



**RAPPPORT FINAL**  
**Étude du potentiel d'utilisation des bois ronds de faible diamètre**  
**dans des systèmes de construction en bois**

Présenté à

Monsieur Denis Pineault  
Agent de concertation et de développement - transformation des bois  
Conférence régionale des élus du Bas-Saint-Laurent (CRÉBSL)

Par

---

Aziz Laghdir, Ph. D.  
Chargé de projet

---

Patrick Dallain  
Directeur général

Le 13 juin 2013

## POUR NOUS JOINDRE



25, rue Armand-Sinclair, porte 5  
Amqui (Québec) G5J 1K3  
**Téléphone : (418) 629-2288**  
Télécopieur : (418) 629-2280  
[info@serex.qc.ca](mailto:info@serex.qc.ca)  
[serex.qc.ca](http://serex.qc.ca)

Membre de  
**Trans•tech**  
LE RÉSEAU DES CCTT  
[reseautranstech.qc.ca](http://reseautranstech.qc.ca)

**Enseignement supérieur,  
Recherche, Science  
et Technologie**

Québec 

## TABLE DES MATIÈRES

1.	CONTEXTE .....	1
2.	OBJECTIFS DU PROJET .....	2
3.	MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	3
3.1	Sélection, mesurage et préparation des billes en forêt.....	3
3.1.1	Caractéristiques géométriques des billes .....	3
3.1.2	Module d'élasticité dynamique à l'état vert avant écorçage .....	4
3.1.3	Écorçage et façonnage des billes .....	5
3.2	Séchage .....	6
3.2.1	Séchage conventionnel .....	6
3.3.2	Séchage à l'air libre .....	8
3.3.3	Séchage à l'huile .....	8
3.4	Traitement d'imprégnation .....	9
3.5	Détermination des propriétés mécaniques .....	9
3.5.1	Méthode statique – essai de flexion quatre points .....	10
3.5.2	Méthodes dynamiques .....	10
4.	RÉSULTATS.....	11
4.1	Caractéristiques de l'échantillonnage.....	11
4.1.1	Densité et teneur en humidité initiale .....	11
4.1.3	Qualité des billes après façonnage.....	13
4.2	Séchage .....	14
4.2.1	Séchage conventionnel .....	14
4.2.2	Séchage à l'huile .....	16
4.2.3	Séchage à l'air libre .....	18
4.4	Propriétés mécaniques .....	19
4.4.1	Modules d'élasticité et de rupture .....	19
4.4.2	Corrélation entre propriétés mécaniques .....	20
4.5	Traitement d'imprégnation .....	22
5.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....	23

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Mesure des dimensions et du MOE dynamique par le système Director HM200	3
Figure 2.	Écorçage manuel des billes .....	5
Figure 3.	Empilement des billes pour le séchage conventionnel .....	6
Figure 4.	Empilement des billes pour le séchage à l'air libre .....	8
Figure 5.	Empilement des billes pour le séchage à l'huile .....	8
Figure 6.	Essai de flexion quatre points .....	10
Figure 7.	Mesure du MOE par le dispositif Metrigard .....	10
Figure 7.	Distribution de la densité basale selon les classes de diamètre .....	11
Figure 8.	Distribution de la teneur en humidité initiale selon les classes de diamètre .....	12
Figure 9.	Exemples types de fissures dues à l'amorce du séchage avant tournage .....	12
Figure 10.	Courbes de séchage conventionnel selon les classes de diamètre .....	14
Figure 11.	Exemples types de fissures dues au séchage conventionnel .....	15
Figure 12.	Profil de température de l'huile utilisée pour le séchage .....	16
Figure 13.	Exemples types de fissures produites lors du séchage à l'huile .....	17
Figure 14.	Changement de couleur en surface après le séchage à l'huile .....	18
Figure 15.	État de fissuration des billes séchées à l'air libre .....	19
Figure 16.	Relations entre les modules d'élasticité dynamiques avant et après séchage .....	20
Figure 17.	Relations entre le module d'élasticité statique et les modules dynamiques .....	21
Figure 18.	Relation entre le module d'élasticité statique et le MOR .....	21
Figure 16.	Sections de billes imprégnées d'huile de lin par oléothermie .....	22

