



RAPPORT FINAL (EXTRAIT)

Incidences du climat et des perturbations sur la structure et la dynamique de recrutement des peuplements de peuplier faux-tremble au Canada

Soumis par Yves Bergeron
Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue

au nom de l'équipe de recherche:

Chercheurs universitaires:

Francine MF. Tremblay, UQAT
Annie A. DesRochers, UQAT
François F. Lorenzetti, UQO

Au
Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

et
Ouranos inc.

Décembre 2013



Résumé public des résultats et des avantages pour le Canada

Le tremble est une des espèces la plus largement distribuées au Canada. Elle constitue une espèce feuillue importante pour l'industrie des panneaux et des pâtes et papiers. Par ailleurs, des travaux récents rapportent des dépérissements importants qui seraient liés potentiellement aux changements globaux. L'objectif à long terme du projet visait donc à mieux comprendre la nature des mécanismes qui contrôlent la dynamique naturelle des peuplements de tremble, leur capacité à se régénérer, à demeurer productifs et à se maintenir dans le paysage. Nos résultats ont permis d'acquérir des connaissances fondamentales sur les peuplements de tremble sur un large gradient au Canada. Comme, par rapport aux espèces résineuses l'utilisation commerciale à large échelle du tremble est plus récente, ces connaissances de base étaient nécessaires. Nous connaissons maintenant beaucoup mieux comment les peuplements se distinguent en regard de leur dynamique naturelle, leur structure, composition et diversité génétique. Par ailleurs, nos travaux ont permis de mettre en lien la croissance des peuplements en fonction des conditions climatiques et des épidémies d'insectes. Nous sommes maintenant à même de collaborer directement avec nos partenaires gouvernementaux (entre autres via le consortium Ouranos) ainsi de pouvoir anticiper l'effet des changements globaux futurs. Régionalement, nos travaux ont eu des retombées concrètes pour la compagnie NORBORD. Nous avons pu grâce à la mise en place d'un dispositif en collaboration avec la compagnie mettre en évidence que les peuplements les plus dégradés étaient en fait situés sur des zones où la nappe phréatique était élevée et la couche de matière organique épaisse. Des recommandations quant aux futures coupes de récupération ont été émises. Globalement, le projet aura des retombées sur les connaissances de base sur cet écosystème important de par sa distribution et son potentiel économique au Canada. Il a aussi des retombées importantes sur notre capacité à anticiper les répercussions des changements globaux sur cet écosystème.

L'objectif à long terme vise à mieux comprendre la nature des mécanismes qui contrôlent la dynamique naturelle des peuplements de tremble, leur capacité à se régénérer, à demeurer productifs et à se maintenir dans le paysage. Le rapport présente les résultats pour chacun des 5 objectifs spécifiques.

1) Identifier les facteurs climatiques principaux qui déterminent la variabilité de la croissance radiale du peuplier faux-tremble dans les différentes écozones.

L'échantillonnage dendrochronologique a été réalisé dans 30 sites répartis dans la forêt boréale canadienne (figure 1.1). Les sites utilisés pour cet objectif ainsi que pour les objectifs 2 et 3 sont des peuplements de tremble (minimum 75% pur) de 50-70 ans sur sol mésique d'au moins 1ha, localisés approximativement à chaque longitude, en suivant un isotherme d'environ 0°C.

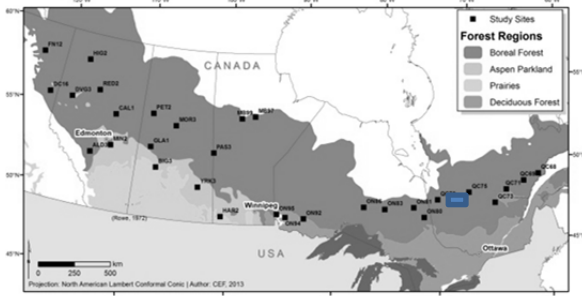


Figure 1.1 Sites échantillonnés sur le terrain. Le carré rouge représente le dispositif dans le nord des plaines de l'Abitibi.

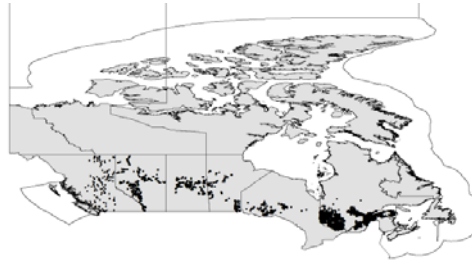
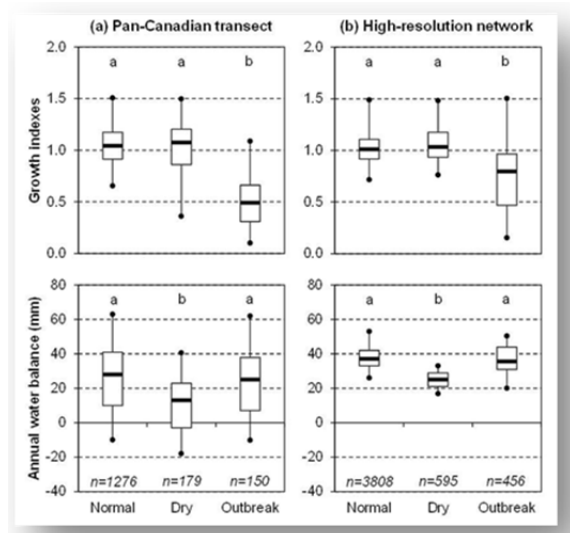


Figure 1.2 Localisation des inventaires forestiers n= 3548

Nous avons aussi pu utiliser des données dendrochronologiques (119 stations) provenant d'un dispositif localisé dans le nord des Plaines de l'Abitibi. L'analyse dendro-climat (post-doctorat de Pierre Mérian) a mis en évidence, par la détermination des cernes blancs (Hogg et Schwarz, 1999), la haute fréquence des épidémies de la livrée, et par la même occasion, la réduction de la variation dans la croissance inter-arbres. Cette réduction de la variabilité dans la croissance occasionne un bruit considérable dans le signal climatique enregistré par le tremble, comme en témoigne les résultats d'analyses de croissance et du climat le long du transect pan-canadien et d'un réseau d'échantillonnage à haute résolution spatiale situé sur les Plaines de l'Abitibi, issus des travaux du stagiaire postdoctoral Pierre Mérian (Fig. 1.3).

