

PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU FORESTIER – VOLET 1

Rapport final

COMPARAISON DE MÉTHODES D'ÉDUCATION DE JEUNES PEUPELEMENTS FEUILLUS FAVORISANT LE BOULEAU JAUNE (2^E ANNÉE)

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES
ET DE LA FAUNE

Daniel Tremblay, ing.f.
Paul Bouchard, ing.f.

Et

SCIERIE PSE INC.

M^{me} Édith Savard

Par :



Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Juliane Laliberté, ing.f.
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
Philippe Bournival, ing.f., M.Sc.

Décembre 2010

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET

- **Scierie PSE inc.**
M^{me} Édith Savard

PARTENAIRES DU PROJET

- **Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO)**
M. Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
M^{me} Juliane Laliberté, ing.f.
M. Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
M. Philippe Bournival, ing.f., M.Sc.
- **Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec**
Daniel Tremblay, ing.f.
Paul Bouchard, ing.f.
- **Direction de la recherche forestière, MRNF**
François Guillemette, ing.f., M.Sc.
- **Del Degan, Massé et Associés**
Alain Jacques, ing.f.
- **Équipe de débroussailleurs**
Jean Morin, Vert forêt

TABLE DES MATIÈRES

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET	I
PARTENAIRES DU PROJET.....	I
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ	V
INTRODUCTION.....	1
1. OBJECTIFS.....	3
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	4
2.1. SECTEUR À L'ÉTUDE	4
2.2. PORTRAIT AVANT INTERVENTION	5
2.3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	6
2.3.1. Description des traitements.....	6
2.3.2. Collecte de données.....	9
2.3.3. Compilation et analyses statistiques	9
3. RÉSULTATS	10
3.1. PORTRAIT DE LA RÉGÉNÉRATION APRÈS TRAITEMENT	10
3.2. PORTRAIT DES TIGES D'AVENIR	12
3.2.1. DHP moyen.....	13
3.2.2. Hauteur moyenne	13
3.2.3. Ratio moyen de la hauteur (H) sur le DHP	14
3.2.4. Largeur moyenne des cimes des tiges d'avenir.....	14
3.2.5. Surface moyenne des cimes des tiges d'avenir.....	15
3.2.6. Proportion de hauteur de tige sans branche	15
3.2.7. Pourcentage de cime vivante.....	16
3.2.8. Pourcentage de tiges libres de croître	17
3.2.9. Pourcentage moyen de dégagement des cimes.....	18
3.3. ÉTUDE DE PRODUCTIVITÉ.....	19
4. DISCUSSION.....	21
4.1. VALIDATION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	21
4.2. VALIDATION DE LA PRESCRIPTION SYLVICOLE	22
4.3. LIBRE CROISSANCE DES TIGES D'AVENIR	23
4.4. PRÉSENCE DES ESSENCES DÉSIRÉES	24
4.5. PORTRAIT DE LA COMPÉTITION ET DE LA PRÉSENCE D'ESSENCES NON DÉSIRÉES	25
4.6. PRODUCTIVITÉ	26
5. RECOMMANDATIONS POUR LE SUIVI.....	27
5.1. QUALITÉ DES TIGES	27
5.2. SUIVI	27
CONCLUSION	28
RÉFÉRENCES.....	29
ANNEXE 1. DÉFINITION – LIBRE DE CROÎTRE	31
ANNEXE 2. MESURE DE LA LARGEUR ET DU DÉGAGEMENT DE LA CIME.....	32
ANNEXE 3. LOCALISATION DES PLACETTES.....	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation du dispositif expérimental.....	4
Figure 2. Dispositif de suivi du dégagement des tiges de bouleau jaune.....	8
Figure 3. Densité moyenne par traitement pour l'année d'origine 1997.....	10
Figure 4. Densité moyenne par traitement pour les années d'origine 1988 et 1989.....	10
Figure 5. Méthode pour déterminer la libre croissance d'une tige.....	31
Figure 6. Localisation des placettes à l'intérieur des unités expérimentales.....	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Densités moyennes (tiges/hectare) avant intervention par essence, traitement et année d'origine.....	6
Tableau 2. Description des traitements.....	7
Tableau 3. Répartition des traitements par bloc et année d'origine.....	7
Tableau 4. Rayon des placettes d'inventaire selon le bloc et le traitement.....	9
Tableau 5. Densité moyenne (ti/ha) après dégagement par essence et traitement pour l'année d'origine 1997.....	11
Tableau 6. Densité moyenne (ti/ha) après traitement par essence et traitement pour les années d'origine 1988 et 1989.....	12
Tableau 7. DHP moyen (cm) des tiges d'avenir par bloc et traitement.....	13
Tableau 8. Hauteur moyenne (m) des tiges d'avenir selon le bloc et le traitement.....	13
Tableau 9. Ratio H/DHP des tiges d'avenir selon le bloc et le traitement.....	14
Tableau 10. Largeur moyenne (cm) des cimes de tiges d'avenir par bloc, traitement et année d'origine.....	15
Tableau 11. Superficie moyenne (m ²) des cimes des tiges d'avenir par bloc, traitement et année d'origine.....	15
Tableau 12. Proportion de hauteur sans branche des tiges d'avenir, selon le bloc, le traitement et l'année d'origine.....	16
Tableau 13. Pourcentage moyen de cime vivante des tiges d'avenir selon le bloc, le traitement et l'année d'origine.....	17
Tableau 14. Proportion des tiges d'avenir libres de croître après dégagement par bloc, traitement et année d'origine.....	17
Tableau 15. Répartition des tiges utiles par classe de dégagement de la cime et traitement pour l'année d'origine 1997.....	18
Tableau 16. Répartition des tiges utiles par classe de dégagement de la cime et traitement pour les années d'origine 1988 et 1989.....	19
Tableau 17. Moyenne du temps effectif requis pour la réalisation des travaux de dégagement (heures-personne/hectare) par bloc, traitement et année d'origine.....	20
Tableau 18. Moyenne du temps de dégagement requis pour la réalisation des travaux de dégagement (heures-personne/hectare) par bloc, traitement et année d'origine.....	20

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet a été rendue possible grâce aux financements de la Scierie PSE inc., du programme de mise en valeur des ressources naturelles du milieu forestier-Volet 1 (PMVRMF) ainsi que du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF).

Nous aimerions souligner l'appui de M^{me} Édith Savard, secrétaire-trésorière de la Scierie PSE inc, ainsi que la collaboration de Daniel Tremblay, ingénieur forestier du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) et de François Guillemette, ingénieur forestier à la Direction de la recherche forestière du MRNF.

Nous remercions également le groupe Del Degan, Massé et Associés pour sa contribution technique au niveau de l'inventaire forestier. Nous remercions l'équipe Vert forêt et Jean Morin pour la réalisation des travaux de dégagement.

RÉSUMÉ

Un dispositif de recherche a été établi dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'unité d'aménagement forestier 31-51. Le peuplement à l'étude est issu de coupes par bande. Une première série de bandes a été coupée en 1988 et 1989 et une deuxième série en 1997. L'objectif est de comparer et de documenter l'effet de différentes modalités de dégagement sur la croissance et le développement des tiges de bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* [Britt.]) afin de produire du bois de très haute qualité.

Un inventaire avant intervention a été réalisé au printemps 2009 pour élaborer le dispositif. Cet inventaire a permis de former des blocs homogènes dans lesquels cinq traitements ont été répartis. Les traitements retenus pour l'étude sont un témoin, deux traitements de puits de lumière et deux traitements de dégagement systématique. Les travaux de dégagement ont eu lieu en septembre 2009. Ensuite, un inventaire après intervention a été réalisé à l'automne 2009.

Les résultats démontrent que l'intervention sylvicole a permis de dégager de façon satisfaisante les cimes des tiges d'avenir. Le pourcentage de dégagement des cimes est plus élevé pour les traitements que pour les témoins. Par contre, on ne peut déceler de différence entre le traitement par puits de lumière et le dégagement systématique. Peu importe l'année d'origine, la densité en essences non désirées est beaucoup plus élevée dans les traitements de puits de lumière que dans les traitements systématiques.

Tous les traitements présentent une densité intéressante d'essences désirées. En tenant compte des tiges martelées positivement dans les traitements de puits de lumière, soit 250 ti/ha pour le traitement 1 et 400 ti/ha pour le traitement 2, les dégagements systématiques présentent une densité plus élevée de tiges désirées dégagées.

Une première étude de productivité démontre que l'exécution des travaux de dégagement est moins longue pour les traitements de dégagement par puits de lumière que pour les traitements de dégagement systématique. Cependant, si l'on tient compte du temps requis pour effectuer le martelage, les temps effectifs requis pour effectuer chacun des travaux sont équivalents.

Les informations devront être mises en perspective avec des suivis dans le temps après intervalle de cinq ans. Ces suivis permettront de documenter l'effet des traitements sur la densité et la qualité des tiges d'essences désirées.

INTRODUCTION

L'intensification importante de l'aménagement des forêts feuillues au Québec a conduit les aménagistes à la réalisation de nouveaux traitements sylvicoles, tels que les parquets et le jardinage par trouée, ayant pour objectif de favoriser l'installation de la régénération d'espèces semi-tolérantes comme le bouleau jaune. On voit ainsi apparaître d'importantes superficies en régénération de feuillus équiennes.

Plusieurs rapports et remesurages de dispositifs expérimentaux, notamment en Estrie et en Mauricie, signalent la disparition de nombreux bouleaux jaunes au profit de d'autres espèces intolérantes lorsqu'ils ne sont pas dégagés. Le bouleau jaune n'est pas une espèce qui survit longtemps en situation de suppression (Beudet et Messier 1997). La nécessité d'éduquer les superficies régénérées en bouleau jaune s'impose.

Historiquement, l'éducation des feuillus au Québec s'est d'abord inspirée des normes d'éducation des résineux avec un espacement critique et l'élimination des tiges entre les arbres sélectionnés. Rapidement, ces normes se sont modifiées pour éviter le développement de branches adventives. Le bouleau jaune a tendance à produire des branches adventives suite à une ouverture importante du couvert forestier (OMNR 1998). Par contre, si le couvert forestier se referme dans les cinq ou six années suivant le dégagement, le bouleau jaune s'élague naturellement (Erdmann *dans* Burns et Honkala 1990). Suite aux travaux de recherche de Robitaille *et al.* (1990), de nouvelles normes ont été proposées.

