

**EFFET DE L'OUVERTURE DU COUVERT, DU DÉGAGEMENT ET DU
CHAULAGE SUR LA COMPOSITION ET LA CROISSANCE DE LA
RÉGÉNÉRATION D'ÉRABLIÈRES ENVAHIES PAR LE HÊTRE
REMESURE 3 ANS APRÈS SA MISE EN PLACE**

Rapport Final
(2009-10)

présenté à



et à



Direction régionale de l'Outaouais

Septembre 2010



Institut québécois d'Aménagement
de la Forêt feuillue

Équipe de réalisation de l'IQAFF*

Coordonnateurs scientifiques et de rédaction : Sylvain Delagrance, Ph.D.
Philippe Nolet, M.Sc.
Kim Bannon, B.Sc.

Équipe technique : Sophie-Ève Adam
Jean-Gabriel Soulière
Marilyne Robidoux
Régis Pouliot

*IQAFF : Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue
58 Principale, Ripon, Québec, J0V 1V0
Tél : 819-983-6589 ; Fax : 819-983-6588
Courriel : iqaff@iqaff.qc.ca
Site internet : www.iqaff.qc.ca

Pour citation :

Delagrance S, Nolet P et Bannon K. 2010. Effet de l'ouverture du couvert, du dégagement et du chaulage sur la composition et la croissance de la régénération d'érablières envahies par le hêtre : Remesure 3 ans après sa mise en place. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport Final. 42 p + Annexes.

Remerciements :

Les auteurs tiennent à remercier Danny Jean (MC Forêt) pour son aide dans la recherche et la sélection des sites et Michel Dubé (MC Forêt) pour son intérêt et sa patience à faire cohabiter l'installation du dispositif scientifique au beau milieu de ses opérations. Nous tenons à remercier Sophie-Ève Adam, Jean-Gabriel Soulière, Marilyne Robidoux pour leur aide précieuse à la récolte de données sur le terrain. Nous remercions également Régis Pouliot pour son aide dans la gestion de l'information géo-référencée et de la base de données. Ce projet a été rendu possible grâce à une subvention du programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (PMVRMF) Volet-I du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNFQ).

TABLE DES MATIÈRES

Équipe de réalisation de l'IQAFF*	ii
Remerciements :	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
Liste des Tableaux	vi
Liste des Figures	vi
I – CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	1
II-Objectifs.....	3
III – TERRITOIRE ET MÉTHODOLOGIE	5
III.1. Nature du territoire sous étude.....	5
III.2. Type de dispositif expérimental utilisé	6
III.3. Mise en place du dispositif de remesure	7
III.4. Traitements appliqués au couvert et à la régénération	9
III.5. Inventaires et échantillonnages.....	9
<i>II.4.a. Inventaire de la strate gaulis.....</i>	<i>9</i>
<i>II.4.b. Inventaire de la strate semis.....</i>	<i>9</i>
<i>II.6.c. Échantillonnage des semis</i>	<i>10</i>
II.6. Analyses de sol	10
II.7. Profils de lumière	10
II.8. Analyses statistiques	11
IV – RÉSULTATS ET DISCUSSION	12
IV.1. Portrait initial du peuplement	12
IV.2. Données climatiques	13
IV.3. Environnement lumineux.....	14
IV.4. Les minéraux échangeable du sol	16
<i>IV.4.a. Le calcium et le magnésium.....</i>	<i>16</i>
<i>IV.4.b. Le phosphore</i>	<i>17</i>
IV.5. Effet des traitements sur la régénération dans un couvert non perturbé....	18

<i>IV.5.a. Effets sur la haute régénération</i>	<i>18</i>
<i>IV.5.b. Effets sur la basse régénération.....</i>	<i>19</i>
IV.6. Effet des traitements sur la régénération après coupe de jardinage	22
<i>IV.6.a. Effets sur la haute régénération</i>	<i>22</i>
<i>IV.6.b. Effets sur la basse régénération.....</i>	<i>24</i>
IV.7. Effet des traitements sur la régénération après coupe totale.....	27
<i>IV.7.a. Effets sur la haute régénération</i>	<i>27</i>
<i>IV.7.b. Effets sur la basse régénération.....</i>	<i>29</i>
IV – SYNTHÈSE ET IMPLICATIONS	34
REFERENCES.....	38
ANNEXE	42

Liste des Tableaux

Table 1. Caractéristiques des peuplements avant l'installation du dispositif expérimental et opérationnel (D'après Delagrangé et al. 2009).

Table 2. Synthèse regroupant les suggestions de combinaisons de traitements de régénération et de couvert à favoriser selon le type d'invasion.

Liste des Figures

Figure 1. Localisation du site d'étude (version anglaise).

Figure 2. Photo du type de sol rencontré sur le site d'étude.

Figure 3. Distribution des secteurs expérimentaux à l'intérieur des peuplements pré-sélectionnés à l'ouest du lac Gagnon.

Figure 4. Représentation du dispositif expérimental mis en place dans les 48 secteurs du projet.

Figure 5. Proportion relative d'ERS par rapport au HEG dans les différentes strates avant application des traitements.

Figure 6. Données climatiques (température et précipitations mensuelles moyennes) pour l'année 2009 et les normales saisonnières calculées entre 1971 et 2000.

Figure 7. Profils verticaux de lumière à 0,5, 1, 2 et 3m de hauteur pour chaque niveau d'ouverture du couvert (Témoin, Coupe de Jardinage et Coupe Totale). La disponibilité en lumière est donnée en % de la lumière incidente totale.

Figure 8. Teneurs en Calcium et Magnésium dans les secteurs de l'étude. Les résultats présentent les moyennes par type d'ouverture du couvert (Témoin, Coupe de Jardinage, Coupe Totale) ou pour les secteurs chaulés (N) et non chaulés (NC).

Figure 9. Densité de gaules totales dans les couverts non perturbés (Témoin) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Figure 10. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de gaules au sein des couverts non perturbés (Témoin) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Figure 11. Densité de semis d'ERS et HEG dans les couverts non perturbés (Témoin) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre

Figure 12. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de semis au sein des couverts non perturbés (Témoin) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Figure 13. Croissance en hauteur cumulée sur les 3 dernières années dans les couverts non perturbés (Témoin) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Figure 14. Densité de gaules totales dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Figure 15. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de gaules au sein des couverts traité en CJ (Coupe de Jardinage) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

- Figure 16. Densité de semis d'ERS et HEG dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 17. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de semis au sein des couverts traité en CJ (Coupe de Jardinage) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre
- Figure 18. Croissance en hauteur cumulée sur les 3 dernières années dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 19. Ratio de surface foliaire développée par unité de biomasse (gauche) et Ratio d'allocation de biomasse au racines (droite) pour les semis récoltés dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 20. Densité de gaules totales dans les couverts traités en CT (Coupe Totale) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 21. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de gaules au sein des couverts traité en CT (Coupe Totale) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 22. Densité de semis d'ERS et HEG dans les couverts traités en CT (Coupe Totale) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 23. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de semis au sein des couverts traité en CT (Coupe Totale) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 24. Croissance en hauteur cumulée sur les 3 dernières années dans les couverts traités en CT (Coupe Totale) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.
- Figure 25. Concentration en Chlorophylle foliaire (unité SPAD) pour les semis récoltés dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage.

I – CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Il existe actuellement peu de débouchés pour le hêtre (tiges de mauvaise qualité) de sorte qu'une très faible proportion de ces tiges peut être dirigée vers la production de bois d'œuvre. De plus, les caractéristiques intrinsèques de la fibre de hêtre et notre faible connaissance de la sylviculture qui permettrait d'éduquer les tiges de cette espèce vers de la production de bois d'œuvre ne permettent pas de croire à un changement rapide des perspectives d'utilisation de cette essence. Et pourtant, le phénomène d'envahissement par le hêtre des érablières est aujourd'hui unanimement reconnu, tant dans le nord-est de l'Amérique du Nord (Kelty et Nyland 1981; Horsley 1994; Ray et al. 1999), qu'au sud du Québec (Doyon et al 2003, Duchesne et al 2005). Les travaux de Doyon et al. (2003) ont d'ailleurs démontré que cet envahissement en Outaouais pourrait exister sur près de 600 000 ha.

De nombreuses études se sont penchées sur les processus mis en jeu dans cette modification de la composition forestière entre ces deux essences, ainsi que sur l'origine de ces processus (Poulson and Platt 1996, Duchesne et al 2002, Nyland et al 2006, Beaudet et al 2007, Nolet et al. 2008a).

- D'abord, la perte de vigueur de l'érable à sucre serait un facteur important dans son manque de compétitivité face au hêtre. La raison la plus communément associée à cette perte de vigueur est une diminution de la capacité cationique des sols et plus particulièrement le calcium (Juice et al 2006, Duchesne et al 2002). Il est en effet montré que le calcium est un élément très important dans le développement de l'érable à sucre (Juice et al 2006) et une baisse de sa disponibilité dans les sols de l'est de l'Amérique du Nord a été démontrée (Driscoll et al 2001). C'est pourquoi un chaulage à la chaux dolomitique est souvent recommandé dans ce type de peuplement afin de conserver une bonne productivité et une dominance de l'érable à sucre (Juice et al. 2006, Moore et Ouimet 2006). Cependant, la disponibilité en calcium dans les sols semble également pouvoir être grandement améliorée suite à de forte perturbation du couvert (Dahlgren and Driscoll 1994, Federer et al 1989) et semble dépendante du stade de développement du peuplement (Hamburg et al 2003).

- Ensuite, la forte capacité du hêtre à se reproduire végétativement (drageons et rejets) est également souvent mise en cause dans son aptitude à dominer la composition de la régénération (Beaudet et al. 1999, Nyland et al 2006, Beaudet et al. 2007). En effet, lorsqu'attachés à un système racinaire parent bien développé, il a été montré que les drageons de hêtre possédaient une croissance bien supérieure à celle des semis d'érable à sucre (Beaudet et al 1999).
- De plus, la présence de la maladie corticale du hêtre (MCH), serait également un facteur primordial sur l'importance de la dominance du hêtre dans la régénération (Nyland et al. 2006). En effet, attaquant les arbres matures, cette maladie stimule la production de drageons qui étouffent la régénération des autres essences compagnes (Houston 1994). Dans un exercice de simulation, Le Guerrier et al (2003) suggèrent qu'avec la présence de la MCH et sur une période de 300 ans, le hêtre et la pruche de l'Est seraient les seules espèces dominantes alors que la présence de toute autre essence déclinerait dramatiquement. Autre impact majeur, la MCH s'attaquant aux plus gros arbres, la productivité et la structure des couverts seraient également grandement affectées (Le Guerrier et al 2003).
- Finalement, l'intensité et l'historique de perturbation du couvert semblerait aussi avoir un impact important sur la dynamique de régénération des deux espèces (Poulson and Platt 1996, Nolet et al. 2008a, Gravel et al 2008). Ainsi, la perturbation sévère du couvert pourrait favoriser la compétitivité de l'érable à sucre (Nolet et al. 2008b) comparativement au hêtre à grande feuille. A l'inverse, plusieurs études suggèrent que lorsque le couvert est peu ou pas perturbé, le remplacement entre les deux espèces pourrait être soit favorable au hêtre (Nolet et al 2008a) soit indépendant des conditions environnementales et donc seulement associé à la présence de l'une ou l'autre des deux essences (Gravel et al. 2008).

Compte tenu de ces observations, il existe donc un risque socio-économique majeur et non négligeable d'observer, d'ici quelques rotations, une dominance du hêtre au sein de nombreuses érablières et une industrie incapable d'absorber une telle abondance.

Basé sur les résultats de nombreux travaux de recherche, un dispositif expérimental avait donc été mis en place en 2006 dans le secteur du Lac Gagnon (Outaouais) afin de tester des combinaisons de traitements sylvicoles novatrices dans une érablière dont la haute régénération est largement envahie par le hêtre (Delagrangue et al. 2009). Ce dispositif comprend un large gradient d'ouverture du couvert (de non perturbé à la coupe totale), un contrôle de la gaule de hêtre et un chaulage. En effet, des travaux de dégagement en sous-couvert (suppression de la haute régénération du hêtre) ont montré de bons résultats en augmentant significativement la survie de l'érable à sucre (Hane 2003). De même, la fertilisation ou le chaulage du sol permettent également de favoriser la régénération de l'érable à sucre comparativement à celle du hêtre (Long et al. 1997, Moore et Ouimet 2006, Juice et al. 2006). Après 3 ans, le suivi des différentes strates de la régénération est maintenant nécessaire afin de tirer les premières conclusions sur l'impact des traitements et surtout l'effet de leur combinaison.

II-Objectifs

Le but premier de ce projet consiste donc à définir concrètement des pistes de solution visant à freiner l'envahissement du hêtre dans les peuplements dominés par l'érable. Cependant, l'originalité de ce projet réside dans le fait qu'il permet de suivre précisément l'impact de traitements opérationnels tels que le chaulage ou le dégagement ou la combinaison des 2, dans un contexte (i) de couvert non perturbé (c'est à dire avant tout traitement commercial), (ii) de jardinage ou (iii) de perturbation sévère (i.e. une coupe totale). Grâce à un tel dispositif, il sera également possible d'améliorer notre connaissance de la dynamique de remplacement de ces deux espèces et des facteurs qui en sont responsables.

Dans la réalisation de ces objectifs, il sera donc nécessaire :

1. de caractériser et comparer les environnements de croissance (fertilité des sols et disponibilité en lumière) générés par l'application des traitements et les associer

avec les croissances des essences ciblées pour identifier les meilleures combinaisons de traitements, et

2. d'effectuer la remesure de l'évolution de la composition (densité de gaules et proportion relative des deux essences) et de la croissance de la régénération 3 ans après l'application des premiers traitements.

III – TERRITOIRE ET MÉTHODOLOGIE

III.1. Nature du territoire sous étude

Le secteur d'étude (Figure 1), localisé au nord-est de Duhamel (Québec, Canada) près du Lac Gagnon et de la réserve faunique Papineau Labelle (46°07'40" N, 75°09'24" W), est situé dans l'unité de paysage du Lac Simon définie par Robitaille et Saucier (1998). Cette unité de paysage, comprise dans une sous-région méridionale du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (Saucier et al. 1998), est caractérisée principalement par des tills minces qui occupent près de la moitié de la superficie et couvrent la plupart des versants et sommets.

