



## RAPPORT FINAL (EXTRAIT)

### **Effets de la température et d'un stress hydrique sur la xylogénèse, la dynamique d'utilisation des glucides et la qualité du bois de l'épinette noire**

Soumis par Hubert Morin  
*Université du Québec à Chicoutimi*

au nom de l'équipe de recherche:

Chercheurs universitaires:

Cornelia CK. Krause, Sciences fondamentales, Québec à Chicoutimi  
Annie A. Deslauriers, Sciences fondamentales, Québec à Chicoutimi  
Daniel D. Houle, Direction de la recherche forestière, Ministère des ressources  
naturelles

Au  
Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada  
et  
Ouranos inc.

Décembre 2012



## Résumé public des résultats et des avantages pour le Canada

L'objectif principal de ce projet est d'évaluer les impacts des changements climatiques prévus pour le Canada sur la croissance, la dynamique d'utilisation des glucides et la qualité du bois de l'épinette noire en intégrant à la fois une manipulation du climat sur des arbres matures en milieu naturel (exclusion des précipitations et gradient latitudinal) et sur des semis en milieu contrôlé (stress hydriques et manipulation des températures).

Les défis à la base du projet étaient d'ordre technique et scientifique. Le principal défi technique fut de recréer des conditions de sécheresse en milieu naturel par des toiles d'exclusion des précipitations installées au même moment, au début de la saison de croissance, le long d'un gradient latitudinal du 48<sup>e</sup> parallèle au 51<sup>e</sup> parallèle. Le défi scientifique était de suivre en continu, presque en temps réel, les effets de la sécheresse sur la croissance des arbres en milieu naturel et des semis en serres tout au long de trois saisons de croissance. Nous avons réalisé cela en installant des dendromètres électroniques sur les arbres et semis traités et des témoins. Nous avons dû inventer des dendromètres adaptés à l'étude des semis car ils n'existaient pas. Ces instruments mesurent à toutes les 15 minutes les variations radiales des tiges. De plus, nous avons échantillonné des micro échantillons dans les tiges en serres et en milieu naturel à toutes les semaines pour voir le développement cellulaire du cerne de croissance tout au long de la saison et le comparer aux variables environnementales mesurées dans les serres et dans toutes les placettes le long du gradient latitudinal par des stations météo complètes. Des échantillons de tiges ont également été prélevés régulièrement pour analyser le contenu en sucres et analyser la qualité du bois.

Les résultats ont été très surprenants. En serre, les conditions de sécheresse amènent rapidement les semis à montrer des déficiences physiologiques, au niveau par exemple de la photosynthèse, et le déficit hydrique des tiges peut mener à la mort des semis, surtout chez les semis qui sont soumis à des températures plus chaudes. Cependant, les semis retrouvaient rapidement leur état initial après la reprise de l'irrigation, ce qui montre une très grande résilience chez cette espèce. Par contre, les arbres en milieu naturel, même si la quasi absence d'eau dans le sol démontrait clairement une sécheresse, n'ont montré aucun signe de dépérissement au niveau de leurs paramètres physiologiques ou même de leur croissance cellulaire. Même si les dendromètres montraient que ces derniers ne se réhydrataient pas aussi bien que les témoins, ils se réhydrataient tout de même par un mécanisme inconnu. Plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène : utilisation à moyen terme de l'eau contenu dans le tronc, utilisation de l'eau de pluie via l'absorption par la canopée, extension rapide du système racinaire pour pallier à la sécheresse et aller puiser de l'eau en dehors des sites d'exclusion. Ces hypothèses sont actuellement scrutées à l'aide des isotopes par une étudiante au doctorat. Par ailleurs, l'étude des glucides chez les semis soumis aux stress hydriques sous différentes températures n'a montré aucun changement par rapport aux témoins. Ces résultats nous indiquent que les semis sont plus sensibles mais que l'espèce est très plastique et qu'elle peut s'adapter rapidement à des conditions extrêmes de sécheresse à court terme. Par ailleurs, elle retrouve rapidement sa croissance initiale après un stress hydrique. Dans le cas où des sécheresses prolongées surviendraient, la fragilité des semis pourrait entraîner des problèmes de régénération de l'espèce après feu ou après coupe. De plus, les analyses sur la qualité du bois le long du gradient latitudinal allant du 48<sup>e</sup> parallèle jusqu'au 54<sup>e</sup> parallèle ont montré une réduction de la croissance mais, contrairement à nos hypothèses, ils ont aussi montré une réduction de la résistance du bois aux tests de résistance mécaniques (modules d'élasticité et de rupture) et des autres paramètres cellulaires liées à la qualité du bois comme sa densité. Donc, chez une espèce à croissance lente comme l'épinette noire, une situation qui engendre une croissance plus lente comme la croissance en haute altitude ou latitude n'augmente pas la qualité du bois. Enfin, un modèle d'activité cambiale et de formation du bois chez les conifères à l'échelle cellulaire est actuellement en voie de réalisation. Une fois calibré, le modèle devrait prédire les propriétés mécaniques à partir d'inputs environnementaux. Il sera utilisé pour tester des hypothèses concernant l'impact des changements climatiques sur la formation du bois.