Le MRNF propose de sélectionner une tige d'avenir à tous les cinq mètres (400 tiges/hectare) et de dégager 75 cm du pourtour de sa cime (MRNF 2008). Par contre, de nombreuses autres recherches suggèrent des dégagements et des espacements optimaux différents. Par exemple, en Ontario, von Althen *et al.* (1994) proposent plutôt de dégager 120 à 150 cm autour de la cime et de libérer seulement 200 à 250 tiges à l'hectare. Au Nouveau-Brunswick, les recherches arrivent à la conclusion qu'un espacement de 270 cm entre les tiges favorise le taux de croissance des arbres dégagés (Lees 1995). Aux États-Unis, Erdmann *et al.* (1981) vont jusqu'à suggérer un

dégagement de 250 cm autour du tronc, voire même de 370 cm si des investissements au niveau de l'élagage sont possibles.

Les avis au niveau du moment de l'intervention divergent également. Voorhis (1990) propose d'attendre d'avoir un fourré entre 10 et 14 ans. D'autres auteurs (Crcha et Trottier 1991) utilisent le critère de la hauteur pour déterminer le moment de l'éclaircie (cinq à sept mètres).

Plusieurs questions subsistent donc au sujet des modalités d'éclaircie des tiges feuillues. Quel espacement faut-il retenir ? Quel est le moment optimal pour intervenir ? Pour faire un choix éclairé, il est nécessaire de bien définir les objectifs de l'intervention. Il sera ensuite possible de choisir la méthodologie la plus efficace pour y arriver. Doit-on favoriser la croissance en diamètre et le développement des cimes des gaules de bouleau jaune ou plutôt chercher à composer un assortiment de qualité ? Le bouleau jaune étant une essence à grande valeur commerciale, il est nécessaire de se poser certaines questions avant d'intervenir. Peut-on réellement compter sur les tiges sélectionnées pour former un peuplement futur de qualité ? Quels sont les risques de pertes ? Doit-on maintenir un assortiment maximal de tiges de qualité afin de prévoir les risques de fourche ou de dégradation ? Il est donc essentiel de développer des traitements d'éclaircie propres aux caractéristiques du bouleau jaune.

Au printemps 2009, un dispositif expérimental a été élaboré pour étudier les effets de différentes modalités d'éducation dans un contexte de sylviculture intensive. Le projet consiste à comparer un témoin à deux modalités d'éclaircie par puits de lumière (MRNF 2008) et à deux modalités de dégagement systématique.

Ce rapport fait état des résultats obtenus suite à la mise en place d'un dispositif de recherche pour faire le suivi du dégagement de la régénération de bouleau jaune.

1. OBJECTIFS

L'objectif du projet est d'installer un dispositif expérimental comparant plusieurs modalités d'éducation du bouleau jaune dans un contexte de sylviculture intensive. À moyen et long terme, les objectifs spécifiques visés par le projet sont :

1. Comparer la méthode actuelle des puits de lumière (MRNF 2008) au dégagement systématique.
2. Comparer l'effet des traitements à une zone témoin.
3. Vérifier les effets réels des traitements à l'étude sur : le nombre de tiges résiduelles, la composition du peuplement, la qualité et la forme des tiges.
4. Identifier le ou les meilleur(s) traitement(s) d'éducation de la régénération feuillue ainsi que leur productivité.

Les objectifs spécifiques visés par ce présent rapport sont :

1. Valider le dispositif expérimental.
2. Valider la réalisation des prescriptions sylvicoles.
3. Déterminer le pourcentage de dégagement des cimes des tiges d'avenir.
4. Déterminer si le dégagement a permis d'atteindre une proportion satisfaisante de tiges d'avenir libres de croître.
5. Évaluer la densité en essences désirées pour chaque traitement.
6. Tracer un portrait de la compétition.
7. Évaluer la productivité (heure-personne/hectare) des traitements sylvicoles.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. SECTEUR À L'ÉTUDE

Le dispositif est situé dans la région de Portneuf, dans l'unité d'aménagement forestier 31-51. Il est localisé à la limite des domaines bioclimatiques de l'érablière à tilleul et de l'érablière à bouleau jaune (figure 1). Le site est situé au nord de la municipalité de St-Ubalde, près du Lac Blanc. Le peuplement à l'étude est issu d'anciennes coupes par bandes récoltées au début et à la fin des années 1990, soit en 1988-1989 et 1997. Le type écologique MJ12 (bétulaie jaune à sapin et à érable à sucre) a été identifié comme étant prédominant sur le territoire à l'étude.

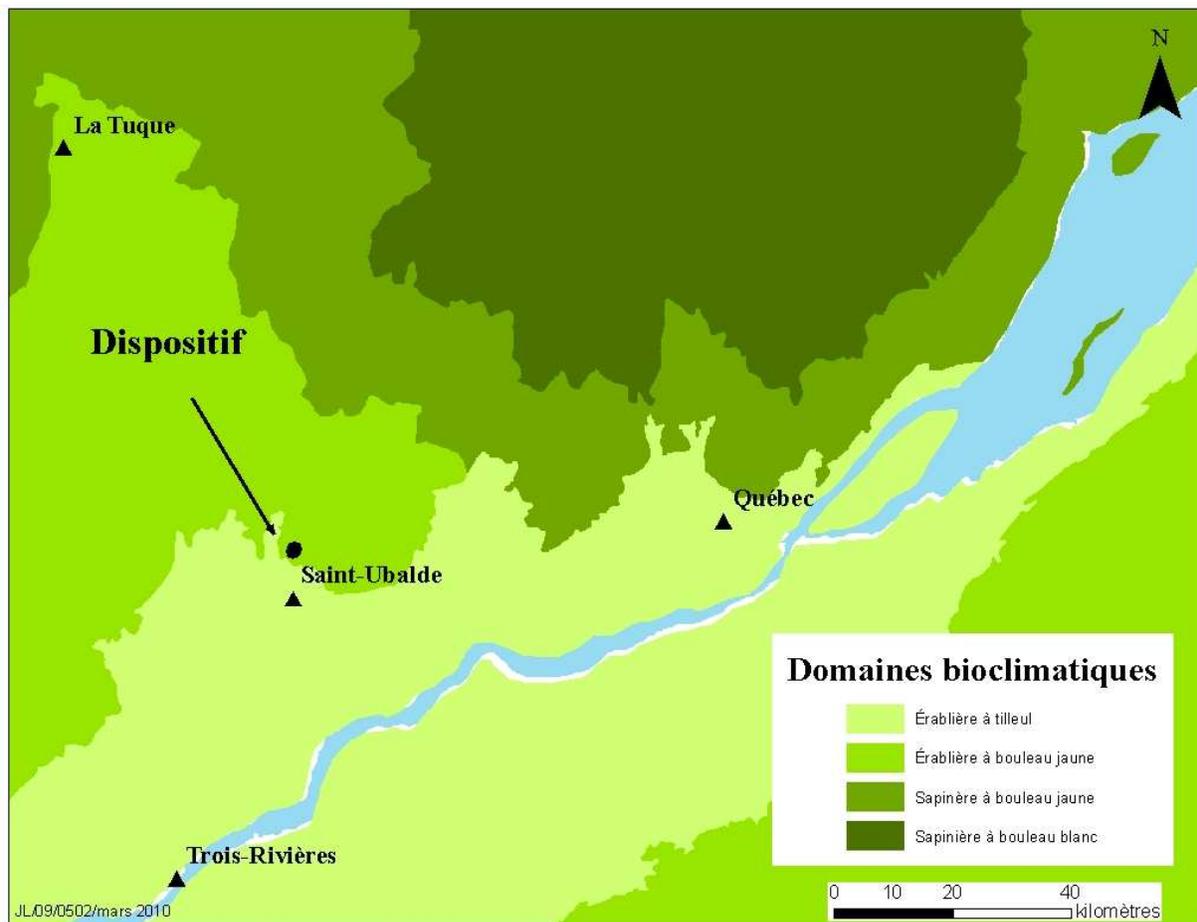


Figure 1. Localisation du dispositif expérimental

2.2. PORTRAIT AVANT INTERVENTION

Un inventaire avant intervention a été réalisé pour élaborer le dispositif expérimental. L'inventaire a permis de regrouper les unités expérimentales pour former des blocs homogènes. Parmi les unités expérimentales à l'étude, certaines ont été coupées en 1988-1989 et ont subi un premier dégagement en 1999, et les autres n'ont subi aucun dégagement et ont été coupées en 1997.

Pour l'année d'origine de 1997, la densité totale moyenne est de 15 343 ti/ha et la densité en espèces désirées est de 3 604 ti/ha (tableau 1). Pour les années d'origine de 1988-1989, la densité totale moyenne est de 9 083 ti/ha et la densité en espèces désirées est de 3 857 ti/ha. Bien que la densité totale en espèces désirées soit comparable d'une année d'origine à l'autre, les bandes de 1988-1989 présentent une proportion plus élevée en espèces désirées que celles de 1997. L'érable rouge présente un potentiel de compétition important et indique des densités moyennes qui varient de 6 000 ti/ha à 2 669 ti/ha. La proportion d'espèces non désirées est beaucoup plus élevée dans les bandes de 1997. Pour plus d'informations sur la délimitation des blocs et la méthode d'inventaire retenue, le lecteur pourra se référer aux rapports précédents (Blouin *et al.* 2009).

Tableau 1. Densités moyennes (tiges/hectare) avant intervention par essence, traitement et année d'origine

Essence	Année d'origine			
	1997		1988-1989	
	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±
BOJ	3 028	858	2 780	731
BOP	223	256	149	210
COC	-	-	12	25
EPR	37	41	19	20
ERE	1 848	1 253	303	148
ERP	1 142	652	446	429
ERR	6 000	1 956	2 669	766
ERS	353	262	929	374
HEG	19	25	142	119
PEG	-	-	6	12
PET	28	40	68	111
PRP	817	309	768	248
PRU	56	63	-	-
PRV	9	19	-	-
SAB	1 718	833	786	362
SAL	9	19	6	12
SAP	9	19	-	-
SOA	46	93	-	-
Total désirées	3 604	920	3 857	690
Total	15 343	2 383	9 083	1 186

2.3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

2.3.1. Description des traitements

Un dispositif expérimental a été implanté pour documenter l'effet des traitements de dégagement réalisés en septembre 2009. Deux modalités de dégagement par puits de lumière sont comparées à deux modalités de dégagement systématique et à des témoins non éclaircis dans un dispositif en blocs aléatoires (tableau 2).