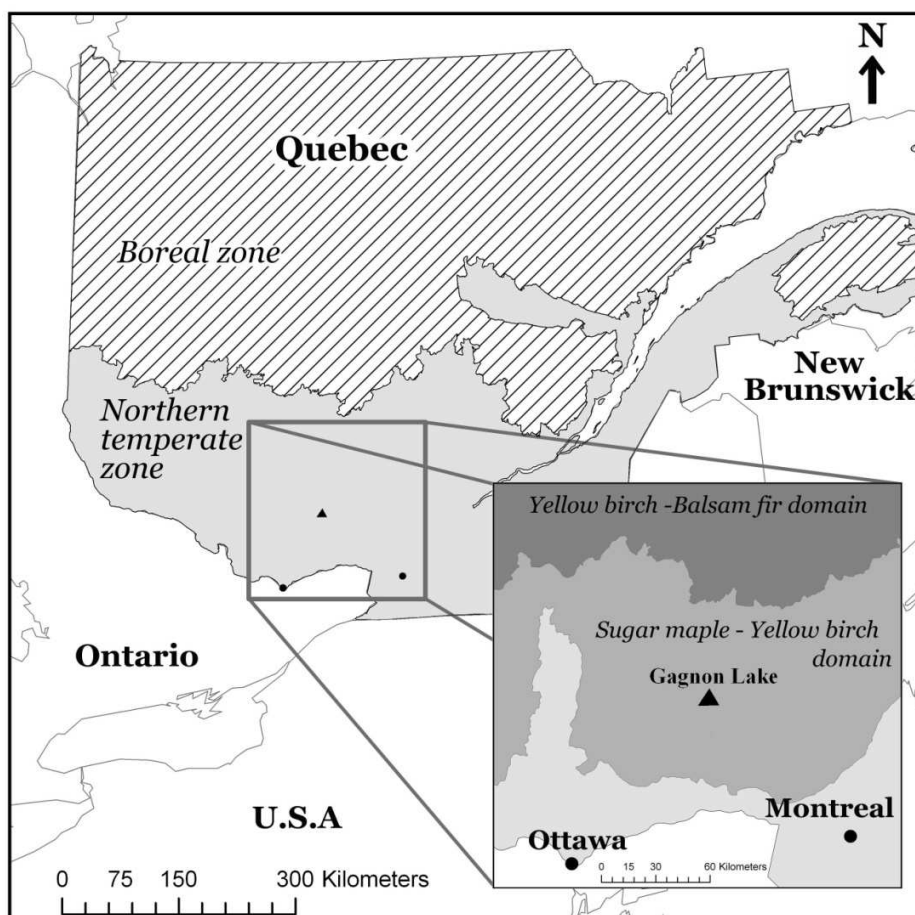


Figure 1. Localisation du site d'étude (version anglaise).

Sur ces tills, des sols bruniques dystriques sableux (Figure 2) se sont généralement développés (Agriculture Canada 1990). Les affleurements rocheux sont assez fréquents sur les sommets et les pentes fortes, alors que le till épais se retrouve au fond des étroites vallées. Le relief, accidenté et morcelé, est formé d'une multitude de collines et de hautes collines aux versants en pente modérée qui atteignent rarement plus de 350 m, avec une amplitude altitudinale avoisinant les 100 m. La température annuelle moyenne varie entre 2,5 et 5,0 °C alors que les précipitations annuelles totales sont de l'ordre de 1000 mm (25% sous forme de neige). Quant à la longueur de la saison de croissance, elle oscille entre 170 et 180 jours (Robitaille et Saucier 1998). La végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton) ou l'érablière à tilleul d'Amérique (*Tilia americana* L.). On retrouve l'érablière à ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* (Mill.) K. Kock) sur les hauts de pente.



Figure 2. Photo du type de sol rencontré sur le site d'étude.

III.2. Type de dispositif expérimental utilisé

Le dispositif expérimental utilisé correspond à un design factoriel complètement aléatoire à deux 2 facteurs croisés (intensité d'ouverture du couvert et traitement de la régénération). Trois niveaux d'intensité de prélèvement (coupe totale, coupe de jardinage et témoin) et quatre niveaux de traitement de la régénération (dégagement, chaulage, dégagement/chaulage et témoin) ont été testés et chaque combinaison de

traitement a été répliquée quatre fois (n total = 48). À l'aide de ce dispositif, le suivi de la densité de la haute régénération (gaules) et de la basse régénération (semis) de l'éérable à sucre et du hêtre a été effectué avant la réalisation des traitements et durant les deux années qui ont suivi la réalisation des traitements (cf. Delagrangre et al. 2009).

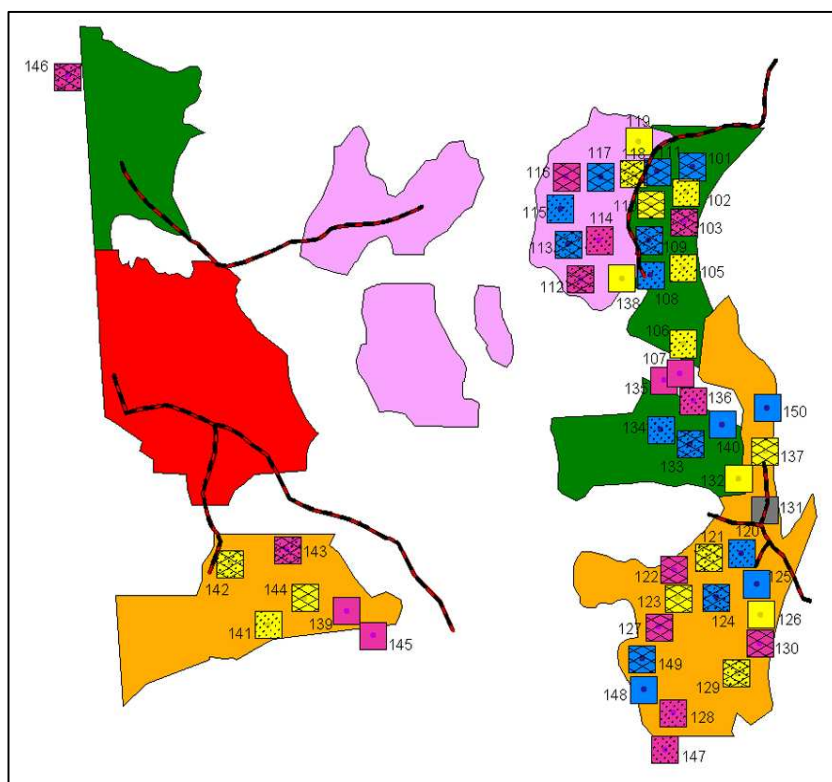


Figure 3. Distribution des secteurs expérimentaux à l'intérieur des peuplements pré-sélectionnés à l'ouest du lac Gagnon.

III.3. Mise en place du dispositif de remesure

Dans un massif forestier où le couvert était dominé par l'éérable à sucre mais où l'on retrouvait également le hêtre à grandes feuilles, la pruche (*Tsuga canadensis* (L.) Carrière) et le bouleau jaune, 48 secteurs de 0.64 ha (80 X 80 m) ont été délimités et soumis à l'automne 2006 soit à une coupe totale (secteurs bleus), soit à une coupe de jardinage (secteurs jaunes) soit à aucune coupe (secteurs roses) (Figure 3).

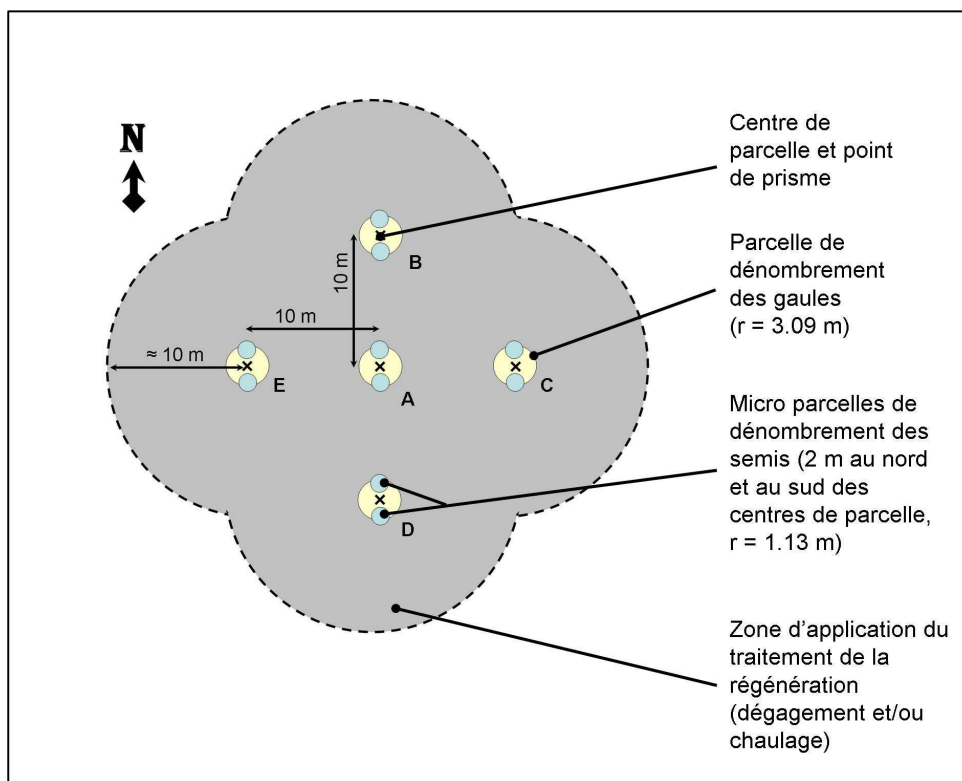


Figure 4. Représentation du dispositif expérimental mis en place dans les 48 secteurs du projet.

De façon aléatoire, un point central a été identifié à l'aide d'une tige métallique au centre de chacun des secteurs. Ce point constitue le centre du dispositif de mesure ainsi que le centre de la parcelle A (Figure 4). Quatre autres parcelles ont été installées à une distance de 10 m du point central en respectant les points cardinaux nord (parcelle B), est (parcelle C), sud (parcelle D) et ouest (parcelle E) (Figure 4). Le rayon de chacune des 5 parcelles a été défini à 3.09 m (équivalent à 30 m² de superficie). Ces 5 parcelles ont alors servi à évaluer la densité de la haute régénération (gaulis) du hêtre, de l'érable à sucre et des autres espèces présentes. De plus, à 2 m au sud et au nord du centre de chaque parcelle, des tiges métalliques ornées de rubans ont été insérées dans le sol afin d'identifier le point central de deux micro-parcelles de 1.13 m de rayon (4 m²) utilisées pour évaluer la régénération en semis de hêtre et d'érable à sucre (Figure 4). Dans l'ensemble du dispositif, 240 parcelles de mesure de la strate de gaulis et 480 micro-parcelles de mesure de la strate de semis ont été mises en place.

III.4. Traitements appliqués au couvert et à la régénération

Les 3 intensités d'ouverture du couvert (coupe totale : CT, coupe de jardinage : CJ, et pas de coupe : T) ont été réalisées à l'automne 2006 (cf. Delagrangé et al. 2009 pour plus de détail). Par la suite, ces secteurs se sont vus, au printemps 2007, attribuer aléatoirement un des quatre niveaux de traitement de la régénération, soit un dégagement (secteurs piquetés : n=12), soit un chaulage (secteurs quadrillés : n=12), soit une combinaison des deux (secteurs en piquetés et quadrillés : n=12), ou encore aucun traitement de régénération (secteurs sans texture : n=12) (Figure 3). Le traitement de dégagement a consisté en l'élimination du gaulis de hêtre ayant 1 à 9 cm de diamètre au DHP à l'aide d'une scie mécanique, et ce sur un rayon de 20 m à partir du point central de chaque secteur (cf. Figure 4). Parallèlement, le chaulage (équivalent à 3 t/ha de chaux dolomitique granulaire (AgroCentre Vinisol Inc., Nicolet, Qc)) a été effectué sur une superficie équivalente.

III.5. Inventaires et échantillonnages

II.4.a. Inventaire de la strate gaulis

Au mois août 2009, un inventaire de la strate gaulis a été réalisé dans les 5 parcelles de chaque secteur afin de déterminer la densité absolue (par hectare) et relative de tiges d'ERS, de HEG et de toute autre espèce (AUT). L'inventaire du gaulis s'est fait en considérant quatre classes de DHP (1-3, 3-5, 5-7 et 7-9 cm).

II.4.b. Inventaire de la strate semis

Dans le même temps, un dénombrement des semis d'ERS et de HEG a été réalisé dans l'ensemble des micro-parcelles (n=480). Grâce à ces inventaires, la densité totale de semis de ces deux espèces (individus par ha) et la proportion relative d'ERS par rapport au HEG dans la strate de semis ont été calculées.

II.6.c. Échantillonnage des semis

Après avoir réalisé les deux inventaires, un maximum de cinq semis de chacune des deux espèces suivies a été récolté dans chaque parcelle (hors des micro-parcelles d'inventaire de semis). Au total, 464 semis (231 HEG et 233 ERS) ont été déracinés avec précaution afin d'obtenir le maximum de la biomasse racinaire. Sur ces semis, la hauteur totale et le diamètre au collet ont été mesurés. Ensuite, la biomasse des semis a été séparée en trois compartiments; les feuilles, les tissus non photosynthétiques aériens (tronc et branches) et les racines. Sur les feuilles encore fraîches, la surface foliaire totale a été évalué à l'aide d'un planimètre portatif (LI-3000A, Li-Cor, Nebraska, USA). Finalement, les trois compartiments ont été mis à sécher à 60°C durant 3 jours pour déterminer la biomasse sèche. A partir de ces mesures, la surface foliaire spécifique (SFS; g m²), le ratio d'allocation aux feuilles (RAF; g de feuilles par g de plant total) et le ratio d'allocation aux racines (RAR; g de racines par g de plant total) ont été calculés.

