

Titre :	Combien de hêtres pouvons-nous tolérer sur pied après une coupe partielle sans compromettre la régénération en essences désirées?
Auteur(s) :	Simon Bilodeau-Gauthier, biol., ing.f., Ph. D., François Guillemette, ing.f., M. Sc., Steve Bédard, ing.f., M. Sc. et Hugues Power, ing.f., Ph. D.
Collaborateur(s) :	François Boucher, ing.f. (Unité de gestion 14-15 — Laurentides), Sébastien Meunier, ing.f., M. Sc. (Direction de la gestion des forêts de l'Outaouais) et Isabelle Paquin, ing.f. (Direction de la gestion des forêts de l'Outaouais).
Date :	Septembre 2021

Contrairement à l'érable à sucre, le hêtre à grandes feuilles produit un bois de faible qualité qui est peu recherché par l'industrie de transformation. Dans les érablières du Québec, sa prolifération aux dépens de l'érable inciterait à le couper le plus possible afin d'en limiter l'expansion. Nous avons cherché à déterminer quelle quantité de hêtre pouvait être laissée sur pied après une coupe partielle sans compromettre la régénération en essences recherchées. L'analyse des données sur 20 ans du réseau établi en 1995-1999 pour le suivi des effets réels de la coupe de jardinage a permis de dégager certaines tendances.

1. Introduction

Le phénomène du déclin de l'érable à sucre (*Acer saccharum*, ERS), jumelé à celui de la prolifération du hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*, HEG) dans les érablières, soulève de nombreuses questions et inquiète les aménagistes (DRF 2017). Le HEG produit généralement des troncs de faible qualité pour la production de bois d'apparence, ce qui en fait une essence peu recherchée par l'industrie du sciage, contrairement à l'ERS (Havreljuk *et al.* 2015). Par conséquent, l'industrie de transformation des bois tend à éviter la récolte de HEG. En revanche, certains recommandent de prélever le plus possible de hêtres lors des coupes partielles afin d'en freiner la prolifération et de favoriser la régénération des essences désirées (p. ex. Nyland 2020).

Dans ce contexte, la Direction de la gestion des forêts de Lanaudière et des Laurentides (DGFL) et la Direction de la gestion des forêts de l'Outaouais (DGFO) ont formulé la question suivante : quelle quantité de HEG est-il possible de laisser sur pied après une coupe partielle sans compromettre la régénération future des érablières?

Faute de trouver une réponse claire à cette question dans la littérature scientifique existante, nous avons analysé les relations entre la présence de HEG dans le couvert et l'abondance des gaules de HEG et d'ERS dans le réseau établi en 1995-1999 par la Direction de la recherche forestière (DRF) pour le suivi des effets réels de la coupe de jardinage (voir Guillemette *et al.* 2013). Les données du suivi de ces peuplements pendant 20 ans nous ont permis de dégager certaines tendances en réponse à la question posée.

2. Méthodes

2.1. Source des données

Les données utilisées sont tirées du réseau de suivi des effets réels de la coupe de jardinage, dont l'étude a débuté entre 1995 et 1999 (Guillemette *et al.* 2013) et s'est poursuivie sur une période de 20 ans suivant la coupe. Dans ce réseau, nous avons sélectionné les 111 érablières à bouleau jaune (végétation potentielle de type FE3) traitées par la coupe de jardinage dans les domaines bioclimatiques de l'érablière et situées sur le Bouclier canadien. Chaque peuplement a été échantillonné à l'aide de 1 à 3 placettes permanentes dans laquelle les arbres de dimension marchande (c'est-à-dire dont le diamètre à hauteur de poitrine [DHP, mesuré à 1,3 m du sol] est plus grand que 9 cm) ont été suivis sur une surface de 400 m², puis les gaules (DHP de 1 à 9 cm) ont été suivies sur une surface de 40 m². Dans le présent avis technique, nous utilisons les mêmes données que dans celui de Bilodeau-Gauthier *et al.* (2021), que les lecteurs sont invités à consulter pour plus de détails.

2.2. Questions spécifiques

Sur la base des éléments de diagnostic sylvicole proposés dans l'avis scientifique sur la sylviculture des peuplements contenant du HEG et de l'ERS (DRF 2017, p. 65 à 70), nous avons cherché à répondre aux questions spécifiques suivantes :

- A. À partir de quelle proportion¹ de HEG dans la surface terrière marchande du peuplement avant la coupe trouve-t-on, 20 ans plus tard, au moins 800 gaules ha⁻¹ de HEG? Ce seuil² minimal de 800 gaules ha⁻¹ avait été déterminé pour justifier une coupe des gaules de HEG dans le sous-bois afin d'en contrôler la prolifération (DRF 2017).

¹ Notons que la DGFL et la DGFO utilisent le seuil de 15 % de la surface terrière marchande en HEG pour juger si la présence de cette essence est problématique dans un peuplement (DGFO-07 2018).

² En fait, l'avis scientifique de la DRF (2017) mentionnait une valeur de 500 gaules HEG ha⁻¹, mais rapportait des valeurs observées variant de 800 à 3 000 gaules ha⁻¹ (cf. p. 69). Par conséquent, nous avons utilisé la limite inférieure de cette étendue de valeurs (donc 800 gaules ha⁻¹) comme seuil de tolérance dans les gaulis de HEG.