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Classes de billes selon le diamètre au fin bout .....	3
Tableau 2.	Caractéristiques géométriques des billes à l'état brut .....	4
Tableau 3.	Répartition des billes en fonction du procédé de séchage .....	6
Tableau 4.	Programme de séchage conventionnel .....	7
Tableau 5.	Densité et teneur en humidité initiale moyennes selon les classes de diamètre .....	11
Tableau 6.	Diamètre moyen par classe après le façonnage des billes .....	13
Tableau 7.	Diamètre moyen après séchage .....	15
Tableau 8.	Courbure moyenne après séchage .....	16
Tableau 9.	Teneurs en humidité, courbure et temps de séchage .....	17
Tableau 10.	Propriétés physicomécaniques des billes par classe de diamètre .....	20

## 1. CONTEXTE

Un volume considérable de bois de faible diamètre deviendra disponible dans les prochaines années au Bas-Saint-Laurent en raison des travaux d'éclaircie commerciale dans les plantations et des peuplements naturels éduqués (ayant subi une éclaircie pré-commerciale). On estime le volume disponible en provenance des éclaircies de plantations seulement à plus de 400 000 m<sup>3</sup> par année à partir de 2016. Sur ce volume, environ 70 % des billes (40 % du volume) auront un diamètre inférieur à 14 cm (5,1 po) au fin bout. De telles dimensions offrent moins de possibilités pour le marché du sciage traditionnel. Il y'a donc une réelle opportunité de trouver de nouveaux débouchés pour ces billes.

En raison de la forte proportion de bois juvénile et du faible diamètre, les sciages provenant des bois d'éclaircies ne possèdent pas les propriétés mécaniques nécessaires pour une utilisation dans des applications structurales. Par contre, cette faiblesse des propriétés mécaniques pourrait être éventuellement compensée par une utilisation de ces mêmes billes sous forme de bois rond. Ceci aurait l'avantage d'optimiser l'utilisation de la fibre, et par le fait même, de diminuer les coûts de transformation.

Très peu d'informations existent sur les propriétés mécaniques des bois ronds provenant des éclaircies et sur les défis techniques entourant leur transformation et leur utilisation. Les tables de portées et les outils de design disponibles ont pour la plupart été développés pour des sciages conventionnels ou pour des billes de plus grand diamètre et ne tiennent pas compte de la spécificité des bois de faible diamètre provenant d'éclaircies commerciales.

Dans ce contexte, la CRÉBSL a mandaté le SEREX pour réaliser une étude qui porte sur l'évaluation du potentiel d'utilisation des bois ronds de faible diamètre dans des systèmes de construction en bois. L'étude est répartie en deux phases. La première, qui fait l'objet de la présente étude, met le focus sur les méthodes de triage, de façonnage et de séchage ainsi que sur l'évaluation des propriétés physicomécaniques. On y explore également le traitement thermique et l'imprégnation à l'huile végétale. La deuxième phase est tributaire des résultats obtenus dans la première et a éventuellement pour objectif de mettre au point des systèmes d'attaches adaptés au bois rond de faible diamètre.

## 2. OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif général du projet visait à combler certaines lacunes identifiées sur le plan des connaissances des propriétés et des défis de transformation des bois ronds de faible diamètre provenant des éclaircies commerciales. Plus spécifiquement, les points suivants ont été traités dans la présente étude :

- valider les méthodes de récolte, de triage et de transformation (écorçage et façonnage) adaptées au bois rond de faible diamètre;
- comparer différentes méthodes de séchage pour le bois rond telles que le séchage conventionnel, le séchage à l'air libre et le séchage à l'huile végétale;
- déterminer les propriétés physicomécanique avec trois méthodes et établir des éventuelles corrélations entre le module d'élasticité (MOE) et le module de rupture;
- explorer le traitement d'imprégnation à l'huile de lin par le procédé d'oléothermie et vérifier l'impact sur la stabilité et la durabilité du bois pour un usage extérieur.