II.6. Analyses de sol

Une analyse de sol (pH, phosphore échangeable, calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺) échangeables) a été faite pour chaque secteur en prélevant 5 échantillons (1 dans chaque parcelle A, B, C, D et E) de l'horizon B et en les groupant afin d'avoir un dosage par secteur (n=48). Avant analyse, les 48 échantillons ont été séchés à l'air ambiant et broyés finement. Pour l'analyse, le pH a été déterminé dans l'eau, alors que l'analyse des cations et du phosphore échangeable a été faite par la méthode Mehlich III (cf. Delagrangue et al. 2009 pour plus de détails).

II.7. Profils de lumière

Finalement, pour déterminer l'environnement lumineux créé par chaque combinaison de traitements (de coupe et de régénération), un profil vertical de lumière a été réalisé au centre de chaque secteur (n=48) au niveau de la parcelle A (cf. Figure 4). Le profil consistait en la prise de photographies hémisphériques à 0.5, 1, 2 et 3 m de hauteur. Pour l'analyse des photos, chaque image a été convertie en mode noir et blanc et

analysée avec le logiciel spécialisé GLA (Gap Light Analyzer) développé par Fraser et al. (1999).

II.8. Analyses statistiques

L'ensemble des paramètres testés statistiquement l'ont été à l'échelle du secteur (cf. Figure 4). Ainsi, en testant des paramètres de la haute régénération (n=48 dans les analyses), ceux-ci correspondent à une moyenne des 5 parcelles de gaules mesurées dans chaque secteur. De même, les paramètres testés de la basse régénération (n=48 dans les analyses) correspondent à la moyenne des 10 micro-parcelles mesurées dans chaque secteur. Les paramètres associés à la croissance et à la morphologie des semis (n=96 dans les analyses, n=48 pour chacune des 2 espèces) correspondent à la moyenne calculée sur 5 semis récoltés par secteur et par espèce. Ainsi, 240 parcelles de gaules, 480 micro-parcelles de semis ont été mesurées et un maximum de 480 semis (240 par espèce) a été récolté. L'analyse des caractéristiques de site (élément minéraux, lumière, etc.) s'est faite via une analyse de variance à 3 facteurs (Coupe, Contrôle du hêtre et chaulage). Les profils de lumière ont été analysés via une analyse de variance à mesures répétées où la hauteur de la mesure était le facteur répété. Par la suite, les analyses ont été conduites séparément dans chaque traitement d'ouverture du couvert. Les densités de gaules et semis ainsi que tous les paramètres de croissance et de morphologie ont été analysés par ANOVA à 3 facteurs (Contrôle du hêtre, Chaulage, SP), chacun ayant 2 niveaux et dont le facteur SP est lié à l'intérieur de chaque secteur. Les paramètres faisant appel à la relativité entre les 2 espèces ont été traités par une ANOVA simple à 2 facteurs (Contrôle du hêtre, Chaulage), chacun ayant 2 niveaux.

IV – RÉSULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Portrait initial du peuplement

Réalisé dans Delagrange et al. (2009), le portrait du peuplement avant traitements démontrait une surface terrière relativement basse (20.3 m²/ha), une densité de gaule assez élevée (5600 tiges à l'hectare) mais complètement dominée par le HEG (Table 1) et une bonne densité de semis d'ERS et de HEG (56 000 semis à l'hectare) cette fois bien équilibré entre les deux espèces.

Table 1. Caractéristiques des peuplements avant l'installation du dispositif expérimental et opérationnel (D'après Delagrange et al. 2009).

	Caractéristiques des peuplements		Proportion dans les strates					
			ERS		HEG		Autres Sp.	
		erreur type	(%)	erreur type	(%)	erreur type	(%)	erreur type
Surface Terrière	20.3 (m ² .ha ⁻¹)	2.7	49.2	21.85	37.9	22.9	12.9	10.5
Densité gaulis	5 589 (tiges.ha ⁻¹)	1 553	17.3	16.08	57.9	21.2	24.7	17.6
Densité semis*	55 781 (tiges.ha ⁻¹)	45 579	55.38	31.4	44.6	31.4	n.d.	n.d.

* : Densité de semis d'érable à sucre et hêtre à grande feuille. n.d. : non déterminé

En calculant la proportion relative entre ces deux espèces pour chacune des trois strates, il apparaît clairement que le HEG est surreprésenté dans la strate de gaules (Figure 5). En effet, la proportion de semis des deux espèces est très proche de celle des arbres matures, ce qui semble montrer que le recrutement en semis des deux espèces se fait en lien avec la proportion de leur essence dans la canopée. Cependant, il est clair que le HEG est plus avantagé que l'ERS lors du passage dans le gaulis puisque celui-ci augmente à une proportion de plus de 75%. Il existerait donc des mécanismes qui permettraient au HEG d'être plus compétitif (ou à l'ERS de l'être moins) lors de ce changement de strate.

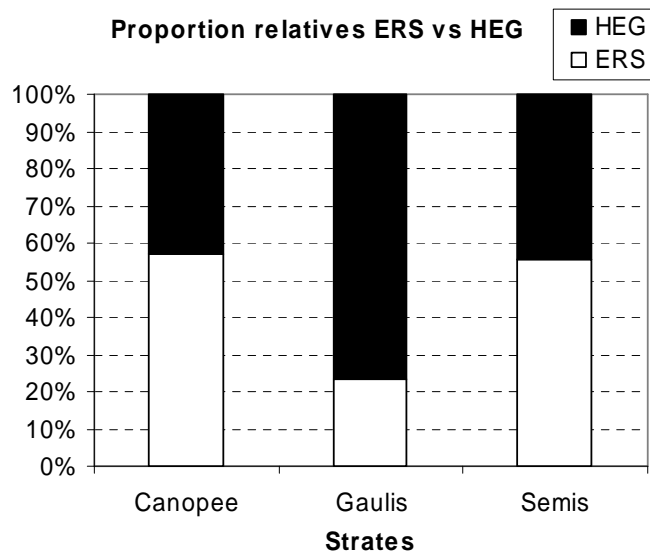


Figure 5. Proportion relative d'ERS par rapport au HEG dans les différentes strates avant application des traitements.

IV.2. Données climatiques

Afin de mieux interpréter les données de croissance et de morphologie ainsi que les données de densité de semis et de gaules, les données climatiques moyennes ont été colligées pour l'année de mesure, soit 2009 (Figure 6). La température mensuelle de 2009 s'est avérée très proche des normales saisonnières et en ce qui concerne les précipitations, les mois d'avril et de juillet 2009 ont été plus pluvieux et l'automne plus sec que la normale. Cependant, aucun évènement climatique extrême pouvant influencer la croissance n'a été répertorié durant cette période (Environnement Canada 2010).

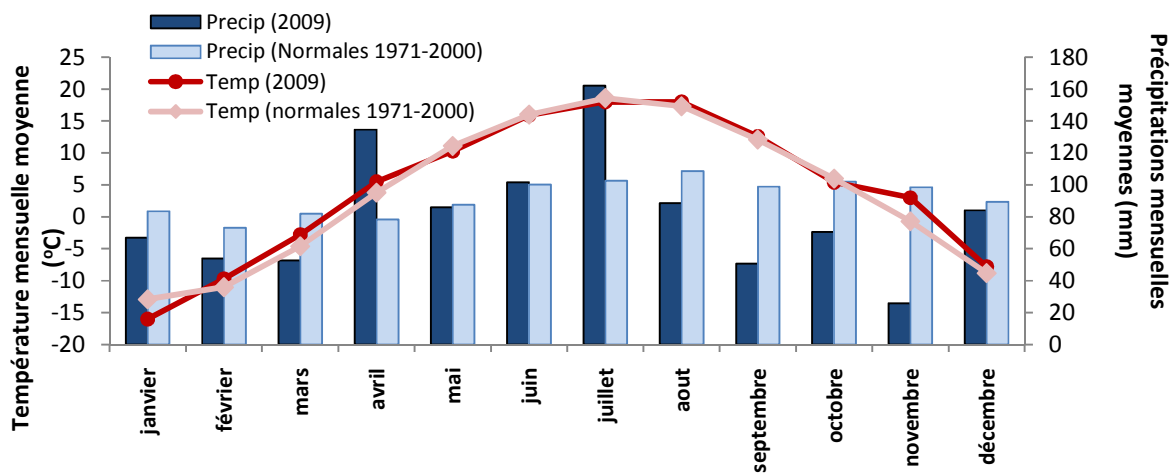


Figure 6. Données climatiques (température et précipitations mensuelles moyennes) pour l'année 2009 et les normales saisonnières calculées entre 1971 et 2000.

IV.3. Environnement lumineux

De façon général, le facteur influençant le plus la disponibilité en lumière dans la strate semis et la strate gaulis est l'intensité de la coupe (cf. Annexe 1). En effet, à 0.5m de hauteur, la disponibilité en lumière augmente respectivement de 9 à 14 et même 38% de la lumière totale pour les secteurs T, CJ et CT. Cependant cette augmentation n'est significative qu'entre les CJ et les CT. En revanche, à 3 m de hauteur, chaque traitement d'ouverture du couvert était significativement différent des autres (T; 11%, CJ; 21% et CT; 64.5%).

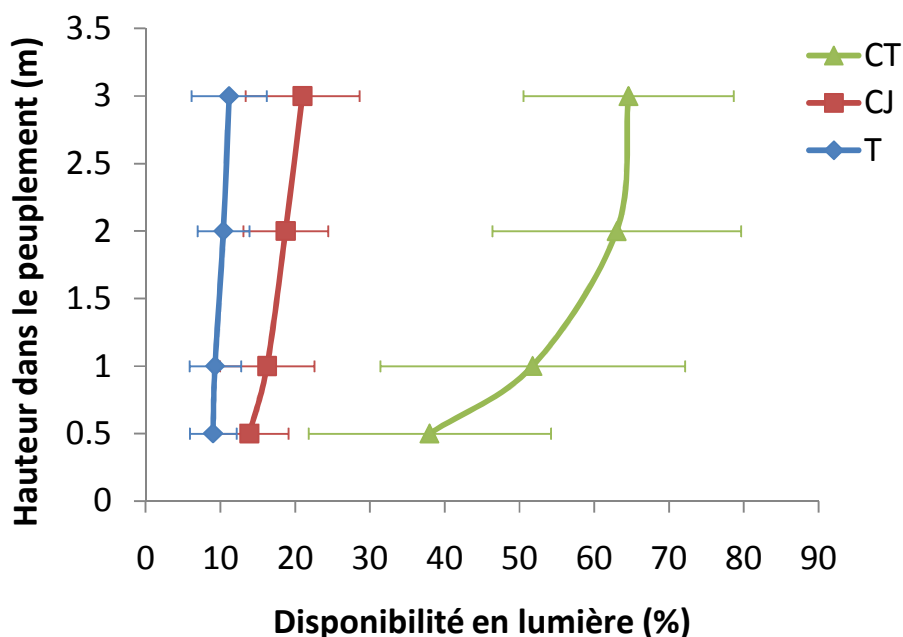


Figure 7. Profils verticaux de lumière à 0.5, 1, 2 et 3m de hauteur pour chaque niveau d'ouverture du couvert (Témoin, Coupe de Jardinage et Coupe Totale). La disponibilité en lumière est donnée en % de la lumière incidente totale.

Ainsi, après 3 saisons de croissance, le traitement CJ a, comparativement au témoin seulement augmenté la disponibilité en lumière au niveau du gaulis (x2). En revanche, le traitement CT augmente significativement la disponibilité en lumière pour les semis (x4) et le gaulis (x5.5), comparativement au témoin.

Au regard des profils verticaux de lumière (Figure 7), on peut aussi remarquer que la variabilité de la disponibilité en lumière augmente grandement avec l'intensité de coupe et cela pour chaque hauteur de mesure. Contrairement aux attentes, le traitement CT n'a donc pas augmenté la lumière disponible de façon homogène, mais crée une large hétérogénéité d'environnements lumineux pouvant aller du simple au double. Finalement, le traitement CT est le seul à connaître une diminution drastique de la disponibilité en lumière à l'approche du sol (<2 m). Ceci est directement relié à l'installation d'une nouvelle végétation (principalement le framboisier) suite à la coupe.

IV.4. Les minéraux échangeable du sol

IV.4.a. Le calcium et le magnésium

Deux facteurs ont fait varier la teneur en calcium trois ans après la coupe et l'application d'un chaulage à la chaux dolomitique; le chaulage et l'intensité de la coupe (Figure 8, Annexe 1). En effet, les secteurs chaulés possèdent toujours une quantité de calcium plus élevée (x1.7) que les secteurs non chaulés et plus l'intensité d'ouverture de la canopée augmente, plus les sols montrent des teneurs en calcium élevées (jusqu'à x2 pour les CT comparativement au T). En ce qui concerne le magnésium un patron très similaire s'est dessiné mis à part le fait que l'impact de l'ouverture de la canopée n'est pas apparu significatif pour cet élément (Annexe 1).

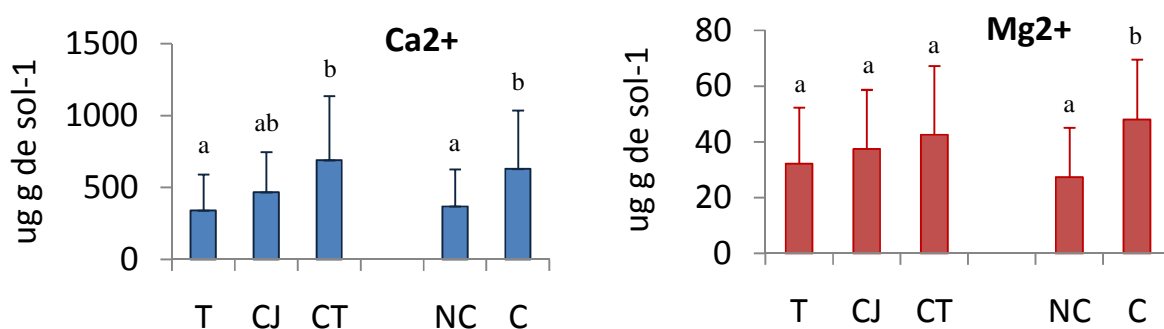


Figure 8. Teneurs en Calcium et Magnésium dans les secteurs de l'étude. Les résultats présentent les moyennes par type d'ouverture du couvert (Témoin, Coupe de Jardinage, Coupe Totale) ou pour les secteurs chaulés (N) et non chaulés (NC).