Figure 1.3 Indices de croissance du tremble dans (a) les sites du transect pan-canadien et (b) dans un réseau de placettes à haute résolution spatiale sur les Plaines de l'Abitibi. Les panneaux du bas indiquent les déficits hydriques moyens pour chacun des jeux de données, en distinguant les années normales et sèches sans défoliation par la livrée des forêts, et les années de défoliations par la livrée telles que décelées par la présence de cernes blancs (*manuscrit en préparation*).



Les données climatiques indiquent bien que les Plaines de l'Abitibi, qui jouissent d'une pluviométrie plus élevée que dans les zones de l'ouest canadien, n'accusent pas de déficits hydriques importants. Les années de défoliations par la livrée se comportent plutôt comme des années normales du point de vue du climat. Le tremble ne semble pas démontrer une croissance moyenne plus faible durant les années sèches sans livrée le long du

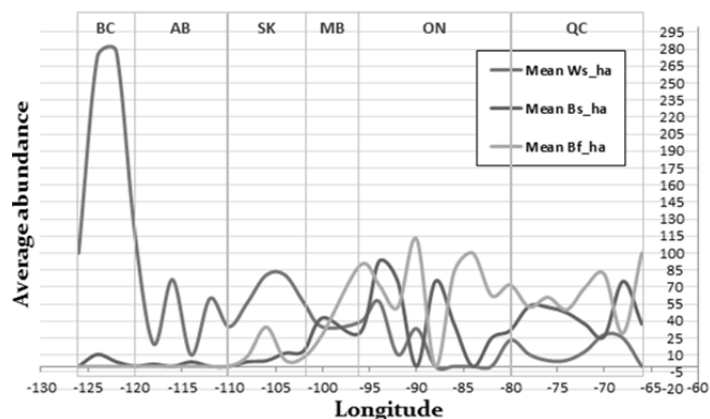
transect pan-canadien. Cependant, on observe une plus grande variabilité dans cette croissance interannuelle lors des années sèches que lors des années plus humides ou normales. Ces résultats suggèrent qu'il faut nécessairement développer des stratégies d'échantillonnage plus sophistiquées pour isoler les effets du climat sur la croissance interannuelle du tremble, mais déjà, les résultats suggèrent une sensibilité du tremble à de faibles déficits hydriques. C'est ce que le stagiaire postdoctoral Kenneth Anyomi est en train d'explorer à partir de données de placettes permanentes à l'échelle canadienne (Figure 1.2) avec une approche basée sur l'index de site (hauteur atteinte par les arbres à un âge uniforme), ce qui permet de s'affranchir des variations interannuelles plus sujettes aux réductions de croissance associées aux défoliations par la livrée. Ces plus récents travaux vont également permettre une meilleure emprise sur la réponse du tremble à la température puisque le réseau de placettes permanentes couvre un territoire beaucoup plus vaste en latitude.

2) Évaluer le rôle du climat et des perturbations en relation avec la composition la structure, la régénération et la diversité génétique des peuplements de peuplier faux tremble.

2.1 Structure des peuplements et abondance de la régénération résineuse (Doctorat de Pierre Nlungu)

L'analyse des données d'inventaires forestiers provinciaux montrent qu'à l'exception des peuplements de tremble affectés par les activités humaines, les recrutements de conifères sont présents dans le sous-bois de ces peuplements tout au long du transect est-ouest dans la forêt boréale du Canada, malgré la variabilité du climat et de régime de perturbations qu'on y observe. Le sapin et l'épinette noire sont plus abondants dans les peuplements de tremble de la partie est de la forêt boréale canadienne (FBC), tandis que l'épinette blanche est plus abondante dans les tremblaies de la partie ouest de la FBC. La figure 2.1 illustre la distribution de l'abondance de la régénération coniférienne le long du transect est-ouest. Le climat, le régime de feu et les facteurs édaphiques sont autant de facteurs qui affectent la distribution de recrutements de conifères. Des feux sévères et récurrents limitent la présence du sapin (espèce non adaptée au feu) dans l'ouest alors que l'épinette noire y est tout de même présente, puisqu'adaptée au feu. L'épinette blanche est plus présente dans le paysage forestier de l'ouest et par conséquent, son recrutement était plus abondant dans les tremblaies de cette partie. Par contre, l'épinette blanche s'est révélée moins compétitrice devant le sapin et l'épinette noire dans la partie est, où sa régénération était moins abondante.

Fig. 2.1 Distribution de l'abondance du recrutement en espèces conifériennes le long d'un transect est-ouest au Canada (densité de tiges par espèce (Nb/ha) Ws : white spruce; Bs : black spruce; Bf : balsam fir.