Tableau 2. Description des traitements

Traitements	Abréviation	Description des modalités
Témoin	TEM	Aucune intervention
Traitement 1	Tr1	Éclaircie par puits de lumière, 250 ti/ha 7 m (\pm 1) entre les tiges résiduelles Rayon de dégagement de 150 cm autour de la cime
Traitement 2	Tr2	Éclaircie par puits de lumière, 400 ti/ha 5 m (\pm 1) entre les tiges résiduelles Rayon de dégagement de 75 cm autour de la cime
Traitement 3	Tr3	Dégagement systématique de 1 000 à 1 500 ti/ha 2,8 m entre les tiges résiduelles (min 2,0 m, max 3,5 m)
Traitement 4	Tr4	Dégagement systématique de 2 500 à 3 500 ti/ha 1,7 m entre les tiges résiduelles (min 1,0 m, max 2,5 m)

Le dispositif est composé de 8 blocs, de 2 années d'origine, de 4 traitements et d'un témoin. Les blocs 1, 2 et 3 font partie des bandes qui datent de 1997 tandis que les blocs 4 à 8 font partie des bandes datant de 1988 et 1989. Le dispositif couvre une superficie de 3,14 hectares et il est subdivisé en 26 unités d'expérimentation de 0,12 ha (figure 1). Le détail de la répartition des traitements par bloc et année d'origine est présenté au tableau 3.

Tableau 3. Répartition des traitements par bloc et année d'origine

Traitements\bloc	Année d'origine							
	1997			1988 et 1989				
	1	2	3	4	5	6	7	8
Témoin	X	X	X	X	X	X	-	-
Tr1	X	X	-	X	X	X	X	-
Tr2	-	-	-	X	X	X	X	X
Tr3	X	X	X	X	X	X	-	-
Tr4	X	X	-	-	-	-	X	-

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

Le détail de la répartition des blocs et des traitements est présenté à la figure 2. Le suivi après traitement a été effectué via un réseau de 54 placettes semi-permanentes, soit deux placettes par unité d'expérimentation. La localisation des placettes est présentée à l'annexe 3.

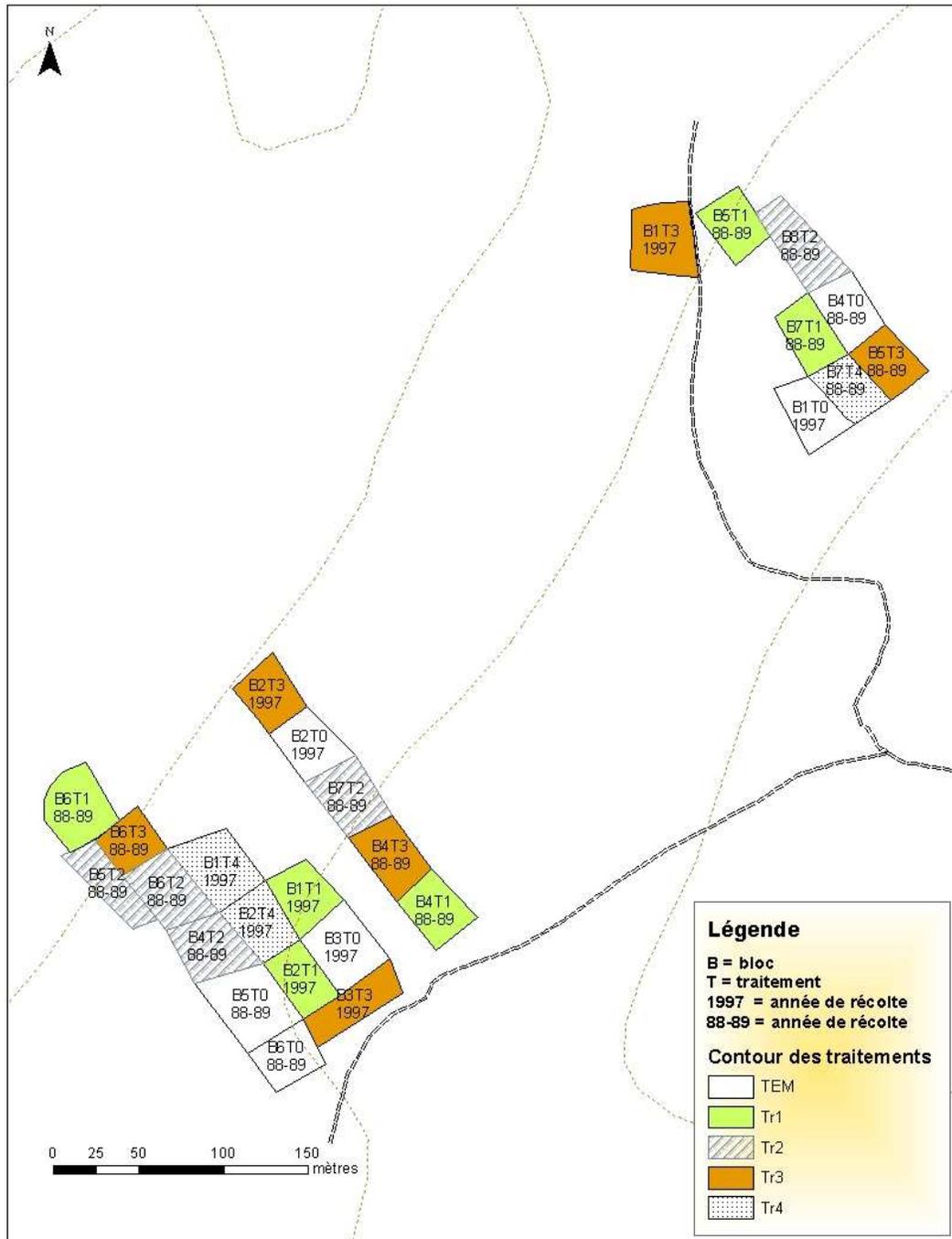


Figure 2. Dispositif de suivi du dégagement des tiges de bouleau jaune

2.3.2. Collecte de données

L'inventaire servant à définir la densité après traitement a été réalisé dans les placettes semi-permanentes dont le rayon varie selon le traitement (tableau 4), en général : 2,82 m (25 m²) pour les témoins, 8,97 m (250 m²) pour les traitements 1 à 3 et 5,64 m (100 m²) pour le traitement 4.

Tableau 4. Rayon des placettes d'inventaire selon le bloc et le traitement

Traitement/Bloc	1	2	3	4	5	6	7	8
TEM	2,82 m	2,82 m	2,82 m	2,82 m	2,82 m	2,82 m	-	-
Tr1	2,82 m	2,82 m	-	8,97 m	5,64 m	5,64 m	2,82 et 5,64 m	-
Tr2	-	-	-	5,64 et 8,97 m	5,64 m	5,64 m	5,64 m	5,64 m
Tr3	2,82 m	8,97 m	8,97 m	8,97 m	8,97 m	2,82 et 8,97 m	-	-
Tr4	8,97 m	8,97 m	-	-	-	-	8,97 m	-

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

Un inventaire parallèle servant à sélectionner les plus belles tiges d'avenir de bouleau jaune a aussi été réalisé. Dans chacune des placettes semi-permanentes, six bouleaux jaunes ont été sélectionnés pour effectuer des études d'arbres. Sur chaque tige d'avenir, la hauteur (cm), le diamètre à hauteur de poitrine (DHP, mm), le niveau de compétition (libre de croître ou non¹) la dimension de la cime dégagée (annexe 2) et la hauteur de la dernière branche vivante ont été mesurés.

2.3.3. Compilation et analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R, version 2.11.1 (R Development Core Team (2010)) et du logiciel SAS version 9.2 (SAS Institute 2009). Les moyennes présentées ont été calculées à partir des données à l'échelle de l'unité expérimentale. Les analyses de variance (ANOVA) ont été élaborées en tenant compte de la disposition aléatoire en blocs du plan d'expérience. La différence des moindres carrés « LSD » a été utilisée pour déterminer s'il y avait des différences significatives entre les traitements. Les lettres a, b, c, d, e ont été utilisées pour décrire les différences significatives au seuil $\alpha = 5\%$ entre les divers paramètres à l'étude. L'intervalle de confiance (IC) présenté indique la limite de variation de la moyenne à un seuil de probabilité de 95 %.

¹ La notion libre de croître réfère ici au fait que le tiers supérieur de la cime soit libre de compétition (voir annexe 1).

3. RÉSULTATS

3.1. PORTRAIT DE LA RÉGÉNÉRATION APRÈS TRAITEMENT

Les figures 3 et 4 présentent la densité totale de tiges par hectare et la densité de tiges d'essences désirées pour les différentes années d'origine à l'étude. Tout comme l'inventaire avant traitement, seule les tiges ayant 2 cm et plus au DHP ont été retenues. Les figures indiquent que les densités dans les traitements témoins et tr1 sont deux fois plus élevées dans les bandes de 1997 que dans celles de 1988-1989 alors que les traitements de dégagement systématique sont équivalents dans les deux cas.