- B. À partir de quelle proportion de HEG dans la surface terrière marchande du peuplement avant la coupe trouve-t-on moins de 1 000 gaules d'ERS à l'hectare, 20 ans plus tard? Ce seuil de 1 000 gaules d'ERS correspond à l'objectif de régénération de l'ERS dans une érablière de structure jardinée (Arbogast 1957, DRF 2017).
- C. L'intensité de récolte des HEG marchands, exprimée en termes de surface terrière ou de nombre de tiges absolu ou relatif, influence-t-elle la régénération en HEG et en ERS? Étant donné que la coupe d'un HEG mature peut stimuler l'apparition de rejets de souche et de drageons, cela pourrait influencer la présence de gaules de cette essence.

2.3. Analyses

Dans le but d'expliquer la variation de la densité de gaules 20 ans après la coupe, nous avons construit 2 modèles statistiques (régressions multiples ou modèles additifs généralisés) : un pour chaque essence d'intérêt (l'ERS et le HEG), en incluant les variables explicatives suivantes :

- (1) la proportion d'ERS dans la surface terrière marchande avant la coupe;
- (2) la proportion de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe;
- (3) la densité de gaules d'ERS avant la coupe;
- (4) la densité de gaules de HEG avant la coupe;
- (5) la proportion de la surface terrière marchande de HEG récoltée;
- (6) l'interaction des variables 2 et 4.

Puisque les variables 3 et 5 se sont avérées non significatives ($P \geq 0,1$) dans les versions complètes des modèles, nous les avons retirées afin de construire des versions réduites des modèles. Celles-ci comprennent donc uniquement les variables explicatives présentant une valeur de $P < 0,1$ dans les modèles complets. Seules ces versions réduites seront présentées dans les résultats.

Pour obtenir les coefficients de détermination (R^2 ajustés) et les valeurs de probabilités qui apparaissent sur la figure 1, nous avons utilisé des régressions linéaires simples dans le cas du HEG et des modèles additifs généralisés dans celui de l'ERS.

3. Résultats

Les régressions multiples expliquant la variation de la densité de gaules 20 ans après la coupe révèlent que l'effet de la proportion de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe ainsi que celui de la densité de gaules de HEG avant la coupe étaient significatifs pour les 2 essences à l'étude (tableau 1).

Ces effets étaient négatifs sur les gaules d'ERS et positifs sur les gaules de HEG (voir le signe devant la valeur estimée au tableau 1). De même, l'interaction entre la proportion de HEG dans la surface terrière marchande et la densité de gaules de HEG était significative. L'effet de la proportion d'ERS dans la surface terrière avant la coupe, quant à lui, était significatif seulement sur la densité de gaules d'ERS, pas pour celle du HEG. Dans les sections qui suivent, nous examinerons plus en détail l'effet de ces variables.

Tableau 1. Régressions multiples expliquant les densités de gaules d'érable à sucre (ERS) et de hêtre à grandes feuilles (HEG) à 20 ans selon plusieurs variables explicatives. ST = surface terrière; Prob. = probabilité (valeur de P); dl = degrés de liberté; R^2 = coefficient de détermination.

Variable réponse	Variable explicative*	Valeur estimée	Écart-Type	Valeur de t	Prob.	dl	R^2	Prob. globale
Densité de gaules de HEG à 20 ans	Ordonnée à l'origine	218	99,6	2,19	0,0311			
	%ST marchande HEG avant coupe	48,1	6,65	7,23	< 0,0001			
	Densité gaules HEG avant coupe	0,815	0,115	7,06	< 0,0001			
	%ST HEG x densité gaules HEG	-0,0137	0,00518	-2,64	0,00962			
	Modèle global					107	0,68	< 0,0001
Densité de gaules d'ERS à 20 ans	Ordonnée à l'origine	287	494	0,580	0,563			
	%ST marchande ERS avant coupe	19,7	6,42	3,06	0,00278			
	%ST marchande HEG avant coupe	-23,6	11,3	-2,08	0,0399			
	Densité gaules HEG avant coupe	-0,646	0,182	-3,55	0,000575			
	%ST HEG x densité gaules HEG	0,0179	0,00812	2,20	0,0297			
Modèle global					106	0,26	< 0,0001	

*Les modèles présentés ici sont les versions réduites, qui comprennent uniquement les variables explicatives présentant une valeur de $P < 0,1$ dans les modèles complets.

3.1. Régénération en HEG

Vingt ans après la coupe de jardinage, la densité des gaules de HEG était significativement reliée à la proportion de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe (figure 1a; $P < 0,0001$, $R^2 = 0,48$). De plus, la relation était significative entre la densité des gaules de HEG à 20 ans et celle avant la coupe (figure 1b; $P < 0,0001$, $R^2 = 0,49$). Toutefois, la forme de cette relation changeait selon la proportion de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe (figure 2a), comme le laissait présager l'interaction significative entre ces 2 variables dans la régression (tableau 1).