Les résultats de cette étude améliorent donc notre compréhension de la capacité adaptative des forêts aux changements climatiques. Ils sont importants pour les partenaires que sont le Consortium de recherche sur la forêt boréale, le Consortium Ouranos et le Ministère des ressources naturelles du Québec. Ces organismes cherchent à mieux comprendre au niveau de la croissance et de la physiologie les réactions de l'épinette noire aux changements climatiques afin d'en faire une meilleure gestion dans l'avenir. L'adaptation est un enjeu principal pour Ouranos dont le mandat est de promouvoir des solutions d'aménagements forestiers et une meilleure compréhension de la croissance future de la forêt. Au Canada, la région boréale occupe 58% de la surface terrestre et contribue pour 60% des revenus provenant de l'exploitation du bois, et ce, en considérant seulement les emplois directs. L'épinette noire est l'espèce commerciale la plus représentée et la plus exploitée dans la forêt boréale québécoise. Nos résultats démontrent la très grande capacité d'adaptation de cette espèce aux changements dans le régime hydrique à court terme. Dans le cas de sécheresses prolongées cependant, il faudra surveiller la régénération de près et utiliser des méthodes d'aménagement qui protégeront les semis de la sécheresse comme par exemple des coupes partielles qui créent de l'ombrage. Nos résultats augmentent notre compréhension des mécanismes de croissance des méristèmes afin d'aider les décideurs à mieux évaluer les conséquences écologiques à long terme des changements climatiques. Ils nous aident à trouver de meilleures façons de protéger et de conserver les ressources forestières au Canada afin de créer et de maintenir un environnement et des écosystèmes forestiers sains qui puissent mieux s'adapter à ces perturbations. Finalement, par l'encadrement fourni aux nombreux étudiants impliqués, notre projet a favorisé la formation de chercheurs hautement qualifiés qui seront en mesure de relever les défis de demain en matière de gestion durable des ressources forestières.



## Progrès vers la réalisation des objectifs ou des étapes importantes

**Sur une échelle de 1 à 7, dans quelle mesure les objectifs de la subvention ont-ils été atteints?**

Pas du tout

 1 2

Dans une certaine mesure

 3 4

Dans une très grande mesure

 5 6 7

## **Objectif général**

L'objectif principal de ce projet est d'évaluer les impacts des changements climatiques prévus pour le Canada sur la croissance, la dynamique d'utilisation des glucides et la qualité du bois de l'épinette noire en intégrant à la fois une manipulation du climat sur des arbres matures en milieu naturel (exclusion des précipitations et gradient latitudinal) et sur des semis en milieu contrôlé (stress hydriques et manipulation des températures).

## **Objectifs spécifiques**

En particulier, nous voulons quantifier les effets,

1) en milieu contrôlé sur des semis

- d'un réchauffement du climat, d'un refroidissement du climat, d'un stress hydrique, de l'effet combiné de la température et du stress hydrique

2) en milieu naturel sur des arbres matures,

- du gradient latitudinal (diminution de la température et de la longueur de la saison de croissance)
- de la sécheresse (exclusion de la pluie)

sur la xylogénèse, la dynamique d'utilisation des glucides en circulation et la qualité du bois.

Nous voulons enfin comparer les mécanismes impliqués en serres sur des semis à ceux qui surviennent en milieu naturel sur des arbres matures.

L'objectif 1) constitue la thèse de doctorat de Lorena Balducci. L'objectif 2) constitue la thèse de doctorat de Evelyn Belien. Les effets des variations de température et de précipitations en milieu contrôlé sur la dynamique de formation et d'utilisation des glucides font l'objet du mémoire de maîtrise de Marilène Beaulieu. L'évaluation de la qualité du bois de l'épinette noire fait l'objet du mémoire de maîtrise de Ernesto Cairo Calderon. Enfin, le postdoc, Sergio Rossi étudie, en collaboration avec Cyrille Rathgeber de L'INRA les relations entre la réaction des semis aux différents traitements en serre et celle des arbres en milieu naturel afin de comprendre comment les résultats obtenus dans un environnement contrôlé se traduisent en milieu naturel. Ils vont également élaborer un modèle de croissance face aux changements climatiques intégrant le développement cellulaire, l'utilisation du carbone et la qualité du bois. À cet effet, Cyrille Rathgeber a recruté en 2011 un étudiant au doctorat + postdoc, Félix Hartmann, qui est soutenu financièrement par L'INRA, en France pour 5 ans. Sergio Rossi fait partie de son comité de thèse.

Nous avons adapté le plan de formation en fonction des étudiants recrutés et des bourses disponibles pour répondre à tous nos objectifs. Ainsi, la réponse physiologique des semis en milieu contrôlé et en milieu naturel aux différents traitements fait maintenant partie des thèses de doctorat de Lorena Balducci et de Evelyn Belien. Les effets des variations de température et de précipitations en milieu contrôlé sur la dynamique de formation et d'utilisation des glucides seront étudiés dans le cadre de la maîtrise de Marilène Beaulieu. La qualité du bois des semis et des arbres soumis aux différents traitements sera étudiée dans le cadre de la maîtrise de Ernesto Calderon.

Nous présentons ici quelques-uns des principaux résultats obtenus. Le manque d'espace empêche de présenter la description des méthodes mais on peut la retrouver dans la demande de subvention et dans les articles produits.

Thèse de Ph.D. de Lorena Balducci

### **Réponses de semis de *Picea mariana* à un stress hydrique sous différents régimes de température**

Le stress hydrique a un impact important sur l'activité du cambium et la croissance radiale des semis d'épinette noire. Après la reprise de l'irrigation, les semis d'épinette noire ont pu reprendre la croissance radiale montrant une grande résilience face à un déficit hydrique. Des différences significatives entre les régimes d'irrigation ont été détectées sur l'activité cambiale à la fin de la pénurie d'eau et après la reprise de l'irrigation. Les semis non irrigués ont pris de deux à quatre semaines à température élevée pour restaurer complètement l'activité cambiale. Une diminution du nombre de cellules totales a été observée sous les trois conditions thermiques à la fin de la saison de croissance.

Les conditions thermiques plus chaudes associées au déficit hydrique ont accru la mortalité des semis de 3,2% et 7,8%. Les semis d'épinette noire qui ont survécu étaient plus sensibles à la disponibilité en eau et la restauration de l'activité cambiale était différente.

Les propriétés anatomiques et la densité du bois des semis d'épinette noire ont montré une grande résistance à la sécheresse, mais la densité du bois était plus sensible aux conditions thermiques. Il n'y a pas de différence significative entre les caractéristiques anatomiques du bois des régimes d'irrigation, mais un effet a été observé sur la densité du bois dans les conditions de température élevée.

