	
			0 Mp		2			0 Mp	3	
	2 Mp	2 Mp	1 Mp		3	2 Mp	2 Mp	1 Mp	4	
			2 Mp		4			2 Mp	4	
			3 Mp		5			3 Mp	5	
			0 Mp		3			0 Mp	3	
			1 Mp		4			1 Mp	4	
	3 Mp	3 Mp	2 Mp		4	3 Mp	3 Mp	2 Mp	5	
3 Mp			5	3 Mp	5					
0 Mp			1	3 Mp	0 Mp			0 Mp	3	
1 Mp			3					1 Mp	4	
2 Mp			4					2 Mp	4	
3 Mp	4	3 Mp	5							
0 Mp	2	0 Mp	3							
1 Mp	1 Mp	1 Mp	3		1 Mp	1 Mp	1 Mp	4		
		2 Mp	4				2 Mp	4		
		3 Mp	5				3 Mp	5		
		0 Mp	3				0 Mp	3		
		1 Mp	4				1 Mp	4		
2 Mp	2 Mp	2 Mp	4		2 Mp	2 Mp	2 Mp	5		
		3 Mp	5				3 Mp	5		
		0 Mp	3				3 Mp	0 Mp	0 Mp	4
		1 Mp	4						1 Mp	4
		2 Mp	4						2 Mp	5
3 Mp	5	3 Mp	5							
0 Mp	3	0 Mp	4							
3 Mp	3 Mp	1 Mp	4	3 Mp	3 Mp	1 Mp	4			
		2 Mp	4			2 Mp	5			
		3 Mp	5			3 Mp	5			
		0 Mp	3			0 Mp	4			
		1 Mp	4			1 Mp	4			

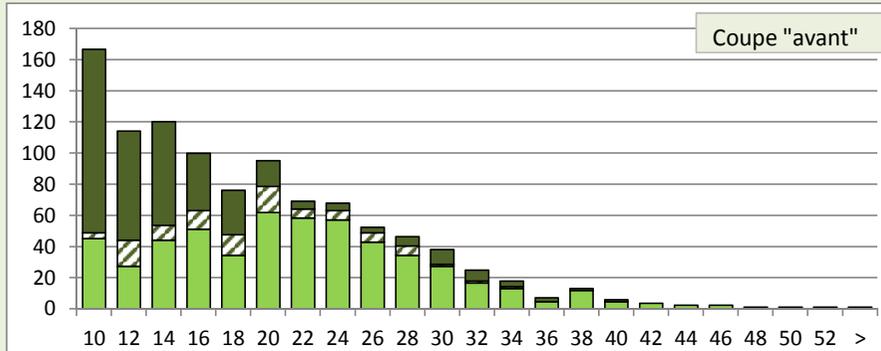
Inventaire dans une tremblaine traitée en coupe progressive (secteur nord)

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2004 : 7 PE
2005 : 2 PE
2007 : 8 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



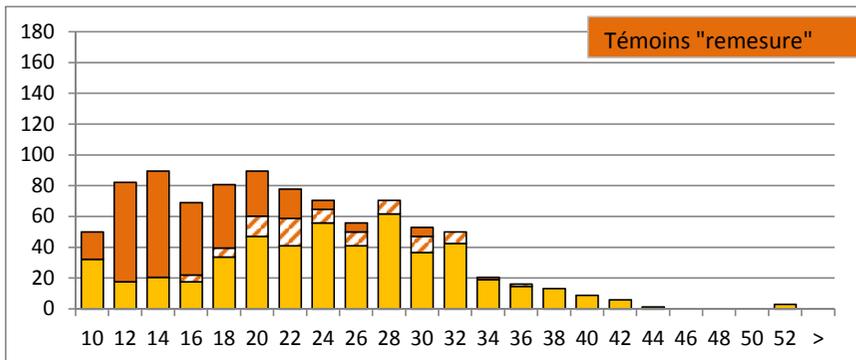
Coupe av. :
2004 : 2 PE
2007 : 8 PE
2010 : 11 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	1037 ± 318	35,7 ± 9,2	281 ± 78	21,4 ± 3,3	346 ± 203	735	~
Tém. remes.	909 ± 265	37,6 ± 9,0	312 ± 82	23,3 ± 3,2	307 ± 133	691	63,7
Prélèvement	226 ± 130	7,3 ± 5,5	57 ± 49	19,2 ± 4,2	~	~	~
Coupe av.	1029 ± 321	34,3 ± 9,2	270 ± 95	20,9 ± 2,9	249 ± 145	1988	16,9
Coupe ap.	688 ± 268	23,2 ± 6,5	182 ± 60	21,3 ± 3,2	83 ± 60	1214	21,1
Coupe remes.	665 ± 246	25,7 ± 7,0	209 ± 67	22,7 ± 3,5	93 ± 67	1619	71,9

Coupes de 09-10 et 10-11

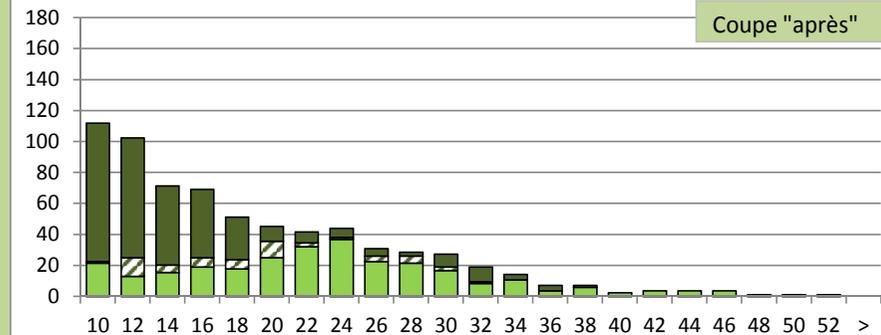
Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	24%	26%	23%	par le bas	25%	36%	16%	4%	35%	14%
Placettes	32%	33%	32%	par le bas	30%	28%	41%	9%	48%	43%

Coupe où les placettes sont permanentes (identiques avant et après coupe)

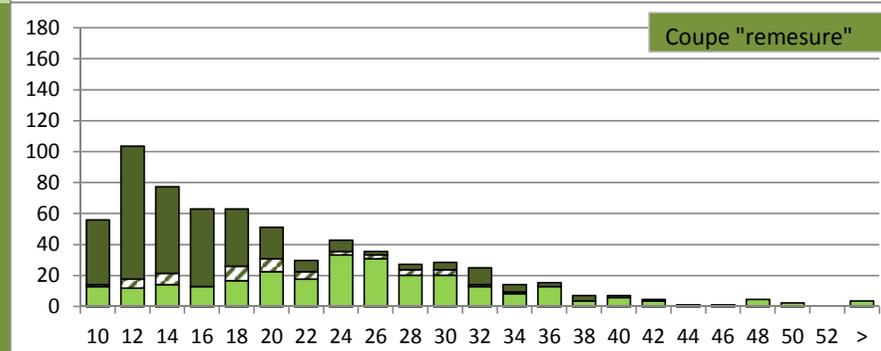


Témoins rem.:
2014 : 17 PE

Coupe ap. :
2010 : 10 PE
2011 : 11 PE



Coupe rem. :
2014 : 21 PE



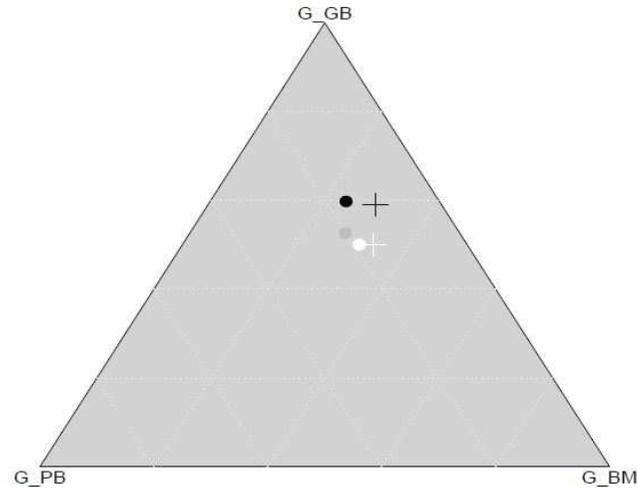
F FI FNC R RT F FI FNC R RT

	Témoin	Coupe	Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	0%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	57%	41%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	34%
R : pin gris, mélèze...	10%	8%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014	

Accroissement radial

Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2010	0,76	1,37	-	-	1,04	0,90	1,45	-	-
Témoins : mm/an après 2011	0,49	0,64	-	-	0,46	0,48	0,63	-	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	3	8	0	0	24	2	9	0	0
Coupe : mm/an avant coupe	1,01	1,26	0,55	-	1,19	0,58	1,61	-	-
Coupe : mm/an après coupe	0,85	1,18	0,54	-	1,27	0,40	1,38	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	4	15	2	0	28	5	7	0	0
Tests statistiques de Student : ** **									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,26	0,97	0,20	0,00	1,09	0,59	1,33	0,00	0,07
Témoins : nombre de placettes	17 placettes								
Coupe : mm/an	0,60	1,88	0,29	0,00	2,01	0,31	1,76	0,00	0,45
Coupe : nombre de placettes	21 placettes								

Evolution de la structure



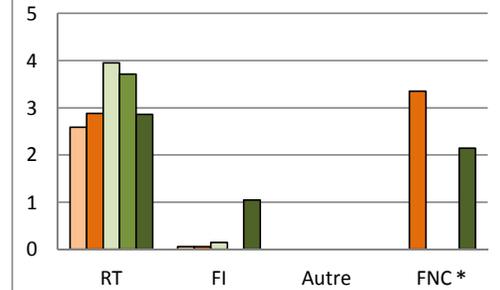
Evolution de N, G et V

	Témoïn	Coupe
Accr. en surface terrière	0,24 m ² /ha/an	0,76 m ² /ha/an
Accr. en densité	-14,4 tig./ha/an	-6,7 tiges/ha/an
Accr. en volume	3,84 m ³ /ha/an	8,29 m ³ /ha/an

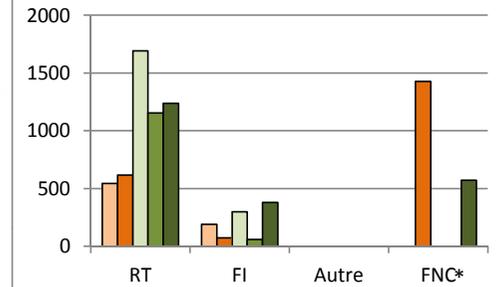
- + Témoïn avant
- + Témoïn remesure
- Coupe avant
- Coupe après
- Coupe remesure

Evolution du sous-étage

Indice de présence des semis

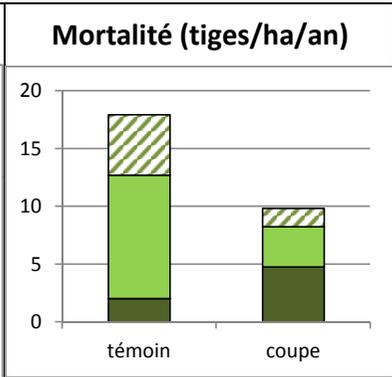
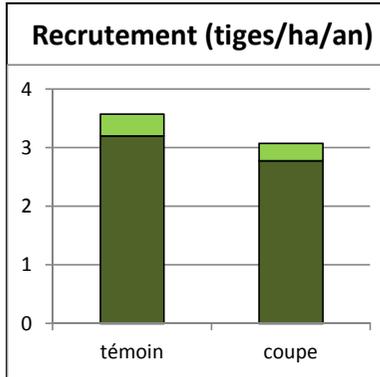


Densité de gaules (tiges/ha)

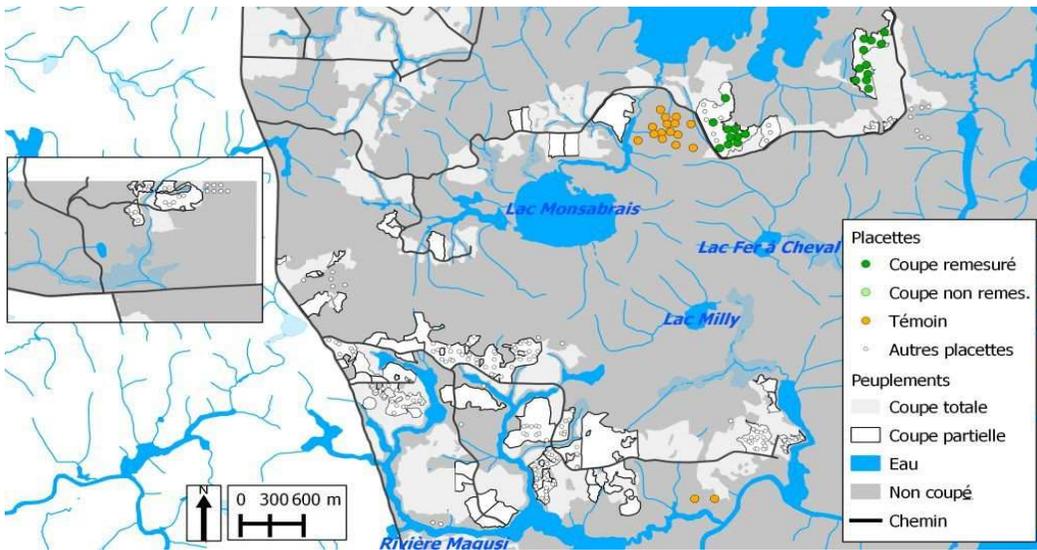


* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoïn seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)



- FNC
- Autre
- FI
- RT



- Placettes
- Coupe remesuré
 - Coupe non remes.
 - Témoïn
 - Autres placettes
- Peuplements
- Coupe totale
 - Coupe partielle
 - Eau
 - Non coupé
 - Chemin

Peuplement témoïn

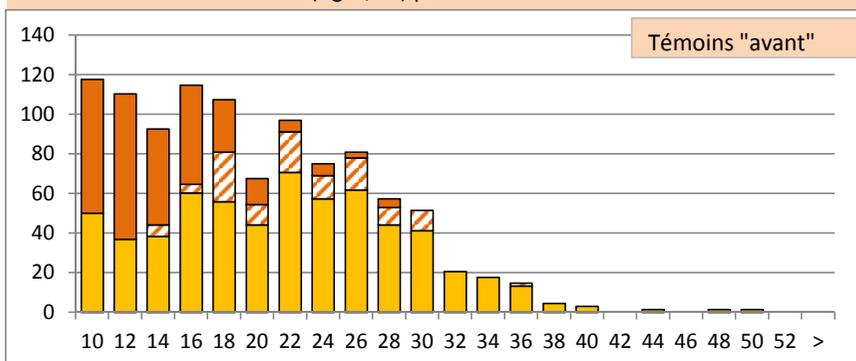


Peuplement coupé



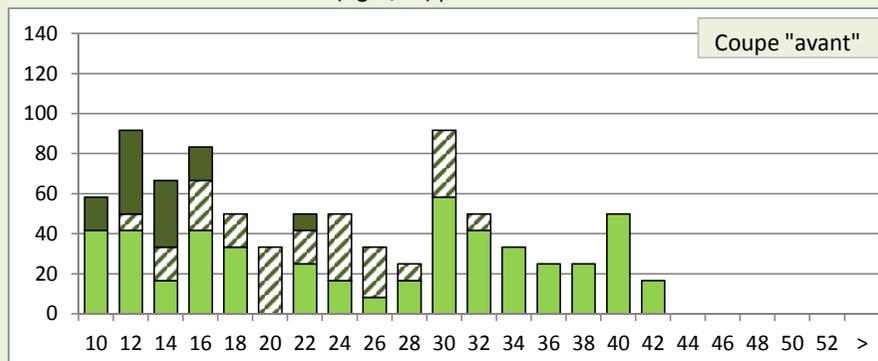
Inventaire dans une trembnaie traitée en coupe progressive (secteur ouest)

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2004 : 7 PE
2005 : 2 PE
2007 : 8 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