### 3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

#### 3.1 Sélection, mesurage et préparation des billes en forêt

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est composé de billes d'épinette noire de faible diamètre provenant des éclaircies commerciales de plantations de la région du Bas-Saint-Laurent. Le site dans lequel fut réalisée la sélection des billes se situe au sud de Biencourt et porte le nom de Ruisseau Dionne. Le choix du site a été concerté avec les responsables de la coopérative forestière du Haut-Plan-Vert. Pour les besoins de l'étude, un total de 160 billes dont la longueur varie de 8 à 9 pi (2,44 à 2,74 m) ont été sélectionnées principalement sur la base du diamètre au fin bout pour former quatre classes à part égale (tableau 1). Par exemple, la classe D-12 est constituée de 40 billes ayant un diamètre au fin bout compris entre 11 et 13 cm. Les billes présentant des anomalies flagrantes en termes de défilement, courbure, gros nœuds, pourriture, etc. ont été rejetées. Pour obtenir l'échantillonnage cible, la sélection a été effectuée sur un lot d'environ 270 billes réparti à part égale sur les quatre classes. Autrement dit, une bille sur trois ne représentait pas les critères de sélection. Le défilement était la source majeure du rejet.

Tableau 1. Classes de billes selon le diamètre au fin bout

N° Classe	Diamètre au fin bout (cm)	
	*D <sub>min</sub>	*D <sub>max</sub>
D-8	7	9
D-10	9	11
D-12	11	13
D-14	13	15

\* D<sub>min</sub> et D<sub>max</sub> correspondent respectivement aux diamètres minimal et maximal au fin bout.

##### 3.1.1 Caractéristiques géométriques des billes

Après avoir attribué des numéros aux billes sélectionnées, les dimensions de chaque bille en termes de longueur et de diamètre ont été prises (figure 1). Le diamètre a été mesuré au fin bout et au gros bout (deux mesures de diamètre au gros bout ont été prises : une selon le grand axe de la section transversale de la bille et l'autre selon l'axe perpendiculaire).



Figure 1. Mesure des dimensions et du MOE dynamique par le système Director HM200

Le tableau 2 présente les caractéristiques géométriques en moyenne par classe. Les valeurs en *italique* correspondent à l'écart-type. Le terme défilement correspond au rapport du diamètre au gros bout à celui du fin bout, et il caractérise la conicité de la bille. Plus le défilement est élevé plus la conicité est forte. Pour notre échantillonnage, on constate que le défilement moyen varie entre 1,3 et 1,4 dépendamment des classes de diamètre. Cela signifie que la section à la base de la bille est de 30 à 40 % supérieure à celle de la section supérieure, ce qui peut se traduire par une perte de matière équivalente à l'étape de tournage. Par ailleurs, si on considère les valeurs de l'écart-type, on peut en conclure que la variabilité dans les caractéristiques géométriques est relativement faible.

**Tableau 2. Caractéristiques géométriques des billes à l'état brut**

Classes	Longueur (m)	Diamètre (cm)		Défilement *
		Fin bout	Gros bout	
D-8	2,58 <i>0,03</i>	8,9 <i>0,7</i>	12,7 <i>1,3</i>	1,42
D-10	2,59 <i>0,04</i>	10,2 <i>0,5</i>	13,7 <i>1,2</i>	1,34
D-12	2,54 <i>0,03</i>	12,1 <i>0,9</i>	16,9 <i>1,6</i>	1,40
D-14	2,54 <i>0,05</i>	14,0 <i>0,8</i>	19,2 <i>1,2</i>	1,37