La densité des gaules de HEG après 20 ans était supérieure au seuil de 800 gaules·ha⁻¹ dans un peu plus de la moitié des peuplements (59 sur 111, soit 53 %). La majorité de ceux-ci avaient au moins 15 % de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe (37 peuplements sur 59, soit 63 %) et au moins 800 gaules de HEG·ha⁻¹ avant la coupe (35 peuplements sur 59, soit 59 %). De plus, dans les 24 peuplements sur 111 où ces 2 conditions de forte présence de HEG avant la coupe étaient réunies, la densité des gaules de HEG à 20 ans était toujours supérieure à 800·ha⁻¹.

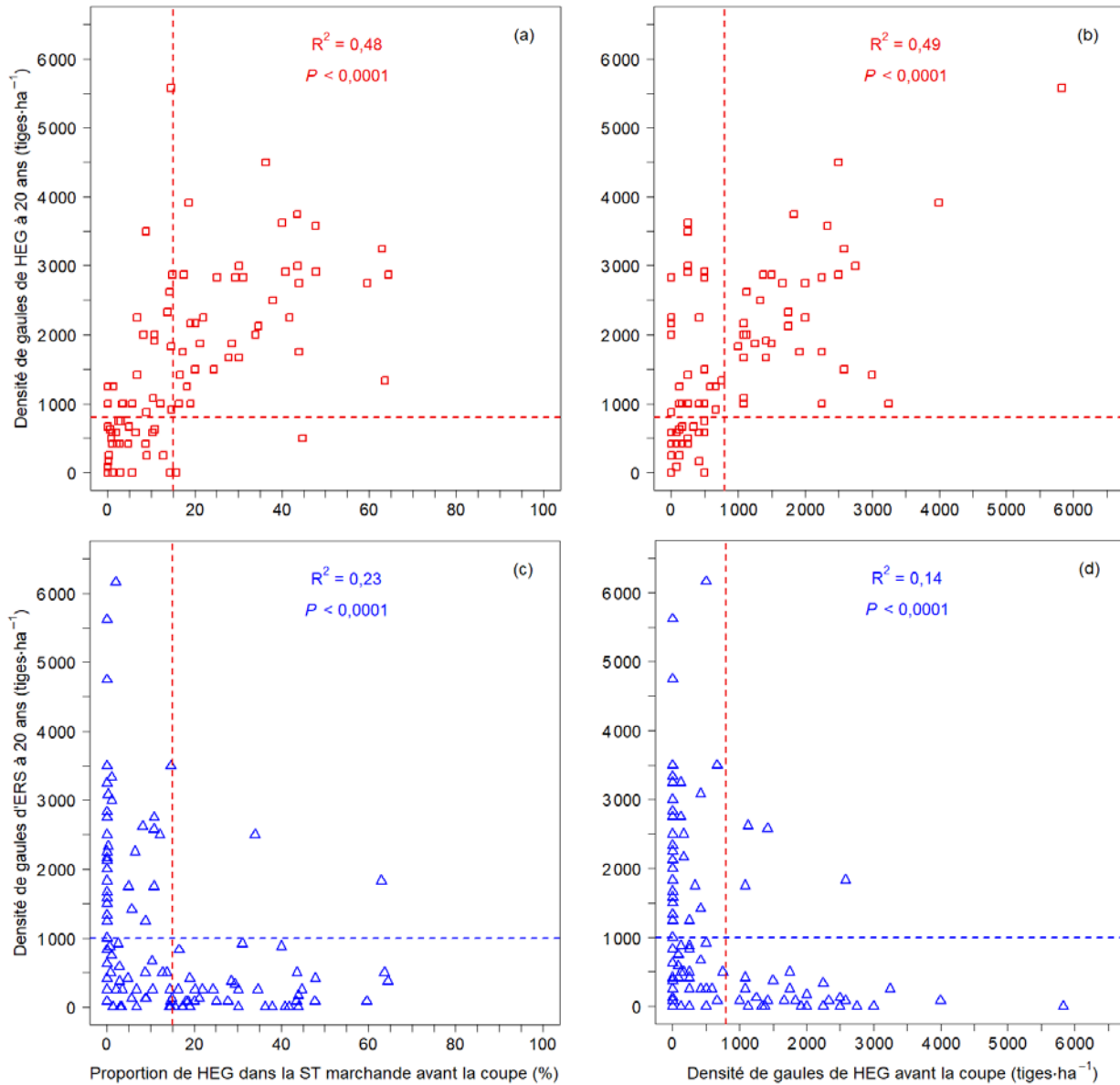


Figure 1. Densité des gaules (a, b) de HEG et (c, d) d'ERS 20 ans après la coupe de jardinage selon (a, c) la proportion de HEG dans la surface terrière (ST) des arbres marchands avant la coupe ou (b, d) la densité de gaules de HEG avant la coupe. Chaque point correspond à un peuplement ($n = 111$). La ligne pointillée horizontale indique (a, b) le seuil de 800 gaules·ha⁻¹ de HEG ou (c, d) celui de 1000 gaules·ha⁻¹ d'ERS, tandis que la ligne pointillée verticale représente (a, c) le seuil de 15 % de HEG dans la ST marchande ou (b, d) celui de 800 gaules·ha⁻¹ de HEG.