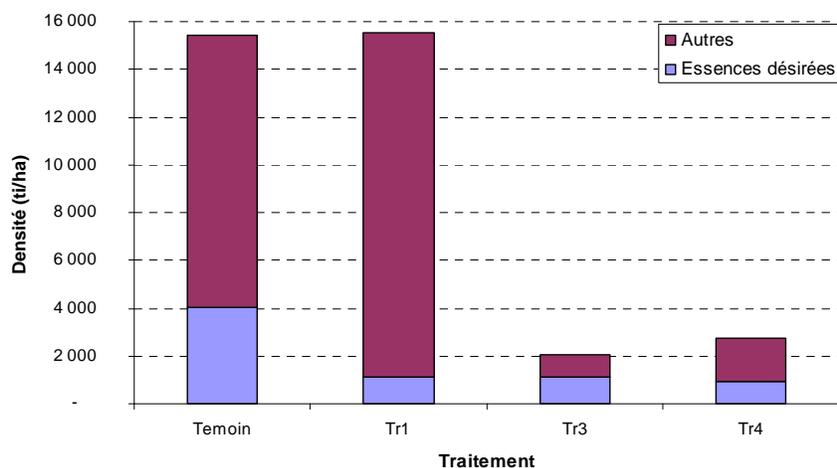


Figure 3. Densité moyenne par traitement pour l'année d'origine 1997

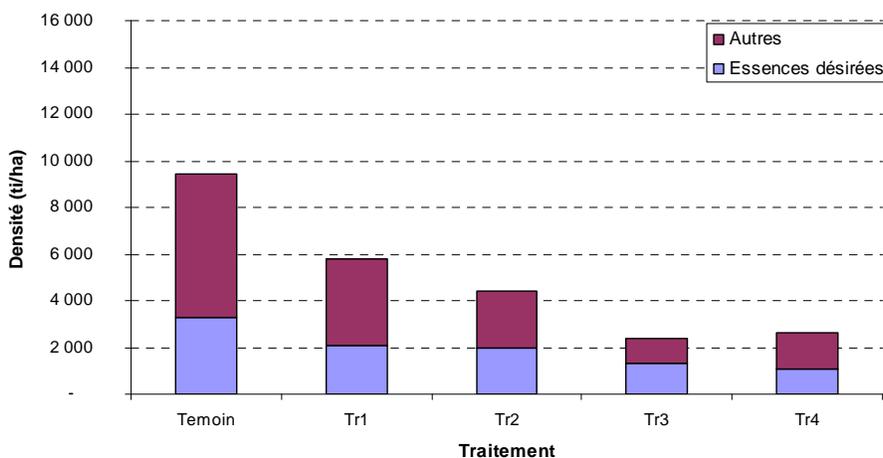


Figure 4. Densité moyenne par traitement pour les années d'origine 1988 et 1989

Le tableau 5 présente les densités moyennes après dégagement par essence et traitement (tiges/hectare) en fonction de l'année d'origine. Il indique également l'intervalle de confiance associé à chacune des essences. Les densités totales varient de 2 052 ti/ha pour le traitement 3 à 15 510 ti/ha pour le traitement 1. Les essences désirées varient de 951 ti/ha pour le traitement 4 à 4 003 ti/ha pour le témoin. Bien que le traitement de puits de lumière 1 ait mis en lumière 250 ti/ha, une densité notable d'érable rouge est encore recensée dans ce traitement.

Tableau 5. Densité moyenne (ti/ha) après dégagement par essence et traitement pour l'année d'origine 1997

Essences	Année d'origine : 1997							
	Témoin		Tr1		Tr3		Tr4	
	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±
BOJ	3 336	1 273	300	200	1 041	548	725	350
BOP	534	1 067	100	200	56	69	50	-
COC	-	-	-	-	-	-	-	-
EPB	-	-	-	-	40	61	25	50
EPR	133	133	-	-	-	-	-	-
ERE	934	1 042	1 701	2 602	46	92	325	150
ERP	67	133	1 301	2 201	50	57	75	50
ERR	5 270	2 926	9 907	3 402	424	307	1 151	-
ERS	133	133	700	1 401	26	53	175	150
HEG	334	667	200	400	13	26	-	-
PET	-	-	-	-	-	-	-	-
PRP	200	-	901	200	20	40	50	-
PRU	133	267	-	-	-	-	25	50
SAB	4 336	6 521	400	400	335	316	125	50
TAC	-	-	-	-	-	-	-	-
Total désirées	4 003	693	1 101	1 001	1 124	534	951	200
Total	15 410	3 404	15 510	2 602	2 052	914	2 727	50

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

Le tableau 6 est élaboré comme le tableau 5 à la différence qu'il présente les résultats pour les années d'origine de 1988 et 1989. Il indique que la densité la plus élevée a été observée dans le témoin, avec 9 406 ti/ha tandis que la densité la plus basse a été observée dans le traitement 3 (tr3), avec 2 413 ti/ha. La densité en espèces désirées varie de 1 051 ti/ha pour le traitement 4 à 3 269 ti/ha pour le témoin. Le témoin présente la densité la plus élevée en espèces désirées.

Tableau 6. Densité moyenne (ti/ha) après traitement par essence et traitement pour les années d'origine 1988 et 1989

Essences	Année d'origine : 1988 et 1989									
	Témoin		Tr1		Tr2		Tr3		Tr4	
	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±	Densité (ti/ha)	IC ±
BOJ	1 801	1 201	1 597	1 002	1 312	350	866	135	500	-
BOP	-	-	32	39	220	367	26	35	100	-
COC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EPB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EPR	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-
ERE	667	1 334	185	150	10	20	7	13	150	-
ERP	200	400	113	111	80	93	47	74	-	-
ERR	2 735	3 146	1 608	191	1 154	1 053	596	236	1 101	-
ERS	1 468	2 360	480	545	437	388	441	422	450	-
HEG	200	231	213	393	130	169	60	119	50	-
PET	-	-	134	267	30	60	7	13	-	-
PRP	1 134	934	326	186	590	395	162	123	-	-
PRU	-	-	-	-	20	25	-	-	-	-
SAB	1 201	1 618	1 118	1 262	462	486	202	103	200	-
TAC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total désirées	3 269	2 221	2 109	968	1 969	499	1 333	526	1 051	-
Total	9 406	1 601	5 805	1 493	4 446	1 336	2 413	1 037	2 652	-

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2. PORTRAIT DES TIGES D'AVENIR

Cette section traite des paramètres étudiés sur les tiges d'avenir. Les différentes variables sont présentées par bloc et traitement avec leurs moyennes par année d'origine. Les critères de diamètre à hauteur de poitrine (DHP), de hauteur (H), de hauteur sur le diamètre à hauteur de poitrine (H/DHP), de la largeur de cime (LC), de la superficie de la cime (SC), de proportion de hauteur sans branche, de pourcentage de cime vivante, de proportion de tiges d'avenir libres de croûte et de répartition des tiges utiles par classe de dégagement de la cime seront présentés. Les lettres a, b, c, d et e ont été utilisées pour indiquer des différences significatives à un seuil de probabilité de 95 %.

3.2.1. DHP moyen

Bien que le DHP des tiges d'avenir soit plus faible dans le bloc 1 que dans les autres blocs de l'année d'origine de 1997, il ne varie pas significativement entre les traitements (tableau 7). Le DHP moyen des tiges d'avenir est plus élevé dans les bandes de 1988 et 1989 que dans celles de 1997. Une moyenne variant de 5,2 à 6,0 a été observée dans les bandes de 1997 tandis que les moyennes se situent plutôt entre 8,6 et 9,1 dans les bandes de 1988 et 1989.

Tableau 7. DHP moyen (cm) des tiges d'avenir par bloc et traitement

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	4,9	6,4	5,4	8,2	9,8	7,7	----	----	5,6 ^a	0,9	8,6 ^b	1,3
Tr1	5,3	6,7	----	8,9	8,9	9,8	10,8	----	6,0 ^a	1,4	9,6 ^b	0,9
Tr2	----	----	----	10,4	9,7	8,9	7,4	8,1	----	----	8,9 ^b	1,1
Tr3	4,9	6,9	6,3	10,0	9,9	7,5	----	----	6,0 ^a	1,2	9,1 ^b	1,6
Tr4	4,1	6,2	----	----	----	----	9,1	----	5,2 ^a	2,1	9,1 ^b	----

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.2. Hauteur moyenne

Le tableau 8 indique la hauteur moyenne des tiges d'avenir par bloc et traitement. La hauteur moyenne ne varie pas significativement selon les traitements. À l'image du DHP, les hauteurs moyennes sont plus faibles dans le bloc 1 que dans les autres blocs de la même origine et sont plus élevées dans les bandes de 1988 et 1989.

Tableau 8. Hauteur moyenne (m) des tiges d'avenir selon le bloc et le traitement

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	6,4	7,8	7,1	11,2	12,2	11,3	---	---	7,1 ^a	0,8	11,6 ^b	0,6
Tr1	6,7	7,7	---	10,9	11,2	12,4	11,0	---	7,2 ^a	1,0	11,4 ^b	0,7
Tr2	---	---	---	12,1	12,6	11,3	10,3	10,9	---	----	11,4 ^b	0,8
Tr3	6,8	8,7	8,4	12,2	12,3	10,1	---	---	8,0 ^a	1,2	11,5 ^b	1,4
Tr4	6,0	7,8	---	---	---	---	11,3	---	6,9 ^a	1,8	11,3 ^b	----

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.3. Ratio moyen de la hauteur (H) sur le DHP

Le ratio H/DHP est lié à la hiérarchisation sociale des tiges (Ouellet et Zarnicovan 1988). Un ratio élevé traduit un déséquilibre entre la croissance en hauteur et la croissance en diamètre. Les arbres soumis à une forte compétition sont de forme plus allongée et possèdent un ratio H/DHP plus élevé (Forget et Doyon 2002). À l’opposé, les tiges libres de croître sont caractérisées par une croissance en diamètre plus élevée et un rapport H/DHP plus faible (Forget et Doyon 2002).

Le ratio entre la hauteur totale et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ne varie pas significativement entre les traitements de la bande de 1997 (tableau 9). Cependant, une différence significative a été observée entre le témoin et le traitement 1 de l’année d’origine de 1988. Les autres comparaisons ne se sont pas révélées significatives et les ratios H/DHP d’une année d’origine à l’autre ne sont pas significativement différents l’un de l’autre.

Tableau 9. Ratio H/DHP des tiges d’avenir selon le bloc et le traitement

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	1,36	1,25	1,42	1,41	1,33	1,51	---	---	1,34 ^{ab}	0,10	1,42 ^b	0,10
Tr1	1,31	1,24	---	1,28	1,32	1,33	1,08	---	1,28 ^{ab}	0,07	1,25 ^a	0,12
Tr2	---	---	---	1,25	1,33	1,31	1,42	1,40	---	---	1,34 ^{ab}	0,06
Tr3	1,46	1,35	1,36	1,25	1,32	1,40	---	---	1,39 ^{ab}	0,07	1,32 ^{ab}	0,09
Tr4	1,50	1,32	---	---	---	---	1,34	---	1,41 ^{ab}	0,18	1,34 ^{ab}	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.4. Largeur moyenne des cimes des tiges d’avenir

Bien que la largeur de cime des tiges d’avenir varie pour un même traitement, aucune différence significative n’a été observée entre les traitements d’une même année d’origine (tableau 10). À l’exception du traitement 1 qui présente des arbres études ayant une même largeur de cime pour l’année 1997 et les années 1988 et 1989, les arbres études de 1988 et 1989 présentent des cimes significativement plus larges que celles de 1997.