\* Défilement : correspond au rapport des diamètres du gros bout et du fin bout et caractérise la conicité de la bille

### 3.1.2 Module d'élasticité dynamique à l'état vert avant écorçage

Pendant le processus de sélection, chaque bille a été testée par le système Director HM200 qui permet de déterminer le module d'élasticité dynamique (propriété liée à la résistance mécanique de la bille). Le principe de fonctionnement du système Director HM200 est relativement simple. Il repose sur une méthode non destructive qui permet de mesurer la vitesse de propagation d'une onde de vibration générée par un impact dans la section transversale de la bille (figure 1). Connaissant la densité moyenne de la bille, on peut aisément évaluer le module d'élasticité dynamique.

### 3.1.3 Écorçage et façonnage des billes

Après avoir effectué les premières mesures, les billes furent écorcées sur place à l'aide d'un équipement à usage manuel (figure 2). Cinq billes de chaque classe n'ont pas été écorcées, et ce pour vérifier si l'écorçage est une étape préalable à l'opération de tournage. Autrement, façonner les billes sans avoir besoin de les écorcer peut représenter une réduction de coûts en ayant une étape de moins dans le processus de transformation.



Figure 2. Écorçage manuel des billes

Les billes furent ensuite réparties de façon aléatoire en trois groupes selon les procédés de séchage proposés dans la présente étude : séchage conventionnel, séchage à l'air libre et séchage à l'huile. Les billes correspondant au séchage à l'air libre (20 billes) furent transportées directement aux locaux du SEREX, tandis que les billes destinées au séchage conventionnel et à l'huile (140 billes) furent transportées chez l'entreprise sous-traitante Construction l'Islet Sud inc. à Saint-Omer-de-l'Islet pour effectuer le tournage. Le tournage (ou façonnage) consiste à amener la bille au diamètre du fin bout tout en maintenant le plus possible les dimensions définies précédemment lors de la sélection des classes de billes. L'équipement utilisé s'apparente à un tour à bois non conventionnel. En effet, l'outil de coupe d'un tour à bois traditionnel correspond à un couteau, alors que celui utilisé dans notre cas correspond plutôt à une scie circulaire mobile. En raison de la confidentialité, le responsable de l'entreprise nous a interdit de prendre des photos. Par ailleurs, le temps de tournage moyen a été estimé à environ 15 minutes par bille, et selon l'opérateur, il n'y a pas de différences significatives entre le tournage des billes écorcées et non écorcées.

Il est à noter que le temps écoulé entre l'étape d'écorçage et celle du façonnage était un peu plus d'un mois, ce qui a causé une amorce de séchage induisant l'apparition de fissures sur une bonne majorité des billes, et ce, bien que des précautions aient été prises lors de l'entreposage, comme l'utilisation de couvertures en plastique pour l'emballage des billes.

## 3.2 Séchage

Trois procédés de séchage ont été explorés dans la présente étude, soit le séchage conventionnel, le séchage à l'air libre et le séchage à l'huile. Le tableau ci-dessous présente la répartition des 160 billes selon le type de séchage. Cent billes furent destinées au séchage conventionnel, 20 billes pour le séchage à l'air libre et 40 billes pour le séchage à l'huile, dont la moitié a été utilisée pour étudier le traitement d'imprégnation à l'huile de lin par le procédé d'oléothermie. La qualité de séchage a été évaluée en termes de temps de séchage, de courbures et de fissures.