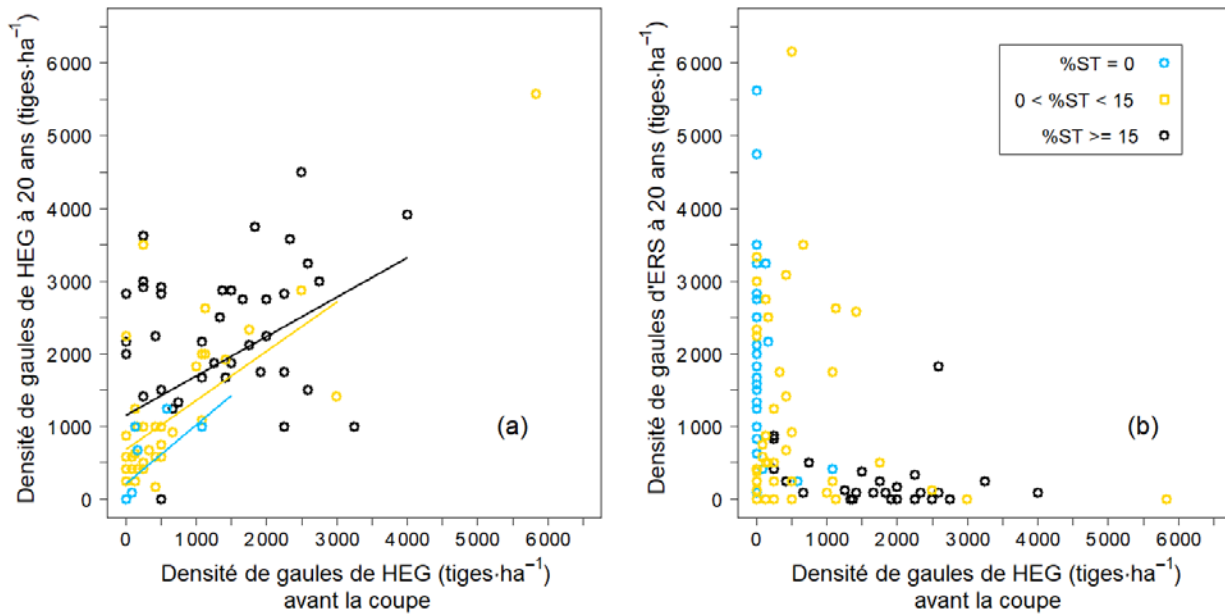


Figure 2. Densité à 20 ans des gaules (a) de HEG ou (b) d'ERS selon la densité de gaules de HEG avant la coupe. Chaque point correspond à un peuplement ($n = 111$). Ces peuplements sont aussi classés en 3 catégories sur la base de la proportion de HEG dans la surface terrière (ST) marchande avant la coupe : aucun HEG (cercles bleus), avec moins de 15 % de HEG (cercles jaunes), ou avec 15 % ou plus de HEG (cercles noirs). Ces catégories et couleurs sont reprises pour les droites de régression produites à l'aide de l'équation du tableau 1, qui illustrent la relation pour le HEG avec des valeurs de proportion de ST marchande de HEG fixées à 0, 10 et 20 % respectivement pour chacune des catégories susmentionnées.

À l'inverse, les conditions optimales de faible présence de HEG avant la coupe ($< 15\%$ de la ST marchande et < 800 gaules·ha⁻¹) étaient observées dans 55 % des peuplements à l'étude (61 sur 111). Parmi ces peuplements, la majorité (50 sur 61, soit 82 %) présentaient encore, 20 ans plus tard, une densité de gaules de HEG inférieure à 800·ha⁻¹.

De surcroît, dans les 29 peuplements sur 111 ne contenant aucun HEG marchand avant la coupe, la densité de gaules de HEG après 20 ans était très souvent nulle (24 peuplements sur 29, soit 83 %), ou sinon, généralement faible (moyenne = 142 gaules·ha⁻¹). Cette densité de gaules de HEG à 20 ans était toutefois très variable (écart-type = 345 gaules·ha⁻¹), 3 de ces peuplements présentant tout de même des valeurs supérieures à 800·ha⁻¹ (maximum = 1 250 gaules·ha⁻¹).

Ces résultats indiquent donc que des peuplements dans lesquels la présence du HEG est forte avant la coupe (tiges marchandes et surtout, gaules) risquent de devenir fortement dominés par les gaules de HEG 20 ans après la coupe. Si le HEG est peu présent avant la coupe et qu'il se trouve principalement parmi les arbres marchands plutôt que dans la régénération, on peut espérer qu'il n'envahira pas trop le

peuplement 20 ans plus tard. Même si un peuplement avec peu de HEG marchands avant la coupe peut contenir plus tard beaucoup de gaules de cette essence, cette situation n'a pas souvent été observée dans l'échantillon étudié.