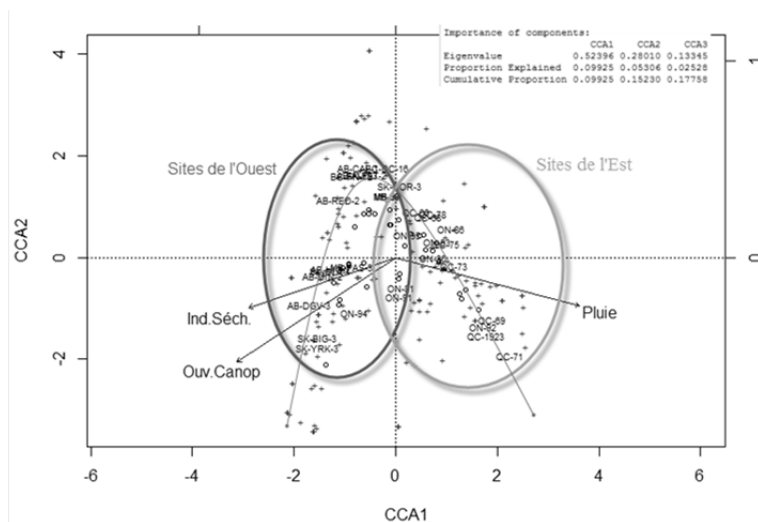


Une classification de types structuraux selon le transect à partir des données terrain et des inventaires est en cours.

2.2 Composition de la strate de sous-bois (Maîtrise de Maude Crispo)

Pour chaque site (fig. 2.2), des relevés de la végétation vasculaire du sous-bois ont été effectués dans un ensemble de 20 quadrats de 1 m². Plusieurs données environnementales ont aussi été récoltées, telles que des échantillons de sol et des photos hémisphériques de la canopée. Les analyses statistiques consistent à

définir la portion de la variation de la composition végétale et des paramètres de la diversité, telles que la richesse spécifique et l'équitabilité des espèces, expliquée par les variables liées au climat et au régime de feux.



Une analyse canonique des correspondances a révélé que seuls 18 % de la variation de la composition peut être expliquée par les axes contraints représentant le total de pluie annuelle moyen, un indice mensuel moyen de sécheresse caractérisant le régime de feux et un pourcentage moyen d'ouverture de la canopée. On remarque que les sites des provinces de l'ouest sont regroupés ensemble à gauche du graphique et que les sites de l'Ontario et du Québec se retrouvent à droite. Les sites forment une arche caractéristique d'un long gradient marqué. Les peuplements de peupliers faux-

trembles de l'ouest et de l'est du Canada ont donc une composition végétale différente résultant peut-être de processus historiques tels que la migration et la dispersion des espèces après le retrait des glaces sur le continent. Aussi, la structure de leurs sous-bois serait différente selon l'eau disponible annuellement. De fait, l'équitabilité des espèces est 12,5 % plus élevée à l'ouest du pays et est corrélée négativement au total de pluie annuelle moyen ($R^2 = 0,14$). Cependant, la richesse spécifique moyenne est similaire entre les deux extrémités du pays, ce qui pourrait laisser supposer un nombre potentiel de niches écologiques similaire dans les sous-bois de peuplements de peupliers. Les prochaines analyses consisteront en une sélection de modèles linéaires mixtes afin d'expliquer la variation des paramètres de diversité.

2.3 Variabilité génotypique des peuplements de trembles (doctorat de Mathieu Latutrie)

Dans ce travail de thèse, près de 2000 échantillons ont été génotypés à l'aide de 7 à 13 marqueurs microsatellites pour pouvoir appréhender l'histoire des flux génétiques au niveau continental, les relations entre les perturbations et la structure génétique et les liens entre la diversité génétique et la réponse de croissance des arbres. Le tableau (tableau 2.1) ci-après présente les résultats de cette dernière partie. La croissance des arbres est plus forte dans l'est que dans l'ouest du Canada (mean DBH, mean height, mean growth) comme attendu en raison des différences climatiques en terme de précipitation et d'aridité observées sur le gradient pan-canadien. D'un point de vue génétique, il a souvent été noté dans la littérature qu'il y aurait moins de diversité clonale dans l'ouest que dans l'est en raison des différences climatiques (plus sec) et de la prédominance supposée de la reproduction végétative. Nos résultats nous montrent une tendance différente, avec des niveaux de diversité assez homogènes en forêt boréale canadienne et supérieurs aux hypothèses de travail dans l'ouest. Ces résultats seront approfondis dans la partie de la thèse s'attachant aux effets des perturbations. En ce qui concerne la relation génétique/croissance, il semblerait que la diversité génotypique et le nombre d'allèles observés par locus influence l'homogénéité (EPS) entre les chronologies de croissance des arbres d'un même site. En d'autres termes, plus il y a de diversité génotypique, plus la réponse de croissance des différents arbres est hétérogène. Il ne semble pas y avoir d'autres liens entre les autres indices génétiques et les autres indices dendrochronologiques. La sévérité des perturbations et les facteurs historiques pourraient influencer la structure génétique et clonale au niveau continental. Ces résultats sont actuellement en traitement pour la production d'articles scientifiques.