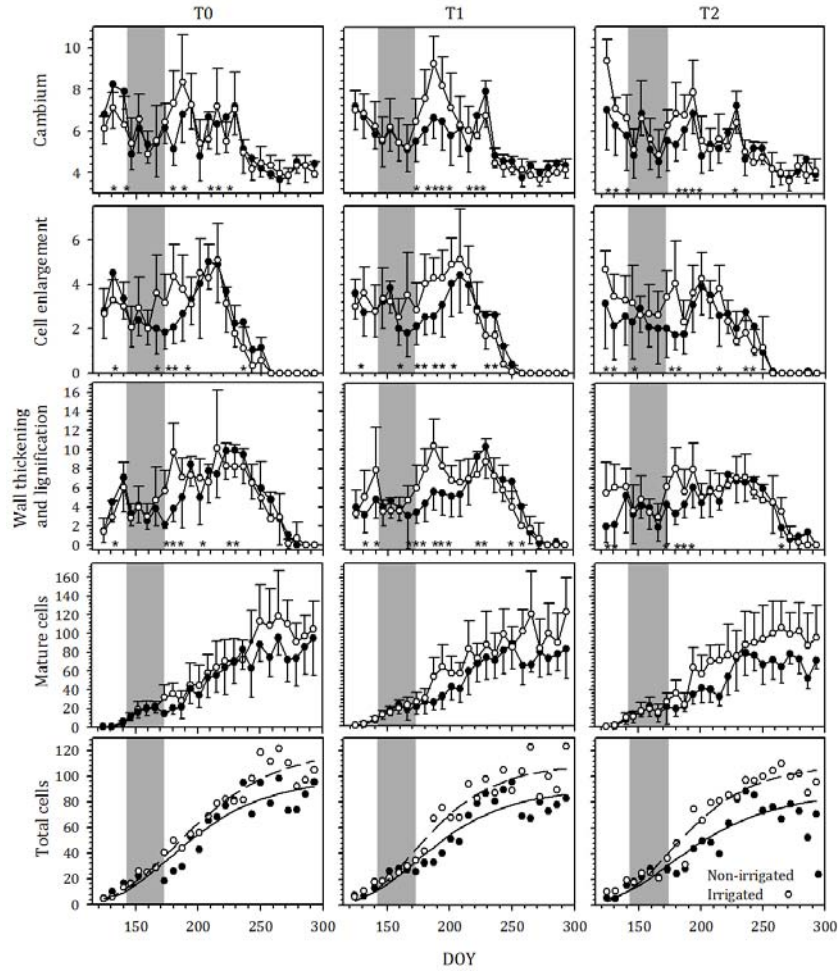


Figure 1. Nombre de cellules du cambium, en élargissement, en lignification et matures avant, pendant et après la période de déficit hydrique sous trois condition thermiques en 2010 (T0, température extérieure; T1 = T0+2K; T2 = T0+5K).

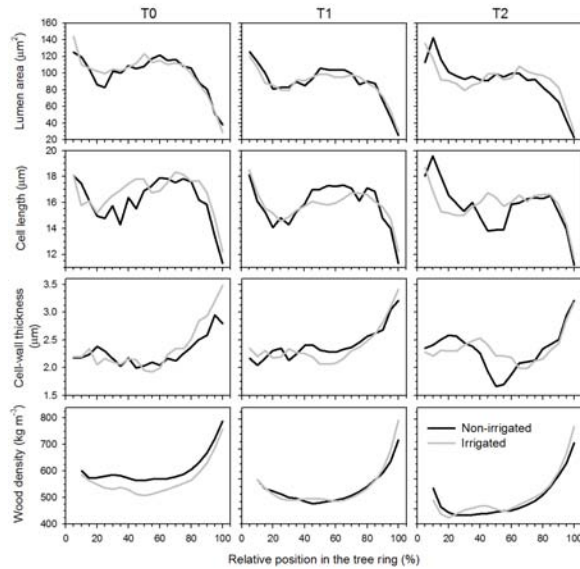


Figure 2: Caractéristiques des cellules et de la densité du bois des trachéides produites par les semis d'épinette noire irrigués et non irrigués sous trois conditions thermiques en 2010 (T0;T1;T2).

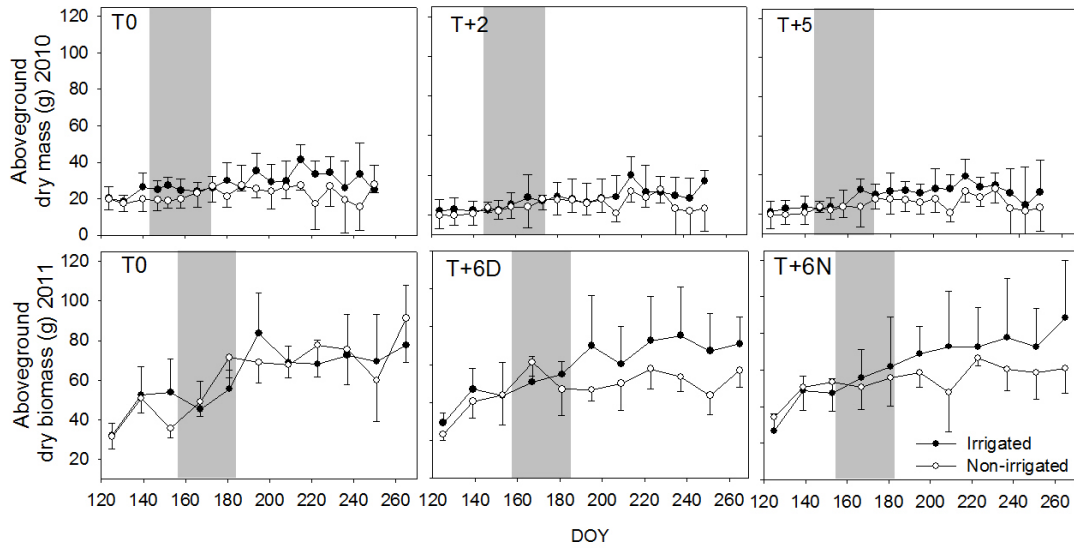


Figure 3. Biomasse aérienne des semis d'épinette noire (g) mesurée en 2010 et 2011 sous trois différentes conditions thermiques. En 2011 :T0, température extérieure; T+6D, T0+6K pendant le jour; T+6N, T0+6K pendant la nuit). Les périodes d'interruption de l'irrigation sont de 32 jours en 2010 et de 25 jours en 2011.