Il n'est pas surprenant de constater que le chaulage (à 3t/ha) ait encore un impact sur les teneurs en calcium et magnésium du sol 3 ans après son application. En effet, un an après l'application, il avait été mis en évidence que les concentrations de ces deux éléments avaient doublé, sur ces mêmes sites chaulés (Delagrangé et al. 2009) ce qui avait aussi été mis en évidence par Long et al (1997). Ce dépôt de 3t à l'hectare représente donc un apport considérable pour ce sol forestier et on est en droit de penser que son impact se fera encore sentir quelques années. En effet, comme il avait été

mentionné par Moore et al (2008), à partir d'un chaulage de 2t à l'hectare, un impact significatif sur les teneurs en cations échangeables du sol pouvait encore être visible 10 ans après son application. Il est aussi intéressant d'observer que l'apport supplémentaire de ces deux éléments dans la matrice du sol n'est pas rapidement lessivé et qu'il reste échangeable.

Autre observation d'importance, l'intensité d'ouverture du couvert a eu un effet (significatif pour le Ca et non significatif pour le Mg) sur les teneurs mesurées. Il existe deux phénomènes qui peuvent expliquer cela. D'abord, il a été remarqué que de fortes ouvertures du couvert pouvaient augmenter drastiquement la teneur en Ca et Mg des sols par une accélération de leur minéralisation voire même par la mise à disposition de nouvelles sources organiques de ces éléments (Hamburg et al. 2003, Dahlgren et Driscoll 1994). Parallèlement, on sait que l'augmentation de l'intensité d'ouverture du couvert a fortement augmenté la destruction de la basse et haute régénération (Delagrange et al 2009) ce qui a sûrement eu pour conséquence de permettre une diminution de l'absorption des minéraux nouvellement disponibles avec l'augmentation de l'intensité d'ouverture du couvert.

IV.4.b. Le phosphore

Le phosphore s'est avéré très fluctuant au sein de nos sites, ce qui a induit une variabilité importante dans les différentes classes comparées. Le seul facteur semblant induire une tendance (non significative, cf. Annexe 1) est le chaulage. Encore une fois, l'effet n'était pas significatif mais la disponibilité en phosphore semblait plus élevée dans les parcelles chaulées ($14.9 \text{ mg P Kg}^{-1} \pm 10.3$) comparativement aux parcelles non chaulées ($10.3 \text{ mg P Kg}^{-1} \pm 8.3$).

Le phosphore étant un élément important dans la croissance de l'érable à sucre (Gradowski et Thomas 2006), il n'est donc pas exclu que le chaulage puisse avoir, par un effet indirect, un impact positif sur cette essence via le phosphore. La principale raison pouvant expliquer une augmentation du phosphore dans les sites chaulés est l'augmentation du pH après l'épandage de chaux. En effet, il semble que la disponibilité

en phosphore augmente avec l'augmentation du pH (Wilmot et al 1996, Gradowski et thomas 2006) et le chaulage est reconnu pour significativement augmenter le pH des sols (Wilmot et al 1996, Delagrange et al 2009).

IV.5. Effet des traitements sur la régénération dans un couvert non perturbé

IV.5.a. Effets sur la haute régénération

Dans un contexte de couvert non perturbé, le chaulage n'a eu aucun effet sur la densité de gaules totales alors que de façon attendue, le traitement de contrôle en gaule de hêtre a eu un impact important (Figure 9, Annexe 2). En effet, la densité de gaule de hêtre étant assez élevée sur le territoire (cf. Tableau 1), le contrôle de cette essence affecte très fortement la densité de gaules totales.

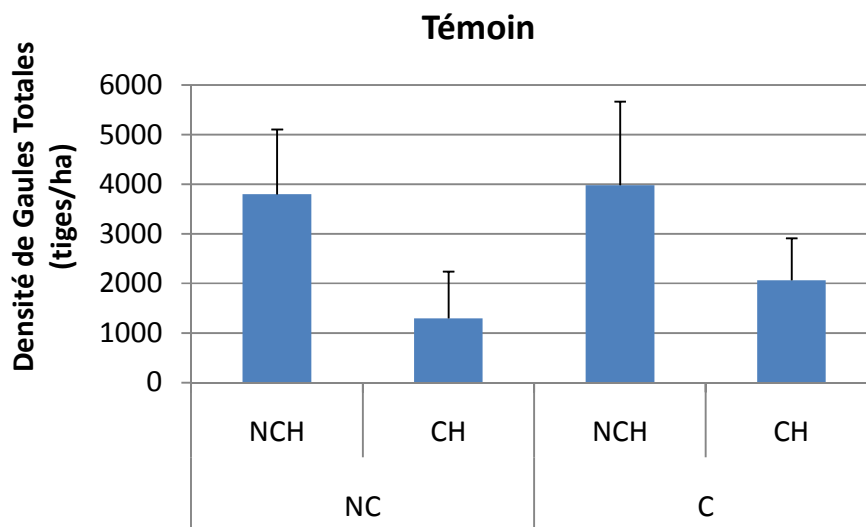


Figure 9. Densité de gaules totales dans les couverts non perturbés (Témoin) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Ce résultat se répercute directement sur la densité relative des 2 essences en montrant que seul le traitement de contrôle de la gaule de hêtre a eu un impact significatif sur le

rétablissement d'une dominance d'érable à sucre dans cette strate (Figure 10, Annexe 2).

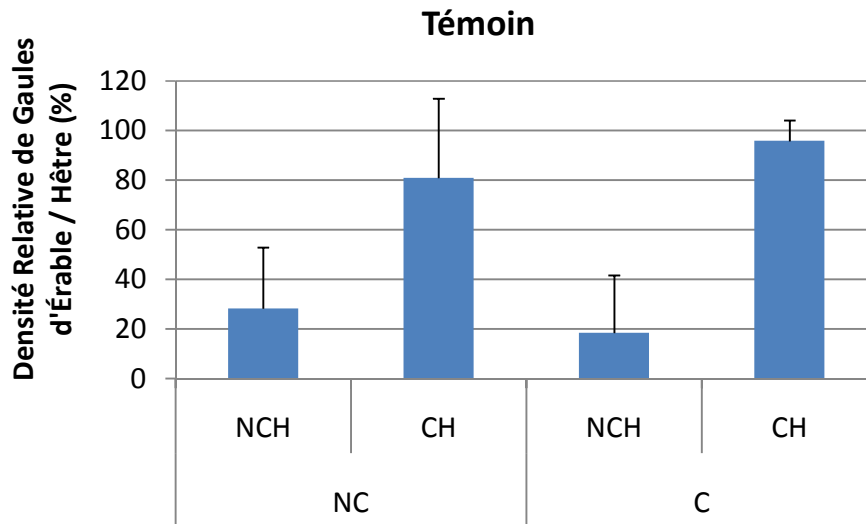


Figure 10. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de gaules au sein des couverts non perturbés (Témoïn) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Dans ce contexte, il apparaît que le chaulage n'a actuellement pas suffisamment stimulé la croissance de l'érable à sucre pour en modifier la densité dans la haute régénération. En revanche, le traitement de contrôle de la gaule de hêtre à grandement réduit la quantité de gaule totale tout en ramenant une dominance notable de l'érable à sucre. On notera que le contrôle de la gaule de hêtre a également eu un effet positif sur la disponibilité en lumière en l'augmentant significativement (de plus de 8%, $F=10.74$, $p=0.002$). A moyen terme, ceci pourrait donc favoriser d'autant plus le gaulis d'érable laissé dominant après l'application du traitement puisque que cette essence est moins tolérante à l'ombre que le hêtre.

IV.5.b. Effets sur la basse régénération

IV.5.b.1. La densité

En ce qui concerne la strate de semis, l'application des traitements de régénération n'a pas affecté la densité totale ni relative des deux essences (Figure 11 et 12, Annexe 2).

Témoin

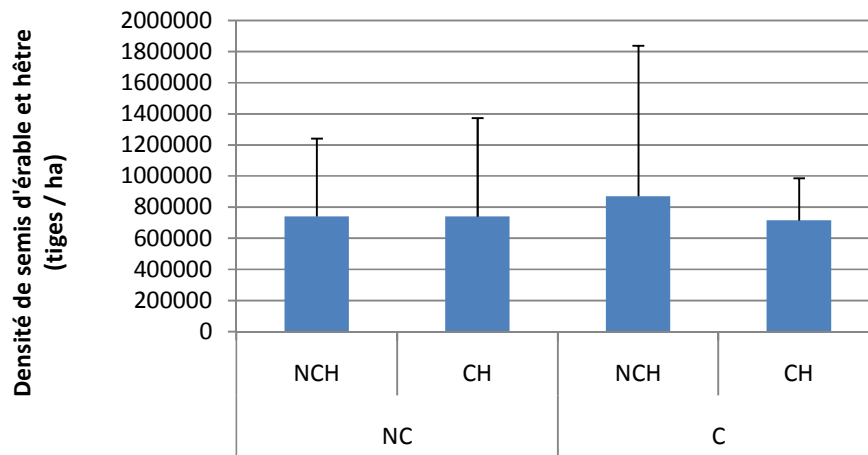


Figure 11. Densité de semis d'ERS et HEG dans les couverts non perturbés (Témoin) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre

Témoin

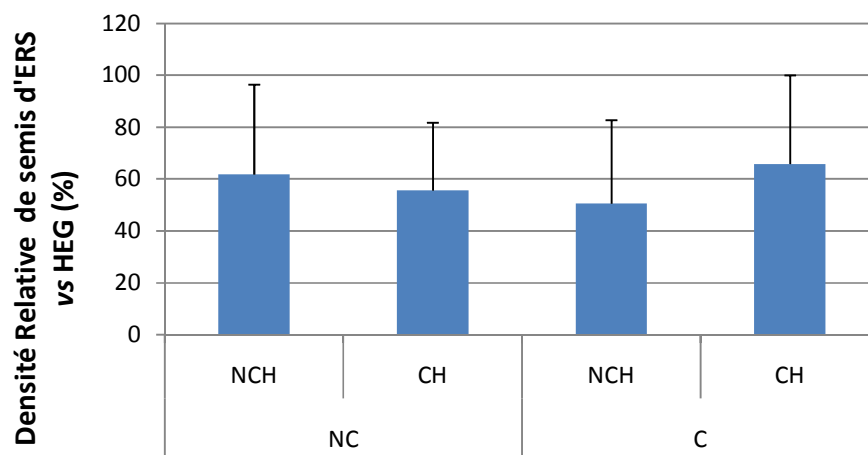


Figure 12. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de semis au sein des couverts non perturbés (Témoin) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Encore une fois, il semble que le chaulage n'a pas stimulé la croissance et/ou la germination, ni minimisé la mortalité de l'éérable à sucre. Ce résultat est surprenant et même décevant en considérant qu'un tel effet positif avait déjà été observé à ces concentrations de chaux dans un peuplement relativement fermé (Moore et al. 2008).

IV.5.b.2. La croissance et la morphologie

Au regard de la croissance des semis au sein des différentes parcelles, il apparaît que le chaulage a un effet significatif sur la croissance des semis (Figure 13, Annexe 2).

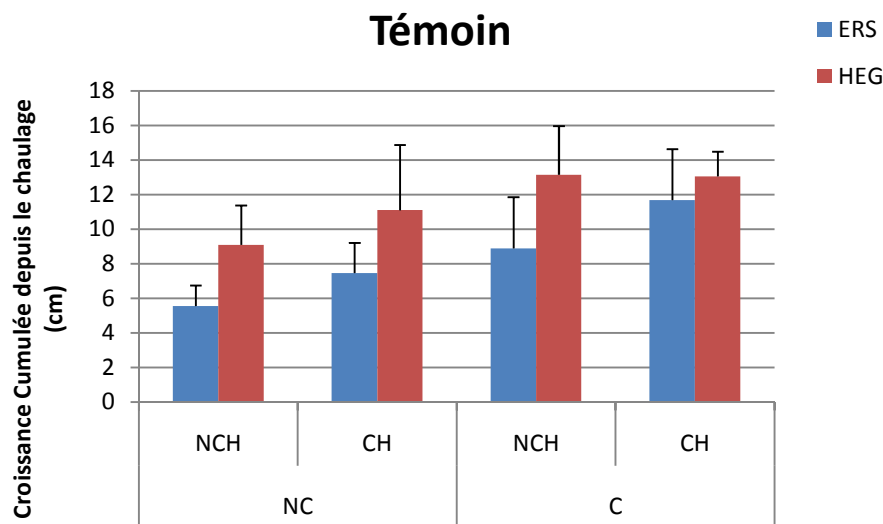


Figure 13. Croissance en hauteur cumulée sur les 3 dernières années dans les couverts non perturbés (Témoin) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Cependant, cette augmentation de croissance avec le chaulage est équivalente chez les deux essences suivies, et comme le hêtre possédait une croissance supérieure à l'éérable à sucre dans ce contexte de couvert fermé, la croissance du hêtre demeure supérieure dans les parcelles chaulées (Figure 13, Annexe 2). Une tendance non significative allant vers une diminution de l'écart de croissance entre les deux espèces semble toutefois apparaître lorsque les traitements de régénération sont appliqués en combinaison (Figure 13). En effet, dans les parcelles chaulées et ayant subi un contrôle

de la gaule de hêtre, on peut supposer que l'augmentation de la lumière ainsi que l'augmentation de la disponibilité en cations ont davantage favorisé l'érable que le hêtre.

Finalement, en ce qui concerne la morphologie des semis, aucune différence entre les 2 espèces n'a été mise en évidence. Un effet, vers une augmentation de la surface foliaire, est toutefois observé chez les deux espèces dans les parcelles ayant reçu le traitement de contrôle de la végétation de hêtre. Encore une fois, cet effet est assurément associé à l'augmentation de lumière provoqué par l'enlèvement de la gaule de hêtre.

IV.6. Effet des traitements sur la régénération après coupe de jardinage

IV.6.a. Effets sur la haute régénération

L'effet des traitements de régénération sur la strate gaulis au sein des parcelles jardinées s'est avéré très similaire à l'effet observé dans les parcelles non perturbées (i.e. témoin). En effet, le chaulage ne semble pas avoir eu d'impact, ni sur le recrutement dans la strate de semis, ni sur les taux de survie des deux espèces (Figure 14, Annexe 3). Seul le contrôle de la gaule de hêtre a : i) grandement diminué la densité de gaules totales (Figure 14) et ii) ramené une dominance de la gaule d'érable à sucre dans cette strate (Figure 15).