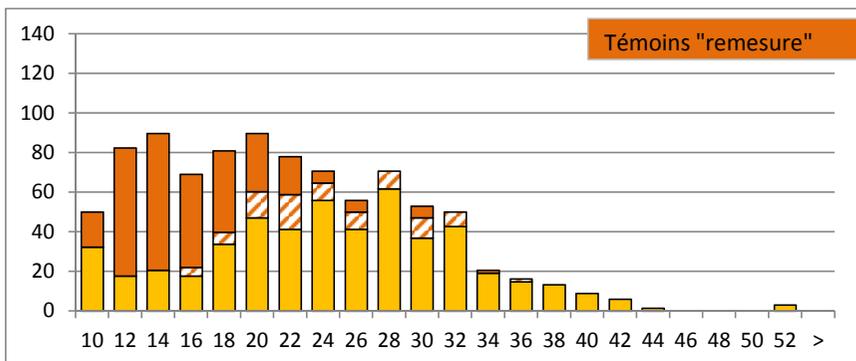


Coupe av. :
2007 : 3 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	1037 ± 318	35,7 ± 9,2	281 ± 78	21,4 ± 3,3	346 ± 203	735	~
Tém. remes.	909 ± 265	37,6 ± 9,0	312 ± 82	23,3 ± 3,2	307 ± 133	691	63,7
Prélèvement	344 ± 230	11,9 ± 3,8	92 ± 33	24,0 ± 7,5	~	~	~
Coupe av.	833 ± 142	41,5 ± 13,9	370 ± 166	25,2 ± 5,0	167 ± 29	1667	~
Coupe ap.	513 ± 113	22,2 ± 6,4	179 ± 78	23,6 ± 5,1	75 ± 46	~	~
Coupe remes.	519 ± 120	25,6 ± 8,2	209 ± 92	25,1 ± 4,9	106 ± 43	2500	44,8

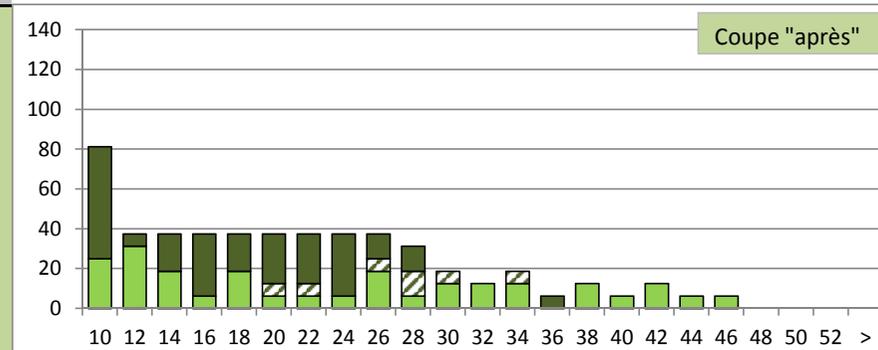
Coupes de 07-08

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	35%	37%	35%	par le bas	42%	33%	36%	24%	45%	10%
Placettes	47%	39%	52%	par le haut	43%	53%	19%	-109%	54%	81%

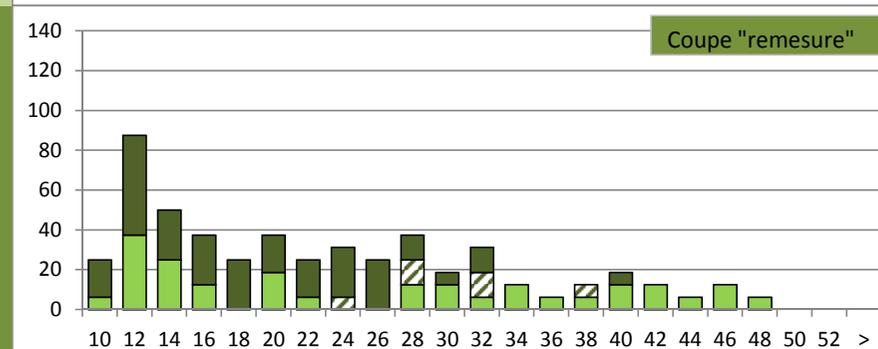


Témoins rem.:
2014 : 17 PE

Coupe ap. :
2008 : 4 PE



Coupe rem. :
2014 : 4 PE



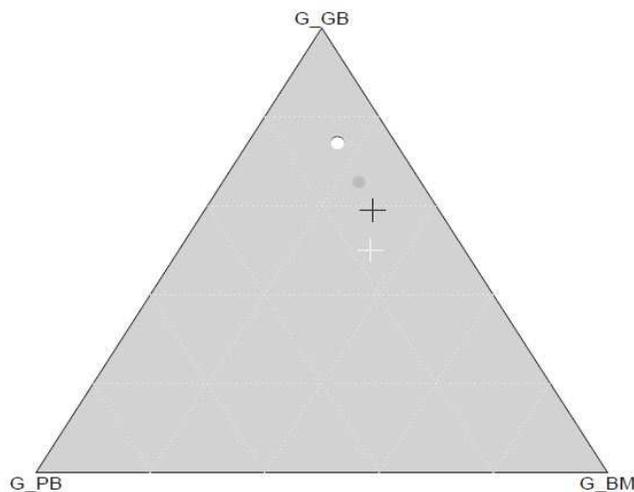
F FNC R RT F FI FNC R RT

	Témoin	Coupe	Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	0%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	57%	41%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	52%
R : pin gris, mélèze...	10%	7%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014	

Accroissement radial

Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2007	0,73	1,34	-	-	1,04	0,90	1,43	-	-
Témoins : mm/an après 2008	0,71	0,91	-	-	0,70	0,71	0,95	-	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	3	8	0	0	24	2	9	0	0
Coupe : mm/an avant coupe	-	0,94	-	-	1,86	-	1,60	-	-
Coupe : mm/an après coupe	-	1,26	-	-	2,98	-	2,35	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	0	4	0	0	1	0	8	0	0
Tests statistiques de Student : ***									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,26	0,97	0,20	0,00	1,09	0,59	1,33	0,00	0,07
Témoins : nombre de placettes	17 placettes								
Coupe : mm/an	1,09	2,65	0,00	0,00	2,06	0,49	2,37	0,00	0,28
Coupe : nombre de placettes	4 placettes								

Evolution de la structure

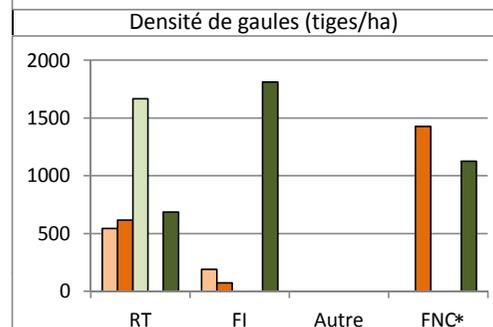
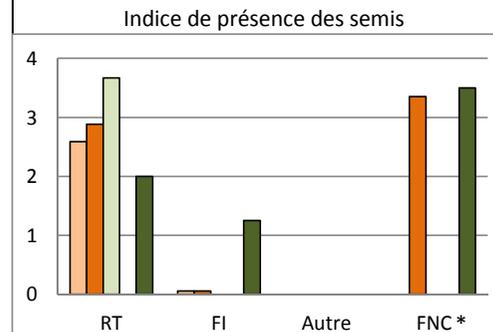


Evolution de N, G et V

	Témoins	Coupe
Accr. en surface terrière	0,24 m ² /ha/an	0,57 m ² /ha/an
Accr. en densité	-14,4 tig./ha/an	1,0 tiges/ha/an
Accr. en volume	3,84 m ³ /ha/an	4,95 m ³ /ha/an

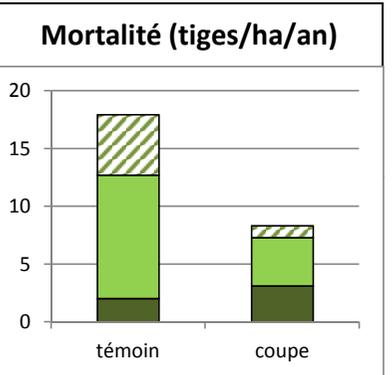
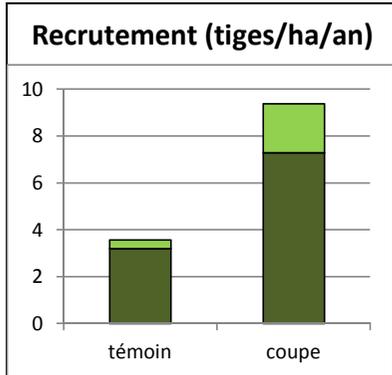
- + Témoins avant
- + Témoins remesure
- Coupe avant
- Coupe après
- Coupe remesure

Evolution du sous-étage

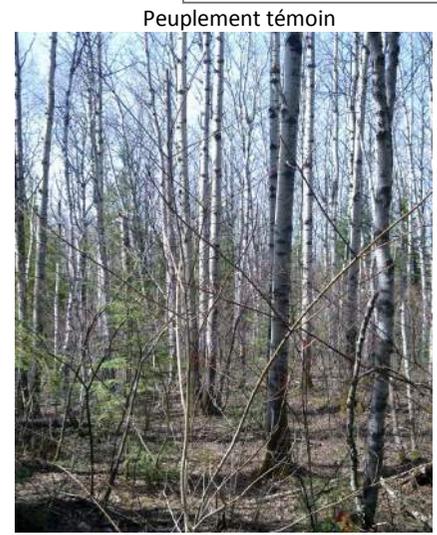
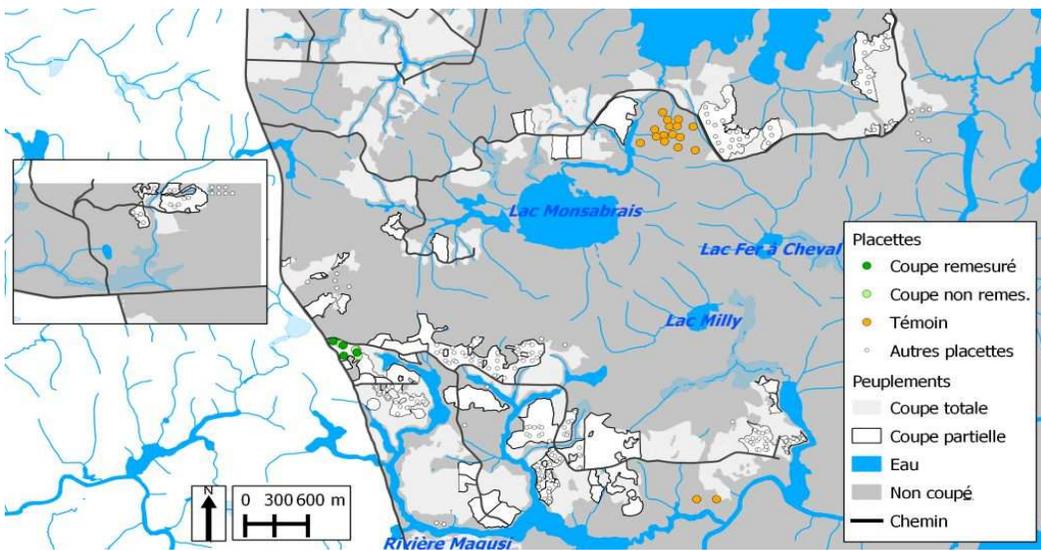


* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)

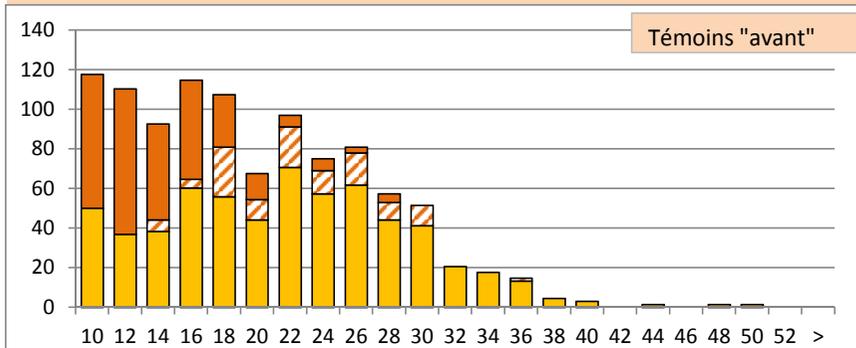


- FNC
- Autre
- FI
- RT



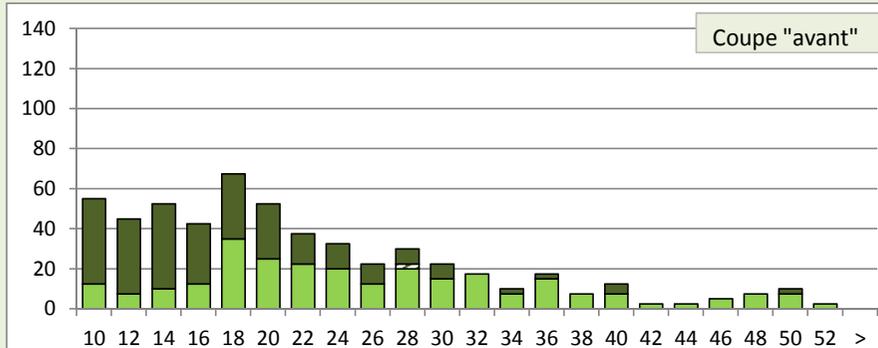
Inventaire dans une tremblaie traitée en coupe progressive (secteur est)

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2004 : 7 PE
2005 : 2 PE
2007 : 8 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

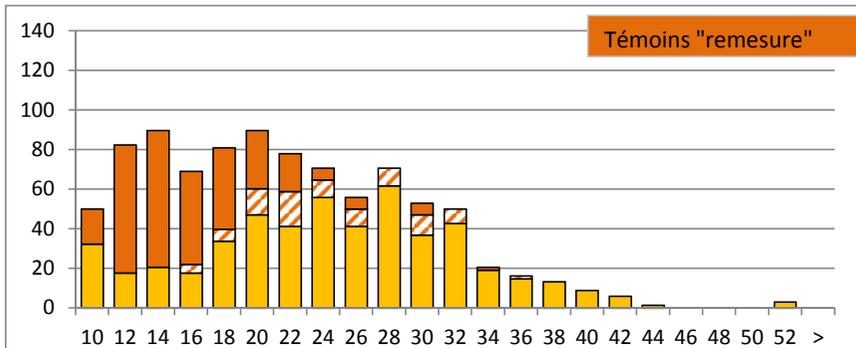


Coupe av. :
2006 : 10 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	1037 ± 318	35,7 ± 9,2	281 ± 78	21,4 ± 3,3	346 ± 203	735	~
Tém. remes.	909 ± 265	37,6 ± 9,0	312 ± 82	23,3 ± 3,2	307 ± 133	691	63,7
Prélèvement	240 ± 230	8,8 ± 7,8	71 ± 63	21,3 ± 5,9	~	~	~
Coupe av.	555 ± 195	25,4 ± 11,0	217 ± 112	24,0 ± 3,8	225 ± 129	4400	~
Coupe ap.	407 ± 161	17,0 ± 8,4	134 ± 80	22,9 ± 4,3	85 ± 104	4603	18,4
Coupe remes.	404 ± 177	22,3 ± 12,2	187 ± 128	25,9 ± 1,7	75 ± 55	4208	60,9

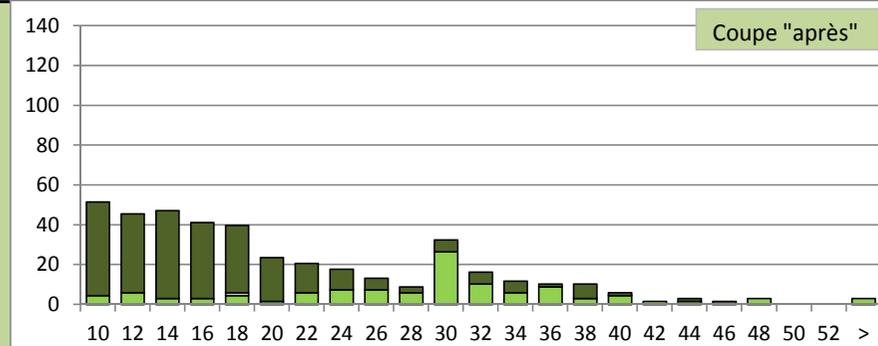
Coupes de 06-07

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	21%	25%	21%	par le bas	25%	32%	14%	4%	55%	0%
Placettes	33%	27%	38%	par le haut	5%	32%	47%	-4%	58%	100%