Une réduction de la biomasse aérienne des semis d'épinette a été observée dans les deux premières années de l'expérience (2010 et 2011). Cette diminution est plus élevée en 2011, chez les semis de 5 ans.

Thèse de Ph.D. de Evelyn Belien :

**Wood formation, growth and physiology of mature black spruce trees subjected to artificially induced drought.**

The results after three years of rain exclusion show that a drought was successfully established. This is illustrated by the volumetric water content of the soil, which was lower in the treated plots as compared to the control plots. After removal of the under-canopy roofs, the soils rehydrated fast (fig. 4).

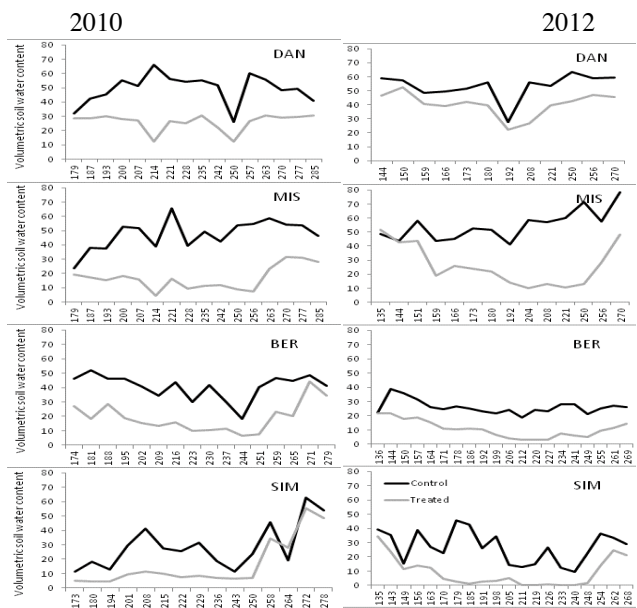


Figure 4 : Soil water content during the first and the third year of the experiment

Before the beginning of the exclusion in 2012, the soil water content was the same for the treated and control plots. The soil water content was lower in the Sim site as compared to the Dan site, following the accessibility of the water table.

The difference in stem radius variations between the treated and control plots increased during the treatment. The effect is most pronounced on the southern sites and the difference decreases again after the end of the treatment (fig. 5). However even the treated trees were showing a daily cycle of hydration indicating that they were able to rehydrate even during the exclusion of the rain. The photosynthetic rate was not affected by the extended period of water deficit. The water status, measured as water potential, reached its lowest value after 89 days of rain exclusion on the most southern site (SIM). On the other sites the water potential was not affected by the treatment. Cambium phenology and tracheid characteristics remained unaffected by the treatment.

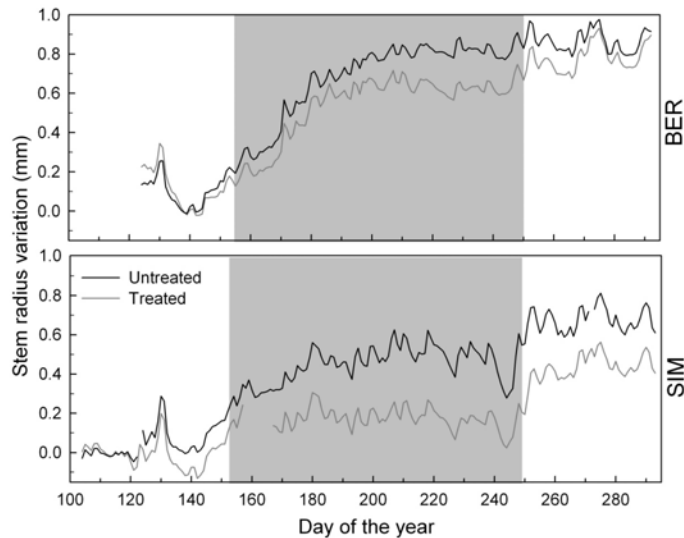


Figure 5 : Example of the mean daily stem radius variations (mm) of the treated (grey line,  $n = 5$  trees/site) and control (black line,  $n = 10$  trees/site) plots before, during and after the drought period (grey window).

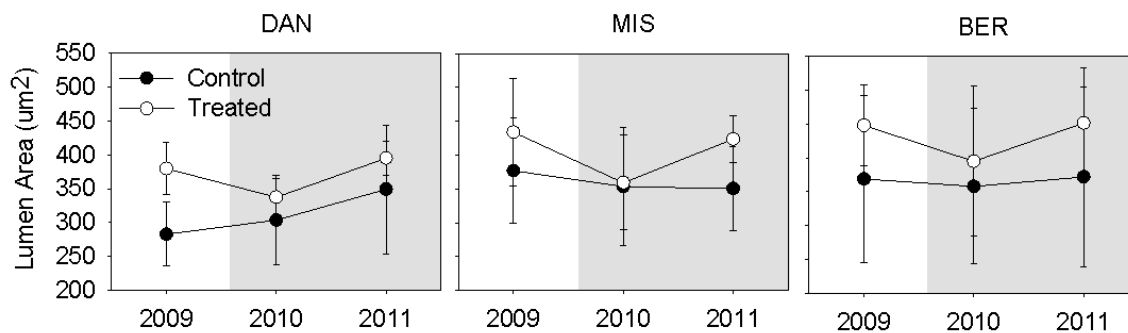


Figure 6: Lumen area in 2009 (before treatment) and 2010, 2011 for the three sites available at the moment.