Population	N	Long.	Latitude	Mean DBH	Mean Height	Mean growth	MS	EPS	G	R	Na	Ho	He
HIG2	20	-117.24	58.34	19.79	21.585	0.957	0.332	0.987	2	0.05	1.714	0.157	0.115
RED2	20	-115.31	56.61	22.5	22.195	0.959	0.203	0.969	5	0.21	3.286	0.693	0.504
CAL1	20	-112.97	55.29	18.135	19.645	0.965	0.313	0.986	4	0.16	3.429	0.643	0.456
PET2	20	-108.78	55.74	20.79	23.11	0.957	0.42	0.983	12	0.58	4.857	0.771	0.67
MOR3	20	-106.07	55.14	21.75	21.485	0.988	0.311	0.984	4	0.16	2.286	0.571	0.326
PAS3	20	-101.68	53.6	19.69	19.675	0.971	0.266	0.979	4	0.16	3.429	0.493	0.368
MB99	20	-98.68	55.89	19.09	19.16	0.979	0.385	0.987	5	0.21	4.143	0.635	0.489
MB97	20	-97.16	56.03	18.97	17.525	0.991	0.299	0.989	3	0.11	3	0.714	0.461
ON95	20	-94.94	49.7	23.64	21.035	0.991	0.273	0.986	5	0.21	4.143	0.864	0.578
ON94	20	-94.06	49.49	25.96	22.215	0.974	0.402	0.988	1	0.00	1.286	0.286	0.147
ON92	20	-92.22	49.36	27.075	24.16	0.951	0.356	0.982	8	0.37	4.714	0.606	0.539
ON90	20	-90.08	48.99	23.54	23.44	0.984	0.264	0.98	9	0.42	5	0.636	0.572
ON87	20	-87.14	49.75	27.885	25.62	0.987	0.218	0.968	7	0.32	4.286	0.707	0.544
ON85	20	-85.06	49.97	27.49	25.36	0.984	0.253	0.983	5	0.21	3.429	0.564	0.401
ON83	20	-83.94	49.49	31.185	23.795	0.971	0.325	0.986	9	0.42	5.714	0.736	0.558
ON81	20	-81.03	49.31	30.64	26.4	0.975	0.214	0.964	10	0.47	5.714	0.679	0.634
QC78	20	-78.52	49.53	24.995	23.521	0.987	0.199	0.954	20	1.00	6.143	0.677	0.636
QC75	20	-75.25	49.57	30.645	24.56	0.975	0.174	0.965	6	0.26	3.143	0.579	0.438
QC73	20	-72.97	48.5	21.2	21.585	0.972	0.247	0.97	3	0.11	2.714	0.821	0.508
QC71	20	-71.54	49.15	21.11	22.585	0.983	0.253	0.987	1	0.00	1.714	0.714	0.366
QC69	20	-69.6	49.39	28.84	25.18	0.983	0.223	0.984	2	0.05	1.571	0.429	0.223
QC68	20	-67.99	49.54	19.225	18.925	0.981	0.234	0.97	7	0.32	4.429	0.543	0.471

Tableau 2.1 N, number of individuals per site; DBH, diameter at breast height; MS, mean sensitivity; EPS, expressed population signal; G, number of genets; R, corrected genotypic diversity; Na, average number of alleles per locus; Ho, observed heterozygosity; He, expected heterozygosity.

3) Établir les relations entre les patrons de défoliation par la livrée des forêts et les pertes de croissance/mortalité à l'échelle de l'arbre et du peuplement (doctorat de Julien Moulinier)

La livrée des forêts est l'insecte défoliateur le plus récurrent dans les peuplements de peuplier faux-tremble (tremblaies) au Canada. Bien que des dommages aux tremblaies de l'ouest canadien aient été rapportés depuis une vingtaine d'années (Brandt, 1995; Hogg, 1999), ce n'est que récemment que l'on observait des mortalités importantes suite à la dernière épidémie de la livrée en sol québécois qui s'est déroulée de 1998 à 2003. Dans le cadre de ce CRSNG Stratégique, il fut donc entrepris de documenter pour la première fois l'influence des impacts de la livrée des forêts sur la dynamique forestière. L'approche adoptée par le doctorant Julien Moulinier dans ce projet fut de décrire le régime de trouées causé par la mortalité du tremble dans les peuplements purs et mixtes localisés sur la ceinture d'argile des Plaines de l'Abitibi. Ce faisant, les travaux de J. Moulinier, publiés en 2011 et en 2013, ont jeté les bases de connaissances nécessaires à l'émulation de cette perturbation naturelle dans une perspective d'aménagement écosystémique, approche d'aménagement dorénavant inscrite dans la nouvelle Loi sur les forêts du Québec entrée en vigueur au printemps 2013. Les travaux de J. Moulinier lui ont permis de dresser les trajectoires successionales les plus probables sous régime récurrent d'épidémie de la livrée, une première dans la littérature sur les impacts de la livrée des forêts sur les tremblaies (Fig. 3.1). Les épidémies de la livrée dans les Plaines de l'Abitibi se traduiraient par un allongement de la phase feuillue dominante dans les peuplements purs de trembles, alors qu'il y aurait contraction dans le temps de la succession vers une dominance résineuse lorsque ce sont des peuplements mixtes avec des essences résineuses codominantes.