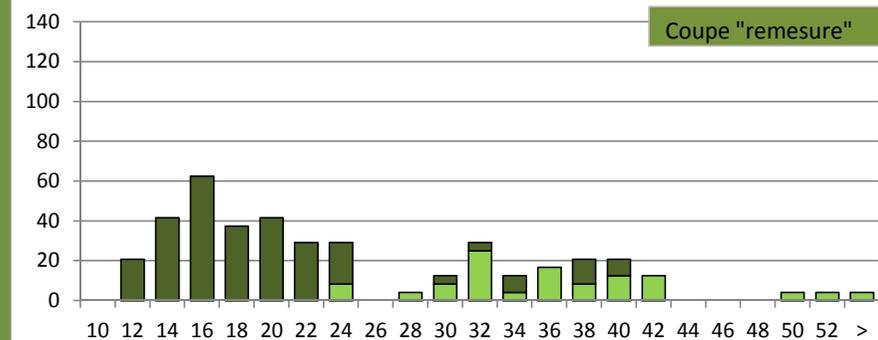


Témoins rem.:
2014 : 17 PE

Coupe ap. :
2007 : 11 PE
2008 : 6 PE



Coupe rem. :
2014 : 6 PE



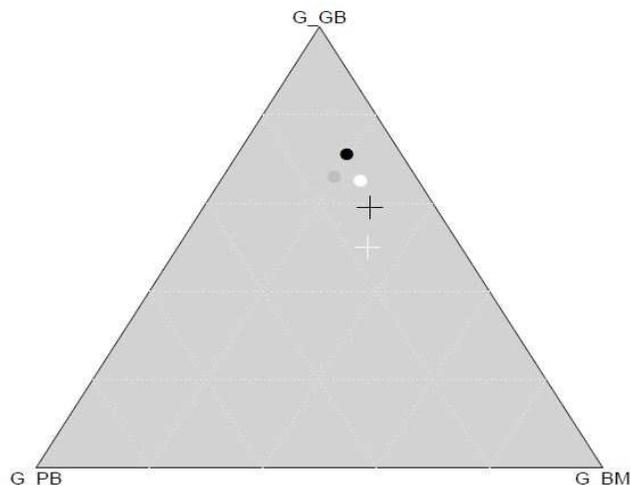
F FI FNC R RT F FI FNC R RT

	Témoin	Coupe		Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	0%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	57%	28%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	34%	72%
R : pin gris, mélèze...	10%	0%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014		

Accroissement radial

Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2006	0,76	1,31	-	-	1,05	0,91	1,45	-	-
Témoins : mm/an après 2007	0,76	1,00	-	-	0,76	0,78	1,03	-	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	3	8	0	0	24	2	9	0	0
Coupe : mm/an avant coupe	-	1,58	-	-	1,74	-	1,91	-	-
Coupe : mm/an après coupe	-	1,57	-	-	1,71	-	2,24	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	0	8	0	0	4	0	6	0	0
Tests statistiques de Student : ** ** **									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,26	0,97	0,20	0,00	1,09	0,59	1,33	0,00	0,07
Témoins : nombre de placettes	17 placettes								
Coupe : mm/an	0,46	4,85	0,00	0,00	0,94	0,00	1,97	0,00	0,00
Coupe : nombre de placettes	6 placettes								

Evolution de la structure



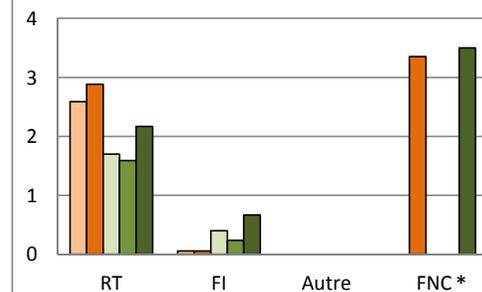
Evolution de N, G et V

	Témoins	Coupe
Accr. en surface terrière	0,24 m ² /ha/an	0,43 m ² /ha/an
Accr. en densité	-14,4 tig./ha/an	-7,6 tiges/ha/an
Accr. en volume	3,84 m ³ /ha/an	4,76 m ³ /ha/an

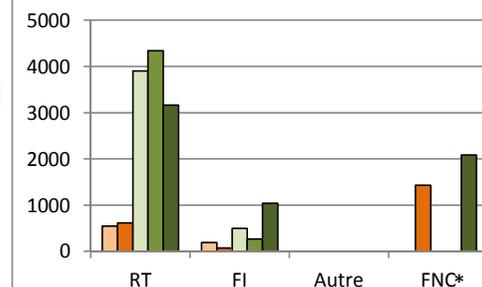
- + Témoins avant
- + Témoins remesure
- Coupe avant
- Coupe après
- Coupe remesure

Evolution du sous-étage

Indice de présence des semis

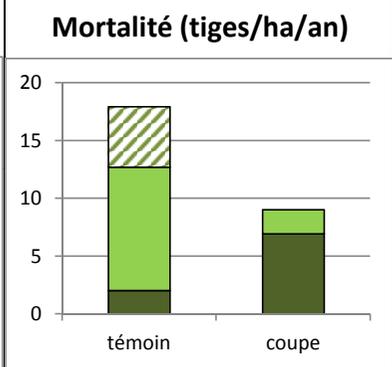
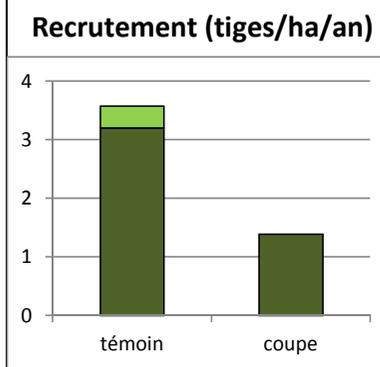


Densité de gaules (tiges/ha)

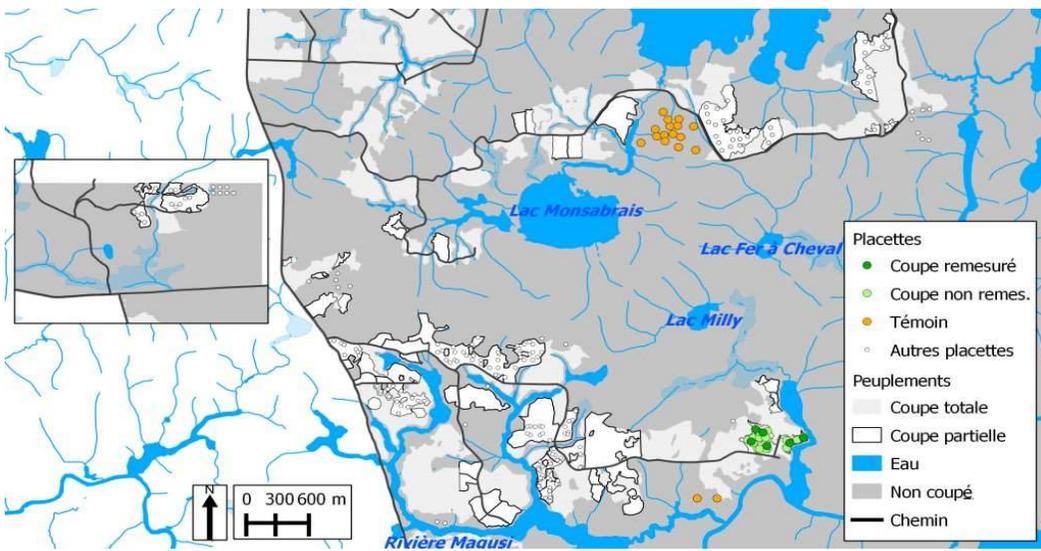


* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)

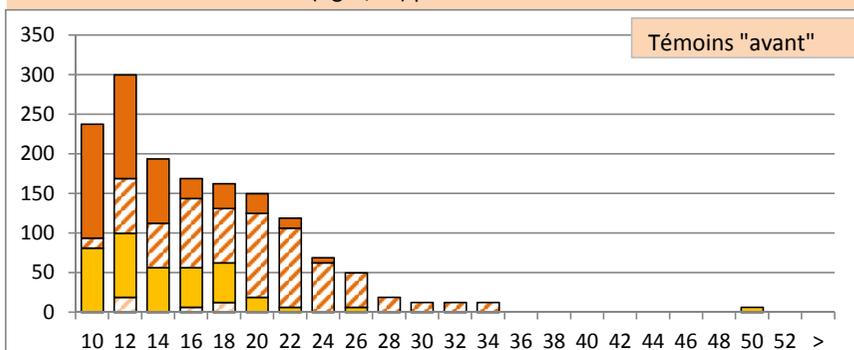


- FNC
- Autre
- FI
- RT



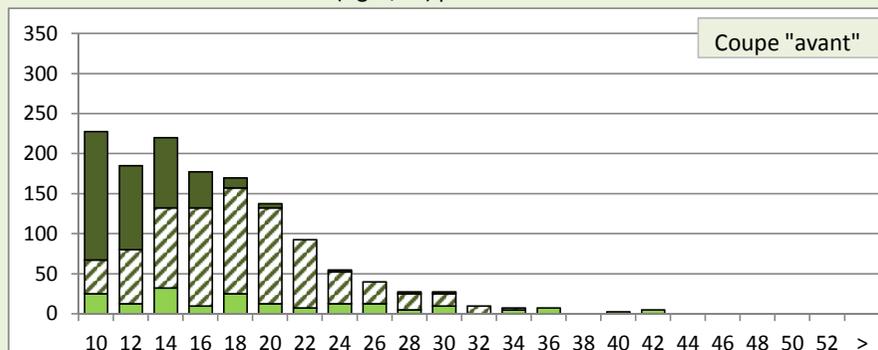
Inventaire dans une pinède (petit bois) traitée en coupe progressive

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2007 : 4 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



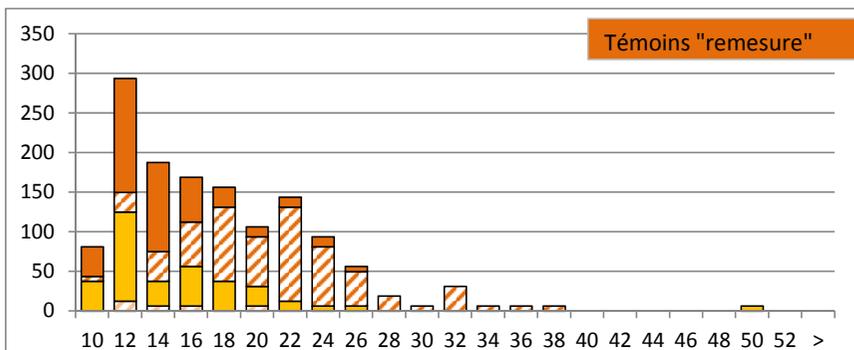
Coupe av. :
2004 : 4 PE
2007 : 6 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	1513 ± 484	36,2 ± 2,5	234 ± 5	17,9 ± 2,6	219 ± 47	1125	~
Tém. remes.	1369 ± 419	37,2 ± 1,5	248 ± 7	19,1 ± 2,8	269 ± 77	1125	20,4
Prélèvement	446 ± 253	10,3 ± 6,5	70 ± 48	17,1 ± 2,5	~	~	~
Coupe av.	1393 ± 466	34,5 ± 5,1	237 ± 46	18,3 ± 2,4	390 ± 121	2175	~
Coupe ap.	1010 ± 383	25,2 ± 7,6	171 ± 57	18,2 ± 3,0	200 ± 178	1350	46,4
Coupe remes.	985 ± 360	27,6 ± 8,6	192 ± 67	19,2 ± 2,7	170 ± 125	1625	63,8

Coupes de 09-10

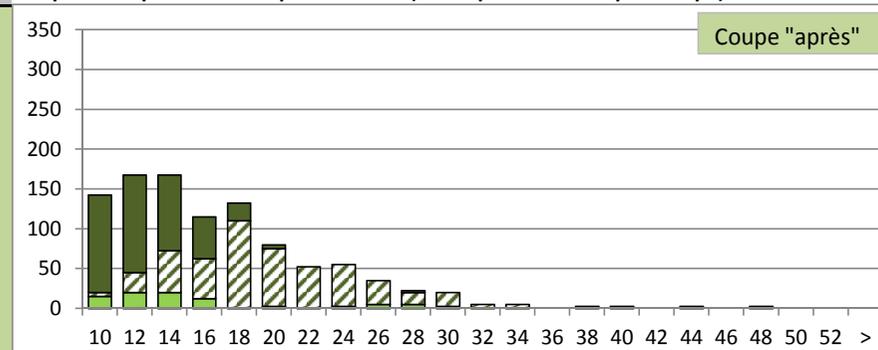
Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	21%	22%	21%	par le bas	27%	20%	15%	8%	19%	24%
Placettes	27%	27%	28%	par le haut	27%	23%	29%	0%	49%	37%

Coupe où les placettes sont permanentes (identiques avant et après coupe)

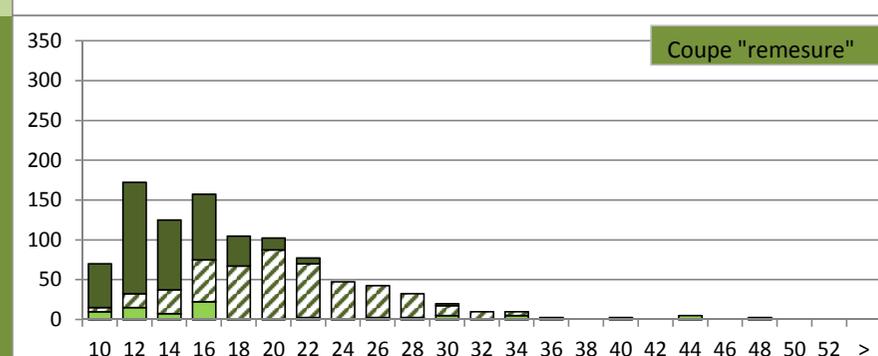


Témoins rem.:
2014 : 4 PE

Coupe ap. :
2010 : 10 PE



Coupe rem. :
2014 : 10 PE



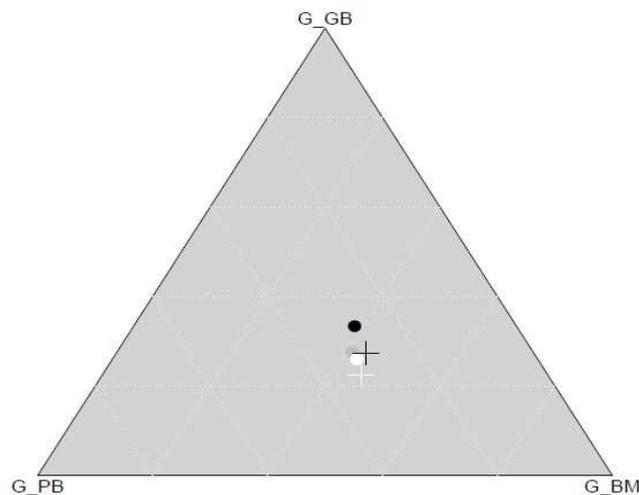
F FI FNC R RT F FI FNC R RT

	Temoin	Coupe	Temoin	Coupe	
F : érable rouge, frêne...	2%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	24%	8%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	31%	43%
R : pin gris, mélèze...	43%	48%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014		

Accroissement radial

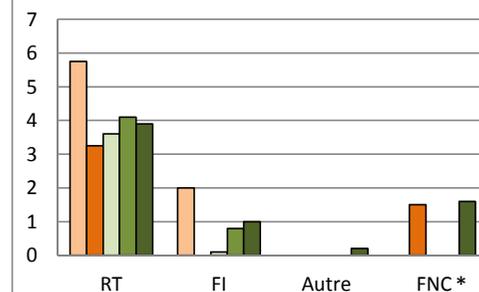
Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2009	0,53	3,14	0,56	-	-	0,44	2,09	-	-
Témoins : mm/an après 2010	0,52	1,07	0,33	-	-	0,25	1,21	-	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	2	1	4	0	0	5	1	0	0
Coupe : mm/an avant coupe	-	1,56	0,80	-	-	0,57	1,75	-	-
Coupe : mm/an après coupe	-	1,05	0,53	-	-	0,52	1,47	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	0	2	5	0	0	17	3	0	0
Tests statistiques de Student : **									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,29	0,57	0,75	0,00	0,00	0,79	0,68	0,09	0,00
Témoins : nombre de placettes	4 placettes								
Coupe : mm/an	0,23	0,91	1,21	0,00	0,92	1,18	1,54	0,00	0,00
Coupe : nombre de placettes	10 placettes								

Evolution de la structure

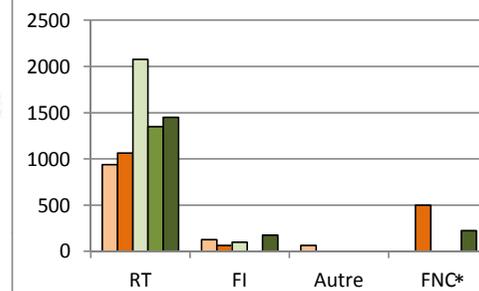


Evolution du sous-étage

Indice de présence des semis



Densité de gaules (tiges/ha)



* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

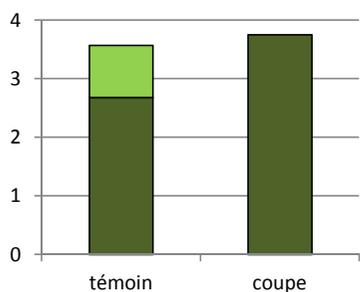
Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)

Evolution de N, G et V

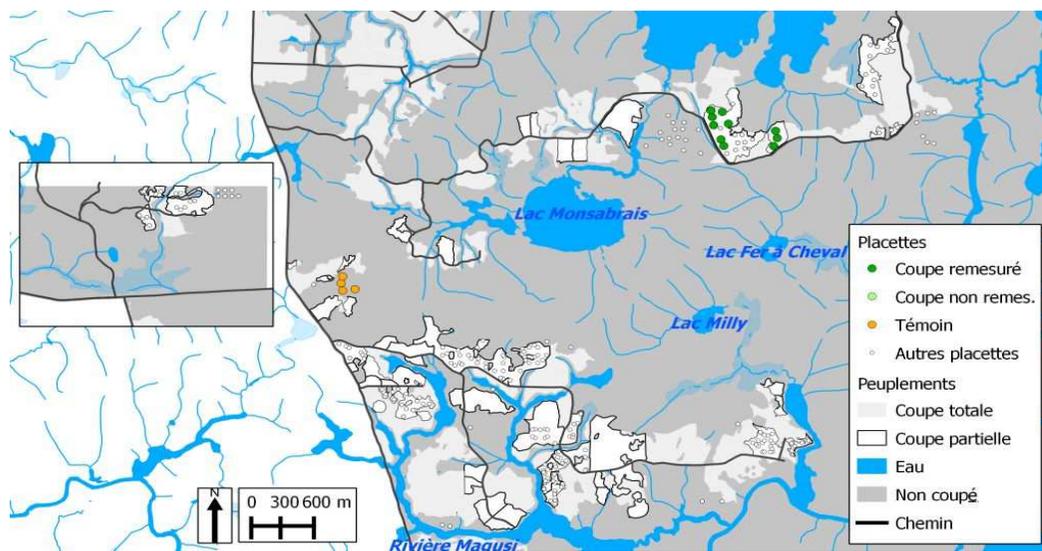
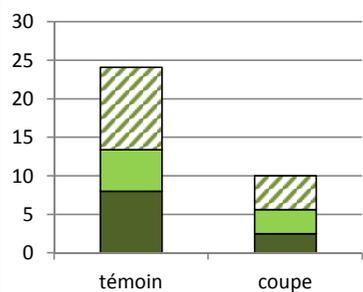
	Témoin	Coupe
Accr. en surface terrière	0,15 m ² /ha/an	0,59 m ² /ha/an
Accr. en densité	-20,5 tig./ha/an	-6,3 tiges/ha/an
Accr. en volume	1,94 m ³ /ha/an	5,42 m ³ /ha/an

- FNC
- Autre
- FI
- RT

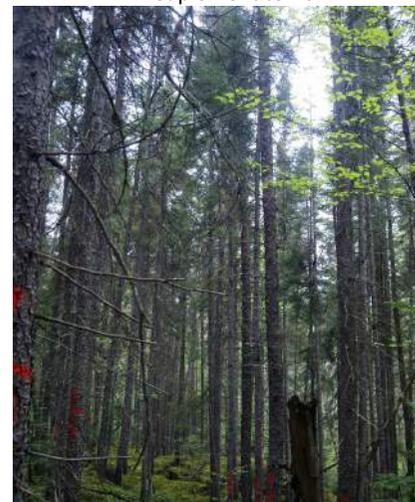
Recrutement (tiges/ha/an)



Mortalité (tiges/ha/an)



Peuplement témoin

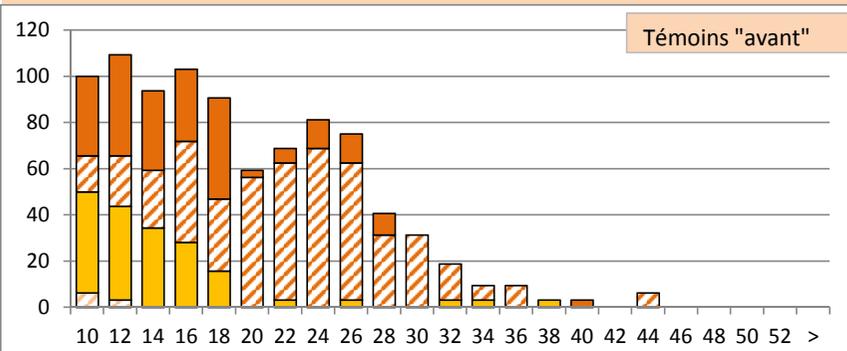


Peuplement coupé



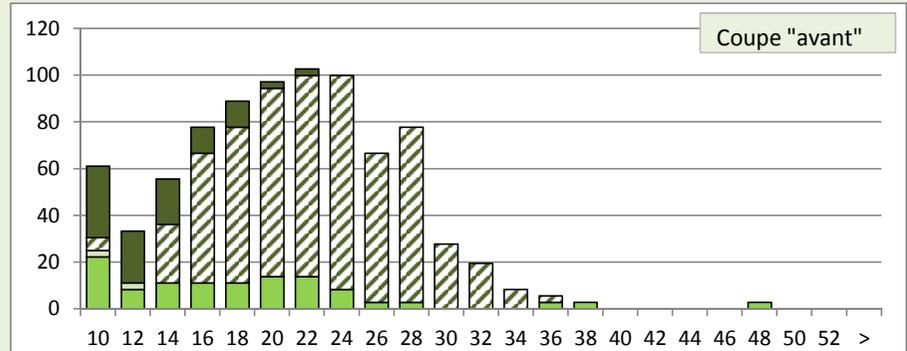
Inventaire dans une pinède (bois moyen) traitée en coupe 2/3

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2004 : 3 PE
2005 : 1 PE
2007 : 4 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

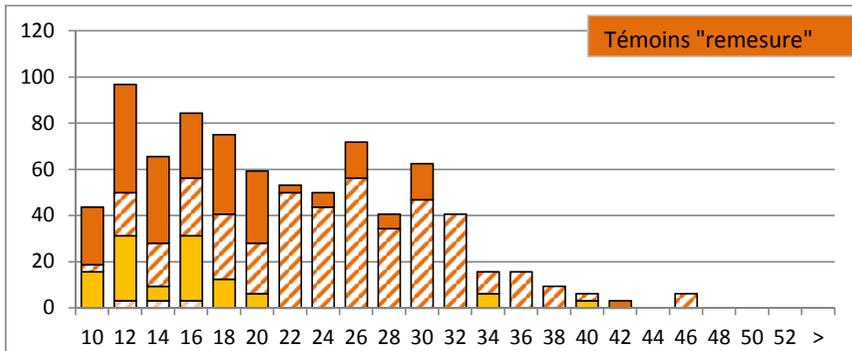


Coupe av. :
2003 : 2 PE
2005 : 7 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	903 ± 394	29,7 ± 8,1	200 ± 68	21,8 ± 5,5	88 ± 74	906	~
Tém. remes.	800 ± 328	32,4 ± 10,3	217 ± 83	24,1 ± 6,3	188 ± 125	1188	41,2
Prélèvement	500 ± 172	14,5 ± 2,9	104 ± 20	19,8 ± 2,6	~	~	~
Coupe av.	828 ± 269	31,0 ± 6,5	226 ± 49	22,3 ± 2,0	278 ± 78	667	~
Coupe ap.	266 ± 127	11,5 ± 7,2	83 ± 55	22,5 ± 4,8	32 ± 40	591	45,6
Coupe remes.	313 ± 109	14,8 ± 5,2	104 ± 42	24,8 ± 2,9	50 ± 35	3292	73,2

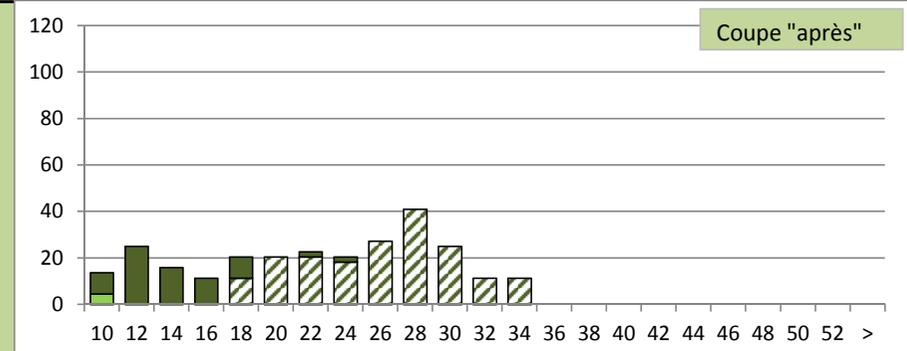
Coupes de 05-06 et 06-07

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	54%	62%	54%	par le bas	76%	69%	31%	0%	81%	66%
Placettes	63%	68%	63%	par le bas	74%	45%	79%	25%	96%	69%

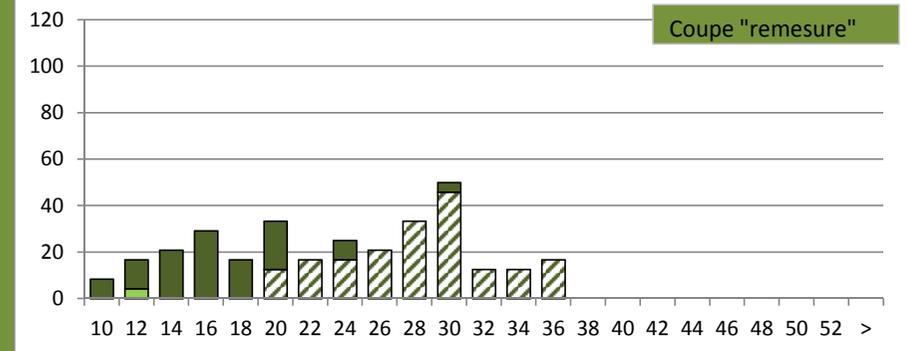


Témoins rem.:
2014 : 8 PE

Coupe ap. :
2006 : 2 PE
2007 : 3 PE
2008 : 6 PE



Coupe rem. :
2014 : 6 PE

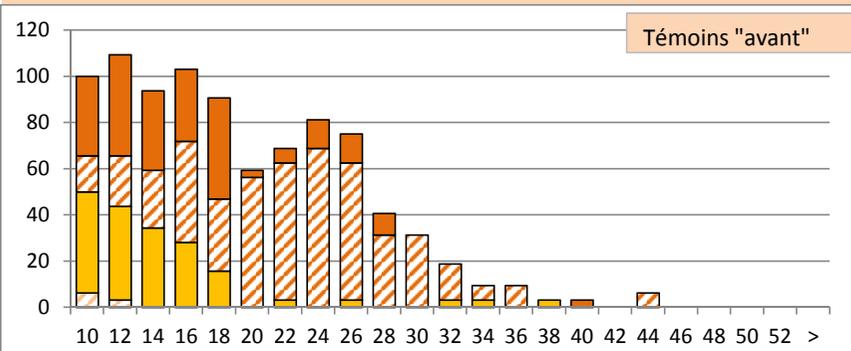


F FI FNC R RT F FI FNC R RT

	Témoin	Coupe	Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	1%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	13%	1%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	32%
R : pin gris, mélèze...	54%	60%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014	

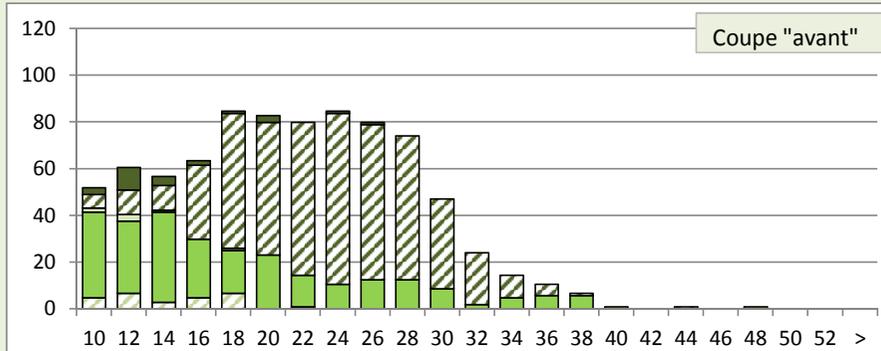
Inventaire dans une pinède (bois moyen) traitée en ECT (secteur est)

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2004 : 3 PE
2005 : 1 PE
2007 : 4 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

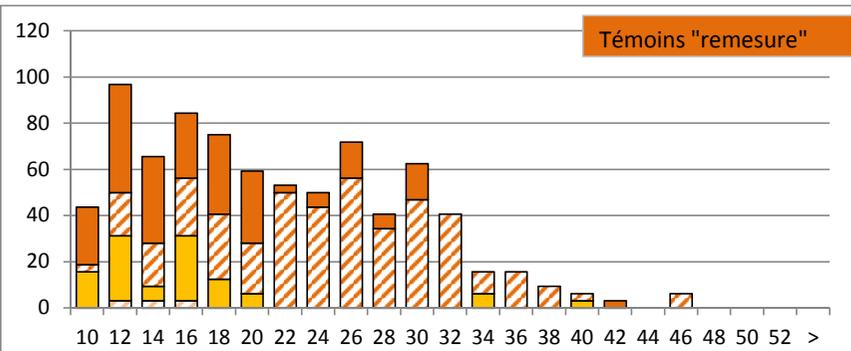


Coupe av. :
2003 : 7 PE
2004 : 11 PE
2005 : 8 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	903 ± 394	29,7 ± 8,1	200 ± 68	21,8 ± 5,5	88 ± 74	906	~
Tém. remes.	800 ± 328	32,4 ± 10,3	217 ± 83	24,1 ± 6,3	188 ± 125	1188	41,2
Prélèvement	268 ± 175	8,8 ± 3,9	63 ± 27	22,3 ± 4,2	~	~	~
Coupe av.	824 ± 289	32,5 ± 7,6	239 ± 64	22,9 ± 2,8	102 ± 107	683	~
Coupe ap.	497 ± 178	22,3 ± 6,5	163 ± 59	24,4 ± 3,4	66 ± 77	343	13,5
Coupe remes.	367 ± 149	20,5 ± 6,2	148 ± 46	27,0 ± 2,4	77 ± 70	1271	60,7

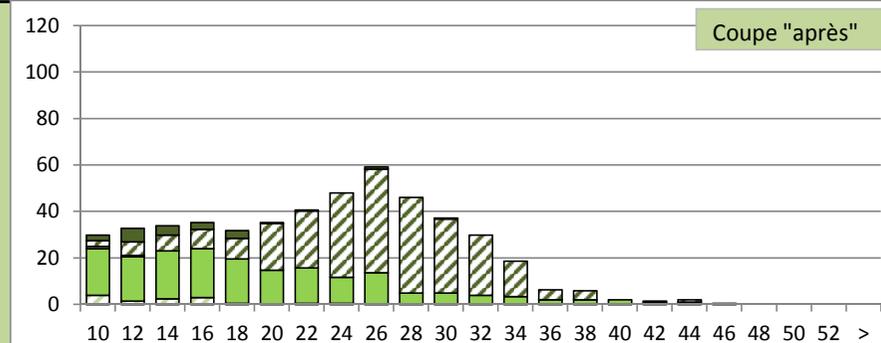
Coupes de 04-05, 05-06 et 06-07

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	31%	38%	31%	par le bas	44%	45%	18%	0%	14%	47%
Placettes	31%	40%	32%	par le bas	43%	16%	51%	12%	28%	46%

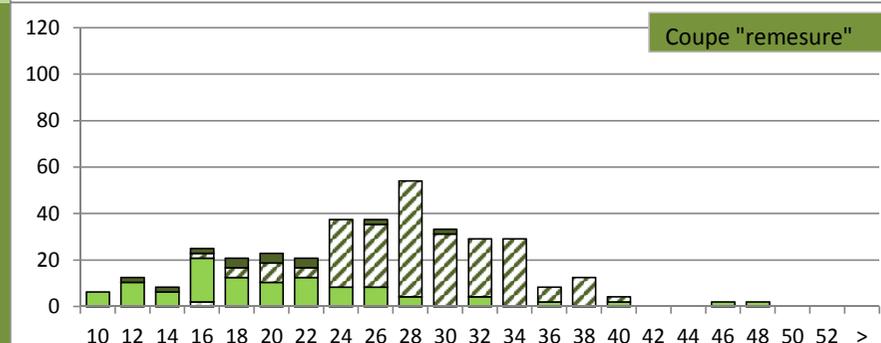


Témoins rem.:
2014 : 8 PE

Coupe ap. :
2005 : 21 PE
2006 : 16 PE
2007 : 2 PE
2008 : 12 PE



Coupe rem. :
2014 : 12 PE



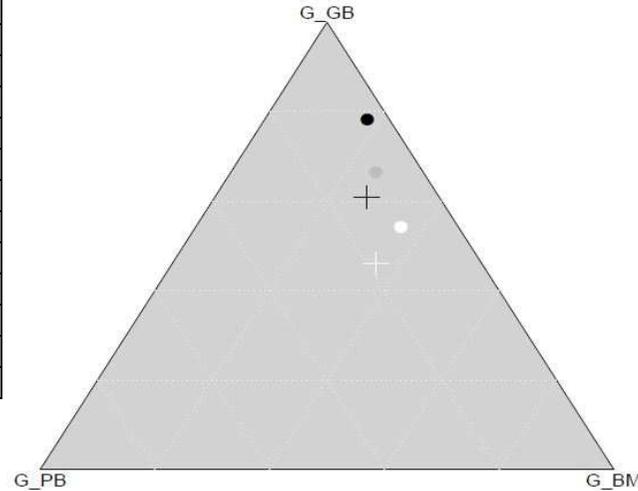
F : érable rouge, frêne...
FI : bouleau, peuplier tremble...
R : pin gris, mélèze...