The lumen areas was smaller after the first year of exclusion (Belien et al. 2012) but returned to their original size after the second year.

Mémoire me M.Sc. de Marilène Beaulieu

### Analyse des sucres de semis de *Picea mariana* soumis à un stress hydrique sous différents régimes de température

L'extraction et l'analyse des sucres à partir de la region cambiale et du bois se fait selon une méthode adaptée de Giovannelli et al. (2011). Un HPLC (Agilent 1200 series) et une colonne adaptée à l'analyse des sucres (Shodex

SC1011 sugar series) sont utilisés pour l'identification et la quantification des sucres présents. Les tests pour identifier la meilleure façon d'extraire les sucres et de faire les analyses ont pris un an. Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'effet de la température ni du déficit hydrique sur les glucides présents dans le bois ou le cambium. Il n'y a pas non plus de tendance générale, sauf pour l'amidon où il atteint son maximum aux jours juliens 118-139 pour rapidement diminuer et atteindre presque 0 mg/g<sub>masse sèche</sub> au jour julien 180. Une légère remontée est ensuite observable jusqu'à la fin de la saison de croissance.

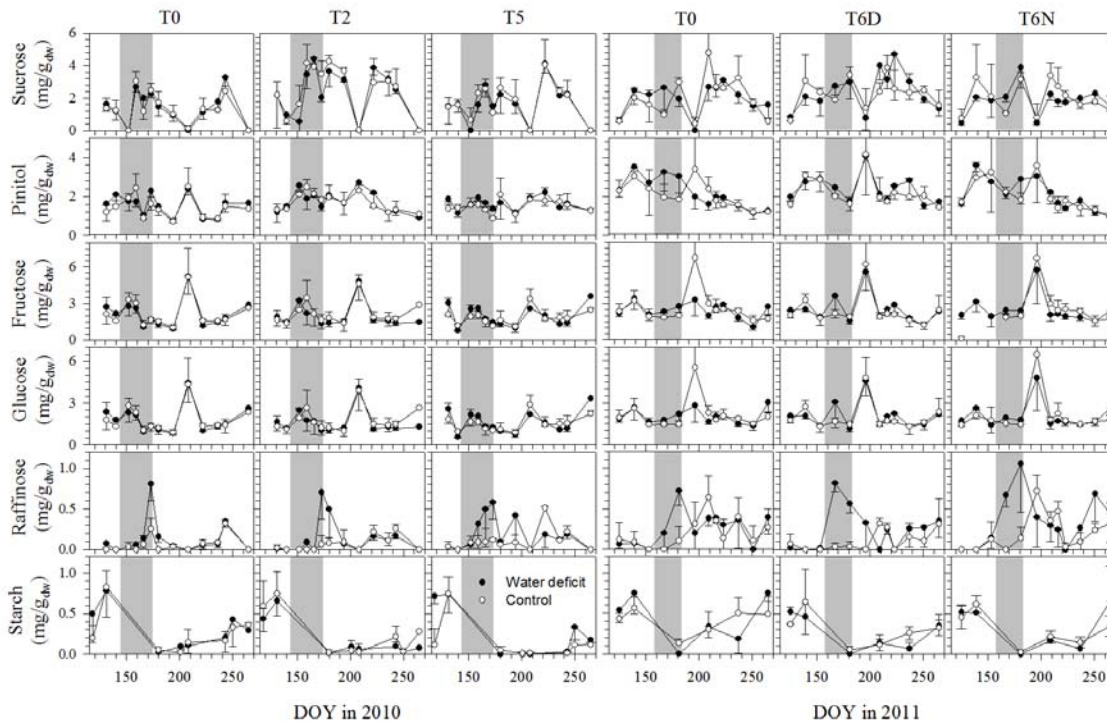


Figure 7: Glucides (mg/g<sub>masse sèche</sub>) présents dans le xylème de l'épinette noire. La partie en gris représente la période du déficit hydrique. Les traitements de température pour 2010 et 2011 sont T0 (température contrôlée; extérieure), T2, T5, T6D, T6N, respectivement T0+2K, +5K, +6K de jour et +6K de nuit.