Tableau 10. Largeur moyenne (cm) des cimes de tiges d'avenir par bloc, traitement et année d'origine

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	163	177	176	242	258	192	---	---	172 ^a	9	231 ^{bcd}	40
Tr1	216	233	297	214	269	284	---	---	225 ^{abcd}	17	266 ^d	37
Tr2	---	---	---	285	277	268	230	210	---	---	254 ^d	29
Tr3	149	213	219	232	255	244	---	---	194 ^{ab}	45	244 ^{cd}	13
Tr4	190	209	---	---	---	---	275	---	200 ^{abc}	19	275 ^d	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.5. Superficie moyenne des cimes des tiges d'avenir

La superficie moyenne ($\Pi \times \text{rayon de la cime}^2$) des cimes des tiges d'avenir est présentée au tableau 11. En moyenne, elle varie de 2,56 m² à 4,22 m² pour 1997 et de 4,59 m² à 6,56 m² pour 1988 et 1989. La superficie moyenne des cimes est légèrement inférieure dans les témoins, aucune différence notable n'a été observée entre les traitements. Seules les années d'origine présentent des différences, à l'exception de la comparaison avec le traitement 1. Les tiges études des traitements 1 et 4 de 1988 et 1989 présentent des superficies de cimes plus grandes que celles de 1997.

Tableau 11. Superficie moyenne (m²) des cimes des tiges d'avenir par bloc, traitement et année d'origine

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	2,16	2,68	2,84	4,88	5,72	3,17	---	---	2,56 ^a	0,41	4,59 ^{bc}	1,50
Tr1	3,84	4,59	---	3,69	6,12	6,62	7,74	---	4,22 ^{abc}	0,75	6,04 ^c	1,71
Tr2	---	---	---	6,69	6,25	5,97	4,37	3,66	---	---	5,39 ^c	1,17
Tr3	1,93	3,78	3,81	4,33	5,34	5,04	---	---	3,17 ^{ab}	1,24	4,90 ^{bc}	0,60
Tr4	2,88	3,59	---	---	---	---	6,56	---	3,24 ^{ab}	0,71	6,56 ^c	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.6. Proportion de hauteur de tige sans branche

Afin de pouvoir suivre la qualité des tiges dans le temps, une mesure a été prise pour la hauteur de la première branche vivante. Cette mesure permettra d'avoir une idée de la longueur de la première bille claire de nœuds, mais également de suivre la formation de branches adventives.

Pour tenir compte des différences de hauteur totale entre les blocs, le ratio entre la hauteur de la première branche sur la hauteur totale de la tige a été utilisé pour comparer les traitements et les essences. Ceci représente en fait le pourcentage du tronc qui n'a pas de branches. Les valeurs moyennes des ratios sont présentées au tableau 12. Aucune différence significative n'a été observée entre les divers traitements ou les années d'origine.

Tableau 12. Proportion de hauteur sans branche des tiges d'avenir, selon le bloc, le traitement et l'année d'origine

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	29 %	26 %	24 %	33 %	22 %	35 %	---	---	26 % ^a	3 %	30 % ^a	8 %
Tr1	22 %	26 %	---	25 %	23 %	35 %	28 %	---	24 % ^a	4 %	28 % ^a	5 %
Tr2	---	---	---	35 %	38 %	37 %	26 %	21 %	---	---	31 % ^a	7 %
Tr3	31 %	30 %	32 %	26 %	32 %	37 %	---	---	31 % ^a	1 %	32 % ^a	6 %
Tr4	26 %	33 %	---	---	---	---	32 %	---	30 % ^a	7 %	32 % ^a	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.7. Pourcentage de cime vivante

Le pourcentage de cime vivante a été mesuré de la façon suivante :

$$\frac{100 * (\text{Hauteur totale} - \text{Hauteur de la base de la cime})}{\text{Hauteur totale}}$$

Le tableau 13 présente les moyennes obtenues pour chaque traitement. Le pourcentage de cime vivante varie entre 49 et 58 % pour les éclaircies par puits de lumière (Tr1 et Tr2) et entre 47 et 54 % pour les dégagements à l'européenne (Tr3 et Tr4). Bien que la proportion de cime vivante dans le traitement 1 de 1997 soit légèrement plus élevée que celle observée dans les autres années ou autres traitements, tout comme la proportion de hauteur sans branche, aucune différence notable n'a été observée entre les divers traitements ou les années d'origine.

Tableau 13. Pourcentage moyen de cime vivante des tiges d'avenir selon le bloc, le traitement et l'année d'origine

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	48 %	50 %	52 %	49 %	56 %	47 %	---	---	50 % ^{ab}	2 %	51 % ^{ab}	5 %
Tr1	58 %	58 %	---	51 %	52 %	52 %	57 %	---	58 % ^c	0 %	53 % ^{bc}	3 %
Tr2	---	---	---	47 %	52 %	45 %	46 %	54 %	---	---	49 % ^{ab}	4 %
Tr3	44 %	49 %	51 %	45 %	45 %	51 %	---	---	48 % ^{ab}	4 %	47 % ^a	4 %
Tr4	56 %	52 %	---	---	---	---	49 %	---	54 % ^{bc}	4 %	49 % ^{ab}	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.8. Pourcentage de tiges libres de croître

Le tableau 14 présente le pourcentage de tiges libres de croître par bloc et par traitement. Une très faible proportion de tiges est considérée comme libre de croître dans les peuplements témoins. Peu importe l'année d'origine, les traitements de puits de lumière présentent des proportions similaires de tiges d'avenir libres de croître. Les tiges d'avenir de 1988 et 1989 sont en moyenne moins libres de croître que les tiges d'avenir de 1997. Les traitements 3 et 4 se distinguent des traitements de puits de lumière 1 et 2 en présentant des proportions plus faibles de tiges libres de croître. La proportion des tiges libres de croître est très variable dans les traitements 1, 2 et 3.

Tableau 14. Proportion des tiges d'avenir libres de croître après dégagement par bloc, traitement et année d'origine

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
TEM	0 %	0 %	0 %	0 %	8 %	0 %	---	---	0 % ^a	0 %	3 % ^a	5 %
Tr1	83 %	92 %	---	17 %	42 %	75 %	67 %	---	88 % ^d	9 %	50 % ^c	26 %
Tr2	---	---	---	42 %	50 %	25 %	33 %	25 %	---	---	35 % ^{bc}	10 %
Tr3	92 %	17 %	42 %	33 %	0 %	17 %	---	---	50 % ^c	44 %	17 % ^{ab}	19 %
Tr4	17 %	8 %	---	---	---	---	8 %	---	13 % ^{ab}	9 %	8 % ^{abc}	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.2.9. Pourcentage moyen de dégagement des cimes

Le pourcentage de dégagement des cimes a été mesuré de la façon suivante :

$$\frac{100 * (\text{Largeur ouverture} - \text{largeur cime})}{\text{Largeur ouverture}}$$

Le tableau 15 présente les moyennes obtenues par classe de dégagement des cimes pour l'année d'origine 1997. Il indique que les témoins ont la plupart de leurs tiges d'avenir dans la classe de dégagement de 0-20 et que les témoins ont un dégagement de la cime moins élevé que celui des traitements. Le traitement de puits de lumière 1 et les traitements de dégagement systématique 3 et 4 sont dominés par la classe de dégagement de 61-80. Aucune différence significative n'est observée entre les traitements.

Tableau 15. Répartition des tiges utiles par classe de dégagement de la cime et traitement pour l'année d'origine 1997

Traitement	Année d'origine 1997										Moyenne	IC ±
	Classe de dégagement de la cime											
	0-20	IC ±	21-40	IC ±	41-60	IC ±	61-80	IC ±	80 +	IC ±		
TEM	50 %	10 %	25 %	17 %	31 %	20 %	11 %	22 %	0 %	---	28 %^a	13 %
Tr1	0 %	---	8 %	17 %	13 %	25 %	83 %	17 %	0 %	---	64 %^b	7 %
Tr2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tr3	6 %	11 %	11 %	11 %	31 %	15 %	53 %	6 %	8 %	17 %	62 %^b	10 %
Tr4	17 %	0 %	25 %	17 %	29 %	8 %	42 %	17 %	0 %	---	51 %^b	5 %

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

Le tableau 16 présente les moyennes obtenues par classe de dégagement des cimes pour les années d'origine 1988 et 1989. Tout comme le tableau 15, il indique que les témoins présentent la plupart de leurs tiges d'avenir dans la classe de dégagement de 0-20 et que les témoins ont un dégagement de la cime moins élevé que celui des traitements. Le traitement de puits de lumière 1 a la plupart de ses tiges dans la classe de dégagement de 61-80 tandis que le traitement de puits de lumière 2 et les traitements de dégagement systématiques 3 et 4 ont la plupart de leurs tiges dans la classe de dégagement de 41-60. Le traitement de puits de lumière 1 (tr1) a tendance à présenter une proportion de dégagement des cimes plus élevée que celle des autres traitements.

Tableau 16. Répartition des tiges utiles par classe de dégagement de la cime et traitement pour les années d'origine 1988 et 1989

Traitement	Années d'origine 1988-1989										Moyenne	IC ±
	Classe de dégagement de la cime											
	0-20	IC ±	21-40	IC ±	41-60	IC ±	61-80	IC ±	80 +	IC ±		
TEM	67 %	25 %	28 %	15 %	6 %	11 %	0 %	---	0 %	---	14 %^a	7 %
Tr1	8 %	10 %	17 %	---	33 %	15 %	58 %	12 %	4 %	8 %	58 %^c	7 %
Tr2	7 %	8 %	23 %	8 %	52 %	16 %	35 %	11 %	3 %	7 %	48 %^{bc}	6 %
Tr3	28 %	11 %	36 %	15 %	44 %	24 %	14 %	15 %	6 %	11 %	38 %^b	5 %
Tr4	17 %	---	25 %	---	58 %	---	17 %	---	0 %	---	44 %^{bc}	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

3.3. ÉTUDE DE PRODUCTIVITÉ

Le temps de réalisation des travaux a été mesuré en heure/personne par hectare afin de comparer les méthodes de travail en termes de productivité. Le temps présenté au tableau 17 inclut le temps de martelage nécessaire pour la réalisation des traitements de puits de lumière 1 et 2. En moyenne, 5,9 et 6,7 heures-personne/hectare ont été respectivement nécessaires pour le martelage des traitements 1 et 2.