**Tableau 3. Répartition des billes en fonction du procédé de séchage**

Type de séchage	Nombre de billes par classe
Conventionnel	25
À l'air libre	5
À l'huile	10 (*)

(\*) La moitié des billes fut utilisée pour étudier le traitement d'imprégnation par le procédé d'oléothermie

### 3.2.1 Séchage conventionnel

#### 3.2.1.1 Préparation de l'empilement des billes

Après le tournage, les billes furent transportées au SEREX. Cent billes à proportions égales de chacune des quatre classes (D-8, D-10, D-12 et D-14) ont été sélectionnées aléatoirement pour le séchage conventionnel. Des mesures ont été effectuées avant le séchage comme la masse, le diamètre à trois positions de la longueur et la teneur en humidité par hygromètre à résistance et par prélèvement de carotte. Des observations ont également été notées quant à l'inspection visuelle des billes (courbures, fissures, flaches, pourritures, bris mécanique, etc.). Les billes ont ensuite été empilées.

Il est à noter que des mesures ont été prises quant à la disposition des billes dans l'empilement pour contrôler la variabilité due à la différence des diamètres. Un support en bois constitué de quatre étages (un étage par classe) a été construit pour réaliser l'empilement des billes, tel que montré à la figure 3. Cela permet à la fois de gérer les différentes classes de billes séparément et par le fait même de palier le plus possible au problème dû à la variation de la cinétique de séchage causée par la différence des diamètres des billes. Par ailleurs, les baguettes utilisées pour le lattage ont une épaisseur de 19 mm et ont été placées entre les rangées à une distance de 2 pi.



**Figure 3. Empilement des billes pour le séchage conventionnel**

Le séchoir utilisé est un séchoir conventionnel asservi à l'aide d'un régulateur de la compagnie MEC Inc. et est équipé d'une ventilation latérale à vitesse variable qui assure la circulation de l'air à la vitesse désirée. Le chauffage est assuré par des radiateurs à vapeur et les températures sèche et humide sont mesurées au cours du séchage à l'aide de deux paires de thermomètres sec et humide situés près des murs de chaque côté de la charge de bois. La régulation de l'humidité relative est assurée par l'injection de vapeur saturée et/ou d'eau froide à l'aide de rampes d'humidification situées sur les murs latéraux du séchoir. La vitesse de l'air à travers les paquets de bois était de 2 m/s (400 pi/min).

### 3.3.1.2 Programme de séchage

Le programme de séchage retenu est présenté dans le tableau 4. Il est inspiré des programmes types utilisés pour le séchage du bois de feuillus comme l'érable et le chêne. C'est un programme à basse température qui débute par une étape de réchauffement et d'étuvage d'une durée de 5 heures. Cette étape permet à la fois de chauffer le bois et également de le conditionner afin de réduire la fourchette de la teneur en humidité initiale. Les étapes subséquentes correspondent au séchage proprement dit et sont conduites sur une base de teneur en humidité. L'avant dernière étape consiste à un conditionnement pour la relaxation des contraintes de séchage et a duré 10 heures. Rappelons que la teneur en humidité finale cible devait être entre 12 et 15 %.

Tableau 4. Programme de séchage conventionnel

Étape	H (%)	Ts (°F)	Th (°F)	H_équi. (%)	Temps (h)
Montée en température	----	125	121	17,8	5
Séchage > PSF	> 40	125	119	15,5	----
	40 - 30	130	119	14,5	----
Séchage < PSF	30 - 20	138	125	10,6	----
	20 - 10	138	120	8,7	----
Conditionnement	----	140	125	13,6	10
Refroidissement	----	40	----	----	----

### 3.3.1.3 Suivi du séchage

Outre les étapes basées sur le temps, le suivi du séchage était assuré à la fois par des sondes d'humidité insérées dans le bois, mais également par la technique des pesées périodiques (échantillons témoins). En effet, trois billes témoins par classe ont été sélectionnées sur la base de la masse à l'état vert de façon à ce qu'elles soient représentatives de l'échantillonnage (une bille représentant la moyenne, une autre pour le maximum et une troisième pour le minimum). Même si le séchoir peut être opéré de façon tout à fait automatique, les changements d'étape furent effectués manuellement de manière à s'assurer que ceux-ci se fassent au moment opportun. Ceci a évidemment impliqué une surveillance accrue du séchoir pendant son fonctionnement.