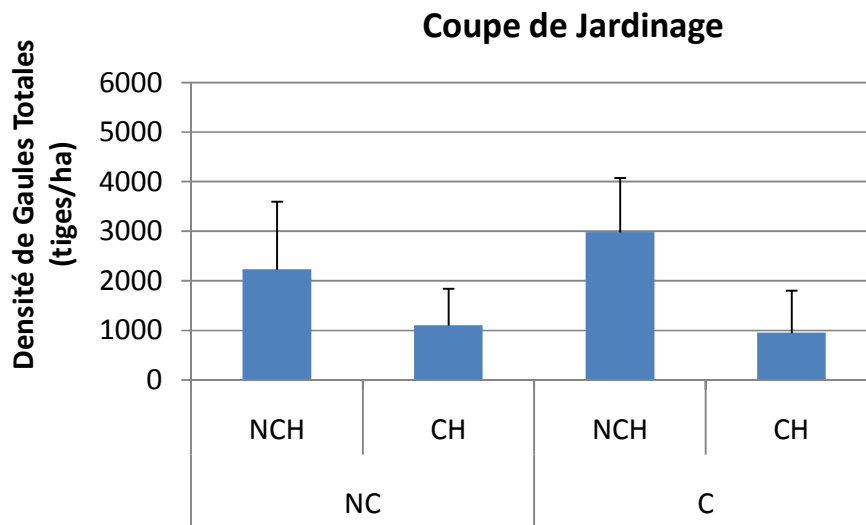


Figure 14. Densité de gaules totales dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

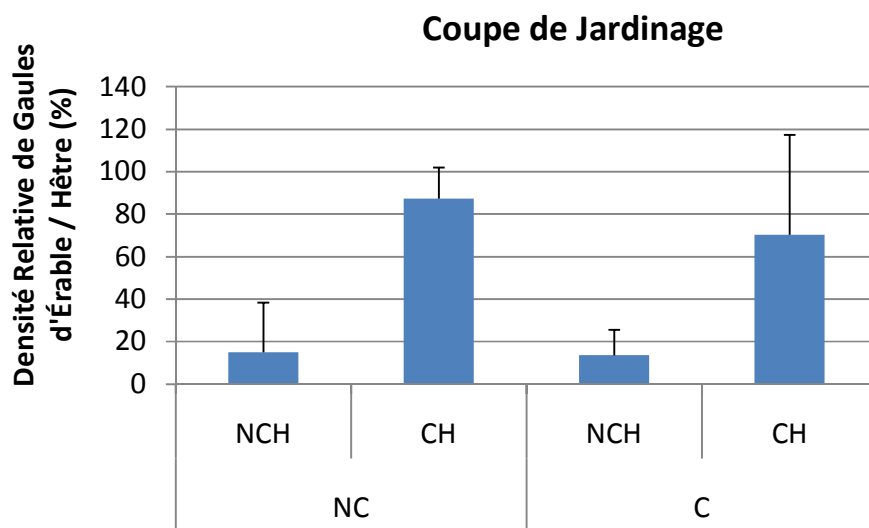


Figure 15. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de gaules au sein des couverts traité en CJ (Coupe de Jardinage) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Dans les parcelles jardinées, le contrôle de la gaule de hêtre demeure donc le traitement le efficace et amenant le plus rapidement à la réinstallation d'un gaulis

dominé par l'érable. Dans ce système hétérogène, c'est-à-dire où des zones perturbées et non perturbées se côtoient, l'enlèvement de la gaule de hêtre n'a cependant pas significativement affecté la lumière disponible pour la régénération comme cela l'avait été dans les parcelles témoin.

IV.6.b. Effets sur la basse régénération

IV.6.b.1. la densité

Le chaulage et le contrôle de la gaule de hêtre, seuls ou en interaction, n'ont pas modifié la densité totale ni la densité relative des deux essences dans la strate de semis (Figure 16 et 17, Annexe 3). Une tendance non significative vers une augmentation des semis d'érable dans les parcelles chaulées (Figure 17) est cependant observée, mais seule une remesure à moyen terme permettra de conclure si ce traitement permet réellement une germination et une survie plus élevées chez l'érable à sucre comme l'ont observé Moore et al. (2008).

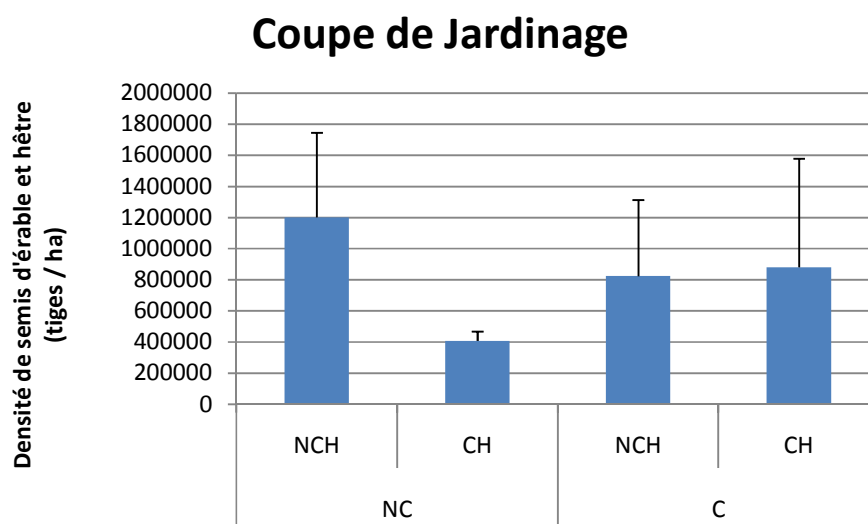


Figure 16. Densité de semis d'ERS et HEG dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Coupe de Jardinage

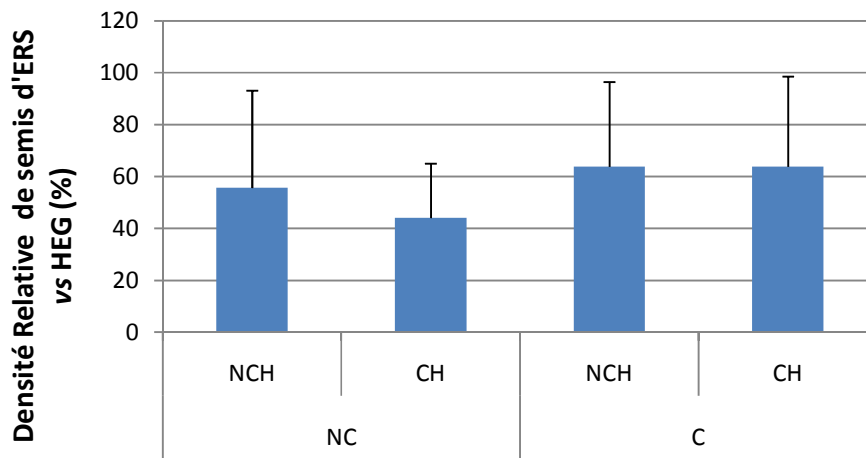


Figure 17. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de semis au sein des couverts traité en CJ (Coupe de Jardinage) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

IV.6.b.2 la croissance et la morphologie

Comme pour les peuplements non perturbés, le hêtre a connu une meilleure croissance cumulée ces 3 dernières années que l'érable, quelque soit le traitement de régénération appliqué (Figure 18, Annexe 3).

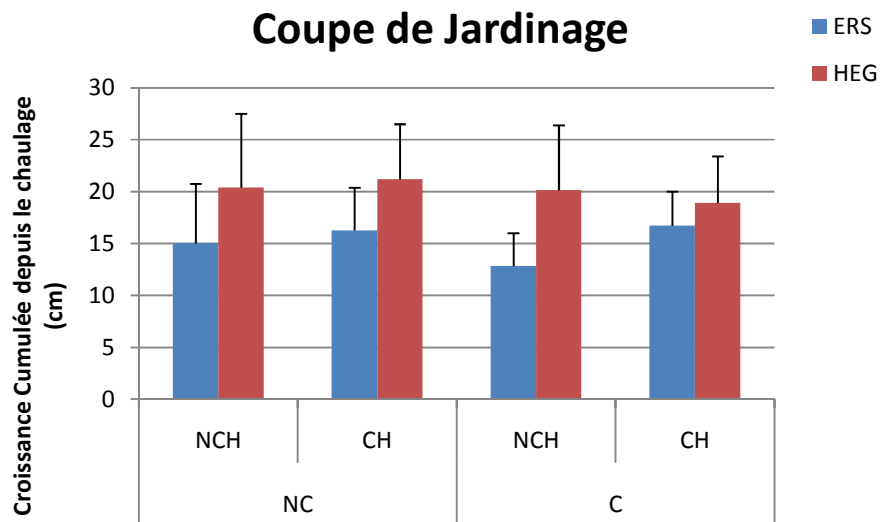


Figure 18. Croissance en hauteur cumulée sur les 3 dernières années dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

De façon intéressante, il s'est avéré que la différence de croissance cumulée la plus faible entre les deux espèces est encore une fois apparue lors de la combinaison du chaulage et du contrôle de la végétation (cf. Figure 18). Cependant même s'il est possible que l'augmentation de lumière (de 12 à 19%, $F=3.89$, $p=0.054$), en combinaison avec le chaulage ait stimulé préférentiellement l'érable à sucre comparativement au hêtre, cette stimulation reste marginale. Pourtant, au regard de la réponse morphologique des semis, il apparaît bien une différence de réponse entre les deux espèces. En effet, les semis d'érable à sucre ont répondu positivement au contrôle de la gaule de hêtre en produisant plus de surface foliaire et plus de racines alors que le hêtre n'a pas connu de modification significative (Figure 19, Annexe). L'érable à sucre a donc bien augmenté sa capacité d'interception de lumière et d'assimilation de nutriment, mais cela ne s'est pas traduit par une augmentation de sa compétitivité face au hêtre en termes de croissance.

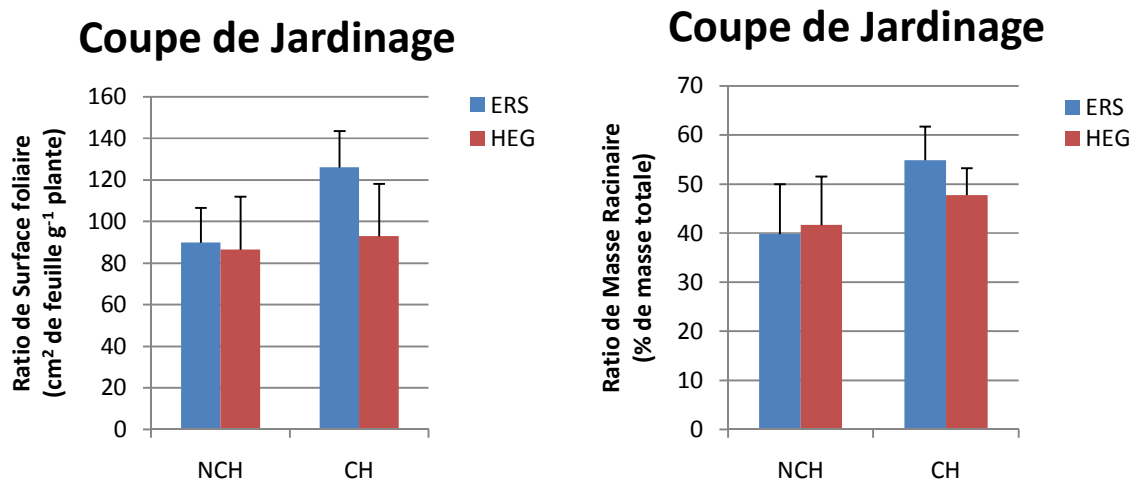


Figure 19. Ratio de surface foliaire développée par unité de biomasse (gauche) et Ratio d'allocation de biomasse au racines (droite) pour les semis récoltés dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du contrôle de la gaule de hêtre.

IV.7. Effet des traitements sur la régénération après coupe totale

IV.7.a. Effets sur la haute régénération

Dans ce troisième contexte où la perturbation du couvert à été très sévère, le patron observé entre les deux espèces diffère remarquablement des deux précédents. En effet, il est observé que ni le chaulage, ni le contrôle de la gaule de hêtre n'a affecté la quantité de gaule dans les parcelles (Figure 20, Annexe 4). De plus, aucun de ces traitements, seuls ou en combinaison) n'a influencé la proportion relative entre les deux espèces (Figure 21, Annexe 4). Dans le contexte de couvert très perturbé, la coupe a donc eu une empreinte si importante sur la haute régénération (destruction très importante de la banque de gaules) que même un traitement de contrôle de gaule de hêtre n'a pas d'impact additionnel. Dans un premier temps, il est possible de conclure que sous un tel régime de perturbation, le traitement de contrôle du hêtre est inutile. Cependant, il est important de reconnaître que si une protection de la régénération avait

été privilégiée au moment de la coupe, le contrôle du hêtre aurait assurément eu le même impact positif sur la densité relative des deux essences, soit une augmentation de la gaule d'érable à sucre.