3.2. Régénération en ERS

Vingt ans après la coupe de jardinage, la densité des gaules d'ERS dans les peuplements à l'étude était en moyenne de $1\,067 \cdot \text{ha}^{-1}$ (écart-type = $1\,285 \text{ gaules} \cdot \text{ha}^{-1}$), mais elle variait grandement, avec des limites inférieures et supérieures de 0 et de $6\,160 \text{ gaules} \cdot \text{ha}^{-1}$ (figure 1). Cette densité était significativement reliée à la proportion de HEG dans la surface terrière des arbres marchands avant la coupe (figure 1c) ainsi qu'à la densité des gaules de HEG avant la coupe (figure 1d), bien que ces relations présentent des R^2 inférieurs à ceux obtenus pour les gaules de HEG. L'effet combiné de ces 2 variables explicatives (figure 2b) montre que les peuplements sans HEG marchands contenaient aussi peu de gaules de HEG, et que cela était associé à de fortes densités de gaules d'ERS (cf. les points agrégés le long de l'axe des abscisses). À l'inverse, les peuplements avec au moins 15 % de HEG dans la surface terrière marchande totale contenaient beaucoup de gaules de HEG, et donc, peu de gaules d'ERS. Dans les peuplements avec une proportion intermédiaire de HEG dans la surface terrière marchande (plus que 0 %, mais moins que 15 %, soit les points jaunes sur la figure 2b), la densité des gaules d'ERS suivait une courbe exponentielle négative en fonction du nombre de gaules de HEG.

Le seuil de $1\,000 \text{ gaules} \cdot \text{ha}^{-1}$ à 20 ans, considéré comme le minimum souhaitable pour assurer la régénération de l'ERS, a été atteint ou dépassé dans 38 des 111 peuplements étudiés (soit 34 %)³. De ceux-ci, presque tous (36 des 38 peuplements, soit 95 %) contenaient moins de 15 % de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe. Autrement dit, seulement 2 peuplements contenant plus de 15 % de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe ont atteint des densités de $1\,000 \text{ gaules} \cdot \text{ha}^{-1}$ après 20 ans (quadrant supérieur droit de la figure 1c). De même, une forte majorité (89 %) des peuplements bien régénérés en ERS à 20 ans avaient des densités de gaules de HEG inférieures à $800 \cdot \text{ha}^{-1}$ avant la coupe.

Après 20 ans, les deux tiers des peuplements étudiés ne satisfont pas au seuil de régénération pour l'ERS (73 peuplements sur 111, soit 66 %). Parmi ceux-ci, toutefois, seulement 42 % (31 sur 73) contenaient $\geq 800 \text{ gaules} \cdot \text{ha}^{-1}$ de HEG avant la coupe, 49 % présentaient au moins 15 % de HEG dans la surface terrière marchande, et 32 % remplissaient ces 2 conditions de forte présence de HEG. De surcroît, plus du tiers de ces peuplements mal régénérés en ERS (28 sur 73, soit 38 %) réunissaient pourtant, avant la coupe, les 2 conditions de faible présence du HEG. Même s'il y a peu d'envahissement par les gaules de HEG 20 ans après la coupe, une régénération déficiente en ERS peut donc être observée (24 peuplements;

³ Si l'on avait utilisé le seuil minimal de $500 \text{ gaules} \cdot \text{ha}^{-1}$ au lieu de $1\,000 \text{ gaules} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour définir une régénération satisfaisante en ERS, on ajouterait à ce décompte 11 autres peuplements, pour un total de 49 sur 111 (soit 44 %).

données non présentées). À l'opposé, parmi les 38 peuplements avec une bonne régénération d'ERS à 20 ans ($\geq 1\,000$ gaules·ha⁻¹), la majorité (33 sur 38, soit 87 %) remplissaient les 2 conditions de faible présence de HEG avant la coupe. Par comparaison, un seul peuplement présentait les 2 conditions de forte présence de HEG (le point noir isolé au milieu de la figure 2b).

Nos résultats indiquent que pour avoir une bonne régénération en ERS 20 ans après la coupe, les gaules et les arbres marchands de HEG devraient être peu présents avant la coupe. En effet, plus il y avait de gaules de HEG avant la coupe, plus il y en avait 20 ans plus tard, et moins il y avait de gaules d'ERS (tableau 1, figures 1b et 1d). Cependant, le seul fait d'avoir peu de HEG avant la coupe n'assure pas une bonne régénération en ERS après 20 ans. Ainsi, même lorsque le HEG était absent des peuplements à l'étude (29 peuplements sur 111, soit 26 %), la densité de gaules d'ERS après 20 ans était très variable (de 80 à 5 600 gaules·ha⁻¹; moyenne = 1 990 gaules·ha⁻¹; écart-type = 1 310 gaules·ha⁻¹). L'absence de HEG n'est donc pas forcément un gage de succès pour la régénération de l'ERS.

3.3. Effet de la récolte de HEG

La récolte du HEG ne semble pas avoir eu d'effet sur la densité de gaules des 2 essences à l'étude 20 ans après la coupe (tableau 1), comme le suggère aussi la forme des nuages de points sur les 2 graphiques de la figure 3. Ainsi, la densité résultante des gaules de HEG ne semble pas dépendre de la création de souches de HEG matures qui pourrait stimuler la production de rejets ou de drageons.