Mémoire de M.Sc. de Ernesto Calderon

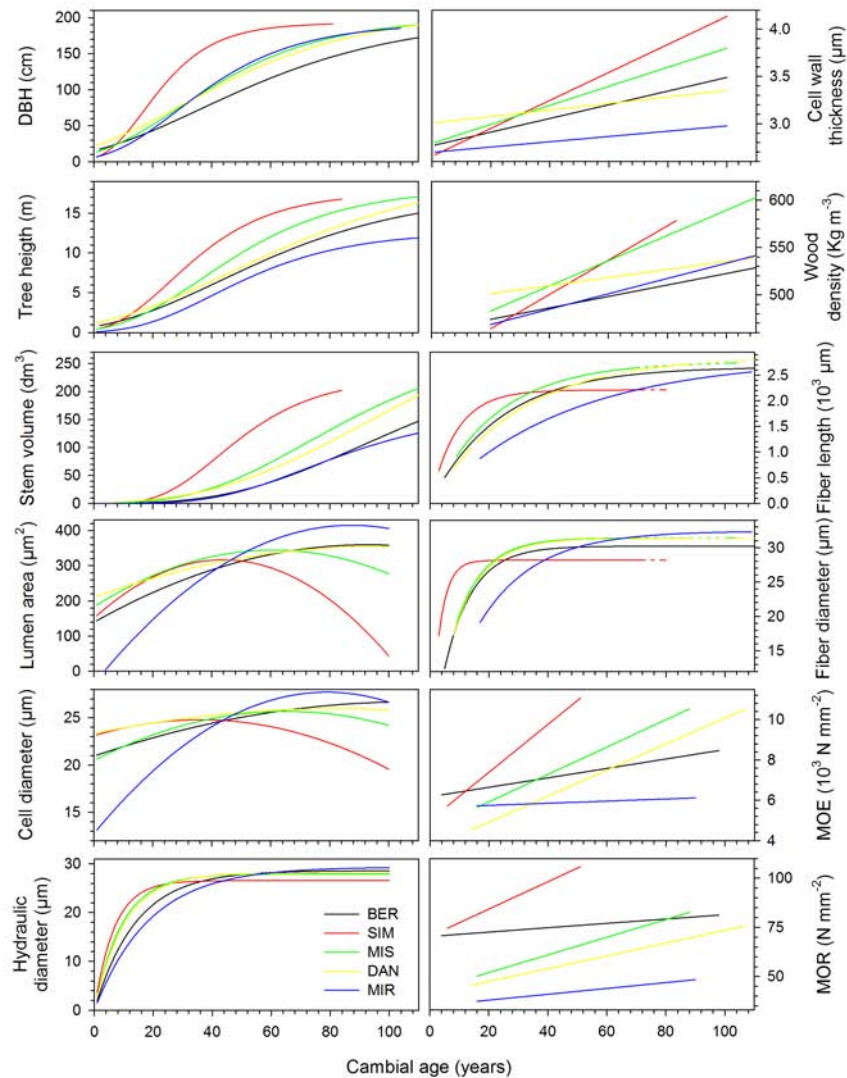
**Relationship between growth and wood properties of black spruce (*Picea mariana*) along an alti-latitudinal gradient in the boreal forest of Québec.**

The growth in DBH, height, and volume followed a clear sigmoid pattern: a gradual initial increase was followed by a more rapid growth rate, which was attained at older ages in trees of BER (49 deg. lat.), DAN (51 deg. lat.) and MIR (54 deg. lat.). In all sites, lumen area and cell diameter increased with cambial age. MIR exhibited the lowest values for both anatomical traits until 40 years, but attained the largest cell sizes at 60-80 years. Hydraulic diameter showed lower variations among cambial ages and among trees of the same site. It increased abruptly until 20-50 years, culminating later, but with higher asymptotes, in MIR and BER. Cell wall thickness increased linearly with age. At 80 years, cell walls in SIM (48 deg. lat.) were approximately 1.5 times thicker than those in MIR. Accordingly, increases in wood density had higher rates for SIM and MIS (50 deg. lat.). BER and MIR exhibited a wood density of 520 kg m<sup>-3</sup> at 80 years, 11% less than that estimated in SIM at the same age. SIM and MIS showed the highest growth rates for fiber length and diameter, with maximum values attained before 20-30 years, at least 30 years before MIR. MOE and MOR increased linearly with age and no culmination was observed. SIM and BER showed the largest values, on average 8×10<sup>3</sup> N mm<sup>-2</sup> and 85 N mm<sup>-2</sup>, for MOE and MOR, respectively at 20 years.

Thus, the site located in the southern end of the gradient (SIM), in the balsam fir-white birch bioclimatic zone presents the highest growth rate and the highest mechanical properties; at the other end of the gradient, site MIR



situated in the northern boreal forest showed the lowest growth rate and also the lowest mechanical properties. In between, sites BER, MIS and DAN presented little differences and were in between the two extreme sites for growth and wood properties. This study demonstrates that a slow growing species such as black spruce does not present a better wood quality when submitted to slow growing conditions in higher altitude or higher latitude.



**Figure 8:** Pattern of variation of the measured traits with cambial age for five black spruce stands located at different latitudes in the boreal forest of Quebec, Canada.

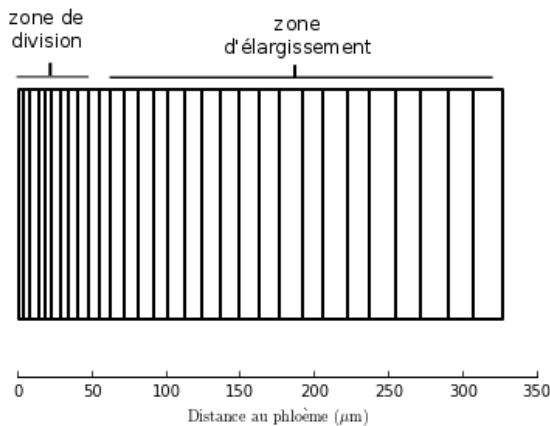
**Modèle de croissance des conifères en fonction des changements climatiques.**

Collaboration Cyrille Rathgeber (INRA) Félix Hatmann (INRA) et Sergio Rossi (UQAC)

Nous construisons un modèle d'activité cambiale et de formation du bois chez les conifères, à l'échelle cellulaire. Il s'agit de formaliser des relations entre des signaux perçus par le cambium, eux-mêmes reliés aux variables climatiques via des modèles écophysiologicals, et les processus de formation du bois : élargissement cellulaire, division, épaissement (formation de la paroi secondaire), maturation (lignification). La modélisation de ces

cinétiques de formation de cellules en file radiale permet alors de relier les caractéristiques des processus temporels à la variation spatiale des caractéristiques anatomiques du bois formé. Une première étape est actuellement de simuler les cinétiques et profils spatiaux le long d'une file radiale en partant de l'hypothèse de signaux diffusant depuis le phloème, qui contrôleraient le taux de division cellulaire et la vitesse d'élargissement des cellules. Nous étudions les contraintes théoriques que cette hypothèse impose sur les nombres de cellules présentes dans chaque zone et leurs tailles, ainsi que sa capacité à expliquer les structures observées dans le temps.