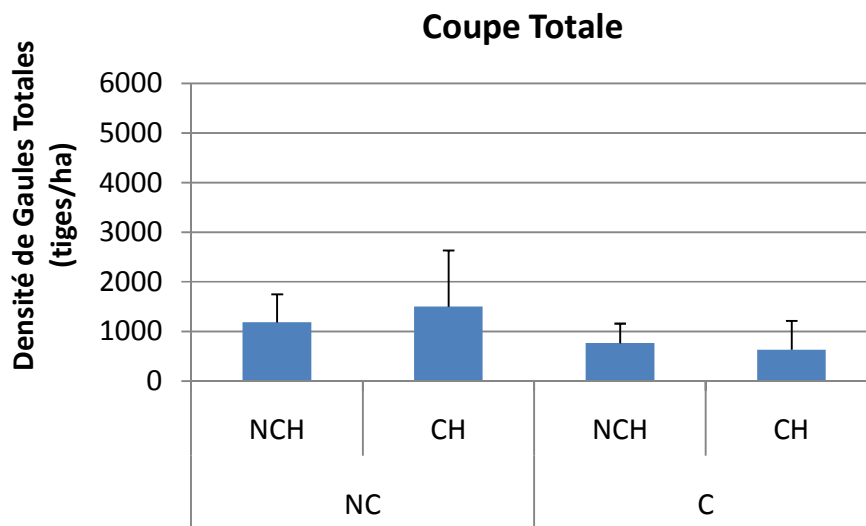


Figure 20. Densité de gaules totales dans les couverts traités en CT (Coupe Totale) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

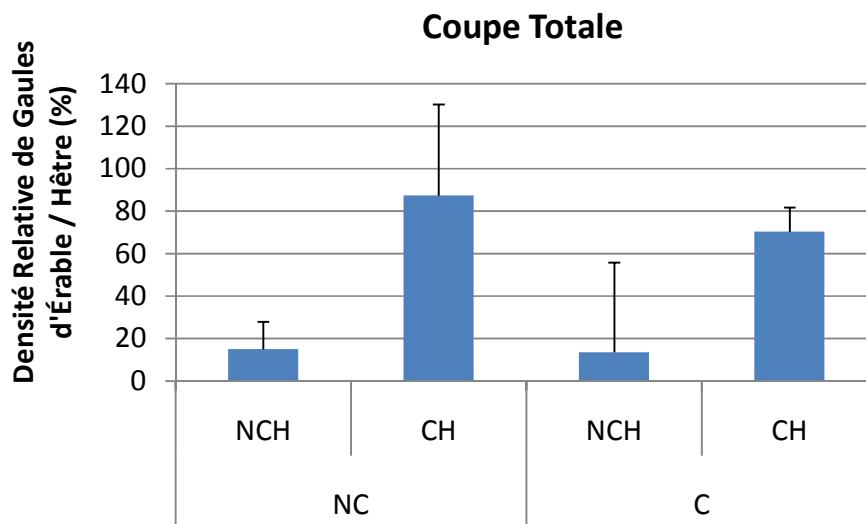


Figure 21. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de gaules au sein des couverts traité en CT (Coupe Totale) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

En ce qui concerne le chaulage, il n'est encore une fois pas observé de modification dans le recrutement ou la survie des deux espèces. Malgré une forte disponibilité en lumière, les gaules des deux essences ne semblent donc pas avoir répondu (au du moins pas suffisamment) pour avoir un impact sur la densité de tige de cette strate.

IV.7.b. Effets sur la basse régénération

IV.7.b.1. la densité

Aucun impact du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre dans les parcelles ayant eu une perturbation très sévère du couvert n'a été observé (Figure 22 et Annexe 4). Comparativement aux deux autres contextes, la perturbation sévère du couvert a cependant sensiblement diminué la densité totale de semis, et l'a surtout rendu extrêmement variable (cf. Figure 22).

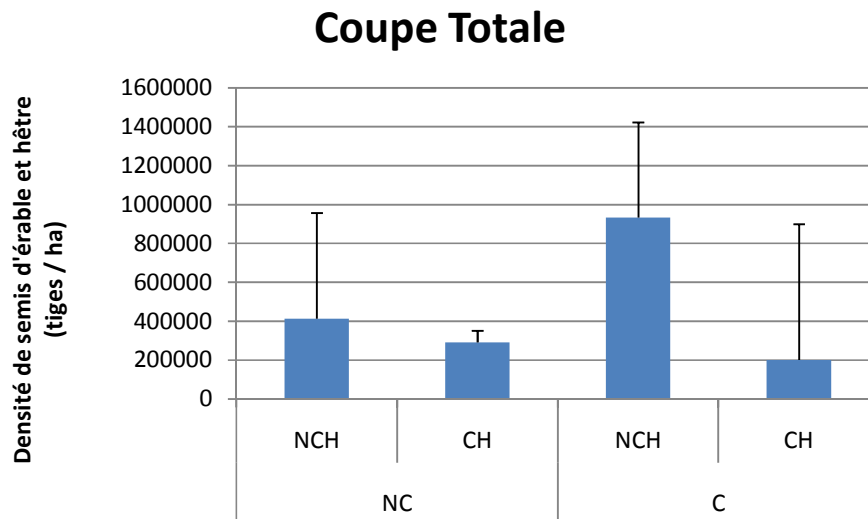


Figure 22. Densité de semis d'ERS et HEG dans les couverts traités en CT (Coupe Totale) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

Du côté de la proportion relative en semis des deux espèces, celle-ci n'a pas été affectée par les traitements de la régénération, seuls ou en interaction (Figure 23,

Annexe 4). Là encore, il est décevant de constater que sous une telle augmentation de la disponibilité en lumière (entre 40 et 65% de la lumière totale), les semis d'érable à sucre n'aient pas répondu par une meilleure survie en considérant i) leur tolérance à l'ombre moins élevée que celle du hêtre et ii) la meilleure fertilité des sols, particulièrement dans les parcelles chaulées (cf. aussi Moore et al 2008). En réalité, on devrait peut-être se surprendre davantage de la bonne survie des semis de hêtre dans ces conditions très ensoleillées.

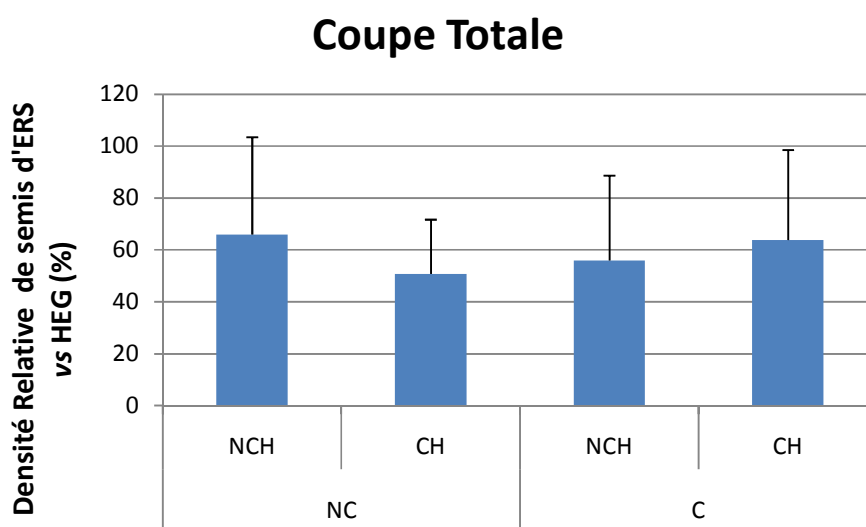


Figure 23. Densité relative d'ERS versus HEG dans la strate de semis au sein des couverts traité en CT (Coupe Totale) et en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

IV.7.b.2 la croissance et la morphologie

En ce qui a trait à la croissance cumulée des trois dernières années, le patron observé entre les deux espèces était bien distinct dans le contexte des perturbations sévères. En effet, si le contrôle de la gaule de hêtre n'a eu aucun impact, le chaulage a significativement stimulé la croissance de l'érable à sucre mais pas celle du hêtre (Figure 24, Annexe 4). Cependant, ceci a finalement eu peu de conséquence au niveau des différences entre espèces. Sans chaulage, la croissance du hêtre est en moyenne supérieure à celle de l'érable mais cette différence n'est pas apparue significative. De

même, après chaulage, la croissance de l'érable à sucre s'est avérée en moyenne supérieure à celle du hêtre, mais là encore cet écart ne s'est pas révélé significatif.

Dans ce contexte de coupe totale, il est donc possible de faire trois constats d'importance pour la croissance des 2 espèces suivies: i) l'augmentation importante de l'ouverture du couvert a fait disparaître l'écart de croissance visible sous couvert non ou peu perturbé, ii) seul l'érable à sucre a répondu positivement au chaulage dans ce contexte de couvert très perturbé, et iii) si aucune différence significative entre espèce n'existe après trois ans, tout porte à croire que la combinaison CT et chaulage serait, avec le temps, le seul moyen d'obtenir une croissance significativement supérieure à celle du hêtre dans ces peuplements. Si dans une certaine mesure, ceci confirme l'hypothèse de Nolet et al. (2008a) suggérant que l'érable répondrait mieux que le hêtre à l'ouverture du couvert et à l'augmentation de la fertilité du sol, la portée de cette réponse sur la croissance est moindre que ces auteurs ne l'avaient supposée. Il pourrait exister une autre limitation (élément minéral non mesuré, régime hydrique du sol, présence du framboisier) qui pourrait mitiger la réponse de l'érable à sucre sur ce site particulier. Par exemple, le P s'est avéré relativement faible sur ce site et extrêmement variable d'une parcelle à l'autre. Or, il a déjà été montré que cet élément était très important dans la performance des érables à sucre mature (Gradowski et Thomas 2006).

De façon surprenante, aucun paramètre de morphologie foliaire ou de morphologie individuelle n'a pu expliquer cette réponse de l'érable à sucre après chaulage. En effet, sous ces fortes intensités lumineuses, la masse surfacique des feuilles ou l'allocation de biomasse dans les différents compartiments n'ont pas varié avec le chaulage pour cette espèce. Seule la teneur en chlorophylle des feuilles a significativement augmenté chez l'érable à sucre avec le chaulage alors qu'elle est demeurée constante chez le hêtre (Figure 25, Annexe 4).

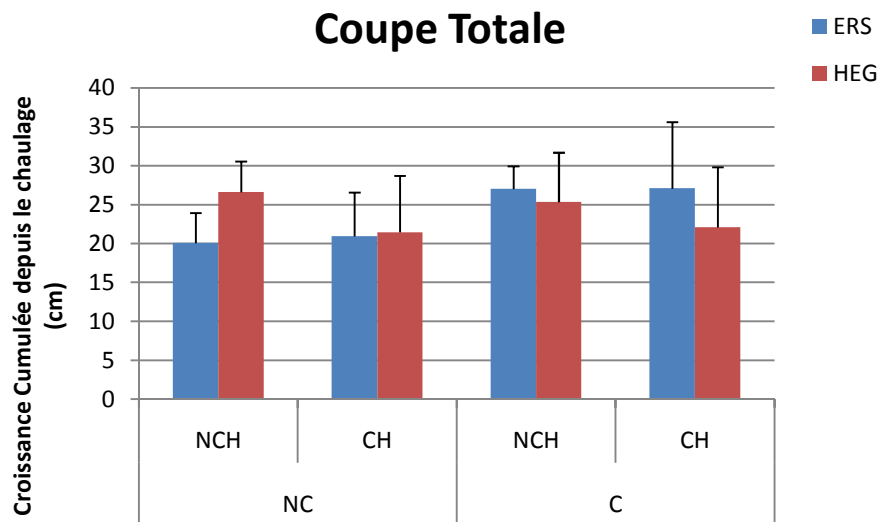


Figure 24. Croissance en hauteur cumulée sur les 3 dernières années dans les couverts traités en CT (Coupe Totale) en fonction du chaulage et du contrôle de la gaule de hêtre.

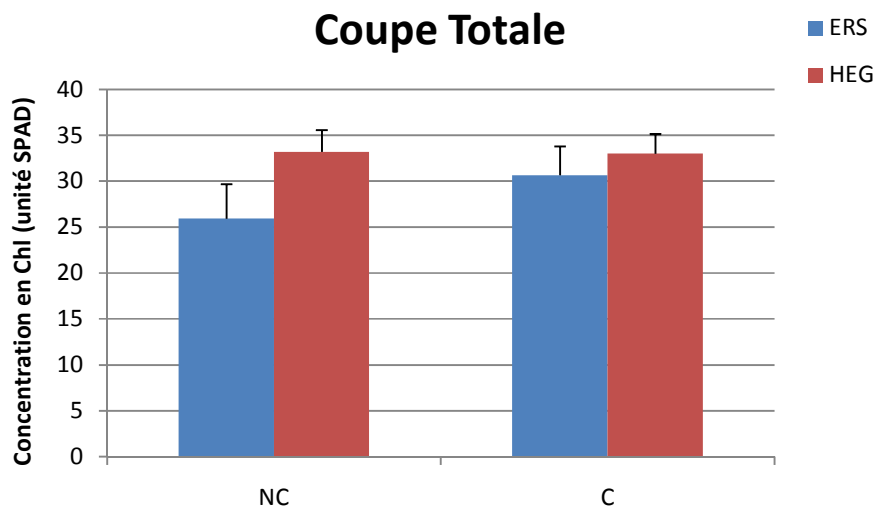


Figure 25. Concentration en Chlorophylle foliaire (unité SPAD) pour les semis récoltés dans les couverts traités en CJ (Coupe de Jardinage) en fonction du chaulage.

Ainsi, dans ce contexte de couvert très perturbé, le gain réalisé par l'érable à sucre vis-à-vis du hêtre après chaulage s'expliquerait directement par une prise en charge de minéraux pour augmenter l'activité photosynthétique des feuilles, mais cette prise en charge de semble associée pas avec la morphologie ni l'allocation de cette espèce. L'érable à sucre, mais non le hêtre, serait donc limité par la disponibilité en Ca et en Mg pour faire fonctionner l'appareil photosynthétique sous de plus fortes disponibilités en lumière. On sait d'ailleurs que le Ca et le Mg sont importants dans la régulation hydrique et la croissance des plantes (Larcher 1995) et le Mg est l'élément central de la molécule de chlorophylle et du fonctionnement de la photosynthèse (Hermans et al 2010), mais il est actuellement difficile de conclure sur la raison de la plus forte sensibilité de l'érable à sucre à cette « fertilisation ».

IV – SYNTHÈSE ET IMPLICATIONS

Les larges gradients imposés au niveau de l'ouverture du couvert (jusqu'à la coupe totale) et de la disponibilité en nutriments (via un chaulage de 3t/ha) n'ont pas amené de différence spectaculaire entre les deux espèces suivies contrairement à ce qu'y avait déjà été supposé (Nolet et al. 2008a).