Vingt ans après la coupe, la densité de gaules d'ERS n'était pas non plus influencée par la récolte de HEG. On peut néanmoins observer que les valeurs de densité sont généralement plus faibles sur la figure 3b que sur la figure 1c. Ceci est dû au fait que nous avons exclu de la figure 3 les peuplements sans HEG marchands avant la coupe, alors que les valeurs les plus élevées de densité de gaules d'ERS s'observaient justement en l'absence de HEG marchands et, par conséquent, lorsqu'il n'y avait pas de récolte de HEG. Sur la figure 3, on constate par ailleurs qu'un certain nombre (21) de peuplements n'avaient pas fait l'objet de récolte de HEG, même s'ils en contenaient avant la coupe (avec des valeurs de l'ordre de $1,8 \pm 2,3$ m²·ha⁻¹, comparativement à $4,0 \pm 4,6$ m²·ha⁻¹ pour l'ensemble des peuplements).

Il faut toutefois souligner que notre jeu de données ne représente pas un gradient de taux de récolte du HEG qui aurait pu moduler la réponse des gaules 20 ans après la coupe. En effet, peu importe la surface terrière marchande de HEG avant la coupe, la proportion récoltée était assez constante, se situant en moyenne à 21 % \pm 19 % lorsque cette présence n'était pas nulle. Par conséquent, le taux de récolte du HEG était très faiblement lié à son abondance, malgré la présence d'une corrélation significative ($R^2 = 0,21$; $P < 0,0001$). De plus, la composition en HEG dans la surface terrière marchande des peuplements à l'étude n'a pas été influencée de manière notable par la coupe de jardinage. En effet, la relation entre la proportion de HEG avant et après la coupe présentait une pente voisine de 1 et une ordonnée à l'origine près de 0 (plus exactement 1,08 et 0,26, respectivement; $R^2 = 0,90$; $P < 0,0001$; données non présentées). Cela dit,

les peuplements du réseau de suivi des effets réels sont néanmoins représentatifs de ce qui se fait au Québec, puisque le HEG n'est pas particulièrement ciblé dans la majorité des aires traitées par coupe de jardinage (CJ) ou par coupe progressive irrégulière à couvert permanent (CPI-CP).

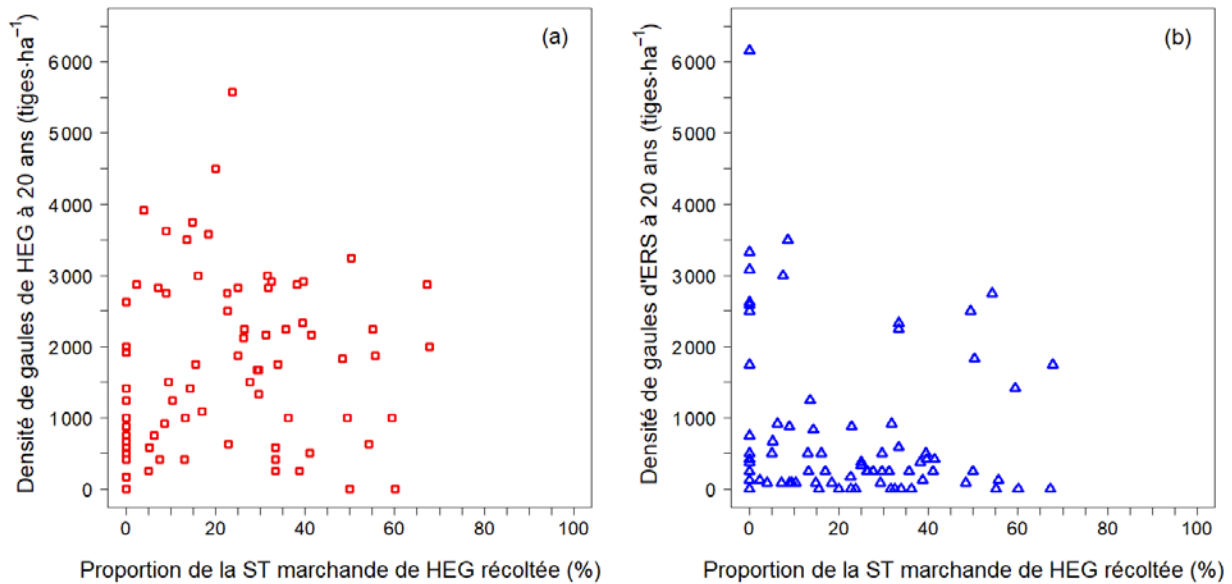


Figure 3. Densité des gaules à 20 ans pour le HEG (a) et l'ERS (b) selon la proportion de HEG dans la surface terrière (ST) marchande qui avait été récoltée ($n = 82$, après exclusion des 29 peuplements sur 111 où il n'y avait pas de HEG avant la coupe).

4. Discussion

Les résultats démontrent d'abord que la proportion de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe et la densité des gaules de HEG avant la coupe expliquent une bonne partie de la variation de la densité des gaules d'ERS et de HEG 20 ans après la coupe. La densité des gaules de HEG après 20 ans augmente en fonction de ces 2 variables dans le peuplement initial, tandis que la densité des gaules d'ERS suit une tendance opposée et augmente avec la surface terrière initiale d'ERS. Les résultats démontrent aussi la grande variabilité des observations, qui découle en partie de l'erreur d'échantillonnage (le hasard des placettes), mais aussi d'autres facteurs non expliqués (Gauthier *et al.* 2015). De plus, les données utilisées présentent certaines limites. Par exemple, étant donné que le taux de récolte des HEG marchands était assez constant dans le jeu de données, il n'est pas possible de déterminer comment le gaulis aurait réagi au traitement si le HEG avait été récolté plus ou moins que les autres essences.