La figure 9 représente une sortie du modèle, c'est-à-dire une file radiale de cellules en cours de croissance. Il est possible d'y distinguer les zones de division et d'élargissement.



Une fois calibré, le modèle devrait prédire les propriétés mécaniques à partir d'inputs environnementaux. Il sera utilisé pour tester des hypothèses concernant l'impact des changements climatiques sur la formation du bois et pour designer de nouvelles expériences afin de mieux comprendre l'influence des processus écophysologiques.

#### **Analyses de densitométrie et de la chimie du bois:**

En plus des analyses précédentes, les collaborateurs Cyrille Rathgeber et Alessio Giovannelli analysent présentement respectivement la densitométrie du bois et la chimie du bois des semis soumis au stress hydrique et aux variations de températures dans les serres dans leurs laboratoires de Nancy et de Florence.

#### References

Belien E, Rossi S, Morin H, Deslauriers A (2012) [Xylogenesis in black spruce subjected to a rain exclusion in the field](#). Can J For Res 42:1306-1315

Giovannelli A, Emiliani G, Traversi ML, Deslauriers A, Rossi S. Sampling cambial region and mature xylem for non structural carbohydrates and starch analyses. Dendrochronologia (2011) 29:177-182.



## Diffusion des résultats de la recherche

<b>Articles présentés à des revues avec comité de lecture :</b>	<b>2</b>
<b>Articles acceptés par des revues avec comité de lecture ou publiés dans ceux-ci :</b>	<b>16</b>
<b>Exposés à des conférences/Affiches :</b>	<b>14</b>
<b>Autre (y compris les rapports techniques, les articles sans comité de lecture, etc.) :</b>	<b>0</b>
<b>Combien de ces publications, de ces exposés à des conférences, etc. ont été élaborés en collaboration avec un partenaire non universitaire? :</b>	<b>15</b>

## Articles soumis

- Balducci L., Deslauriers A., Giovannelli A., Rossi S., Rathgeber C.B.K., Effects of temperature and water deficit on wood formation in *Picea mariana* seedlings. Environmental and Experimental Botany.
- Rossi, S. Deslauriers, A. et Morin, H. ----- Controls over Growth (including cambium) in temperate and cold climates. In : Trees in a changing environment: ecophysiology, adaptation and future, USDA.

## Articles publiés dans une revue avec comité de lecture :

- Dufour, B. & Morin, H., 2012, Improved climate-growth analysis in trees accounting for tree-ring cellular components, phenology, complex microclimatic effects and bias-inducing data conditioning. Accepté dans Tree Physiology.
- Belien, E., Rossi, S., Morin, H. et Deslauriers, A., 2012 Xylogenesis in black spruce subjected to a rain exclusion in the field. Can.J.For.Res, 42 :1306-1315.
- Lupi, C., Morin, H., Deslauriers, A., Rossi, S. & D. Houle. 2012. Increasing nitrogen availability and soil temperature: effects on xylem phenology and anatomy of mature black spruce. Can. J. For. Res. 42 : 1277-1288.
- Boulouf Lugo J, Deslauriers A, Rossi S (2012) Duration of xylogenesis in black spruce lengthened between 1950 and 2010. Ann Bot 110:1099-1108
- Rathgeber CBK, Rossi S, Bontemps J-D (2011) Cambial activity related to tree size in a mature silver fir plantation. Ann Bot 108:429-438
- Rossi S, Morin H, Deslauriers A (2011) Multi-scale Influence of snowmelt on xylogenesis of black spruce. Arct Antarct Alpine Res 43:457-464
- Rossi S, Morin H, Deslauriers A, Plourde P-Y (2011) Predicting xylem phenology in black spruce under climate warming. Global Change Biol 17:614-625
- Rossi, S. Morin, H. and Deslauriers, A. 2011. Causes and correlations in cambium phenology: towards an integrated framework of xylem growth. Journal of Experimental Botany 63 : 2117-2126.
- Lupi, C., Morin, H. Rossi, S. et Deslauriers, A. 2011. Xylogenesis in black spruce: does soil temperature matter ? Tree physiology 32 :74-82.
- Turcotte A, Rossi S, Deslauriers A, Krause C, Morin H (2011) Dynamics of depletion and replenishment of water storage in stem and roots of black spruce measured by dendrometers. Frontiers in Functional Plant Ecology 2:21
- Deslauriers A, Rossi S, Turcotte A, Morin H and Krause C. (2011) A three-step procedure to analyze the time series from automatic dendrometer data by using SAS program. Dendrochronologia, 29 :151-161
- Giovannelli A., Emiliani G., Traversi M.L., Deslauriers A., Rossi S. (2011) Sampling cambial region and mature xylem for carbohydrate analyses. Dendrochronologia, 29 :177-182.
- Krause C, Rossi S, Thibeault-Martel M, Plourde P-Y (2010) Cell features and climatic influences in stems and roots of black spruce and balsam fir. Ann For Sci 67:402

- Lupi, C., Morin, H., Deslauriers, A. & S. Rossi 2010. Xylem phenology and wood production: resolving the chicken-or-egg dilemma. *Plant, Cell & Environ.* 33:1721-1730.
- Dufour, B. and Morin, H. 2010. Tracheid production phenology of *Picea mariana* and its relationship with climatic fluctuations and bud development using multivariate analysis. *Tree Physiology* 30 : 853-865.
- Deslauriers, A., Rossi, S., Morin, H. et Krause, C. 2010. Analyse du développement intraannuel des cernes de croissance. pp. 61-82 *In* S. Payette et L. Filion., éditeurs, *La dendroécologie. Principes, méthodes et applications*. Les Presses de l'Université Laval.

### **Article en préparation**

Balducci L., Deslauriers A., Giovannelli A., Rossi, S. ---- Growth of meristems and aboveground biomass allocation in *Picea mariana* seedlings under warming and water deficit.