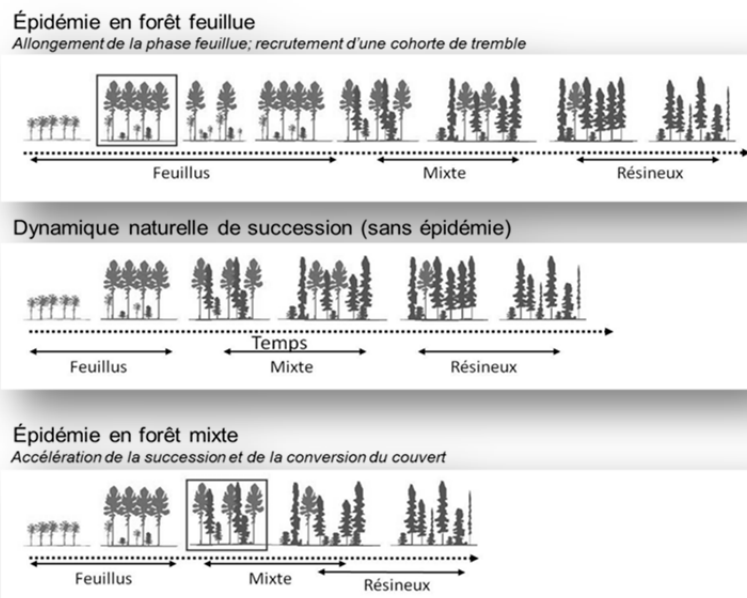
Figure 3.1 Ci-contre. Trajectoires successioneles les plus probables sous régime récurrent d'épidémie de la livrée dans les Plaines de l'Abitibi (le temps se déroule de gauche à droite).

Afin de s'assurer que la livrée des forêts est en mesure de causer des impacts même au niveau des jeunes tremblais et de démontrer que la mortalité du tremble pouvait être une fonction directe du nombre d'années de défoliation, J.

Moulinier a aussi entrepris une expérience de défoliation

artificielle répétée trois années

consécutives dans des tremblais d'une dizaine d'années. Cette expérience a pu confirmer les hypothèses de départ, dont celle d'une agrégation spatiale de la mortalité résultant probablement de la connectivité racinaire chez cette essence forestière, ce qui est en lien avec les patrons de mortalité observés dans les tremblais plus matures.



4) Comprendre les relations entre le drageonnement, le greffage racinaire et la structure clonale du tremble afin d'établir dans quelle mesure les clones de tremble constituent des unités physiologiques ou/et génétiques et comment cela affecte leur réponse aux perturbations.

4.1 Dans le cadre de ses travaux, l'étudiante au doctorat Hana Jelínková a examiné les hypothèses suivantes: (1) les clones de tremble peuvent être identifiés sur la base de la morphométrie digitale des feuilles; (2) les liens racinaires clonaux facilitent le maintien de la diversité clonale en intégrant différents génotypes par les greffes racinaires; et (3) les liens racinaires permettent la propagation et déclenchement des mécanismes de défense contre une attaque d'herbivore entre les individus interconnectés avant l'arrivée des insectes. Pour vérifier ces hypothèses, les systèmes racinaires de trois stations de tremble purs ont été excavés et les clones identifiés à l'aide de marqueurs moléculaires (microsatellites), morphologiques (forme de feuille, couleur et type de l'écorce) et phénologiques (apparition des feuilles). Les feuilles ont été récoltées et scannées. Les résultats ont été analysés à l'aide des descripteurs Fourier elliptiques normalisés (nEFDs). Les analyses dendrochronologiques ont été utilisées pour reconstruire le développement du système racinaire et le greffage racinaire. L'expression temporelle des mécanismes de défense induits (inhibiteurs de la trypsine de type Kunitz et dihydroflavonol réductase) a été suivie par une PCR quantitative en temps réel. Nous avons montré que l'évaluation quantitative de la forme des feuilles est difficilement applicable à l'identification des clones dans des peuplements naturels de peupliers caractérisés par la présence d'un grand nombre de clones et de génotypes uniques. Les systèmes racinaires excavés ne contenaient pas de génotypes uniques et qui n'étaient pas présents dans les tiges des arbres vivants. Néanmoins, l'interconnectivité substantielle à l'intérieur des clones ainsi qu'entre les clones, due à la présence de nombreuses greffes, conduit à la formation de vastes réseaux racinaires génétiquement diversifiés. Nous avons constaté que ces systèmes racinaires n'entraînent pas automatiquement l'induction des mécanismes de défenses, tels qu'ils sont exprimés dans les plantes directement exposées aux attaques d'insectes phytophages. Il semble plutôt

que d'autres moyens de communication, comme les composés volatils, puissent servir de voies de transmission des signaux entre les individus interconnectés.

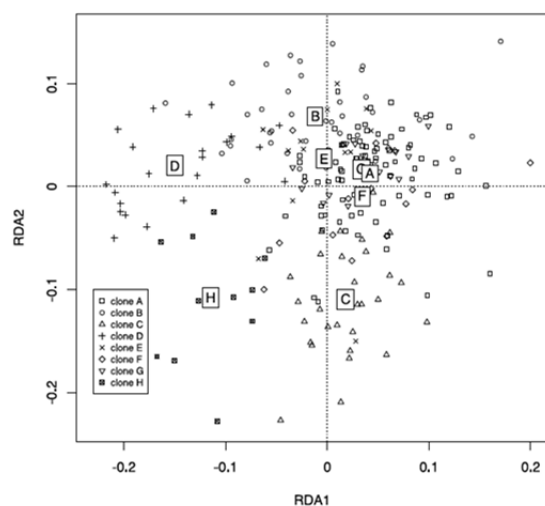
Sites	Nb. of clones	Nb. of bark phenotypes	Nb. of phenotypes according to spring phenology	Nb. of morphotypes (ramets differing in bark and/or spring phenology)
M	5	3	4	6
W	2	2	3	5
K	11	1	3	3
total	18	6	10	14

Tableau 4.1 Number of clones identified by microsatellite markers and number of morphotypes defined by spring phenology and bark characteristics.