Nous n'avons pas de réponse claire et sans équivoque à la question au sujet de la quantité de HEG qu'on peut laisser sur pied après une coupe partielle sans compromettre la régénération future des érablières. Dans les peuplements qui contenaient très peu de HEG de dimension marchande avant la coupe, la densité des gaules d'ERS est généralement satisfaisante 20 ans plus tard ($\geq 1\ 000\ \text{ha}^{-1}$; figure 1c). En revanche,

dans la plupart des peuplements où le HEG était présent dans la surface terrière marchande avant la coupe, même en faible proportion, on observe 20 ans plus tard que le nombre de gaules d'ERS est insuffisant. De plus, ces conditions sont généralement associées à une densité de gaules de HEG ($\geq 800 \cdot \text{ha}^{-1}$) assez forte pour qu'on envisage d'intervenir afin d'en freiner la prolifération. Bref, on observe effectivement que l'ERS se régénère moins bien en présence de HEG.

Toutefois, la meilleure méthode de contrôle du HEG demeure incertaine. À titre d'exemple, Nyland (2020) recommande de couper tous les HEG sur pied ayant un DHP ≥ 1 cm, ce qui s'apparente à un traitement de nettoyage tel que celui appliqué, notamment, dans la région de l'Outaouais. Des observations faites sur le terrain semblent suggérer que le nettoyage pourrait mener à des résultats intéressants lorsqu'il y a une régénération préétablie d'ERS (S. Meunier, communication personnelle). Toutefois, un suivi à long terme demeure nécessaire, et cette mesure doit encore être testée dans diverses conditions afin d'évaluer si elle est suffisante (les essences désirées seraient-elles effectivement capables de profiter de l'espace libre laissé par les gaules de HEG coupées?), ou si même elle n'est pas contre-productive (la coupe des arbres marchands et gaules de HEG stimulerait-elle l'apparition de rejets et de drageons?).

D'autres études sont en cours (p. ex. Guillemette et Bédard 2017) pour voir si la coupe des gaules de HEG permet effectivement d'en contrôler l'abondance et, surtout, si elle permet à d'autres essences comme l'ERS d'occuper cet espace de croissance. Cette réappropriation de l'espace de croissance par les essences désirées semble primordiale et doit idéalement se faire assez rapidement. En effet, même après des mesures de contrôle, le HEG pourrait revenir dans la régénération grâce aux semis préétablis et à la formation de rejets de souches et de drageons racinaires, notamment ceux issus des gaules coupées.

Des études ont aussi montré qu'une certaine abondance des ERS physiologiquement matures dans le couvert était nécessaire pour assurer la bonne régénération de cette espèce (Gauthier *et al.* 2015). Dans notre présente analyse, ce lien s'exprimait par l'effet significatif et positif de la surface terrière d'ERS avant la coupe sur la densité de gaules d'ERS à 20 ans. Ainsi, il ne suffit pas de se demander quelle quantité de HEG pourrait être laissée sur pied. Il faut aussi maintenir une forte densité de semenciers d'ERS lorsque la régénération de cette essence n'est pas encore bien établie. Si le fait de laisser des HEG sur pied après une coupe partielle entraîne une récolte plus importante de semenciers d'ERS, alors les 2 facteurs (abondance du HEG avant coupe et réduction de l'ERS) pourraient avoir des effets négatifs cumulatifs sur les perspectives de régénération désirée.

Finalement, nous tenons à souligner qu'une nouvelle maladie du HEG, s'attaquant à son feuillage et apparemment causée par un nématode, *Litylenchus crenatae mccannii* (Anguinata), est apparue en 2012 en Ohio et se propage rapidement dans le nord-est des États-Unis (Ewing *et al.* 2019, Wikipédia 2021). Cette maladie peut tuer les HEG en quelques années, particulièrement les plus petits, comme les gaules. Nous n'avons pas intégré ce nouvel agent perturbateur potentiel dans notre analyse, ne sachant pas encore

s'il est adapté au climat du Québec ni quand il coloniserait le territoire. Toutefois, cette maladie pourrait changer substantiellement la dynamique de l'ERS et du HEG dans les prochaines décennies.

5. Conclusion

Pour évaluer la quantité de HEG qu'il est possible de laisser sur pied après une coupe partielle en érablière sans compromettre la régénération en essences désirées, nous avons d'abord établi que celle-ci devait comprendre moins de 800 gaules·ha⁻¹ de HEG et plus de 1 000 gaules·ha⁻¹ d'ERS après 20 ans. Sur la base de notre analyse des données issues du réseau établi en 1995-1999 pour le suivi des effets réels de la CJ, nous suggérons de conserver les seuils actuellement utilisés pour qualifier la présence de HEG avant la coupe, c'est-à-dire une proportion de 15 % dans la surface terrière marchande et une densité de 800 gaules·ha⁻¹. Ces seuils représentent bien les points d'inflexion observés dans les courbes des modèles. Toutefois, en raison de la nature des données utilisées, nous n'avons pas pu quantifier l'effet de la récolte du HEG marchand sur la régénération des 2 essences dans les conditions étudiées.