	Témoin	Coupe	Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	1%	1%	FNC : érable à épis, saule...	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	13%	30%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	32%
R : pin gris, mélèze...	54%	63%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014	

Accroissement radial

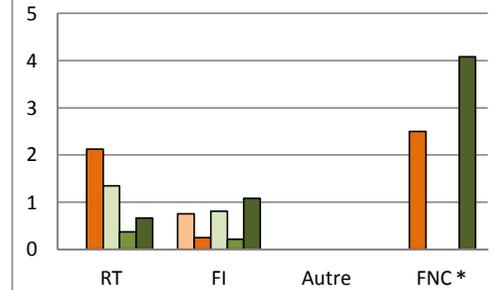
Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2006	0,50	1,02	0,81	-	-	0,63	2,21	-	-
Témoins : mm/an après 2007	0,22	0,85	0,61	-	-	0,50	2,11	-	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	2	1	7	0	0	14	1	0	0
Coupe : mm/an avant coupe	0,50	2,05	1,60	-	-	0,83	-	-	-
Coupe : mm/an après coupe	0,56	2,89	1,60	-	-	0,95	-	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	3	2	6	0	0	16	0	0	0
Tests statistiques de Student : **									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,34	0,53	1,25	0,00	0,23	1,21	0,22	0,00	0,37
Témoins : nombre de placettes	8 placettes								
Coupe : mm/an	1,61	0,44	0,38	0,00	0,53	1,19	0,00	0,00	0,17
Coupe : nombre de placettes	12 placettes								

Evolution de la structure

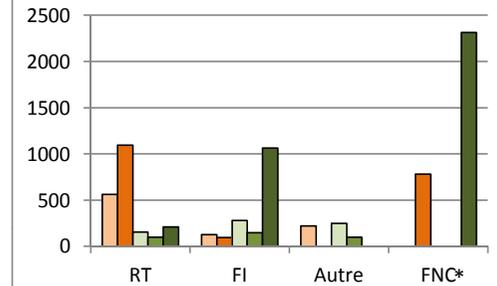


Evolution du sous-étage

Indice de présence des semis

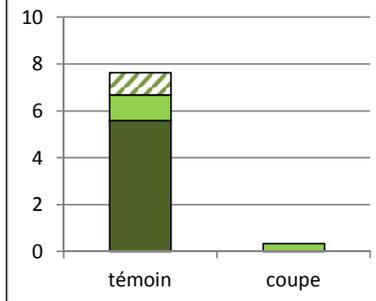


Densité de gaules (tiges/ha)

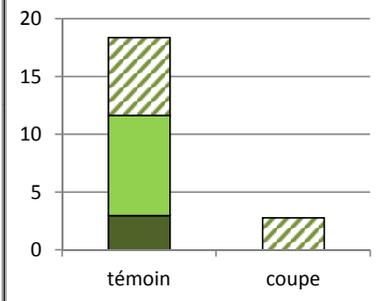


* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Recrutement (tiges/ha/an)



Mortalité (tiges/ha/an)

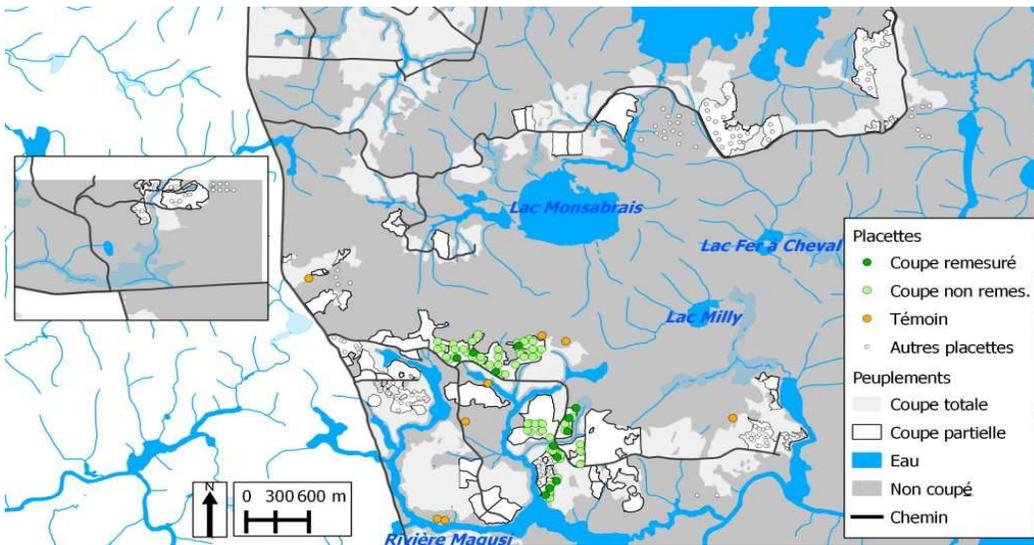


Evolution de N, G et V

	Témoin	Coupe
Accr. en surface terrière	0,36 m ² /ha/an	0,31 m ² /ha/an
Accr. en densité	-10,8 tig./ha/an	-1,7 tiges/ha/an
Accr. en volume	2,21 m ³ /ha/an	1,90 m ³ /ha/an

- ⊕ Témoins avant
- ⊕ Témoins remesure
- Coupe avant
- Coupe après
- Coupe remesure

Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)



Peuplement témoin

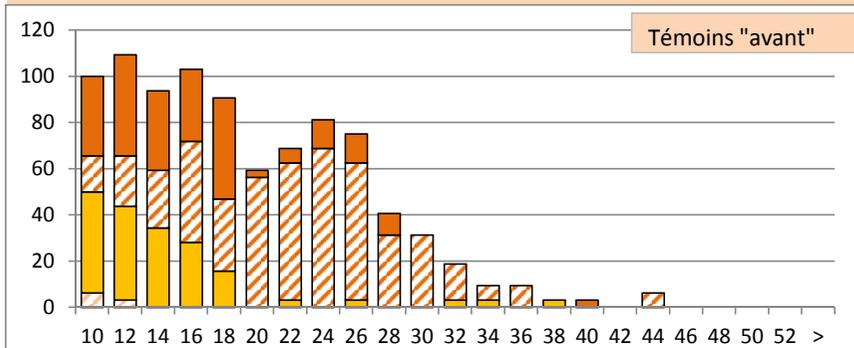


Peuplement coupé



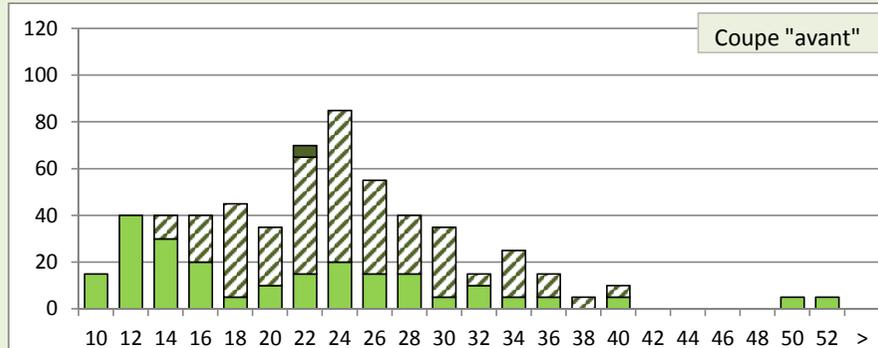
Inventaire dans une pinède (bois moyen) traitée en ECT (secteur ouest)

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2004 : 3 PE
2005 : 1 PE
2007 : 4 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

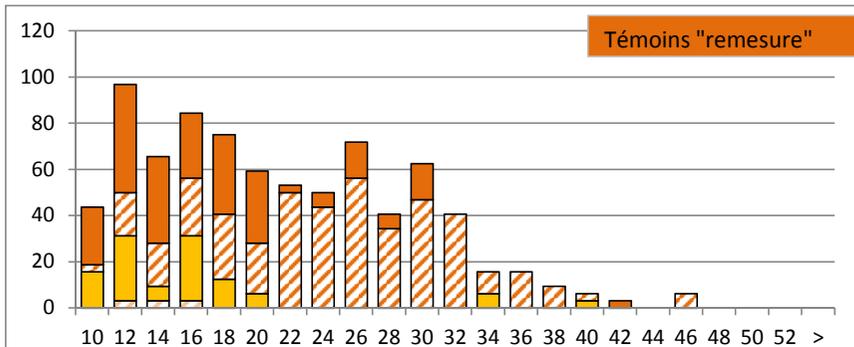


Coupe av. :
2007 : 5 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	903 ± 394	29,7 ± 8,1	200 ± 68	21,8 ± 5,5	88 ± 74	906	~
Tém. remes.	800 ± 328	32,4 ± 10,3	217 ± 83	24,1 ± 6,3	188 ± 125	1188	41,2
Prélèvement	293 ± 155	8,2 ± 6,3	62 ± 61	18,4 ± 3,5	~	~	~
Coupe av.	580 ± 333	27,5 ± 7,3	208 ± 50	26,0 ± 3,8	185 ± 72	450	~
Coupe ap.	343 ± 101	22,9 ± 8,0	185 ± 85	29,3 ± 5,5	39 ± 32	36	~
Coupe remes.	304 ± 80,9	23,7 ± 8,7	194 ± 102	31,4 ± 5,4	54 ± 47	1714	67,6

Coupes de 07-08

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	25%	44%	23%	par le bas	81%	47%	7%	0%	50%	34%
Placettes	17%	41%	11%	par le bas	71%	-12%	60%	100%	51%	35%

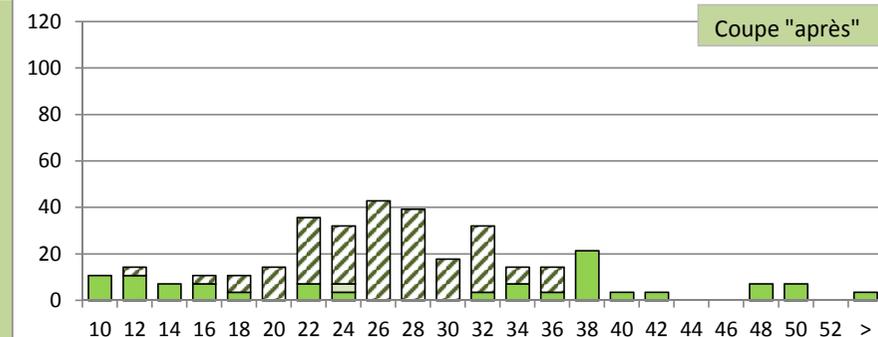


Témoins rem.:
2014 : 8 PE

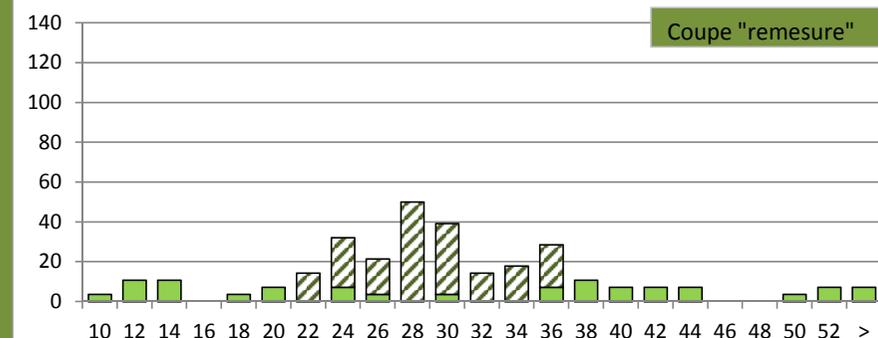
F FNC R RT F FI FNC R RT

	Témoin	Coupe	Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	1%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	13%	35%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	0%
R : pin gris, mélèze...	54%	65%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014	

Coupe ap. :
2008 : 7 PE



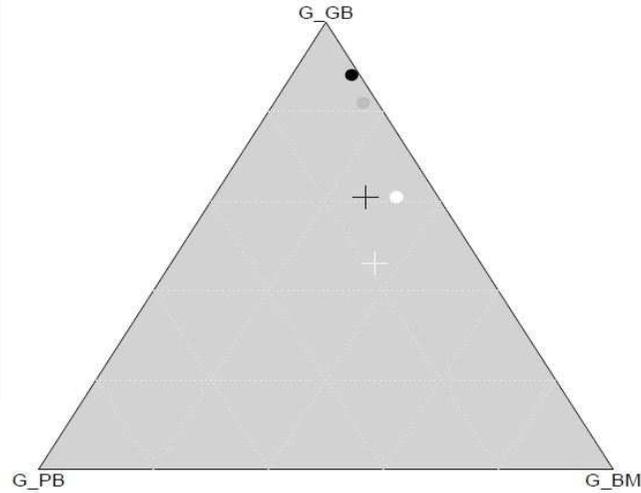
Coupe rem. :
2014 : 7 PE



Accroissement radial

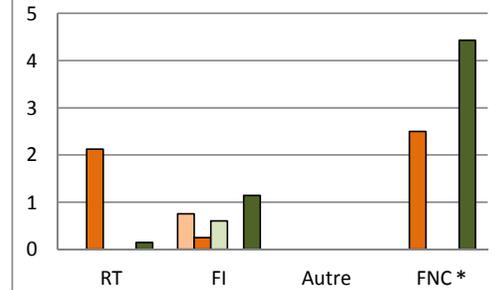
Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2007	0,49	1,05	0,83	-	-	0,64	2,23	-	-
Témoins : mm/an après 2008	0,19	0,79	0,54	-	-	0,45	1,97	-	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	2	1	7	0	0	14	1	0	0
Coupe : mm/an avant coupe	-	-	-	-	0,93	0,72	-	-	-
Coupe : mm/an après coupe	-	-	-	-	1,18	0,70	-	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	0	0	0	0	2	11	0	0	0
Tests statistiques de Student : **									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,34	0,53	1,25	0,00	0,23	1,21	0,22	0,00	0,37
Témoins : nombre de placettes	8 placettes								
Coupe : mm/an	0,89	0,00	0,00	0,00	0,69	0,97	0,00	0,00	0,00
Coupe : nombre de placettes	7 placettes								

Evolution de la structure

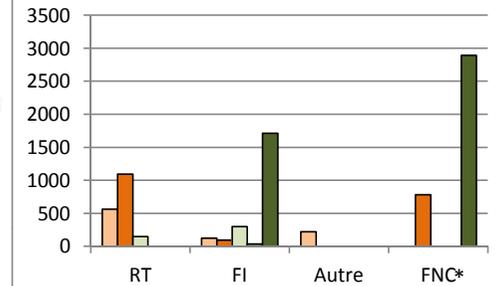


Evolution du sous-étage

Indice de présence des semis

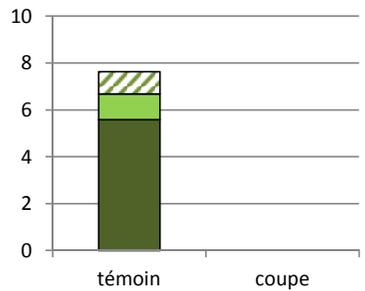


Densité de gaules (tiges/ha)