Les traitements 3 et 4 indiquent une très grande variabilité des données en présentant des intervalles de confiance de 12,6 et 15,6 heures-personne/hectare. Des contraintes de terrain comme des obstacles et la densité du couvert sont souvent à l'origine de cette variabilité observée. Pour les années d'origine 1988 et 1989, les temps effectifs sont semblables d'un traitement à l'autre, passant de 21,1 heures-personne/hectare pour le traitement 1 à 24,1 pour le traitement 3. Généralement, en tenant compte du temps de martelage pour les traitements de puits de lumière 1 et 2, le temps requis pour effectuer les travaux d'un traitement à l'autre est semblable.

Tableau 17. Moyenne du temps effectif requis pour la réalisation des travaux de dégagement (heures-personne/hectare) par bloc, traitement et année d'origine

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
Tr1	28,3	29,9	---	22,9	25,1	19,6	21,6	---	29,1 ^a	1,6	22,3 ^a	2,3
Tr2	---	---	---	19,9	22,5	24,9	17,0	21,5	---	---	21,1 ^a	2,6
Tr3	10,3	28,3	30,0	18,6	26,2	27,5	---	---	22,9 ^a	12,6	24,1 ^a	5,6
Tr4	38,7	23,1	---	---	---	---	23,5	---	30,9 ^a	15,6	23,5 ^a	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

Bien que les différences ne soient pas toutes significatives, le temps requis pour exécuter les travaux de puits de lumière est généralement moins long que celui requis pour les travaux de dégagement systématique (tableau 18). Le temps requis pour effectuer le dégagement systématique du traitement 4 pour l'année d'origine de 1997 a été beaucoup plus long dans le bloc 1 que dans les autres blocs. La densité du peuplement et les contraintes de terrain comme la pierrosité du milieu ont été identifiées comme étant des facteurs qui ont ralenti les travailleurs.

Tableau 18. Moyenne du temps de dégagement requis pour la réalisation des travaux de dégagement (heures-personne/hectare) par bloc, traitement et année d'origine

Traitement	Bloc								Année d'origine			
									1997		1988 et 1989	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne	IC ±	Moyenne	IC ±
Tr1	22,4	24,0	---	17,0	19,1	13,7	15,7	---	23,2 ^{abc}	1,6	16,4 ^{ab}	2,3
Tr2	---	---	---	13,2	15,8	18,2	10,3	14,8	---	---	14,4 ^a	2,6
Tr3	10,3	28,3	30,0	18,6	26,2	27,5	---	---	22,9 ^{bc}	12,6	24,1 ^{bc}	5,6
Tr4	38,7	23,1	---	---	---	---	23,5	---	30,9 ^c	15,6	23,5 ^{abc}	---

* Voir tableau 2 pour description des traitements.

4. DISCUSSION

4.1. VALIDATION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Pour être en mesure de suivre le dispositif dans le temps, afin d'observer les différences au niveau des traitements, il est nécessaire que le dispositif expérimental soit valide. C'est pourquoi nous avons comparé le DHP moyen, la hauteur moyenne, le ratio moyen de la hauteur sur le DHP, la largeur de cime moyenne, la superficie moyenne de la cime et le ratio de longueur de tige sans branche entre les témoins et les traitements.

Immédiatement après dégagement, pour les critères de hauteur moyenne et de diamètre moyen, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements et le témoin. Seulement des différences par année d'origine ont été observées. Le ratio H/DHP présente des moyennes équivalentes par traitement et par année d'origine. Le même constat est applicable à la largeur de cime et à la superficie de cime même si la superficie de la cime des arbres d'avenir dans le traitement 1 a tendance à être légèrement plus élevée que celles observées dans les autres traitements. Il sera important de tenir compte de cet aspect et des années d'origine pour effectuer les prochains suivis. Les points de départ de chacun des paramètres étudiés permettront de tracer leur évolution dans le temps.

Objectif 1 : Validation du dispositif expérimental

Les effets du dégagement sur les variables descriptives des tiges d'avenir pourront donc être mesurés dans le temps et analysés en fonction du traitement. Il sera important de tenir compte des points de départ de chacun des paramètres lors des analyses subséquentes. L'année d'origine sera également un facteur très important, surtout pour les diamètres et hauteurs.

4.2. VALIDATION DE LA PRESCRIPTION SYLVICOLE

Les données de l'inventaire réalisé après dégagement ne nous permettent pas directement de valider la réalisation de la prescription sylvicole pour l'ensemble des traitements puisque les données recueillies lors de l'inventaire après traitement n'ont pas tenu compte de la densité des tiges martelées positivement. Cependant, un suivi serré des travailleurs lors des opérations de dégagement par des membres de l'équipe du CERFO a permis de s'assurer que le travail était effectué en respectant les consignes et que chacun des arbres martelés positivement dans les puits de lumière a été dégagé selon la méthode prescrite au départ.

Objectif 2 : Validation de la réalisation de la prescription sylvicole

La dimension des placettes d'inventaire des traitements par puits de lumière (Tr1 et Tr2) permet de mesurer la densité de tiges, mais elle ne permet pas de mesurer la densité des tiges martelées positivement. Il faut comprendre que, dans une éclaircie par puits de lumière, seuls les compétiteurs des tiges d'avenir sont coupés; les autres tiges sont laissées sur pied et font partie du peuplement. De plus, l'espacement entre deux tiges d'avenir est élevé (7 m pour le traitement 1 et 5 m pour le traitement 2). La densité sur le terrain pour ces traitements peut donc être très variable : densité élevée en l'absence de tiges d'avenir, densité faible en présence de tiges d'avenir. Les rayons des placettes d'inventaire ont été modifiés sur le terrain (voir tableau 4) pour permettre de réaliser l'inventaire. Pour le traitement 3, une densité moyenne de 2 052 ti/ha et 2 413 ti/ha pour les années 1988-1989 et 1997 respectivement a été observée (tableaux 5 et 6). Ces densités sont supérieures à celles prescrites lors de l'exécution, ce qui peut se traduire en un espacement trop étroit entre les tiges. Cependant, si l'on tient seulement compte de la densité en espèces désirées, qui est respectivement de 1 333 ti/ha et 1 124 ti/ha pour les années 1988-1989 et 1997, on peut dire que le traitement 3 respecte la prescription. Pour le traitement 4, les densités suggérées au tableau 3 concordent parfaitement avec l'exécution et on peut dire que la prescription a été respectée.

Objectif 3 : Dégagement des cimes

L'intervention sylvicole a eu un effet positif sur le dégagement des cimes. Le pourcentage de dégagement des cimes est plus élevé pour les traitements que pour les témoins. Par contre, on ne peut déceler de différence entre le traitement par puits de lumière et le dégagement systématique. Le traitement 1 correspond à celui où le rayon de dégagement était le plus important (1,5 m) et ceci semble se traduire par un pourcentage de dégagement des cimes plus élevé (tableaux 15 et 16). Selon certains auteurs, un rayon de dégagement de 1,5 m permettrait d'ailleurs d'augmenter de 45 % la croissance en diamètre (Burns et Honkala 2010).

À première vue, le pourcentage de dégagement moyen des cimes peut sembler élevé (tableaux 16 et 17). Voorhis *et al.* (1990) avaient conclu qu'un coefficient d'espacement (distance entre deux troncs divisée par la hauteur totale de la tige) de 50 % entraînait une réaction négative au niveau des cimes. En effet, le bouleau jaune a tendance à produire des branches adventives suite à une ouverture importante du couvert (Anderson *et al.* 1990, OMNR 1998). Toutefois, pour les puits de lumière, dans le cadre de cette étude, seules les tiges supérieures au 2/3 de la hauteur totale ont été coupées. Ainsi, les tiges non-nuisibles ont été laissées sur pied afin de conserver une pression latérale sur la tige d'avenir et d'inhiber le développement des branches tout en stimulant la croissance en hauteur. Le suivi quinquennal de la longueur de la cime vivante et de la hauteur de la première branche vivante permettra d'étudier l'effet du traitement prescrit sur le dégagement des cimes et sur la formation de branches adventives.

4.3. LIBRE CROISSANCE DES TIGES D'AVENIR

La proportion des tiges d'avenir libres de croître est supérieure dans les traitements que celle observée dans les témoins. Cependant, elle est très variable à l'intérieur des traitements (tableau 15). La proportion de tiges libres de croître est généralement plus grande dans les dégagements par puits de lumière (Tr1 et Tr2) que dans les dégagements à l'européenne (Tr3 et Tr4).

Objectif 4 : Liberté de croissance des tiges

À première vue, les dégagements systématiques effectués à l'automne 2009 n'ont pas permis de dégager de façon satisfaisante la régénération et de libérer les tiges d'avenir de la compétition alors que les dégagements par puits de lumière ont semblé plus efficaces (tableau 14). Cependant, il faut prendre en compte que la méthode d'évaluation de la libre croissance était basée sur un critère du 2/3 de la cime alors que le travailleur tenait plutôt compte de l'espacement entre les tiges lorsqu'il réalisait le travail. Il semble que ce critère soit conservateur pour évaluer la libre croissance et que les cimes soient suffisamment dégagées pour qu'il y ait, malgré tout, un effet positif sur la croissance du bouleau jaune, tout en évitant la formation de branches adventives.

4.4. PRÉSENCE DES ESSENCES DÉSIRÉES

Il est difficile de savoir si les densités en essences désirées dégagées visées ont été atteintes dans les traitements de puits de lumière puisque la densité de tiges martelées positivement n'est pas connue. L'objectif pour les traitements de puits de lumière 1 et 2 était de conserver un minimum de 250 tiges (Tr1) et de 400 tiges (Tr2) d'essences désirées dégagées. Pour les dégagements systématiques 3 et 4, l'objectif était de dégager un maximum de tiges d'essences désirées.

Objectif 5 : Essences désirées

Les auteurs ne s'entendent pas sur le nombre de tiges à favoriser lors des opérations de dégagement. Certains auteurs suggèrent de conserver 400 tiges/hectare de bouleau jaune (Erdmann *et al.* 1981). Pour minimiser les investissements reliés au dégagement, tout en prévoyant les pertes dues au chablis ou à la neige lourde, certains suggèrent de maintenir jusqu'à 3 fois la densité finale visée à maturité (Fortin 2007). Seymour (1994) ne recommande pas le dégagement dans les peuplements de feuillus étant donné l'impact négatif que le dégagement peut avoir sur la qualité des tiges. Il suggère plutôt de laisser le peuplement se développer selon sa stratification naturelle. Les sylviculteurs européens proposent, quant à eux, de garder les peuplements très denses en jeune âge pour favoriser l'élitage naturel et la croissance en hauteur (Schütz 1990, Lanier 1994).