### 3.3.2 Séchage à l'air libre

Le séchage à l'air libre s'est déroulé dans la cours du SEREX sur une saison quasi complète de séchage (juillet à mars). L'empilement fut constitué de 20 billes (5 billes/classe) non tournées placées sous abri de façon à tenir compte de la direction des vents dominants (figure 4). Pour caractériser la perte d'humidité tout au long du séchage, on a procédé par une pesée périodique de chaque bille. La qualité de séchage a été évaluée seulement de manière qualitative (gerces, fentes, courbures, etc.).



Figure 4. Empilement des billes pour le séchage à l'air libre

### 3.3.3 Séchage à l'huile

Le séchage à l'huile a été conduit sur un total de 40 billes tournées (10 billes/classe) dans l'unité pilote de traitement thermique développée au SEREX (figure 5). Étant donné les dimensions de l'enceinte de traitement qui ne permettent pas de traiter les billes à leur pleine longueur, elles ont été sectionnées en deux parties égales d'une longueur d'environ 4 pi (1,22 m).

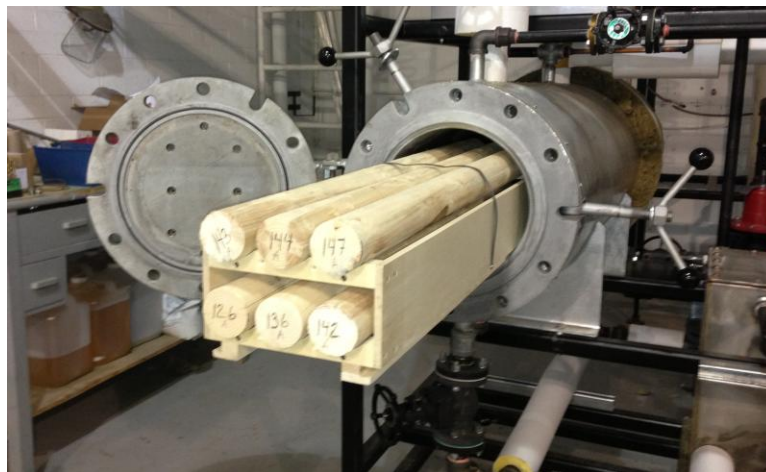


Figure 5. Empilement des billes pour le séchage à l'huile

Une partie a servi pour caractériser le séchage à l'huile proprement dit et l'autre a été utilisée pour étudier le traitement d'imprégnation à l'huile de lin (section 3.4). Le principe de séchage à l'huile consiste à immerger les billes dans un bain d'huile chauffée préalablement à une température d'environ 130 °C. Le fluide caloporteur utilisé est une huile végétale de type colza. Il avait été prévu d'utiliser les bioesters, mais pour des raisons techniques, le choix s'est porté sur une huile végétale non estérifiée. Des sondes de température ont été installées dans le bain d'huile pour contrôler l'évolution de la température. Quant à l'évolution de la teneur en humidité, elle a été évaluée par pesées périodiques des échantillons. Le temps de séchage et la qualité des billes avant et après séchage ont été déterminés.