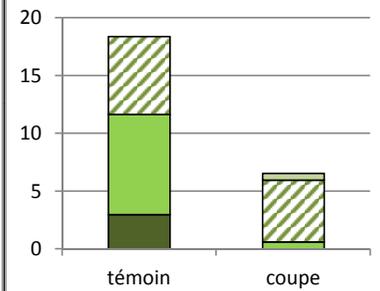


* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Recrutement (tiges/ha/an)



Mortalité (tiges/ha/an)

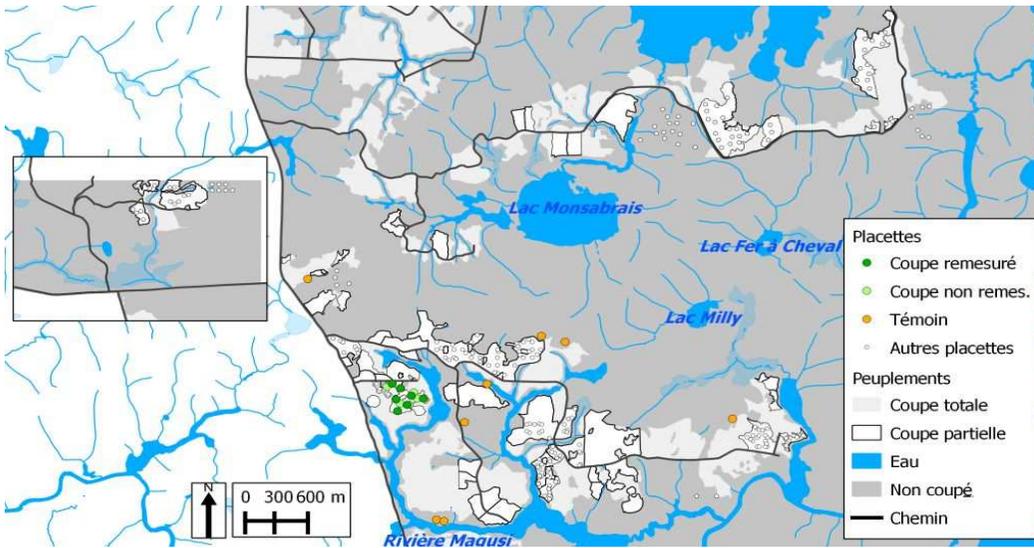


Evolution de N, G et V

	Témoins	Coupe
Accr. en surface terrière	0,36 m ² /ha/an	0,13 m ² /ha/an
Accr. en densité	-10,8 tig./ha/an	-6,5 tiges/ha/an
Accr. en volume	2,21 m ³ /ha/an	1,61 m ³ /ha/an

- ⊕ Témoins avant
- ⊕ Témoins remesure
- Coupe avant
- Coupe après
- Coupe remesure

Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)



Peuplement témoin

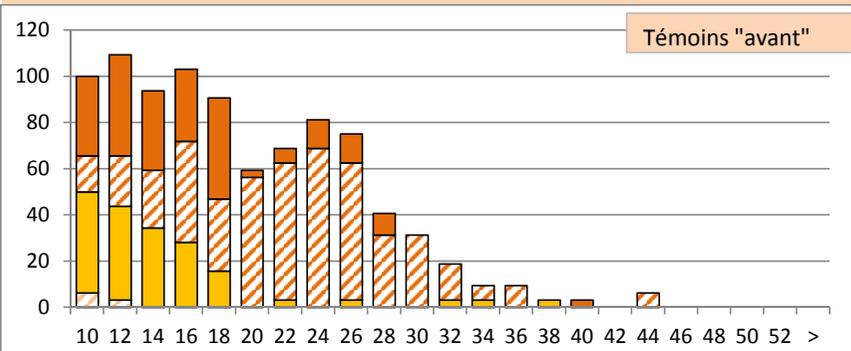


Peuplement coupé



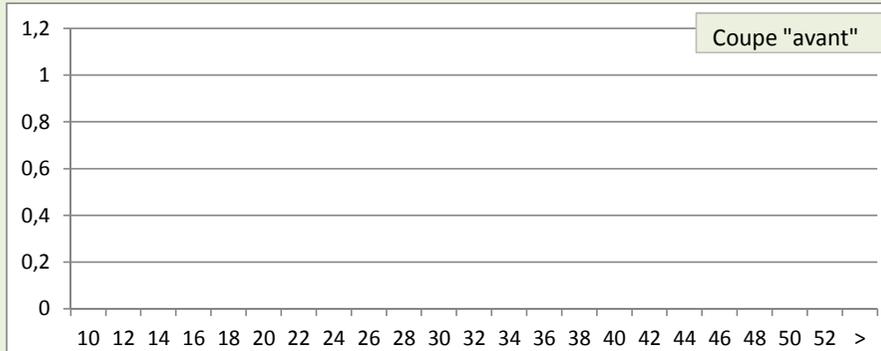
Inventaire dans une pinède (bois moyen) traitée en ECT inversée

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2004 : 3 PE
2005 : 1 PE
2007 : 4 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

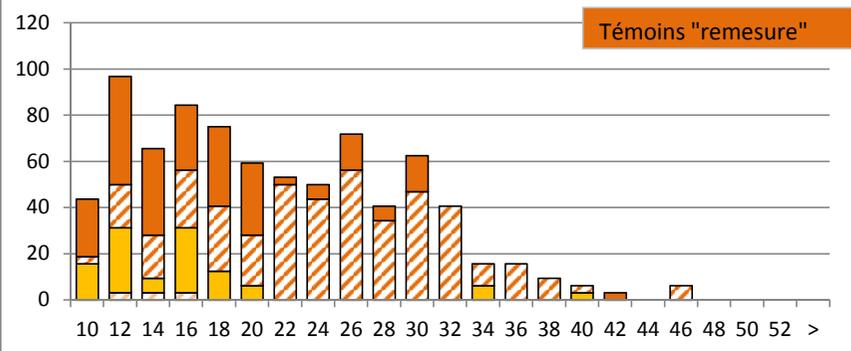


Coupe av. :

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	903 ± 394	29,7 ± 8,1	200 ± 68	21,8 ± 5,5	88 ± 74	906	~
Tém. remes.	800 ± 328	32,4 ± 10,3	217 ± 83	24,1 ± 6,3	188 ± 125	1188	41,2
Prélèvement	525 ± 164	16,6 ± 4,6	120 ± 33	20,1 ± 0,8	~	~	~
Coupe av.	~ ± ~	~ ± ~	~ ± ~	~ ± ~	~ ± ~	~	~
Coupe ap.	500 ± 109	13,4 ± 3,3	92 ± 25	18,5 ± 1,2	33 ± 58	333	~
Coupe remes.	442 ± 101	11,3 ± 4,0	75 ± 31	17,9 ± 1,9	150 ± 66	3083	53,4

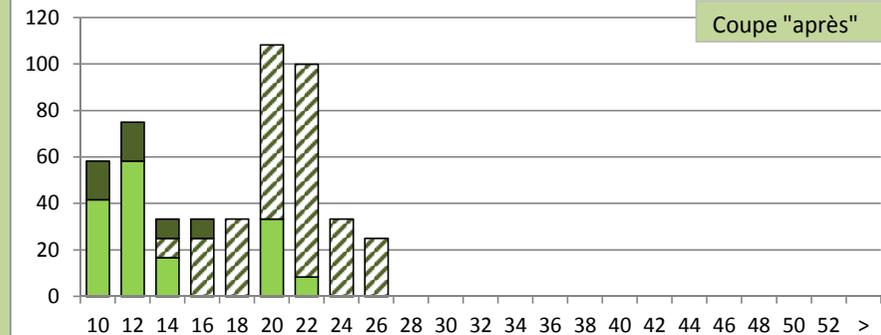
Coupes de 07-08

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	55%	51%	56%	par le haut	53%	48%	81%	0%	0%	64%
Placettes	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

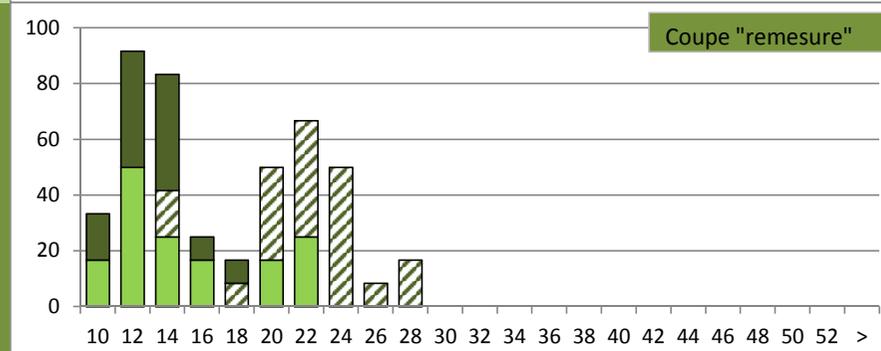


Témoins remes.:
2014 : 8 PE

Coupe ap. :
2008 : 3 PE



Coupe remes. :
2014 : 3 PE



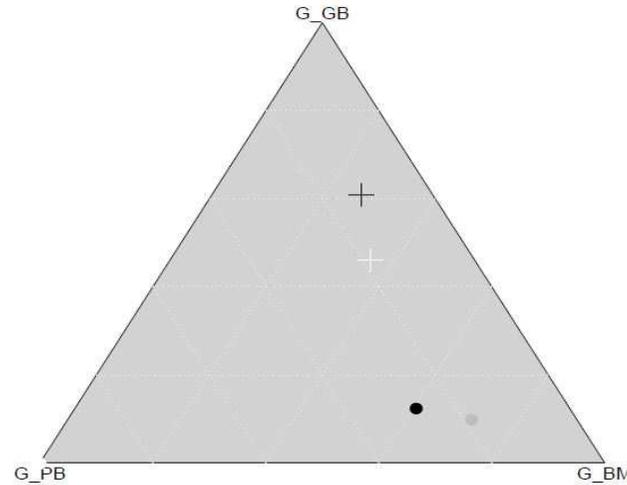
F FI FNC R RT F FI FNC R RT

	Témoin	Coupe		Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	1%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	13%	34%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	32%	26%
R : pin gris, mélèze...	54%	40%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014		

Accroissement radial

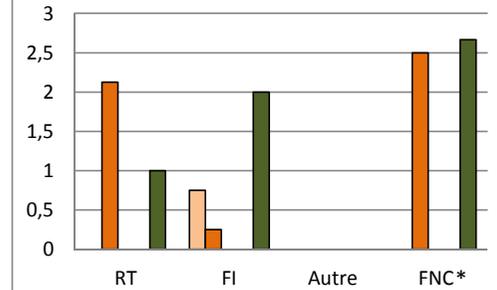
Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2007	0,49	1,05	0,83	-	-	0,64	2,23	-	-
Témoins : mm/an après 2008	0,19	0,79	0,54	-	-	0,45	1,97	-	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	2	1	7	0	0	14	1	0	0
Coupe : mm/an avant coupe	-	-	0,88	-	-	0,89	2,93	-	-
Coupe : mm/an après coupe	-	-	2,35	-	-	0,77	3,06	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	0	0	1	0	0	6	2	0	0
Tests statistiques de Student : **									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,34	0,53	1,25	0,00	0,23	1,21	0,22	0,00	0,37
Témoins : nombre de placettes	8 placettes								
Coupe : mm/an	0,95	0,00	0,56	0,00	0,00	0,35	2,74	0,00	0,00
Coupe : nombre de placettes	3 placettes								

Evolution de la structure

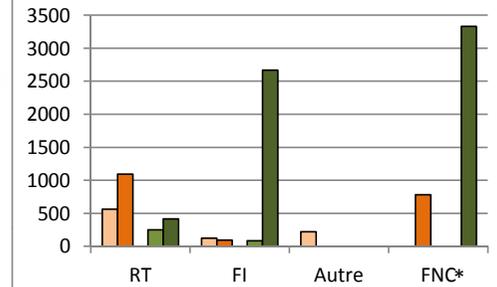


Evolution du sous-étage

Indice de présence des semis

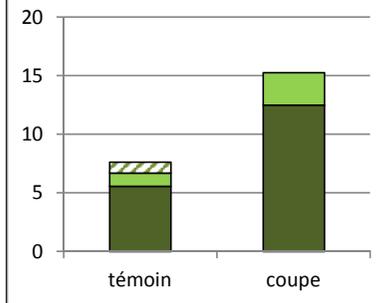


Densité de gaules (tiges/ha)

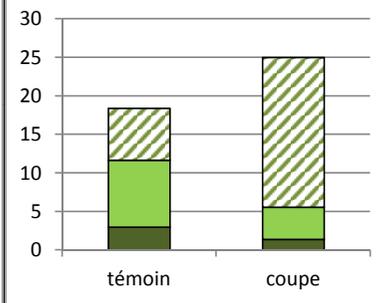


* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Recrutement (tiges/ha/an)



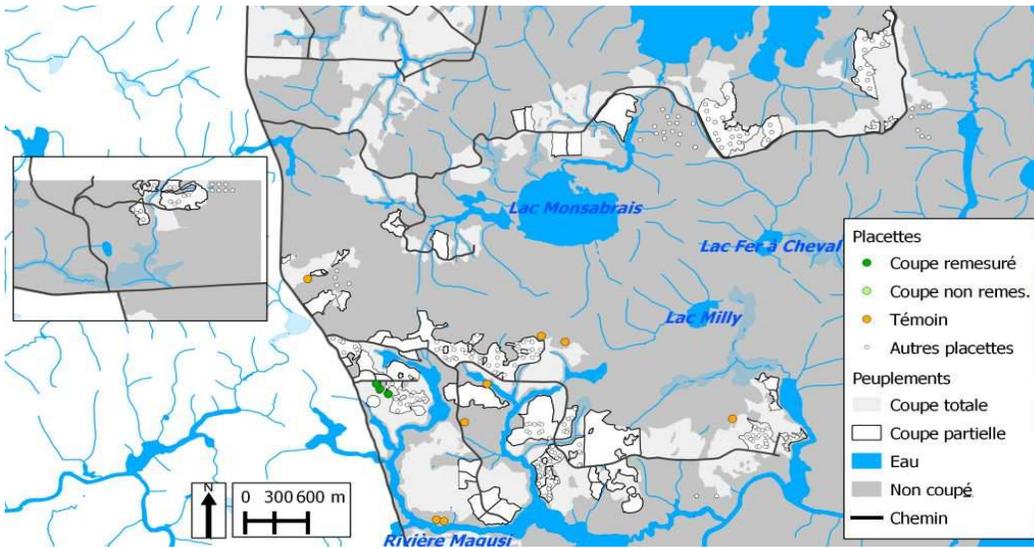
Mortalité (tiges/ha/an)



Evolution de N, G et V

	Témoins	Coupe
Accr. en surface terrière	0,36 m ² /ha/an	-0,35 m ² /ha/an
Accr. en densité	-10,8 tig./ha/an	-9,7 tiges/ha/an
Accr. en volume	2,21 m ³ /ha/an	-2,80 m ³ /ha/an

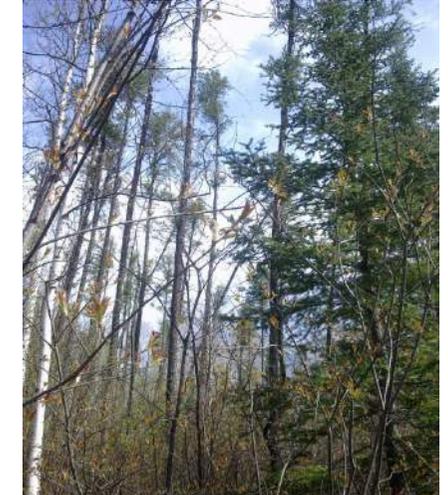
Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)