Le broutage par les cervidés étant un facteur de risque important pour la survie du bouleau jaune (Élie *et al.* 2009), il peut être profitable de garder une densité élevée de tiges dans le peuplement. D'ailleurs, une recherche a démontré qu'en présence d'une population élevée de cervidés, l'utilisation de l'approche de dégagement systématique peut donner des résultats intéressants en termes de croissance diamétrale tout en maximisant la qualité des tiges (Bouffard *et al.* 2004).

La densité en essences désirées conservées dans les différents traitements permettra de documenter son effet sur le développement des tiges et de quantifier son impact sur les différents paramètres étudiés.

4.5. PORTRAIT DE LA COMPÉTITION ET DE LA PRÉSENCE D'ESSENCES NON DÉSIRÉES

Peu importe l'année d'origine, la densité en essences non désirées est beaucoup plus élevée dans les traitements de puits de lumière que dans les traitements systématiques (tableaux 5 et 6). Le traitement systématique 3 compte moins d'espèces non désirées que le traitement 4. Il semble que la marge de manœuvre donnée aux travailleurs pour sélectionner une tige d'avenir (2 m vs 3 m) leur permette de mieux répartir les tiges d'essences désirées dans le traitement.

La présence du hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* [Ehrh.]) n'est pas inquiétante, d'autant plus qu'il est absent dans une majorité de secteurs. Les principales espèces compétitrices recensées sont l'érable à rouge, l'érable à épis, l'érable de Pennsylvanie, le cerisier de Pennsylvanie et le sapin baumier. Les traitements témoins, 1 et 2 ne se distinguent pas entre eux car ils présentent autant de tiges d'essences compétitrices les uns que les autres. Par contre, ils présentent beaucoup plus de tiges d'essences compétitrices que les traitements systématiques 3 et 4. Le traitement 3 a tendance à comporter moins de tiges d'essences compétitrice que le traitement 4.

Objectif 6 : Portrait de la compétition

La présence élevée de sapin baumier dans certains secteurs n'est probablement pas problématique. Certains auteurs suggèrent d'ailleurs de ne pas abattre les tiges de sapin puisque leur surface de houppier n'est pas jugée embarrassante (Fortin 2007).

Les interventions de dégagement systématique ont permis de diminuer la densité de l'érable rouge et des autres espèces de compétition (tableau 1 vs 5 et 6). Par contre, l'érable rouge peut compter sur une production abondante de rejets de souche lorsque la tige est coupée et sa présence peut demeurer problématique pour l'année d'origine de 1997.

L'érable à épis a une très grande capacité à se reproduire par rejets de souche, ce qui complique de beaucoup son contrôle (Vincent 1965). Ainsi, la coupe des tiges principales peut amener une augmentation temporaire du nombre de tiges (Baskerville 1961). Par contre, la croissance en hauteur de cette essence est limitée (Lei et Lechowicz 1990). Sa forme arbustive ne devrait pas causer trop de dommages aux gaules de bouleau jaune.

4.6. PRODUCTIVITÉ

Une première étude sur le rendement des travailleurs selon le traitement de dégagement réalisé montre que les traitements par puits de lumière nécessitent moins d'heures par hectare que les dégagements systématiques. Cependant, si l'on tient compte du temps requis pour réaliser le martelage dans les travaux de dégagement par puits de lumière, le temps effectif pour réaliser les travaux de dégagement systématique est le même que celui du dégagement par puits de lumière. De plus, aucune différence significative n'a été observée entre les bandes de 1997 et celles de 1988-1989.

5. RECOMMANDATIONS POUR LE SUIVI

5.1. QUALITÉ DES TIGES

Le dispositif permettra de faire un suivi de la qualité des tiges, principalement au niveau de la longueur de tige sans branches. Des interventions d'éclaircies précoces présentent par ailleurs l'avantage incontestable de profiter au mieux de l'effet de sélection des arbres en fonction des propriétés de la tige (Schütz 1993). Une attention toute particulière devra être accordée à la formation de branches sous la cime vivante. Dans son développement, le bouleau jaune possède une propension particulière à développer de nombreux bourgeons adventifs lorsqu'il est mis en contact avec la lumière, ceci pouvant affecter la qualité du bois des produits transformés.

5.2. SUIVI

Pour étudier les effets des différentes densités de dégagement systématique et de dégagement par puits de lumière sur les tiges d'avenir, il est recommandé de réaliser un suivi dans un intervalle de cinq ans. Cet inventaire permettra de suivre l'évolution de chacun des paramètres et de vérifier l'effet du traitement sur ceux-ci. Le contrôle de la compétition est essentiel au maintien du bouleau jaune dans les peuplements puisque les sujets en position hiérarchique inférieure peuvent rapidement être éliminés (Ouellet et Zarnicovan 1988). Un suivi au niveau de la prédation par les cervidés devra aussi être réalisé.

CONCLUSION

Le bouleau jaune est une essence de très grande qualité lorsqu'elle atteint des dimensions propices au déroulage. Le sciage du bouleau jaune présente également un intérêt majeur. Ainsi, les objectifs de production visés doivent être très élevés en qualité. L'éducation des tiges constitue une priorité dans un contexte d'intensification. Plusieurs rapports et remesurages de dispositifs expérimentaux, notamment en Estrie et en Mauricie, signalent la disparition de nombreux bouleaux jaunes au profit de d'autres espèces intolérantes lorsqu'ils ne sont pas dégagés.

L'intervention sylvicole a permis de dégager de façon satisfaisante les cimes des tiges d'avenir de bouleau jaune et de limiter les effets négatifs de la compétition. Bien que la proportion de tiges d'avenir libres de croître ne soit pas élevée, il est probable que les cimes soient suffisamment dégagées pour qu'il y ait un effet positif sur la croissance du bouleau jaune, tout en évitant la formation de branches adventives.

L'étude réalisée sur le rendement des travailleurs montre que les traitements par puits de lumière nécessitent moins d'heures par hectare que les dégagements systématiques. Cependant, en tenant compte du temps requis pour réaliser le martelage dans les travaux de dégagement par puits de lumière, le temps effectif pour réaliser les travaux de dégagement systématique est le même que celui du dégagement par puits de lumière.

RÉFÉRENCES

- Althen, F.W. von, J.E. Wood, E.G. Mitchell et K. Hoback. 1994.** *Effects of Different Intensities of Yellow Birch and Sugar maple Crop Tree Release*. Northern Forestry Program, Ministry of Natural Resources. 16 p.
- Anderson, H.W., B.D. Batchelor, C.M. Corbett, A.S. Corlett, D.T. Deugo, C.F. Husk, et W.R. Wilson. 1990.** *Effects of different intensities of Yellow birch and Sugar maple crop tree release*. Forest Resources group, et OMNR. 178 p.
- Baskerville, G.L. 1961.** *Response of young fir and spruce to release from shrub competition*. Dep. Forestry, Canada, Forest Research Branch Tech. Note No. 98.
- Beaudet, M. et C. Messier. 1997.** *Le bouleau jaune en peuplements feuillus et mixtes : autécologie, dynamique forestière et pratiques sylvicoles*. Groupe de recherche en écologie forestière (Gref), Université du Québec à Montréal, 55 p.
- Blouin, D., G. Lessard et B. Ménard. 1999.** *Suivi de travaux de dégagement de la régénération naturelle de bouleau jaune dans une érablière à bouleau jaune de l'Outaouais*. CERFO. Rapport 99-08. 63 p.
- Blouin, D., L. Vachon, P. Bournival et G. Lessard. 2009.** *Comparaison de méthodes d'éducation de jeunes peuplements feuillus favorisant le bouleau jaune – Portneuf, Secteur Lac Blanc*. CERFO. Rapport 2009-13, 15 p.
- Bouffard, D., F. Lorenzetti et P. Nolet. 2004.** *Herbivorie et croissance après diverses intensités de dégagement chez de jeunes gaules de bouleau jaune : résultats préliminaires après 2 saisons de croissance*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF), Ripon, 22 p.
- Burns, R.M. et B.H. Honkala. 2009.** *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. [En ligne], http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/table_of_contents.htm (Page consultée le 22 mars 2010).
- Crcha, J. et F. Trottier 1991.** *Guide de traitements sylvicoles - Les feuillus tolérants*. Service des techniques d'intervention forestière, Ministère des Forêts: 55 p.
- Elie, J-G., J-C. Ruel et J-M. Lussier. 2009.** *Effect of Browsing, Seedbed, and Composition on the Development of Yellow Birch Seedlings in High-Graded Stands*. North. J. Appl. For. **26** (3) : 99-105.
- Erdmann, G.G., R.M. Godman et R.R. Oberg. 1975.** *Crown release accelerate diameter growth and crown development of yellow birch sapling*. USDA Forest Service, North Central forest experiment station. Rapport NC-117. 9 p.
- Erdmann, G.G., R.M. Peterson et R.M. Godman. 1980.** *Cleaning yellow birch seedling stands to increase survival, growth and crown development*. Can. J. For. Res. **11** :62-68.
- Forget, É. et F. Doyon.** *Guide de classification des peuplements feuillus selon leur potentiel de réponse à l'éclaircie précommerciale*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF), Ripon. 25 p.
- Fortin, M. 2007.** *Expérimentation de détournage d'arbres objectifs situés dans des peuplements dégradés issus de CDL ayant subi une CMCD récente*. Coopérative forestière des Hautes-Laurentides (CFHL). 30 p.