Dans un premier temps, il est important de reconnaître que l'ouverture du couvert a grandement affecté la densité de la régénération (via l'impact des opérations de récolte) et la croissance et la morphologie des semis d'érable à sucre et de hêtre. Cependant, ces modifications se sont avérées très similaires entre les deux essences, ce qui a finalement impliqué peu de changements dans leurs rapports de dominance et de compétitivité. Après 3 ans, on aurait pu espérer une plus grande installation de semis d'érable à sucre avec l'augmentation de l'ouverture du couvert, mais cela ne semble pas être le cas (bien qu'une tendance se dessine après coupe totale). De plus, il est connu que l'érable à sucre peut répondre positivement à de fortes augmentations de la disponibilité en lumière (Canham 1988, Delagrangue et al. 2004, Nolet et al. 2008b) et ce même type de réponse est moins documenté chez le hêtre. Cependant, Beaudet et Messier (1998) avait déjà observé une croissance similaire ou supérieure du hêtre comparativement à l'érable à sucre jusqu'à 40% de lumière. La création de coupe totale visait justement à augmenter cette disponibilité à des niveaux encore supérieurs afin d'aller explorer la compétitivité des deux espèces au-delà de 40% de lumière. Dans notre dispositif, de telles conclusions sont reportées dans le temps, car si le traitement a effectivement amené la lumière disponible à plus de 60% de la lumière totale, une compétition invasive dans les deux premiers mètres (principalement le framboisier et à quelques occasions des graminées) a empêché les jeunes semis d'en profiter. Il sera donc important de suivre comment réagiront les semis des deux essences lorsqu'ils réussiront à traverser cette couche de végétation. En tenant compte des taux de croissance observés chez les semis d'érable et de hêtre après coupe totale, ceci devrait être observé dans les 2 à 3 prochaines années.

C'est probablement au niveau du chaulage qu'apparaissent les résultats les plus décevants d'un point de vue sylvicole. Ce traitement, coûteux, devait apporter une compétitivité supérieure à l'érable à sucre ce qui n'a pas été le cas. Pourtant, l'effet positif du chaulage sur les tiges d'érable à sucre mature est connu (e.g. Moore et Ouimet 2006, Long et al 1997) et on aurait pu espérer un effet similaire sur la strate de semis. En fait, dans les peuplements témoins ou jardinés, une tendance existe vers une réduction des différences de compétitivité entre les deux espèces, ce qui signifie que l'érable à sucre tend à combler le déficit de croissance qu'il accuse, comparativement au hêtre. On remarquera, qu'un effet synergique avec le contrôle de la gaule de hêtre est souvent noté du fait de l'effet d'ouverture que provoque ce traitement. En effet, il a été observé que l'enlèvement de la gaule de hêtre permettait une augmentation de la lumière disponible pour les semis dans ces contextes de couvert peu ou pas perturbés. On peut supposer, au regard des données sur les éléments du sol, qu'il serait important que la strate de gaules soit absente ou minimisée afin que la strate de semis profite d'un amendement du sol. Le seul contexte où le chaulage semble avoir eu le plus d'effet demeure donc au niveau de la régénération présente dans les coupes totales, là où la strate de gaules avait été la plus détruite après le passage de la machinerie. En effet, grâce à une augmentation de son activité foliaire après chaulage, l'érable a pu grandement améliorer sa compétitivité et même montrer une croissance en moyenne (mais pas significativement) supérieure au hêtre. Encore une fois, ces différences pourraient s'accroître avec le temps et particulièrement avec l'augmentation de la disponibilité en lumière qui attend les semis qui traverseront la couche de framboisier.

Finalement, le contrôle de la gaule de hêtre s'est avéré le traitement le plus spectaculaire dans le rétablissement d'une dominance de l'érable à sucre, mais cela seulement dans les contextes de couvert peu ou pas perturbés et dans la strate de gaules. Ses effets positifs sur i) l'augmentation de la disponibilité en lumière en sous couvert fermé et ii) l'augmentation de la disponibilité en nutriments pour les semis sont à retenir, mais son impact le plus important demeure sur la densité des individus plus que sur l'impact sur la croissance des tiges résiduelles.

Implications sylvicoles

Le contrôle de la densité de hêtre par débroussaillage s'avère donc le traitement le plus efficace à court terme et doit être privilégié dans les couverts peu ou pas perturbés (à moins qu'une précaution particulière soit prise à la protection de la régénération lors de la coupe totale). Pour le chaulage, l'effet à court terme sur la régénération d'érable est très limité et ne semble visible qu'avec une ouverture très importante du couvert. On pourrait envisager un tonnage à l'hectare encore plus important, cependant, il semblerait qu'après 2t/ha peu d'effets additionnels soient à attendre (Moore et Ouimet 2006, Moore et al 2008). De façon générale, l'ouverture du couvert a grandement amélioré la croissance de la régénération, et spécialement celle de l'érable à sucre. Cette ouverture importante a d'ailleurs amené à une réduction des différences entre espèces, cependant, ce traitement, lorsqu'utilisé de façon isolée, ne pourra significativement améliorer la situation d'envahissement dans les érablières.

Il ne ressort donc aucun traitement « miracle », ce qui nous amène à un double constat :

- i) la combinaison de traitements de régénération et de couvert, particulièrement en étant étalés dans le temps, pourrait s'avérer une voie prometteuse afin d'améliorer la situation de l'érable à sucre dans une régénération envahie par le hêtre (Table 2).
- ii) devant l'énergie et le coût qui devront être associés à une lutte efficace contre l'envahissement du hêtre dans la régénération, il sera primordial de définir (1) les niveaux d'envahissement (proportion dans chaque strate) de hêtre actuel au sein des différents peuplements, (2) des priorités d'action pour ces peuplements afin de privilégier des interventions là où les chances de réussite seront les plus grandes et (3) la possibilité d'une sylviculture adaptée au hêtre (et à la présence de la maladie corticale du hêtre) dans les peuplements où des traitements de restauration seront jugés inutiles ou trop coûteux.

Tableau 2. Synthèse regroupant les suggestions de combinaisons de traitements de régénération et de couvert à favoriser dans les érablières selon le type et le niveau d'envahissement par le hêtre.

Envahissement dans la gaule	Envahissement dans les semis	Niveau d'envahissement	Traitements à préconiser	
			régénération	Couvert
Non	Non ou faible	Aucun	(chaulage si déficit de croissance ou sol acidifié)	CT ou CP pour une remise en production des petites tiges
	Oui (>45% des semis)	Premier stade	(chaulage si déficit de croissance ou sol acidifié)	CT ou CP avec protection de la régénération
Oui (>45% du gaulis)	Non ou faible	Avancé	Contrôle de la gaule de hêtre 3 ans avant coupe (chaulage si besoin)	CT ou CP avec protection de la régénération
	Oui (>45% des semis)	Sévère	Contrôle de la gaule de hêtre 3 ans avant coupe , chaulage (si besoin) <u>Si envahissement très sévère : Rien</u>	Vérifier la présence ce semencier d'ERS pour une CP ou CT avec possibilité de plantation <u>Si envahissement très sévère : Sylviculture adapté au HEG</u>

CJ : Coupe de jardinage, CT : Coupe total, CP : Coupe partielle

REFERENCES

- Beaudet, M., Brisson, J., Messier, C. and Gravel, D. 2007. Effect of a major ice storm on understory light conditions in an old-growth Acer-Fagus forest: Pattern of recovery over seven years. - *For. Ecol. Manage.* 242: 553-557.
- Beaudet, M. and Messier, C. 1998. Growth and morphological responses of yellow birch, sugar maple, and beech seedlings growing under a natural light gradient. - *Can. J. For. Res.* 28: 1007-1015.
- Beaudet, M., Messier, C., Paré, D., Brisson, J. and Bergeron, Y. 1999. Possible mechanisms of sugar maple regeneration failure and replacement by beech in the Boise-des-Muir old-growth forest, Quebec. - *Ecoscience* 6: 264-271.
- Canham, C. D. 1988. Growth and canopy architecture of shade-tolerant trees: response to canopy gaps. - *Ecology* 69: 786-795.
- Dahlgren, R. A. and Driscoll, C. T. 1994. The effects of whole-tree clear-cutting on soil processes at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire, USA. - *Plant Soil* 158: 239-262.
- Delagrange, S., Messier, C., Lechowicz, M. J. and Dizengremel, P. 2004. Physiological, morphological and allocational plasticity in understory deciduous trees: Importance of individual size and light availability. - *Tree Physiol.* 24: 775-784.
- Delagrange, S., Nolet, P. and Bouffard, D. Impact du dégagement et du chaulage sur la régénération en érable à sucre et en hêtre dans des érablières en voie d'hêtrisation soumis à différentes intensités de prélèvement du couvert. 59 p. 2009. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Qc.
- Doyon, F. and Gravel, D. L'envahissement par le hêtre dans les érablières de l'Outaouais: phénomène fantôme ou glissement de balancier? 18 p. 2003. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Qc.
- Driscoll, Charles T.; Lawrence, Gregory B.; Bulger, Arthur J.; Butler, Thomas J.; Cronan, Christopher S.; Eagar, C.H.R.I.; Lambert, Kathleen F.; Likens, Gene E.; Stoddard, John L.; Weathers, Kathleen C. 2001. Acidic Deposition in the

- Northeastern United States: Sources and Inputs, Ecosystem Effects, and Management Strategies. - *BioScience* 51: 180-198.
- Duchesne, L., Ouimet, R. and Houle, D. 2002. Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients. - *J. ENVIRON. QUAL.* 31: 1676-1683.
- Duchesne, L., Ouimet, R., Moore, J. D. and Paquin, R. 2005. Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada. - *For. Ecol. Manage.* 208: 223-236.
- Environnement Canada . 2010.
http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/canada_f.html
- Federer, C. A., Hornbeck, J. W., Tritton, L. M., Martin, C. W., Pierce, R. S. and Smith, C. T. 1989. Long-term depletion of calcium and other nutrients in eastern US forests. - *Environ. Manage.* 13: 593-601.
- Gradowski, T. and Thomas, S. C. 2006. Phosphorus limitation of sugar maple growth in central Ontario. - *For. Ecol. Manage.* 226: 104-109.
- Gravel, D., Beaudet, M. and Messier, C. 2008. Partitioning the factors of spatial variation in regeneration density of shade-tolerant tree species. - *Ecology* 89: 2879-2888.
- Hamburg, S. P., Yanai, R. D., Arthur, M. A., Blum, J. D. and Siccama, T. G. 2003. Biotic Control of Calcium Cycling in Northern Hardwood Forests: Acid Rain and Aging Forests. - *Ecosystems* 6: 399-406.
- Hane, E. N. 2003. Indirect effects of beech bark disease on sugar maple seedling survival. - *Can. J. For. Res.* 33: 807-813.
- Hermans, C., Vuylsteke, M., Coppens, F., Cristescu, S. M., Harren, F. J. M., Inzù, D. and Verbruggen, N. 2010. Systems analysis of the responses to long-term magnesium deficiency and restoration in *Arabidopsis thaliana*. - *New Phytol.* 187: 132-144.
- Horsley, S. B. 1994. Regeneration Success and Plant Species Diversity of Allegheny Hardwood Stands After Roundup Application and Shelterwood Cutting. - *Northern Journal Applied Forestry* 11: 109-116.
- Houston, D. R. 1994. Major New Tree Disease Epidemics: Beech Bark Disease. - *Annual Review of Phytopathology* 32: 75-87.

- Juice S.M., Fahey T.J., Siccama T.G., Driscoll C.T., Denny E.G., Eagar C., Cleavitt N.L., Minocha R. and Richardson A.D. 2006. Response of sugar maple to calcium addition to northern hardwood forest. - *Ecology* 87: 1267-1280.
- Kelty, M. J. and Nyland, R. D. 1981. Regenerating Adirondack Northern Hardwoods By Shelterwood Cutting and Control of Deer Density. - *J For* 79: 22-26.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology, ecophysiology and stress physiology of functional groups*, 3rd edition. - Springer-Verlag, 506 p.
- Le Guerrier, C., Marceau, D. J., Bouchard, A. and Brisson, J. 2003. A modelling approach to assess the long-term impact of beech bark disease in northern hardwood forest. - *Can. J. For. Res.* 33: 2416-2425.
- Long, R. P., Horsley, S. B. and Lilja, P. R. 1997. Impact of forest liming on growth and crown vigor of sugar maple and associated hardwoods. - *Can. J. For. Res.* 27: 1560-1573.
- Moore, J. D. and Ouimet, R. 2006. Ten-year effect of dolomitic lime on the nutrition, crown vigor, and growth of sugar maple. - *Can. J. For. Res.* 36: 1834-1841.
- Moore, J. D., Duchesne, L. and Ouimet, R. 2008. Soil properties and maple-beech regeneration a decade after liming in a northern hardwood stand. - *For. Ecol. Manage.* 255: 3460-3468.
- Nolet, P., Bouffard, D., Doyon, F. and Delagrange, S. 2008a. Relationship between canopy disturbance history and current sapling density of *Fagus grandifolia* and *Acer saccharum* in a northern hardwood landscape. - *Can. J. For. Res.* 38: 216-225.
- Nolet, P., Delagrange, S., Bouffard, D., Doyon, F. and Forget, E. 2008b. The successional status of sugar maple (*Acer saccharum*), revisited. - *Ann. Forest Sci.* 65: 208-.
- Nyland, R. D., Bashant, A. L., Bohn, K. K. and Verostek, J. M. 2006. Interference to hardwood regeneration in Northeastern North America: Ecological characteristics of American Beech, striped maple, and hobblebush. - *North. J. Appl. Forest.* 23: 53-61.
- Poulson T.L. and Platt W.J. 1996. Replacement patterns of beech and sugar maple in Warren Woods, Michigan. - *Ecology* 77: 1234-1253.

- Ray, D. G., Nyland, R. D. and Yanai, R. D. 1999. Patterns of early cohort development following shelterwood cutting in three Adirondack northern hardwood stands. - *For. Ecol. Manage.* 119: 1-11.
- Robitaille, A. and Saucier, J.-P. 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. - Les Publications du Québec. 213 p.
- Wilmot, T. R., Ellsworth, D. S. and Tyree, M. T. 1996. Base cation fertilization and liming effects on nutrition and growth of Vermont sugar maple stands. - *For. Ecol. Manage.* 84: 123-134.