Peuplement témoin

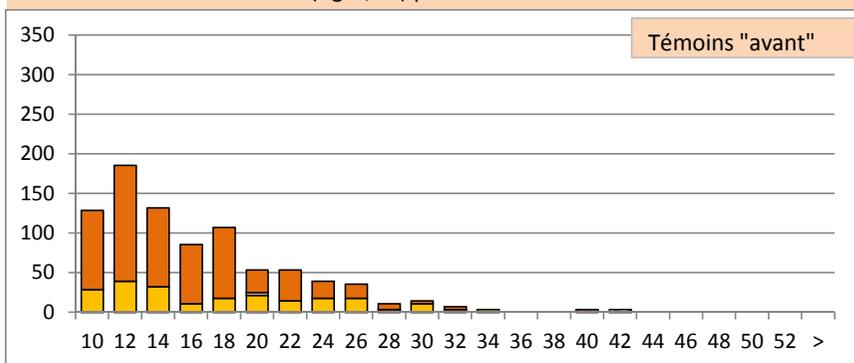


Peuplement coupé



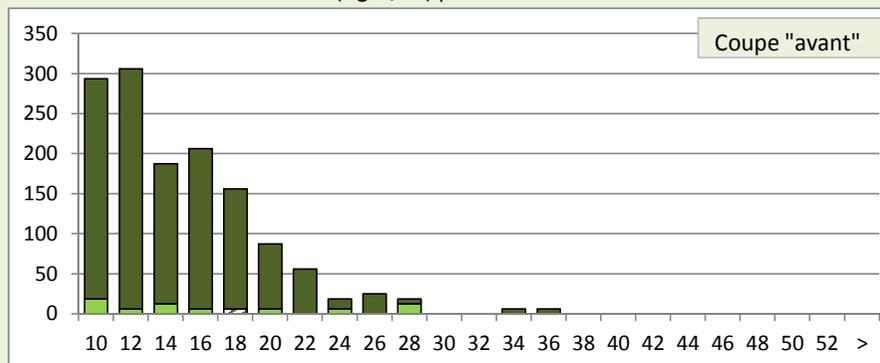
Inventaire dans une pessière traitée en jardinage

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2006 : 7 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

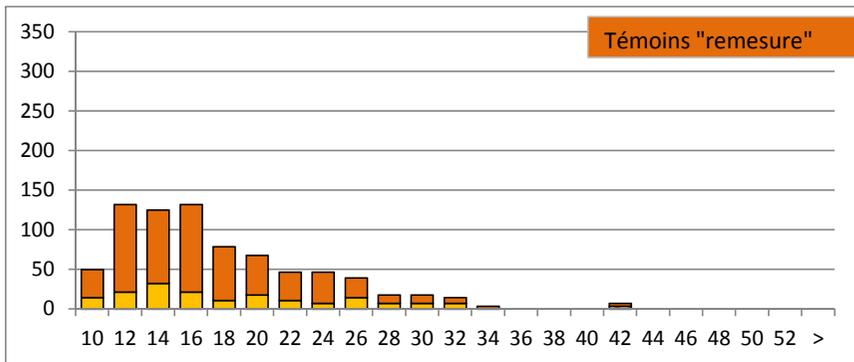


Coupe av. :
2003 : 4 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	864 ± 332	20,5 ± 7,0	111 ± 33	17,5 ± 1,2	29 ± 47	2357	~
Tém. remes.	779 ± 328	21,2 ± 8,1	121 ± 46	18,8 ± 1,5	118 ± 40	4857	34,7
Prélèvement	333 ± 132	7,1 ± 3,2	42 ± 20	16,4 ± 1,1	~	~	~
Coupe av.	1369 ± 205	26,2 ± 10,0	142 ± 67	15,3 ± 2,6	106 ± 59	3063	~
Coupe ap.	905 ± 190	17,6 ± 6,1	100 ± 44	15,6 ± 1,9	95 ± 75	1375	20,8
Coupe remes.	885 ± 219	19,9 ± 6,7	120 ± 49	16,9 ± 1,9	100 ± 59	1550	36,4

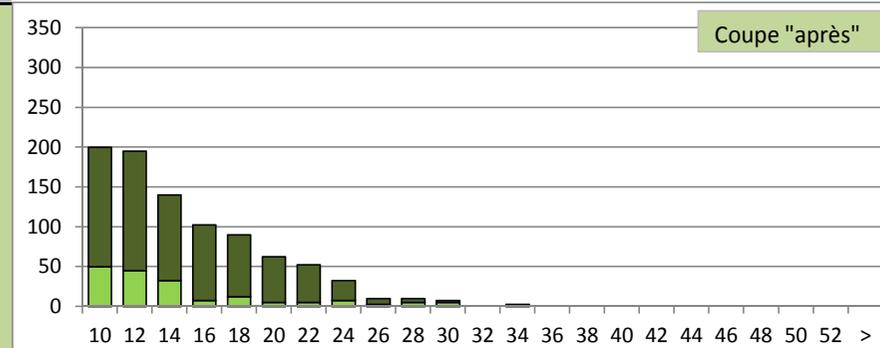
Coupes de 03-04

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	29%	27%	31%	par le haut	30%	37%	10%	30%	8%	0%
Placettes	33%	34%	30%	par le bas	38%	52%	19%	44%	-158%	100%

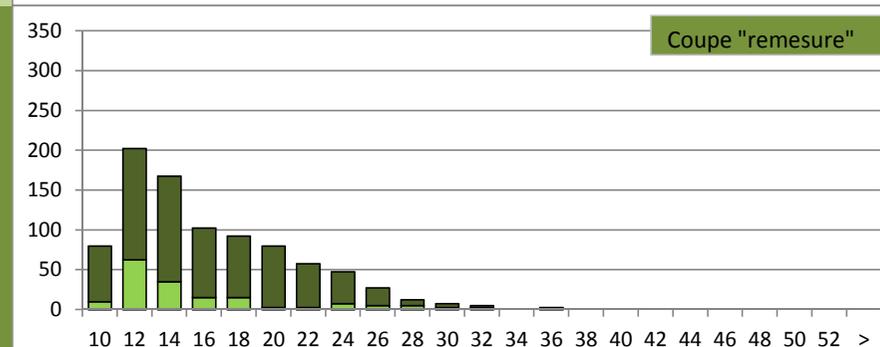


Témoins rem.:
2014 : 7 PE

Coupe ap. :
2008 : 10 PE



Coupe rem. :
2014 : 10 PE



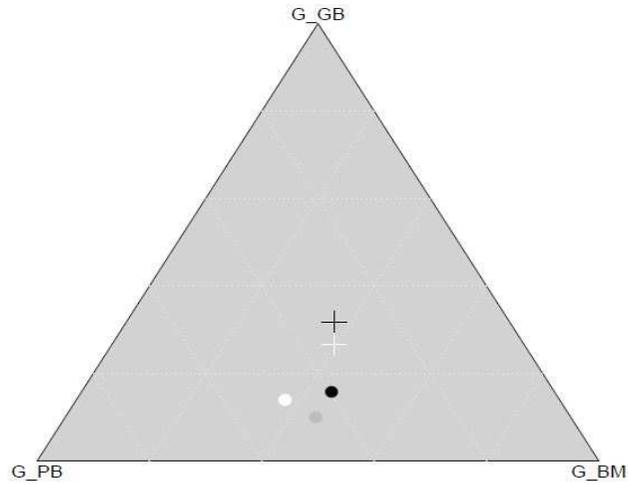
■ F ■ FI ■ FNC ■ R ■ RT ■ F ■ FI ■ FNC ■ R ■ RT

	Temoin	Coupe	Temoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	0%	0%	FNC : érable à épis, saule...	0%
FI : bouleau, peuplier tremble...	22%	19%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	81%
R : pin gris, mélèze...	0%	0%	Pourcentages du nombre de tiges en 2014	

Accroissement radial

Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2003	-	1,07	1,38	-	-	-	-	0,76	-
Témoins : mm/an après 2004	-	0,76	1,32	-	-	-	-	0,76	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	0	1	8	0	0	0	0	8	0
Coupe : mm/an avant coupe	1,02	-	0,90	-	-	-	1,03	-	-
Coupe : mm/an après coupe	1,38	-	1,07	-	-	-	1,85	-	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	1	0	22	0	0	0	2	0	0
Tests statistiques de Student :									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	0,49	1,45	0,82	0,05	0,00	0,00	0,39	1,06	0,03
Témoins : nombre de placettes	7 placettes								
Coupe : mm/an	0,56	0,41	1,32	0,00	0,00	0,36	0,35	0,36	0,00
Coupe : nombre de placettes	10 placettes								

Evolution de la structure

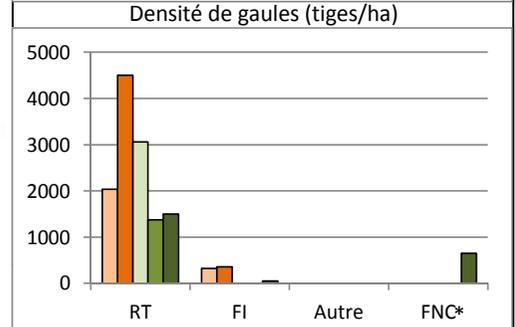
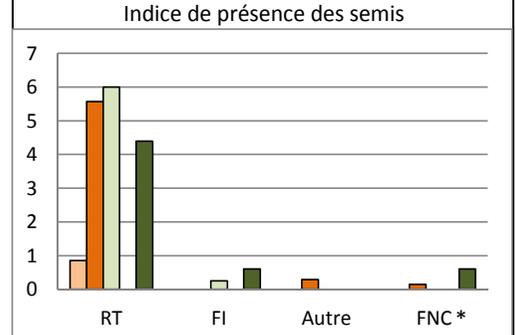


Evolution de N, G et V

	Témoins	Coupe
Accr. en surface terrière	0,09 m ² /ha/an	0,38 m ² /ha/an
Accr. en densité	-10,7 tig./ha/an	-3,3 tiges/ha/an
Accr. en volume	1,30 m ³ /ha/an	3,38 m ³ /ha/an

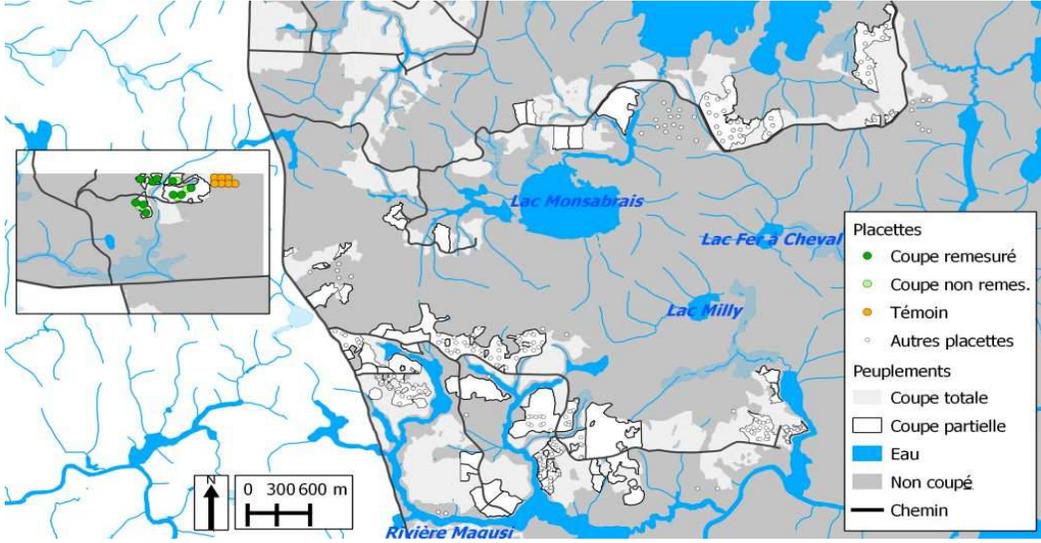
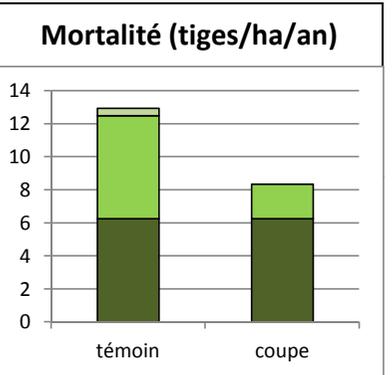
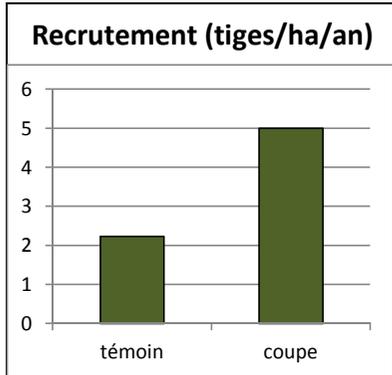
- + Témoins avant
- + Témoins remesure
- Coupe avant
- Coupe après
- Coupe remesure

Evolution du sous-étage



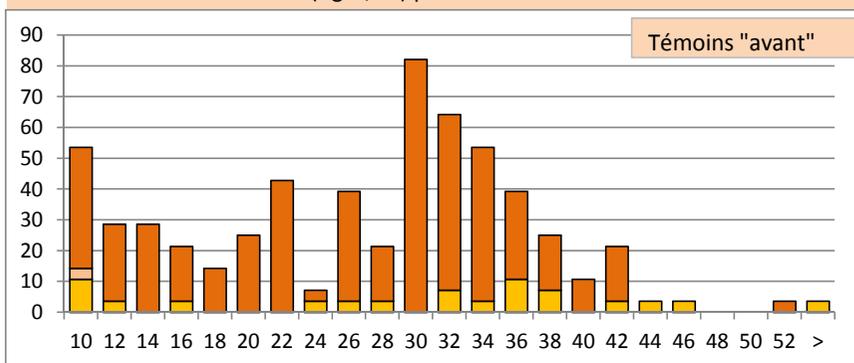
* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)



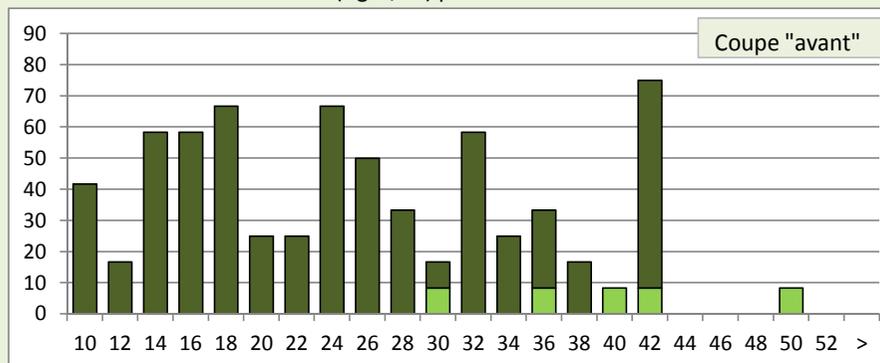
Inventaire dans une cédrière traitée en coupe progressive

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre



Témoins av. :
2010 : 7 PE

Densité (tiges/ha) par classe de diamètre

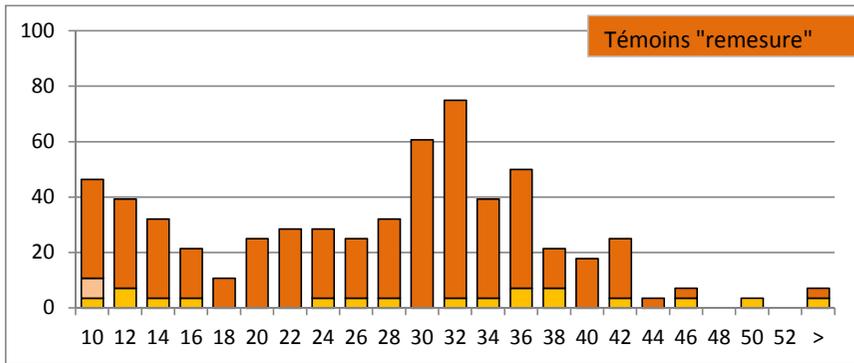


Coupe av. :
2010 : 3 PE

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m2/ha)	Volume marchand (m3/ha)	Diamètre moyen Dg (cm)	Densité de morts sur pied (/ha)	Gaules commer. (tiges/ha)	Vol. mort au sol (m3/ha)
Tém. avant	593 ± 169	38,1 ± 12,1	226 ± 70	28,8 ± 4,4	79 ± 51	2893	63,6849
Tém. remes.	600 ± 153	39,9 ± 12,2	239 ± 74	29,3 ± 4,8	75 ± 58	2714	77,9
Prélèvement	142 ± 14,4	7,3 ± 2,0	40 ± 14	25,4 ± 2,5	~	~	~
Coupe av.	683 ± 52	40,2 ± 2,6	227 ± 9	27,4 ± 0,4	158 ± 38	500	101,0
Coupe ap.	483 ± 38,2	31,4 ± 1,3	179 ± 7	28,8 ± 0,9	125 ± 43	500	~
Coupe remes.	492 ± 62,9	33,4 ± 2,8	194 ± 15	29,5 ± 1,1	108 ± 14	583	76,8