- Guillemette, F., P. Laurent, S. Meunier et J. Hamel. 2009.** *Protocole de mesures après coupe (EPC) des arbres-études dans le dispositif du CERFO à St-Ubalde - Sept. 2009.* Direction de la recherche forestière, MRNF, Québec. 14 p.
- Lanier, L. 1994.** *Précis de sylviculture.* École Nationale du génie rural, des eaux et des forêts (2^e éd). 477 p.
- Lees, J.C. 1995.** *La croissance, le degré de ramification et les rejets de souches des gaules de feuillus septentrionaux après espacement.* Service canadien des forêts - région des Maritimes. Rapport d'information M-X-193F.
- Lei, T.T. et M.J. Lechowicz. 1990.** *Shade adaptation and shade tolerance in saplings of three Acer species from eastern North America.* *Oecologia.* **84** : 224-2248.
- Lessard, G. et D. Blouin. 1997.** *L'éducation du bouleau jaune ? Une stratégie à revoir.* CERFO. Mémoire. 10 p.
- MRNF. 2008.** *Instructions relatives à l'application de l'arrêté ministériel sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice financier 2008-2009.* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec. 141 p.
- Nyland, R.D., A.L. Bashant, K.K. Bohn, et J.M. Verostek. 2006.** *Interference to hardwood regeneration in northeastern North America: Controlling effects of American beech, striped maple, and hobblebush.* *North. J. Appl. For.* **23**(2): 122-132.
- OMNR. 1998.** *A silvicultural guide for the Great Lakes-St. Lawrence conifer forest in Ontario.* Ont. Min. Nat. Resour. Queen's Printer for Ontario. Toronto. 424 p.
- Ouellet, D. et R. Zarnicovan. 1988.** *Cultural treatment of young yellow birch (Betula alleghaniensis Britton) stands : tree classification and stand structure.* *Can. J. For. Res.* **18** : 1581-1586.
- Ouellet, D. et R. Zarnicovan. 1990.** *La conduite des jeunes peuplements de bouleaux jaunes (Betula alleghaniensis Britton).* L'Aubelle, Février 1990 : 7-9.
- Robitaille, A. et J.P. Saucier. 1998.** *Paysages régionaux du Québec méridional.* Les publications du Québec, Québec.
- Robitaille, L., G. Sheedy et Y. Richard. 1990.** *Effets de l'éclaircie précommerciale et de la fertilisation sur un gaulis de 10 ans à dominance de bouleau jaune.* *For. Chron.* **66** : 487-493.
- Schütz, J.-P. 1990.** *Sylviculture 1 : Principes d'éducation des forêts. Comment gérer l'environnement.* Lauzanne, Suisse, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Vincent, A.B. 1965.** *Growth Habits of mountain maple in the Ontario clay belt.* *For. Chron.* **41** (3) : 330-344.
- Voorhis, N.G. 1990.** *Precommercial crop-tree thinning in a mixed northern hardwood stand.* United States Department of Agriculture. 4 p.
- Wilhelm, G.J., M. Letocart et P. de Wouters. 2005.** *Itinéraire sylvicole : Une production de haute qualité à couvert continu et à moindre coût.* *Silva Belgica* 112-2. 7 p.

ANNEXE 1. DÉFINITION – LIBRE DE CROÎTRE

La notion « libre de croître » permet de déterminer les besoins de dégagement d'une tige.

Définition :

Libre de croître : Caractéristiques environnementales favorables au développement d'une tige utile.

Non libre de croître : Lorsqu'une partie d'une tige nuisible d'une essence différente que celle de la tige utile est présente dans un cône de 45° à partir du 2/3 de la hauteur totale de la tige utile (figure 1).

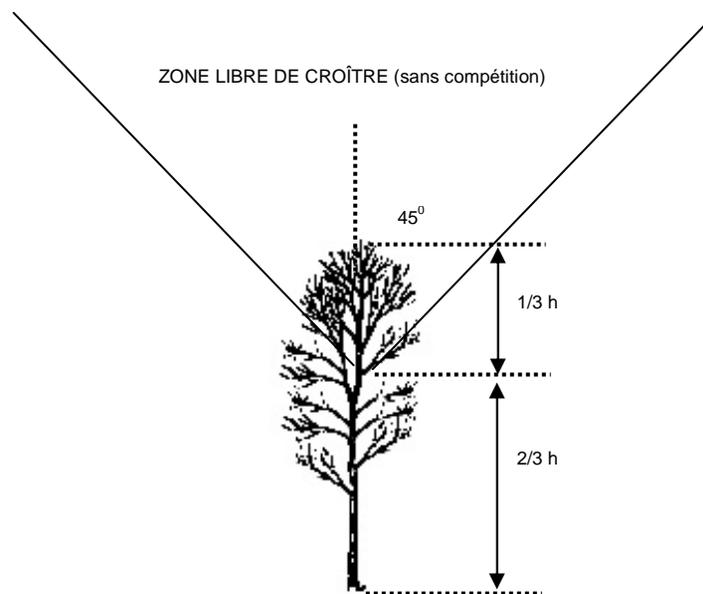
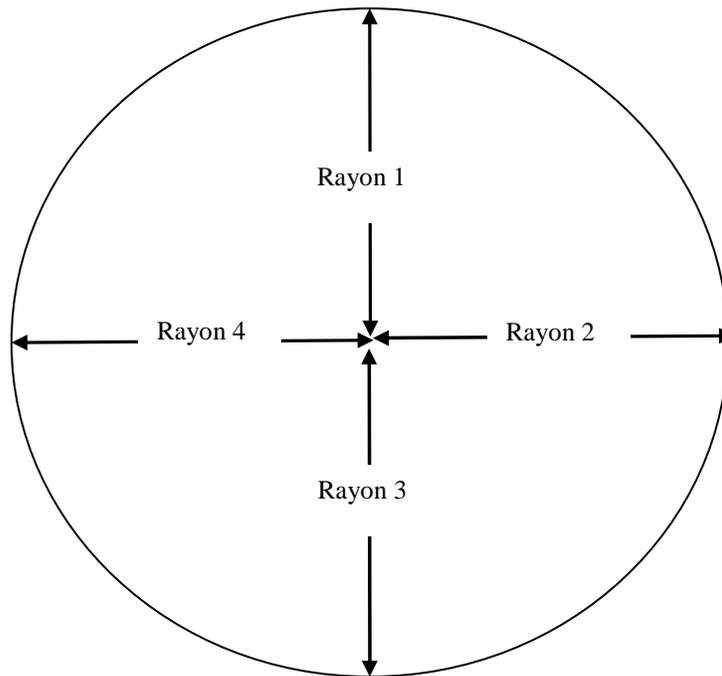


Figure 5. Méthode pour déterminer la libre croissance d'une tige

ANNEXE 2. MESURE DE LA LARGEUR ET DU DÉGAGEMENT DE LA CIME

Les mesures de largeur des cimes ont été prises de la façon suivante (vue de haut) :



La largeur de cime dégagée a été mesurée dans le cône du premier tiers supérieur (voir annexe 1) de la cime, jusqu'à concurrence de 2 fois la largeur du rayon de la cime.

ANNEXE 3. LOCALISATION DES PLACETTES

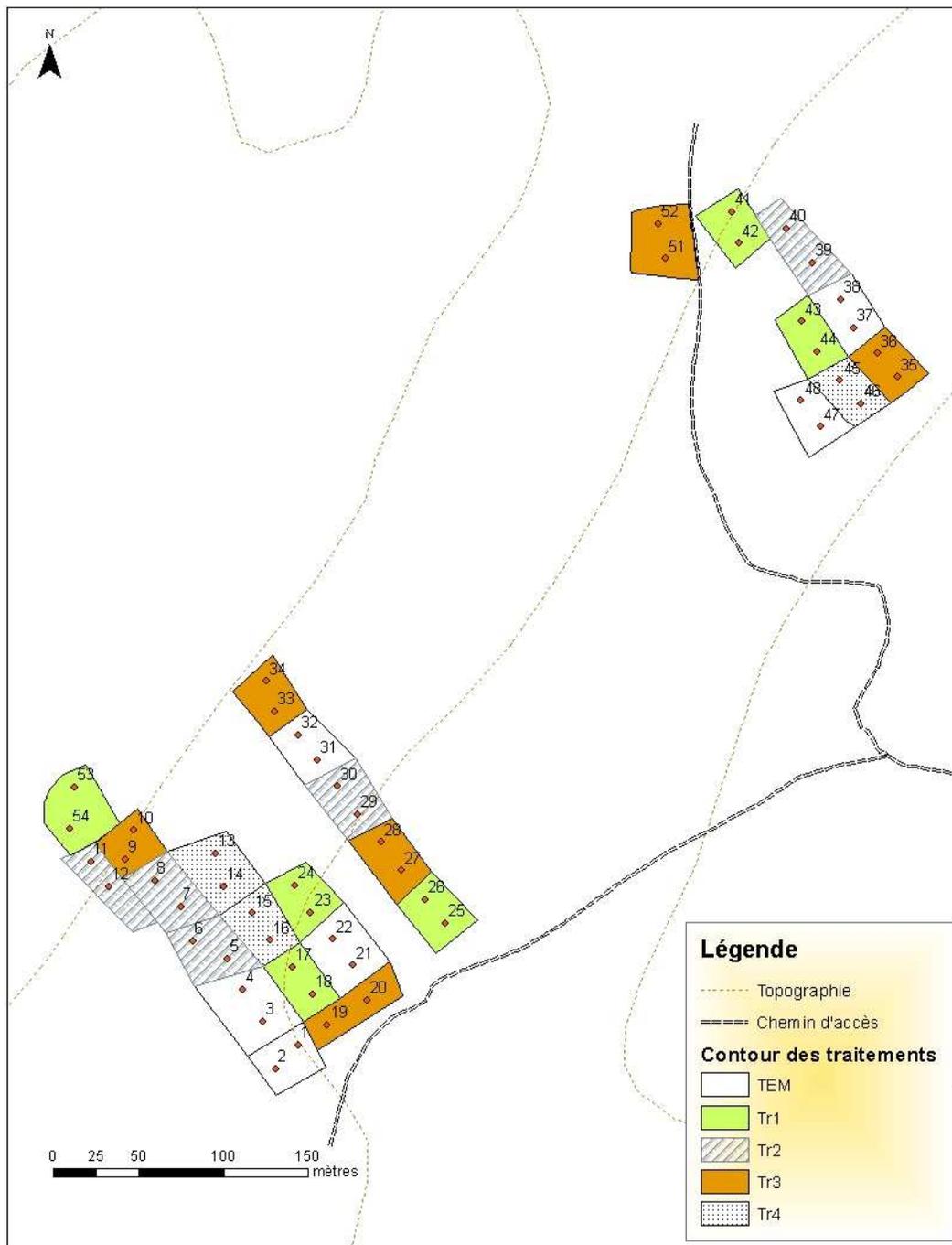


Figure 6. Localisation des placettes à l'intérieur des unités expérimentales