### **Conférences et affiches:**

- Hartmann, F., Rathgeber, C., Fournier, M. 2012. A biophysical model of wood formation in conifers. 7th Plant Biomechanics International Conference, Clermon-Ferrand (20-24 August 2012).
- Deslauriers, A., Morin, H., Rossi, S., Houle, D. 2012. Changements climatiques : quel avenir pour la croissance de nos forêts? Colloque Ouranos, Montréal, nov 2012.
- Deslauriers A, Simard S, Rossi S, Morin H, Rathgeber C (2011) Cambial resistance to water stress and defoliation. Int. conf. on Disturbance dynamics in boreal forests, May 29-June 3, Chicoutimi, Canada.
- Belien E, Rossi S, Morin H, Deslauriers A (2011) Xylogenesis in black spruce subjected to artificially induced drought. Int. conf. on Disturbance dynamics in boreal forests, May 29-June 3, Chicoutimi, Canada.
- Rossi S, Morin H, Deslauriers A, Plourde P-Y (2011) Predicting timings of xylogenesis in black spruce under climate warming. Int. conf. on Disturbance dynamics in boreal forests, May 29-June 3, Chicoutimi, Canada.
- Balducci L, Deslauriers A, Giovannelli A, Rossi S, Morin H (2011) Responses to *Picea mariana* seedlings to temperature and water stress. Int. conf. on Disturbance dynamics in boreal forests, May 29-June 3, Chicoutimi, Canada.
- Morin, H. 2011. Influence des changements climatiques sur le développement intra-annuel du cerne de croissance. Carrefour de la rech. forestière, Octobre 2011, Québec, Canada. Inv. speaker.
- Rossi S, Morin H, Deslauriers A (2011) Multi-scale Influence of snowmelt on xylogenesis of black spruce. Eurodendro 2011, Engelberg (Switzerland), 19-23 septembre.
- Rossi, S. 2010. Cambial phenology and climate change: ongoing projects in Chicoutimi. Discussion meeting: Ecosystem level effects of climate change induced phenological shifts, Durham University, UK. September 2010.

- Morin, H. 2010. Croissance des pessières et des sapinières et changements climatiques: deux expérimentations utilisant la croissance intra annuelle. Cons. Ouranos, Montréal, Qué., avril 2010.
- Rathgeber CBK, Rossi S, Deslauriers A, Gričar J, Fonti P (2010) What a dendrochronologist can learn from cambium phenology and intra-annual dynamics of tree-ring formation? WorldDendro 2010, the 8th International Conference on Dendrochronology. Rovaniemi (Finland), 13-18 June.
- Rossi S, Deslauriers A, Morin H, Krause C (2010) Predicting timings of xylogenesis in black spruce under climatic warming. WorldDendro 2010, the 8th International Conference on Dendrochronology. Rovaniemi (Finland), 13-18 June.
- Rossi S, Morin H, Deslauriers A, Plourde P-Y (2010) Scénarios prédictifs de la phénologie du cambium chez l'épinette noire sous l'influence du réchauffement climatique. 78<sup>e</sup> Congrès de l'ACFAS, Montreal (Canada), 10-14.
- Deslauriers A, Rossi S, Turcotte A, Morin H, Krause C (2010) A three-step procedure in SAS to analyse the time series from automatic dendrometers. WorldDendro 2010, the 8th International Conference on Dendrochronology. Rovaniemi (Finland), 13-18 June



## Projets d'avenir

**Quels liens conservez-vous avec les partenaires? Sélectionnez toutes les réponses pertinentes.)**

- Collaboration avec les partenaires relativement au même projet de recherche
- Collaboration avec les partenaires relativement à un autre projet de recherche
- Collaboration avec d'autres partenaires relativement au même projet de recherche
- Poursuite de la recherche sans les partenaires
- Aucun lien avec les partenaires à l'heure actuelle, et aucun lien n'est prévu
- Aucun lien avec les partenaires à l'heure actuelle, mais une collaboration est prévue à l'avenir



## Projets d'avenir

**Décrivez les travaux de suivi ou connexes qui seront entrepris à la suite du projet. Indiquez le nom des participants (y compris les partenaires) et la façon dont il sera financé.**

Suite aux deux projets stratégiques entrepris avec les partenaires, une demande de subvention CRSNG-RDC a été soumise et acceptée avec les mêmes partenaires et un partenaire supplémentaire, Hydro-Québec. Cette demande implique les mêmes chercheurs et collaborateurs et vise essentiellement à poursuivre les expériences mises en place grâce aux subventions stratégiques pour étudier cette fois les réactions des arbres à moyens termes. Cette demande ne touchera cette fois que les placettes en milieu naturel et visera principalement à poursuivre les expériences concernant les impacts combinés des changements climatiques, des apports azotés atmosphériques et d'une augmentation de la température du sol sur la productivité de la forêt boréale. Les placettes mises en place lors du présent projet stratégique seront également exploitées car nous désirons premièrement excaver certains arbres soumis à une exclusion de la pluie pour tester l'hypothèse que des modifications au système racinaire ont permis aux arbres de survivre aux périodes de sécheresse imposées. Nous désirons également mesurer comment, sur le plan écophysologique, ces arbres vont récupérer suite aux périodes de sécheresses imposées.





## Projets d'avenir

### **Décrivez les liens que les partenaires entretiendront avec l'université.**

Les partenaires entretiendront des liens étroits avec l'Université, comme ils l'ont déjà fait lors des deux subventions stratégiques précédentes. De plus, un protocole d'entente officiel a été signé entre Ouranos et l'Université du Québec à Chicoutimi afin de formaliser cette entente, clarifier les aspects de propriété intellectuelle et s'entendre sur les produits de la recherche, essentiellement, des publications dans des revues avec comité de lecture et des exposés dans des colloques nationaux et internationaux.