### **3.4 Traitement d'imprégnation**

Pour explorer le traitement d'imprégnation à l'huile de lin par le procédé d'oléothermie, des échantillons de billes tournées de 4 pi ont été utilisés (la moitié des 40 billes séchées à l'huile). Le traitement proposé permet a priori l'imprégnation de l'huile à une certaine profondeur du bois. Son principe repose sur un double traitement. Le premier consiste à une immersion des billes dans un bain d'huile végétale de colza chauffée préalablement à une température variant de 120 à 140 °C. Cette action permet à la fois de baisser la teneur en humidité du bois et à conditionner ses pores. Quant au deuxième (traitement d'imprégnation proprement dit), il consiste à plonger immédiatement les billes après le premier traitement dans un bain d'huile de lin relativement froid maintenue à une température constante variant de 80 à 90 °C. Cette action permet d'induire au bois un choc thermique qui a priori favorise la pénétration de l'huile de lin à une certaine profondeur du bois. Tous les essais ont été conduits dans l'unité pilote de traitement thermique du SEREX (figure 5). Pour des raisons techniques liées au fonctionnement de l'unité de traitement, cette phase du projet n'a pas pu être complétée dans les délais prévus. Toutefois, elle est présentement en cours de réalisation. Seulement un aperçu des résultats obtenus d'une première série d'essais sera présenté.

### **3.5 Détermination des propriétés mécaniques**

Les propriétés mécaniques ont été déterminées en termes de module d'élasticité (MOE) et module de rupture (MOR). Le MOE fut évalué au moyen de trois méthodes d'essais : une méthode statique qui consiste à un essai de flexion quatre points et deux méthodes dynamiques. Dans le présent rapport, on présente seulement les résultats correspondant aux billes utilisées pour le séchage conventionnel. Il est à noter que les mesures dynamiques ont été réalisées sur les billes avant et après séchage alors que la mesure statique a été réalisée seulement après séchage.

### 3.5.1 Méthode statique – essai de flexion quatre points

Cette méthode repose sur un essai de flexion quatre points dont le principe consiste à placer l'échantillon sur deux appuis et à appliquer une force en deux points avec une vitesse d'environ 3 mm/min (figure 6). Les essais ont été effectués à l'aide d'une presse hydraulique de type INSTRON à laquelle on a ajouté une plateforme adaptée pour permettre de réaliser les essais sur la pleine longueur des billes. L'essai est effectué jusqu'à la rupture de la bille et permet de déterminer le MOE et le MOR.

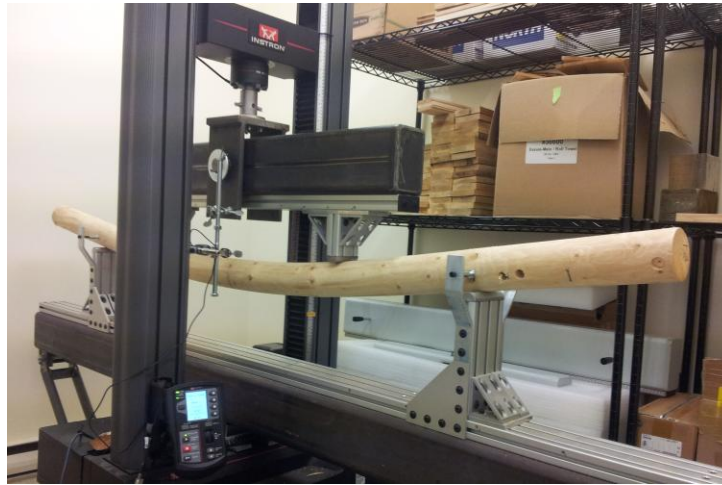


Figure 6. Essai de flexion quatre points

### 3.5.2 Méthodes dynamiques

Deux méthodes d'essais dynamiques ont également été utilisées pour déterminer le MOE. La première repose sur l'utilisation du système Director HM200 décrit dans la section 3.1.2. La deuxième utilise un autre système portable E-Computer modèle 340 de Metrigard dont le principe consiste à placer les extrémités de l'échantillon sur deux appuis supportés par deux trépieds et à solliciter l'échantillon par un léger coup de marteau à son milieu (figure 7). Le système E-Computer permet de déterminer la fréquence de vibration qui est liée directement au module dynamique MOE.