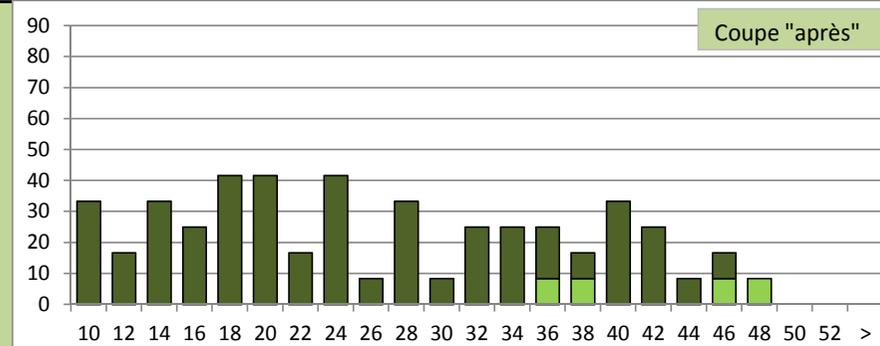
Coupes de 10-11

Intensités de coupe	G	N	V	K	PB	BM	GB	RT	FI	Autres
Souches	19%	23%	18%	par le bas	14%	33%	16%	23%	11%	0%
Placettes	22%	29%	21%	par le bas	43%	20%	24%	30%	20%	~

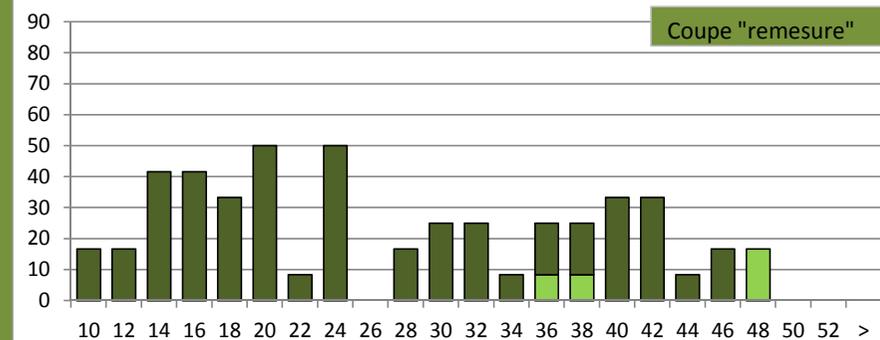


Témoins rem.:
2014 : 7 PE

Coupe ap. :
2011 : 3 PE



Coupe rem. :
2014 : 3 PE



F FI FNC R RT F FI FNC R RT

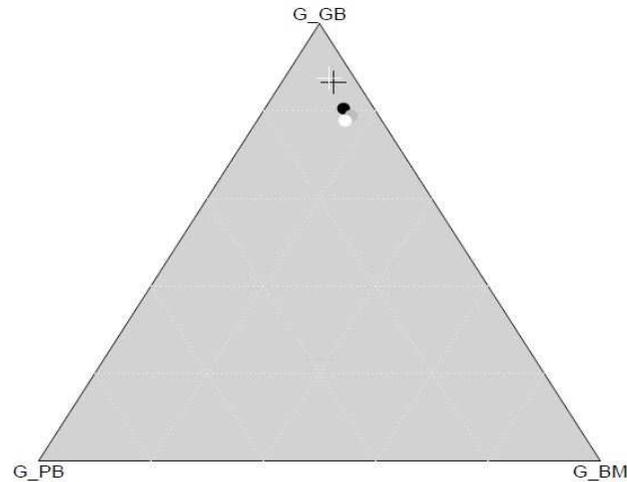
	Témoin	Coupe	Témoin	Coupe
F : érable rouge, frêne...	0%	0%	FNC : érable à épis, saule...	1%
FI : bouleau, peuplier tremble...	11%	7%	RT : épinettes, sapin, cèdre...	88%
R : pin gris, mélèze...	0%	0%		93%

Pourcentages du nombre de tiges en 2014

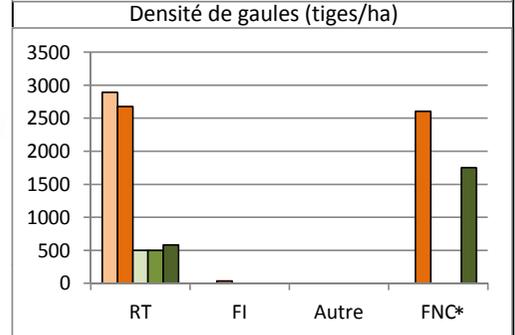
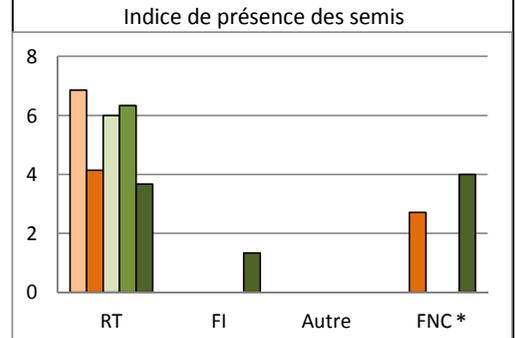
Accroissement radial

Mesures d'après les carottes	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an avant 2010	-	3,28	-	-	-	-	-	1,22	-
Témoins : mm/an après 2011	-	1,10	-	-	-	-	-	0,47	-
Témoins : nombre d'arbres prélevés	0	1	0	0	0	0	0	19	0
Coupe : mm/an avant coupe	-	-	-	-	-	-	-	1,36	-
Coupe : mm/an après coupe	-	-	-	-	-	-	-	0,88	-
Coupe : Nombre d'arbres prélevés	0	0	0	0	0	0	0	9	0
Tests statistiques de Student : **									
Calculs d'après les Dhp	BOP	EPB	EPN	FNC	PET	PIG	SAB	THO	Div
Témoins : mm/an	1,52	1,06	0,00	0,04	0,17	0,00	0,87	1,32	0,00
Témoins : nombre de placettes	7 placettes								
Coupe : mm/an	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	1,57	0,00
Coupe : nombre de placettes	3 placettes								

Evolution de la structure



Evolution du sous-étage



Evolution de N, G et V

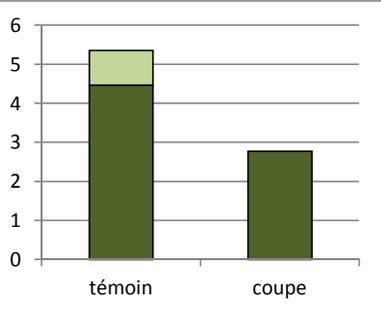
	Témoins	Coupe
Accr. en surface terrière	0,45 m ² /ha/an	0,69 m ² /ha/an
Accr. en densité	1,8 tiges/ha/an	2,8 tiges/ha/an
Accr. en volume	3,21 m ³ /ha/an	4,78 m ³ /ha/an

- + Témoins avant
- + Témoins remesure
- Coupe avant
- Coupe après
- Coupe remesure

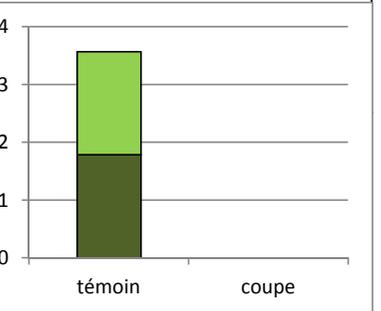
* Feuillus non commerciaux pris en compte uniquement dans les inventaires de 2014
 ■ Témoins av. ■ Témoins ap. ■ Coupe av. ■ Coupe ap. ■ Coupe remes.

Légende des tests sur les carottes : * différence significative entre avant et après la coupe ;
 ** entre la coupe et le témoin seulement sur les années après coupe ;
 *** les deux (** + *)

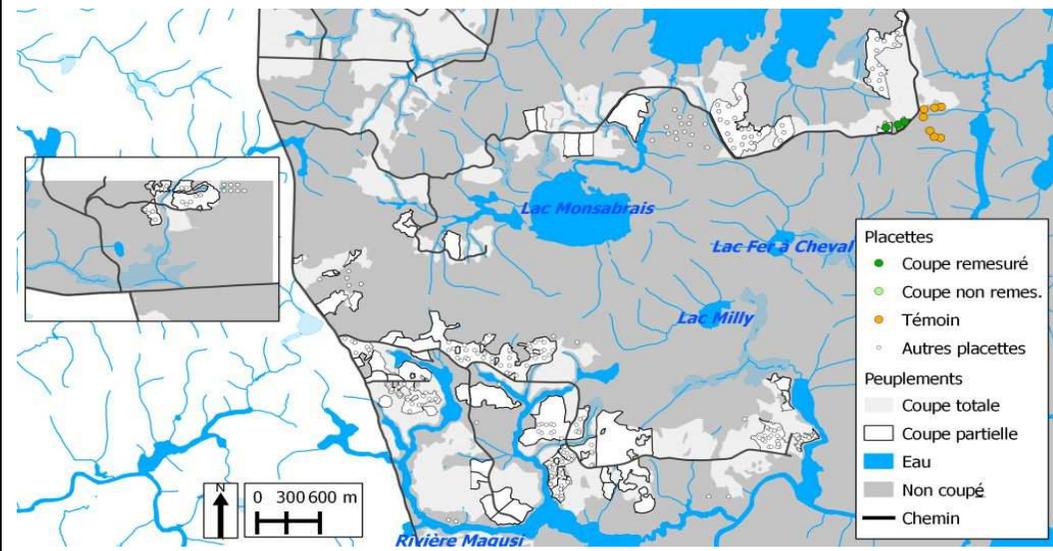
Recrutement (tiges/ha/an)



Mortalité (tiges/ha/an)



- FNC
- Autre
- FI
- RT



ANNEXE 6 : Résultats de la sélection des modèles de régression linéaire sur les accroissements des différentes essences

(estimateurs, R², p-values, sélection par la procédure stepwise AIC)

Toutes les essences confondues

336 arbres analysés
Dhp moyen : 23.08 cm
Accroissement moyen des 4 dernières années : 1.12 mm/an

```
Call:
lm(formula = Moyenne.2011.2014 ~ Diametre + Int.G + Cime +
Moyenne.2000.2003,
data = Carottes)
```

Residuals:

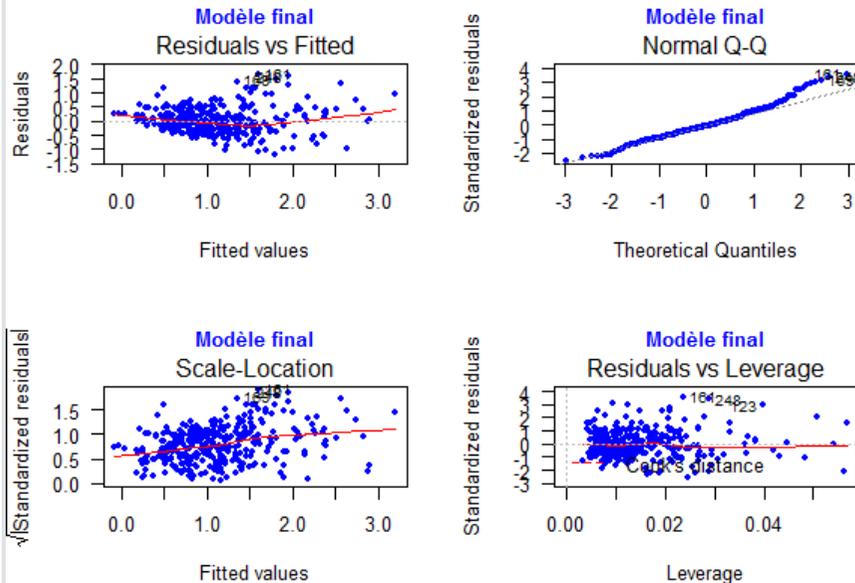
Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.16662	-0.30742	-0.04038	0.24003	1.67385

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.129233	0.102134	-1.265	0.20664
Diametre	-0.008284	0.003005	-2.757	0.00615 **
Int.G	0.624602	0.136179	4.587	6.40e-06 ***
Cime	0.015202	0.001949	7.800	8.16e-14 ***
Moyenne.2000.2003	0.648659	0.046658	13.903	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4694 on 331 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.592, Adjusted R-squared: 0.5871
F-statistic: 120.1 on 4 and 331 DF, p-value: < 2.2e-16



Peuplier tremble

59 arbres analysés
Dhp moyen : 27.78 cm
Accroissement moyen des 4 dernières années : 1.20 mm/an

```
Call:
lm(formula = Moyenne.2011.2014 ~ Annee.coupe + Cime +
Moyenne.2000.2003, data = Carottes)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.81352	-0.29697	-0.06642	0.22120	1.51449

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.122580	0.229657	-0.534	0.59566
Annee.coupe	0.074481	0.023731	3.138	0.00273 **
Cime	0.018017	0.006265	2.876	0.00572 **
Moyenne.2000.2003	0.392909	0.114074	3.444	0.00110 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4788 on 55 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.4577, Adjusted R-squared: 0.4281
F-statistic: 15.47 on 3 and 55 DF, p-value: 2.035e-07

Pin gris

83 arbres analysés
Dhp moyen : 25.32 cm
Accroissement moyen des 4 dernières années : 0.73 mm/an

```
Call:
lm(formula = Moyenne.2011.2014 ~ Cime + Moyenne.2000.2003, data =
Carottes)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.71317	-0.25533	-0.05914	0.21703	0.87089

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.07606	0.10909	0.697	0.48768
Cime	0.00968	0.00305	3.174	0.00213 **
Moyenne.2000.2003	0.49404	0.09563	5.166	1.71e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3337 on 80 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.375, Adjusted R-squared: 0.3594
F-statistic: 24 on 2 and 80 DF, p-value: 6.837e-09

Epinette blanche

46 arbres analysés
Dhp moyen : 23.38 cm
Accroissement moyen des 4 dernières années : 1.49 mm/an

Call:
lm(formula = Moyenne.2011.2014 ~ Int.G + Cime + Moyenne.2000.2003,
data = Carottes)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-1.7376 -0.5127 -0.1721 0.2473 3.8921

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.64831 0.54866 -1.182 0.2440
Int.G 1.61368 0.83949 1.922 0.0614 .
Cime 0.02492 0.01106 2.253 0.0295 *
Moyenne.2000.2003 0.54258 0.22753 2.385 0.0217 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.023 on 42 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2945, Adjusted R-squared: 0.2441
F-statistic: 5.844 on 3 and 42 DF, p-value: 0.001979

Epinette noire

60 arbres analysés
Dhp moyen : 18.08 cm
Accroissement moyen des 4 dernières années : 1.20 mm/an

Call:
lm(formula = Moyenne.2011.2014 ~ Diametre + Int.G + Annee.coupe +
RT + Cime + Moyenne.2000.2003, data = Carottes)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-0.98635 -0.19593 -0.01652 0.18784 1.11103

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.297773 0.265396 1.122 0.26692
Diametre -0.028719 0.013064 -2.198 0.03232 *
Int.G 2.041895 0.417653 4.889 9.80e-06 ***
Annee.coupe -0.058592 0.018946 -3.093 0.00316 **
RT 0.393818 0.171288 2.299 0.02547 *
Cime 0.010052 0.005762 1.744 0.08690 .
Moyenne.2000.2003 0.592383 0.116055 5.104 4.59e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.41 on 53 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.5781, Adjusted R-squared: 0.5304
F-statistic: 12.11 on 6 and 53 DF, p-value: 1.61e-08

Sapin baumier

38 arbres analysés
Dhp moyen : 16.36 cm
Accroissement moyen des 4 dernières années : 1.90 mm/an

Call:
lm(formula = Moyenne.2011.2014 ~ Int.G + Cime + Moyenne.2000.2003,
data = Carottes)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-0.99752 -0.34640 0.05707 0.22629 1.30033

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.763705 0.324680 -2.352 0.024594 *
Int.G 1.813133 0.470731 3.852 0.000494 ***
Cime 0.013124 0.005945 2.208 0.034116 *
Moyenne.2000.2003 0.930619 0.157964 5.891 1.19e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5207 on 34 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.7451, Adjusted R-squared: 0.7226
F-statistic: 33.12 on 3 and 34 DF, p-value: 3.364e-10

Thuya occidental

36 arbres analysés
Dhp moyen : 26.64 cm
Accroissement moyen des 4 dernières années : 0.90 mm/an

Call:
lm(formula = Moyenne.2011.2014 ~ Diametre + IC.Reineke +
Moyenne.2000.2003, data = Carottes)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-0.79484 -0.13983 0.00333 0.17090 0.40739

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.5606156 0.1483785 3.778 0.00065 ***
Diametre 0.0082241 0.0056655 1.452 0.15634
IC.Reineke -0.0003146 0.0001322 -2.380 0.02343 *
Moyenne.2000.2003 0.3635716 0.1296076 2.805 0.00848 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2645 on 32 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.4337, Adjusted R-squared: 0.3806
F-statistic: 8.169 on 3 and 32 DF, p-value: 0.000353