ANNEXE

Annexe 1

I- Résultats des l'analyse de variance (ANOVA) pour les caractéristiques de site (variables du sol, disponibilité en lumière)

Response Disponibilité en lumière

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Traitement	2	53212.84	26606.42	205.98	0.000000*	1.000000
B: Trait_regen	3	1142.776	380.9253	2.95	0.034747*	0.690304
AB	6	1533.277	255.5461	1.98	0.072209	0.711095
S	149	19246.4	129.1705			
Total (Adjusted)	160	81106.4				
Total	161					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Disponibilité en lumière avec hauteur dans Témoin

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulage	1	2.405287	2.405287	0.05	0.819733	0.055252
B: Veg_Cont	1	136.4963	136.4963	3.09	0.106452	0.361704
AB	1	10.58352	10.58352	0.24	0.634033	0.073326
C(AB): ID	11	485.664	44.15128			
D: Ht_Profil	3	38.17567	12.72522	4.50	0.009615*	0.838058
AD	3	11.71663	3.905543	1.38	0.266374	0.331129
BD	3	1.702296	0.5674319	0.20	0.895184	0.083407
ABD	3	30.12197	10.04066	3.55	0.025193*	0.733230
CD(AB)	32	90.50948	2.828421			
S	0					
Total (Adjusted)	58	843.3195				
Total	59					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Disponibilité en lumière avec hauteur dans Coupe de jardinage

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulage	1	39.53001	39.53001	0.33	0.577589	0.081342
B: Veg_Cont	1	128.2124	128.2124	1.08	0.325239	0.154085
AB	1	246.2924	246.2924	2.08	0.183136	0.252355
C(AB): ID	9	1065.773	118.4192			
D: Ht_Profil	3	240.0164	80.00548	18.12	0.000001*	0.999989
AD	3	6.368596	2.122865	0.48	0.698461	0.133738

BD	3	40.50787	13.50262	3.06	0.045957*	0.647784
ABD	3	11.25353	3.751176	0.85	0.479448	0.208486
CD(AB)	26	114.7988	4.415339			
S	0					
Total (Adjusted)	50	2074.194				
Total	51					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Disponibilité en lumière avec hauteur dans Coupe totale

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulage	1	1649.26	1649.26	2.04	0.183607	0.253146
B: Veg_Cont	1	34.50033	34.50033	0.04	0.840453	0.054041
AB	1	456.929	456.929	0.57	0.469415	0.104771
C(AB): ID	10	8081.301	808.1301			
D: Ht_Profil	3	6100.126	2033.375	25.74	0.000000*	1.000000
AD	3	308.877	102.959	1.30	0.295250	0.304436
BD	3	161.0486	53.68286	0.68	0.572725	0.172478
ABD	3	492.3075	164.1025	2.08	0.128676	0.467500
CD(AB)	25	1974.554	78.98215			
S	0					
Total (Adjusted)	50	19474.09				
Total	51					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Teneur en Ca2+

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: TRAIT_COUPE	2	617059.3	308529.6	2.61	0.087834	0.485641
B: Chaulagex	1	484508	484508	4.10	0.050623	0.503500
AB	2	346321.2	173160.6	1.46	0.245005	0.291704
C: VegControlx	1	12099.92	12099.92	0.10	0.750944	0.061168
AC	2	355573.1	177786.5	1.50	0.236326	0.298603
BC	1	205635	205635	1.74	0.195805	0.249724
ABC	2	475424.3	237712.2	2.01	0.149097	0.386848
S	35	4138244	118235.6			
Total (Adjusted)	46	6672310				
Total	47					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Teneur en Mg2+

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: TRAIT_COUPE	2	933.4413	466.7206	1.29	0.288503	0.260267
B: Chaulagex	1	5271.79	5271.79	14.57	0.000546*	0.959665
AB	2	207.4563	103.7281	0.29	0.752595	0.091701

C: VegControlx	1	803.9136	803.9136	2.22	0.145335	0.304813
AC	2	1542.049	771.0245	2.13	0.134369	0.406319
BC	1	1079.336	1079.336	2.98	0.093252	0.389196
ABC	2	28.02295	14.01147	0.04	0.962066	0.055363
S	34	12304.77	361.9049			
Total (Adjusted)	45	21703.13				
Total	46					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Teneur en Phosphore

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: TRAIT_COUPE	2	211.9221	105.961	1.06	0.357825	0.219593
B: Chaulagex	1	234.0066	234.0066	2.34	0.135475	0.317996
AB	2	45.75394	22.87697	0.23	0.796630	0.082871
C: VegControlx	1	11.52979	11.52979	0.12	0.736249	0.062559
AC	2	127.2029	63.60146	0.64	0.535521	0.147390
BC	1	33.62698	33.62698	0.34	0.565786	0.087083
ABC	2	60.33863	30.16932	0.30	0.741421	0.093924
S	33	3297.566	99.92625			
Total (Adjusted)	44	4039.56				
Total	45					

* Term significant at alpha = 0.05

Annexe 2

I- Résultats des analyses de variance (ANOVA) pour les caractéristiques de la régénération dans le contexte des couverts non perturbés

Response Densité de gaules totales

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexx	1	902726.3	902726.3	0.59	0.458840	0.108723
B: VegControlx	1	1.951183E+07	1.951183E+07	12.66	0.003936*	0.903567
AB	1	340363.1	340363.1	0.22	0.646806	0.071795
S	12	1.849241E+07	1541034			
Total (Adjusted)	15	3.924734E+07				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité relative de gaules ERS vs HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexx	1	25.81499	25.81499	0.05	0.833952	0.054488
B: VegControlx	1	16955.49	16955.49	30.15	0.000138*	0.998869
AB	1	609.1547	609.1547	1.08	0.318510	0.160226
S	12	6748.733	562.3944			
Total (Adjusted)	15	24339.2				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité de semis d'ERS et HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexxx	1	1.12832E+10	1.12832E+10	0.03	0.871801	0.052655
B: VegControlxx	1	2.475131E+10	2.475131E+10	0.06	0.811225	0.055834
AB	1	2.380191E+10	2.380191E+10	0.06	0.814805	0.055610
S	12	4.981938E+12	4.151615E+11			
Total (Adjusted)	15	5.041775E+12				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité relative de semis d'ERS vs HEG

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexxx	1	1.092888	1.092888	0.00	0.974444	0.050104
B: VegControlxx	1	82.95991	82.95991	0.08	0.780517	0.057957
AB	1	464.2059	464.2059	0.45	0.513012	0.095320
S	12	12257.95	1021.496			
Total (Adjusted)	15	12806.21				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Croissance Cumulée 3 dernières années

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulage	1	91.86901	91.86901	9.03	0.010968*	0.787572
B: VegControl	1	21.78	21.78	2.14	0.169142	0.270524
AB	1	0.7381125	0.7381125	0.07	0.792244	0.057104
C(AB): ID	12	122.0974	10.17479			
D: SP	1	81.85601	81.85601	30.78	0.000126*	0.999049
AD	1	1.17045	1.17045	0.44	0.519603	0.093867
BD	1	3.850312	3.850312	1.45	0.252077	0.198370
ABD	1	4.5	4.5	1.69	0.217744	0.223923
CD(AB)	12	31.91223	2.659352			
S	0					
Total (Adjusted)	31	359.7736				
Total	32					

* Term significant at alpha = 0.05

Annexe 3

I- Résultats des analyses de variance (ANOVA) pour les caractéristiques de la régénération dans le contexte des couverts traités par coupe de jardinage

Response Densité de gaules totales

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexx	1	355106.3	355106.3	0.33	0.578781	0.082292
B: VegControlx	1	1.000391E+07	1.000391E+07	9.17	0.010492*	0.793833
AB	1	817722.3	817722.3	0.75	0.403516	0.125596
S	12	1.308682E+07	1090568			
Total (Adjusted)	15	2.426356E+07				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité relative de gaules ERS vs HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexx	1	346.3531	346.3531	0.44	0.517600	0.094305
B: VegControlx	1	16640.78	16640.78	21.35	0.000589*	0.988301
AB	1	243.8694	243.8694	0.31	0.586176	0.081016
S	12	9351.633	779.3027			
Total (Adjusted)	15	26582.63				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité de semis d'ERS et HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexxx	1	9.07529E+09	9.07529E+09	0.04	0.853635	0.053472
B: VegControlxx	1	5.423976E+11	5.423976E+11	2.12	0.170708	0.268774
AB	1	7.190387E+11	7.190387E+11	2.82	0.119204	0.339098
S	12	3.064911E+12	2.554092E+11			
Total (Adjusted)	15	4.335422E+12				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité relative de semis d'ERS vs HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexx	1	779.8942	779.8942	0.76	0.400856	0.126504
B: VegControlxx	1	135.0426	135.0426	0.13	0.723334	0.062903
AB	1	135.8778	135.8778	0.13	0.722519	0.062984
S	12	12336.87	1028.072			
Total (Adjusted)	15	13387.68				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Croissance Cumulée 3 dernières années

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulage	1	9.164551	9.164551	0.22	0.646024	0.071901
B: VegControl	1	10.94535	10.94535	0.27	0.616022	0.076211
AB	1	0.1792508	0.1792508	0.00	0.948555	0.050423
C(AB): ID	12	495.543	41.29525			
D: SP	1	194.9572	194.9572	17.56	0.001252*	0.969745
AD	1	0.307132	0.307132	0.03	0.870654	0.052703
BD	1	15.42207	15.42207	1.39	0.261342	0.192258
ABD	1	10.59726	10.59726	0.95	0.347798	0.146847
CD(AB)	12	133.1923	11.09936			
S	0					
Total (Adjusted)	31	870.3081				
Total	32					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Ratio de surface foliaire développée par unité de biomasse

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagex	1	903.326	903.326	1.43	0.255366	0.196166
B: VegControlx	1	3624.461	3624.461	5.72	0.033971*	0.594466
AB	1	64.0399	64.0399	0.10	0.755921	0.059920
C(AB): IDx	12	7597.453	633.1211			
D: SPx	1	2682.338	2682.338	5.20	0.041667*	0.554166
AD	1	273.4699	273.4699	0.53	0.480548	0.103023
BD	1	1761.874	1761.874	3.41	0.089391	0.397715
ABD	1	35.71283	35.71283	0.07	0.796937	0.056777
CD(AB)	12	6191.071	515.9226			
S	0					
Total (Adjusted)	31	23133.75				
Total	32					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Ratio de biomasse racinaire

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Chaulagex	1	0.8180459	0.8180459	0.01	0.940451	0.050568
B: VegControlx	1	895.6229	895.6229	6.37	0.026709*	0.640264
AB	1	0.2912554	0.2912554	0.00	0.964444	0.050202
C(AB): IDx	12	1686.953	140.5794			
D: SPx	1	55.95034	55.95034	2.82	0.118940	0.339545
AD	1	13.21806	13.21806	0.67	0.430302	0.116972
BD	1	159.0013	159.0013	8.01	0.015155*	0.738656
ABD	1	18.40316	18.40316	0.93	0.354530	0.144007
CD(AB)	12	238.1105	19.84255			
S	0					
Total (Adjusted)	31	3068.368				
Total	32					

* Term significant at alpha = 0.05

Annexe 4

I- Résultats des analyses de variance (ANOVA) pour les caractéristiques de la régénération dans le contexte des couverts traités par coupe totale

Response Densité de gaules totales

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexx	1	1647357	1647357	3.13	0.102363	0.369952
B: VegControlx	1	33619.54	33619.54	0.06	0.804818	0.056248
AB	1	202550.8	202550.8	0.38	0.546768	0.088238
S	12	6320473	526706.1			
Total (Adjusted)	15	8204001				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité relative de gaules ERS vs HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexx	1	459.3144	459.3144	0.40	0.541359	0.088484
B: VegControlx	1	3231.043	3231.043	2.81	0.124454	0.329316
AB	1	79.47197	79.47197	0.07	0.797872	0.056557
S	10	11487.49	1148.749			
Total (Adjusted)	13	14978.88				
Total	14					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité de semis d'ERS et HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexxx	1	1.846439E+11	1.846439E+11	1.08	0.319903	0.159549
B: VegControlxx	1	7.305637E+11	7.305637E+11	4.26	0.061340	0.475444
AB	1	3.722476E+11	3.722476E+11	2.17	0.166415	0.273618
S	12	2.057966E+12	1.714972E+11			
Total (Adjusted)	15	3.345421E+12				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Densité relative de semis d'ERS vs HEG

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulagexxx	1	9.562631	9.562631	0.01	0.931905	0.050743
B: VegControlxx	1	54.26292	54.26292	0.04	0.838824	0.054224
AB	1	529.3998	529.3998	0.42	0.528407	0.091980
S	12	15070.9	1255.908			
Total (Adjusted)	15	15664.13				
Total	16					

* Term significant at alpha = 0.05

Response Croissance Cumulée 3 dernières années

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulage	1	71.61625	71.61625	1.26	0.284951	0.177069
B: VegControl	1	26.18123	26.18123	0.46	0.510810	0.095381
AB	1	0.5500321	0.5500321	0.01	0.923305	0.050933
C(AB): ID	11	623.5706	56.68823			
D: SP	1	5.816539E-02	5.816539E-02	0.00	0.953879	0.050337
AD	1	87.06934	87.06934	5.24	0.042836*	0.550800
BD	1	39.83266	39.83266	2.40	0.149805	0.293135
ABD	1	3.216738	3.216738	0.19	0.668449	0.068798
CD(AB)	11	182.7591	16.61447			
S	0					
Total (Adjusted)	29	1038.94				
Total	30					

* Term significant at alpha = 0.05

Response SPAD

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Chaulage	1	39.87555	39.87555	2.85	0.119355	0.338385
B: VegControl	1	1.637051E-02	1.637051E-02	0.00	0.973315	0.050113
AB	1	6.705601	6.705601	0.48	0.502940	0.097164
C(AB): ID	11	153.7823	13.98021			
D: SP	1	173.5554	173.5554	32.27	0.000142*	0.999255
AD	1	45.64755	45.64755	8.49	0.014102*	0.755722
BD	1	0.2315705	0.2315705	0.04	0.839404	0.054148
ABD	1	0.3015705	0.3015705	0.06	0.817161	0.055406
CD(AB)	11	59.15648	5.377862			
S	0					
Total (Adjusted)	29	466.1563				
Total	30					

* Term significant at alpha = 0.05