4.2 Différence des patrons de croissance radiale liée au climat (stage post-doctoral Sandrine Picq)

Jusqu'à présent, les études menées se sont surtout intéressées à la diversité de réponses au climat de la croissance entre populations d'arbres le long de gradient climatique. Dans cette étude, nous proposons d'étudier pour la première fois la diversité de réponses au climat au sein d'une même population, plus particulièrement, les différences de réponses au climat entre clones de peuplier faux-tremble, *Populus tremuloides*. Le matériel d'étude est une population naturelle de 550 peupliers répartie sur une superficie d'un hectare (Ouest Québec, Forêt de Recherche et d'Enseignement du Lac Duparquet, 79°1'W, 48°30'N) et dont chaque arbre a été identifié et cartographié. L'identification des individus a été faite grâce au génotypage de marqueurs moléculaires neutre de type microsatellite et la croissance radiale a été évaluée par l'analyse de deux carottes prélevées sur chaque arbre. Nous avons défini comme clone un groupe d'arbres ayant des allèles identiques pour l'ensemble des marqueurs microsatellites. Nous avons sélectionné 8 clones qui sont un compromis entre un maximum de clones étudiés de l'hectare et un nombre suffisant d'arbres par clone pour obtenir une bonne estimation des patrons de croissance des clones.

Une analyse canonique de redondance (figure 4.1) révèle qu'il existe une différence significative de croissance radiale lié au climat entre les clones de l'étude. Les fonctions de réponse (corrélation entre les patrons de croissance radiale et des variables climatiques) mettent en évidence que les différences entre clones se font notamment par des différences de sensibilité à la température pendant l'été (juillet et août) et à la fin de la saison de croissance (octobre).



Ainsi, notre étude met en évidence une diversité de réponses au climat de la croissance radiale entre clone d'une même population. Cette diversité serait, entre autres, liée à des différences de phénologie entre clones.

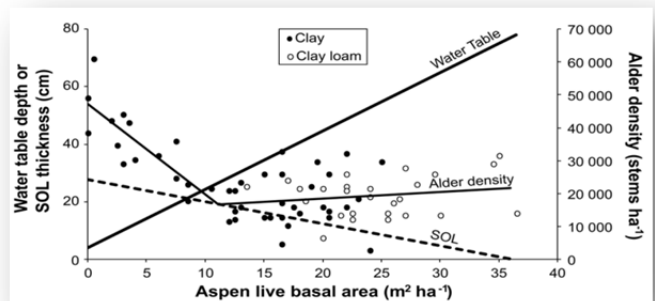
Figure 4.1 : Analyse canonique de redondance menée sur les largeurs de cerne standardisées des 8 clones de l'étude. Chaque point représente un arbre, les symboles indiquent les 8 différents clones nommés de A à H.

5) Intégrer ces connaissances dans la sylviculture des peuplements dominés par le tremble et cela, dans le contexte des changements climatiques

Suite à la dernière épidémie de la livrée au nord de l'Abitibi, on a pu observer une absence de régénération du tremble accompagnée d'un envahissement agressif par une strate arbustive d'aulne, conduisant à une stagnation de la succession. Afin de mieux comprendre les facteurs qui entraînent cet arrêt de la succession, un projet de grande ampleur a été réalisé à partir de 2009 en étroite collaboration avec les Industries Norbord. L'implication directe du partenaire industriel était essentielle à ce projet

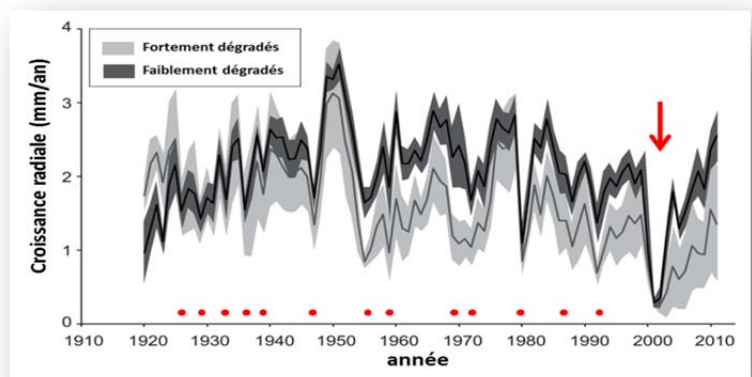
puisqu'il devait se dérouler à une échelle opérationnelle. Ainsi, un dispositif fut mis en place sur 300 hectares d'un seul tenant, sur la ceinture d'argile, dans des peuplements purs de trembles issus des feux du début du XX^e siècle. En procédant à des coupes d'hiver et de printemps, accompagnées ou non de traitements de retrait de l'aulne, il a pu être mis en évidence que les arbres vivants résiduels exerçaient une dominance apicale qui bloquait la régénération du tremble par drageonnement, et que de manière non anticipée, l'aulne ne limitait pas nécessairement ce drageonnement. Même dans les peuplements les plus dégradés, qui n'ont pas pu se régénérer après les traitements sylvicoles, et où l'aulne atteignait des densités très élevées, l'absence de drageonnement, ou sa faiblesse, n'a pas été attribué directement à l'aulne, mais plutôt à la possibilité que le système racinaire entier des trembles matures soit mort. L'étudiant de maîtrise, Guillaume Perrette, qui a assuré le suivi de ce dispositif après sa mise en place, a pu mettre en évidence que les peuplements les plus dégradés étaient en fait situés sur des zones où la nappe phréatique était élevée et la couche de matière organique épaisse (Fig. 5.1).

Figure 5.1 La densité d'aulne, la hauteur de la nappe phréatique et l'épaisseur de la couche organique (SOL) en fonction de la dégradation des peuplements de tremble suite à une épidémie de la livrée des forêts (la dégradation augmente de droite à gauche sur l'abscisse).