En résumé, nous avons constaté, dans les érablières du réseau établi en 1995-1999 pour le suivi des effets réels de la CJ, qu'une bonne régénération en ERS avait été obtenue lorsqu'il y avait initialement peu ou pas de HEG (autant parmi les arbres marchands que dans le gaulis), mais qu'une absence ou une faible présence de HEG n'avait pas nécessairement permis d'assurer une bonne régénération en ERS après 20 ans. La régénération du HEG après 20 ans, quant à elle, était significativement et positivement reliée à la proportion de HEG dans la surface terrière marchande avant la coupe ainsi qu'à la densité de gaules de HEG avant la coupe. Vingt ans après la coupe, 34 % des 111 peuplements étudiés avaient au moins 1 000 gaules ha⁻¹ d'ERS, tandis que 53 % présentaient au moins 800 gaules ha⁻¹ de HEG.

D'autres facteurs non contrôlés peuvent faire varier la régénération future des érablières. Parfois, le HEG envahit le sous-bois à partir des peuplements environnants, même s'il est absent parmi les arbres marchands. Il faut donc prévoir le traitement spécifique du gaulis de HEG et la création des conditions favorables pour l'ERS. Dans d'autres cas, le broutement exercé par les cervidés, la fermeture du couvert ou la pauvreté du sol, par exemple, empêchent l'ERS de se régénérer ou d'atteindre la dimension d'une gaule. Un changement d'objectif de production éviterait alors de stagner avec un peuplement de HEG voué à être attaqué par la maladie corticale du hêtre, à moins que l'apparition au Québec de la maladie du feuillage du hêtre ne cause une très forte mortalité des petits HEG en sous-bois et permette à la régénération d'essences désirées de s'implanter naturellement.

6. Références bibliographiques

- Arbogast, Jr., C., 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. U.S.D.A. Forest Service, Lake States Forest Experiment Station. St. Paul, MN (États-Unis). Station Paper n° 56. 21 p. https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/misc/sp_ls056.pdf
- Bilodeau-Gauthier, S., H. Power, F. Guillemette et S. Bédard, 2021. *Solutions pour mieux simuler l'évolution des peuplements situés sur la végétation potentielle de l'érablière à bouleau jaune dans un contexte d'envahissement par le hêtre*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique n° SSRF-24. 26 p. https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT_SSRF-24.pdf
- [DRF] Direction de la recherche forestière, 2017. *Expansion du hêtre à grandes feuilles et déclin de l'érable à sucre au Québec : portrait de la situation, défis et pistes de solution*. Avis scientifique du comité chargé d'étudier l'écologie et la sylviculture des peuplements contenant du hêtre et de l'érable. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis scientifique. 146 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/AvisScientHEG-ERS.pdf>
- Ewing, C.J., C.E. Hausman, J. Pogacnik, J. Slot et P. Bonello, 2019. *Beech leaf disease: An emerging forest epidemic*. For. Pathol. 49(2): e12488. <https://doi.org/10.1111/efp.12488>
- Gauthier, M.-M., F. Guillemette et S. Bédard, 2015. *On the relationship between saplings and ingrowth in northern hardwood stands*. For. Ecol. Manage. 358: 261-271. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.020>
- Guillemette, F., M.-M. Gauthier, M.-C. Lambert et S. Bédard, 2013. *Effets réels décennaux des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 168. 34 p. <http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Guillemette-Francois/Memoire168.pdf>
- Guillemette, F. et S. Bédard, 2017 *Suivi de coupes progressives avec nettoyage des gaules de hêtre*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique n° SSRF-11. 13 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Guillemette-Francois/Avis-technique-SSRF-11.pdf>
- Havreljuk, F., S. Bédard, F. Guillemette et J. DeBlois, 2015. *Predicting log grade volumes in northern hardwood stands of southern Quebec*. ISCHP 2015: 5th International Scientific Conference on Hardwood Processing. 15 au 17 septembre 2015. Québec, QC. p. 107-114.

[DGFo-07] Direction de la gestion des forêts de l'Outaouais, 2018. *Plan d'aménagement spécial pour la récupération du hêtre atteint par la maladie corticale pour la période 2018-2023*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Région de l'Outaouais (07), Unités d'aménagement 07151, 07152, 07251 et 07351. 35 p.

ftp://ftp.mern.gouv.qc.ca/Public/Reg07/2018/Plan_special_HEG/Plan_Hetre_7151-7152-7251-7351_2018-23_Addenda1_SigneSMAOR_20181112.pdf

Nyland, R., 2020. *Control or consequence: The plague of American beech*. Conférence présentée le 17 juin 2020 à Cornell University (ForestConnect).

<https://www.youtube.com/watch?v=11TTog0Lgb4>

Wikipédia, 2021. *Beech leaf disease*. https://en.wikipedia.org/wiki/Beech_leaf_disease [consulté le 23 juin 2021]

Simon Bilodeau-Gauthier, ing.f, biol., Ph. D.

François Guillemette, ing.f., M. Sc.

Steve Bédard, ing.f., M. Sc.

Hugues Power, ing.f., Ph. D.

Service de la sylviculture et du rendement des forêts