La forte dégradation des tremblais là où la matière organique est épaisse et la nappe phréatique peu profonde pourrait signifier que ces tremblais s'étaient installées sur des zones susceptibles à la paludification édaphique. Par conséquent, la vulnérabilité de ces peuplements à la livrée résulterait d'un lent processus au niveau des sols. Cette hypothèse a été indirectement examinée par analyse dendrochronologique de la croissance des trembles selon qu'ils étaient dans des peuplements fortement dégradés ou moins affectés par la livrée (Fig. 5.2). Il s'est avéré que les trembles qui se sont installés sur les zones aujourd'hui les plus dégradées (là où la nappe phréatique est élevée et la couche de matière organique épaisse) accusaient une croissance significativement plus faible que les trembles établis dans les zones moins dégradées, et ce, pratiquement toutes les années depuis le milieu des années 1950, alors que cela n'était pas le cas auparavant. Ce patron tend à confirmer que les conditions édaphiques se sont progressivement modifiées avec le temps depuis l'initiation des peuplements.

Figure 5.2 Croissance radiale des trembles dans les zones de dégradation forte (là où la nappe phréatique est élevée et la couche de matière organique épaisse) et faible (là où la nappe phréatique est basse et la couche de matière organique mince). Les aires ombragées représentent les intervalles de confiance à 95% des moyennes de croissances radiales annuelles. La flèche rouge pointe vers la dernière épidémie de la livrée. Les points rouges situent les années où le nombre de cernes blancs, indicateurs de défoliation, atteint un maximum.





Diffusion des résultats de la recherche

Articles présentés à des revues avec comité de lecture :	2
Articles acceptés par des revues avec comité de lecture ou publiés dans ceux-ci :	4
Exposés à des conférences/Affiches :	17
Autre (y compris les rapports techniques, les articles sans comité de lecture, etc.) :	3
Combien de ces publications, de ces exposés à des conférences, etc. ont été élaborés en collaboration avec un partenaire non universitaire? :	1

DIFFUSION DES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE (Étudiants en gras)

1. Articles présentés à des revues avec comité de lecture

Moulinier, J., F. Lorenzetti et Y. Bergeron. Growth and mortality of trembling aspen (*Populus tremuloides*) in response to artificial defoliation. Soumis à *Acta Oecologica*.

Perrette, G., Lorenzetti, F., **Moulinier, J.**, and Y. Bergeron. High water table and thick organic layer mediate aspen mortality and regeneration success on clay soils following a forest tent caterpillar outbreak in northeastern Canada. Soumis *Forest Ecology and Management*.

2. Articles acceptés ou publiés

Jelínková, H., DesRochers, A., and F. Tremblay. 2013. The use of digital morphometrics and spring phenology for clone recognition in trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) and its comparison to microsatellite markers. *Trees: structure and function*, ISSN 0931-1890 Trees DOI 10.1007/s00468-013-0957-y

Jelínková, H., Tremblay, F., and A. DesRochers. 2012. Herbivore-simulated induction of defenses in clonal networks of trembling aspen (*Populus tremuloides*). *Tree physiology*, 32(11):1348-56. doi: 10.1093/treephys/tps094.

Moulinier, J., Lorenzetti, F., and Y. Bergeron. 2013. Effects of a forest tent caterpillar outbreak on the dynamics of mixedwoods boreal forests of eastern Canada. *Ecoscience* 20(2): 182-193.

Moulinier, J., Lorenzetti, F., and Y. Bergeron. 2011. Gap dynamics in aspen stands of the clay belt of northwestern Quebec following a forest tent caterpillar outbreak. *Canadian Journal of Forest Research* 41(8): 1606-1617.

3. Exposés et affiches à des conférences

Bédard, F., **Moulinier, J.**, Lorenzetti, F. et Y. Bergeron. 2011. Remise en production des peuplements dégradés de peupliers faux-tremble. Carrefour Forêt Innovations. Québec, 4-6 octobre 2011.

Desrochers, A. and F. Tremblay. 2011. The effect of root and shoot pruning on early growth of hybrid poplars planted on heavy clay soils. 6th International Symposium on root development: Adventitious, lateral and primary roots, future directions in root research, 7-11 août, Amos, Québec.

DesRochers, A. and F. Tremblay. 2013. Root clonal network and genetic diversity in trembling aspen stands North American Forest Ecology Workshop June 16 - 20, Applied Aspen Biogeography session.

- Jelínková, H.** Tremblay, F., and A. DesRochers. 2011. Molecular and Dendrochronological Analysis of Natural Root Grafting in Trembling Aspen (*Populus tremuloides*). 6th International Symposium on root development: Adventitious, lateral and primary roots, future directions in root research, 7-11 août, Amos, Québec.
- Latutrie, M. Mérian, P.** Bergeron, Y., and F. Tremblay. 2013. Does the genetic variability impact trembling aspen radial growth? North American Forest Ecology Workshop June 16 - 20, Applied Aspen Biogeography session.
- Latutrie, M., Merian P.,** Tremblay, F., and Y. Bergeron. 2013. Does the genetic variability impact trembling aspen radial growth? *North American Forest Ecology Workshop*. Bloomington, Indiana, USA, 17-20 Juin
- Latutrie, M.,** Tremblay, F. and Y. Bergeron. 2013. Dynamiques génétiques du peuplier faux-tremble au Canada. Septième Colloque annuel du Centre d'Etude de la Forêt. Montebello, Canada, 22-24 Avril.
- Moulinier, J.,** Lorenzetti, F. and Y. Bergeron. 2011. Effects of a forest tent caterpillar outbreak in the boreal forest of western Quebec, Canada. 7th International Conference on Disturbance Dynamics in Boreal Forests. Saguenay, Québec, 29 mai-3 juin 2011.
- Moulinier, J.,** Lorenzetti, F., and Y. Bergeron. 2011. Effets d'une épidémie de Livrée des forêts en forêt boréale de l'ouest du Québec. 5e Colloque annuel du CEF, Québec, 10-12 avril 2011.
- Moulinier, J.,** Lorenzetti, F., and Y. Bergeron. 2012. Autopsie de l'épidémie de livrée des forêts des années 2000: vers une meilleure compréhension de la dynamique naturelle des tremblaies. . 14e colloque annuel de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en Aménagement forestier durable. Rouyn-Noranda, 29 novembre 2012.
- Moulinier, J.,** Lorenzetti, F., and Y. Bergeron. 2012. Défoliation artificielle, croissance et mortalité du peuplier faux-tremble: vers une meilleure compréhension de la Livrée des forêts. 6e Colloque annuel du CEF. Rouyn-Noranda, 23-25 avril 2012.
- Moulinier, J.,** Lorenzetti, F., and Y. Bergeron. 2012. Effects of a forest tent caterpillar (*Malacosoma disstria* Hbn.) outbreak in the boreal forest of western Quebec. Boreal Mixedwoods 2012 – Ecology and Management for Multiple Values. Delta Edmonton South, Edmonton, Alberta, 17-20 juin 2012.
- Nlungu, P.,** Leduc, A., and Y. Bergeron. 2013. Conifer recruitment in trembling aspen stands along an east-west gradient in boreal forest of Canada. 9th North American Forest Ecology Workshop, 16-20 juin 2013 à Bloomington. USA.
- Perrette, G.,** Lorenzetti, F., **Moulinier, J., Mérian, P.,** and Y. Bergeron. 2013. Nappe phréatique et matière organique facilitent la mortalité du peuplier faux-tremble après une épidémie de la livrée des forêts et influencent la densité de régénération après traitements. 7e Colloque du Centre d'étude de la Forêt. Montebello, 22-24 avril 2013.

S. Picq, F. Tremblay, I. Drobyshev et Y. Bergeron. Diversité génétique et croissance radiale : le peuplier faux-tremble peut-il s'adapter localement aux changements climatiques ? 14^{ème} colloque annuel de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable. 29 novembre 2012, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.

S. Picq, F. Tremblay, I. Drobyshev et Y. Bergeron. Diversité génétique et croissance radiale : le peuplier faux-tremble peut-il s'adapter localement aux changements climatiques ? Séminaire du Centre de Bio-Archéologie et d'Écologie. 9 Janvier 2013, Montpellier, France

Tremblay, F. 2013. Relationship between genotypic diversity and site productivity in aspen- dominated ecosystems. North American Forest Ecology Workshop June 16 - 20, Applied Aspen Biogeography session.

4. Autres (y compris les rapports techniques, les articles sans comité de lecture, etc.)

Rapports

Perrette, G., F. Lorenzetti et Y. Bergeron. 2013. Remise en production du tremble dans l'UAF 86-52 suite à une épidémie de la livrée des forêts – Partie II : notes pour une visite de terrain avec les partenaires privés et gouvernementaux, le 17 mai 2013. ISFORT, Ripon, Québec. 10 p.

Perrette, G., F. Lorenzetti et Y. Bergeron. 2012. Remise en production du tremble dans l'UAF 86-52 suite à une épidémie de la livrée des forêts – Partie I : rencontre des partenaires aux bureaux du MRNQ à Amos, Québec, le 20 novembre 2012. ISFORT, Ripon, Québec. 49 p.

Latutrie, M., 2013. Les espèces clonales sont-elles plus compétitives dans un environnement hétérogène? dans ce contexte, quelle serait l'importance relative de la diversité vs l'intégration entre les individus ? Rapport de synthèse environnementale présenté comme exigence partielle du doctorat en sciences de l'environnement. Rouyn-Noranda, Québec, Canada. 47p. Résumé

Mémoires et thèses déposés

Jelínková, H. 2013. Contribution des liens racinaires aux composantes génétiques et physiologiques de la structure clonale du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloïdes* Michx.). Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 103 p.

Perrette, G. 2013. La régénération du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloïdes* Michx.) dans un contexte de perturbation occasionnée par la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* HBN.). Mémoire de maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal.

Moulinier, J. 2013. Impacts de la défoliation par livrée des forêts sur la mortalité du peuplier faux-tremble et la dynamique forestière post-épidémie en forêt boréale. Thèse de doctorat. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Québec, Canada. 173 pages.

Articles en préparation

Anyomi, K.A., F. Lorenzetti, Y. Bergeron and A. Leduc. Stand dynamics, humus type and water balance explain aspen long term productivity across Canada.

Mérian, P., F. Lorenzetti, I. Drobyshev and Y. Bergeron. Inter-annual variation of trembling aspen tree-ring width in Canada is mainly driven by forest tent caterpillar defoliation intensity.

Latutrie M., Mérian P., Tremblay T., Bergeron Y., and **Picp S.** Investigating the effects of genetic characteristics of populations on aspen tree (*Populus tremuloides*) growth response at the continental scale.

Latutrie M., Tremblay T., Bergeron Y and Mock K. Fine scale phylogeography of trembling aspen in northwestern part of its distribution range.

Latutrie M., Mérian P., Tremblay T., Bergeron Y., and **Picp S.** Investigating the effects of genetic characteristics of populations on aspen tree (*Populus tremuloides*) growth response at the continental scale.