Figure 7. Mesure du MOE par le dispositif Metrigard

## 4. RÉSULTATS

### 4.1 Caractéristiques de l'échantillonnage

#### 4.1.1 Densité et teneur en humidité initiale

Le tableau 5 présente la répartition moyenne de la densité basale et de la teneur en humidité initiale selon les différentes classes de billes étudiées. On constate que la densité moyenne est comparable à celle du bois mature de la même essence (épinette noire), et ce, quelle que soit la classe de diamètre. Toutefois, il semble qu'il y'a une relation de tendance entre la densité et la classe de diamètre. C'est-à-dire que la densité croit avec le diamètre. Ceci peut être en relation avec la proportion du bois juvénile que peut contenir une bille de faible diamètre vs une bille de diamètre supérieur. Par contre, si on examine les données individuelles présentées à la figure 7 ainsi que les valeurs de l'écart-type, on constate que les plages de variation de la densité se chevauchent d'une classe à l'autre. Pour vérifier la validité de cette tendance, il faudrait un échantillonnage plus important que celui utilisé dans la présente étude. Par ailleurs, Il est à noter qu'environ 90 % des billes de la classe D-14 ont une densité supérieure à 0,400 g/cm<sup>3</sup>, 39 % pour la classe D-8, 72 % pour la classe D-8 et D-10 et 74 % pour la classe D12.

Tableau 5. Densité et teneur en humidité initiale moyennes selon les classes de diamètre

Classe	Teneur en humidité (%)	Densité basale (g/cm <sup>3</sup> )
D-8	27,3	0,392
	3,76	0,041
D-10	39,9	0,416
	8,76	0,030
D-12	28,6	0,429
	3,88	0,042
D-14	37,3	0,431
	9,63	0,029

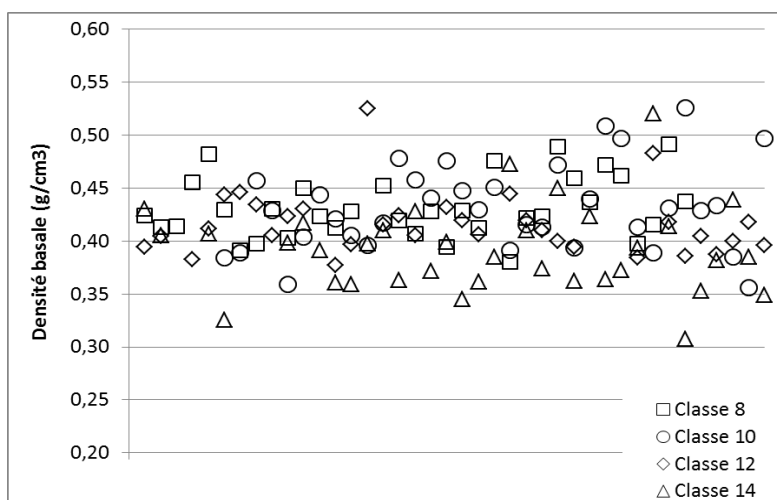


Figure 7. Distribution de la densité basale selon les classes de diamètre

Quant aux valeurs obtenues de la teneur en humidité initiale (avant le séchage), elles sont en moyenne relativement faibles, bien que certaines billes, notamment de la classe D-10 et D-14, ont une teneur en humidité nettement supérieure (figure 8). Habituellement, la teneur en humidité des bois de sciage de l'épinette noire à l'état vert gravite en général autour de 50 %. Cette différence est dû vraisemblablement à une amorce de séchage qui a débuté depuis la collecte des billes en forêt, pendant le transport et jusqu'à l'étape de façonnage. Rappelons que le temps écoulé entre l'étape d'écorçage et celle du façonnage était un peu plus d'un mois. D'ailleurs, l'examen individuel des billes a montré que la majorité des billes présente des fissures qui s'apparent à celles induites par le séchage. Plus de 54 % des billes de la lasse D-8 présentent des fissures, 24 % pour la classe D-10, 62 % pour la classe D-12 et environ 40 % pour classe D-14. La figure 9 montre des exemples types de fissures observées lors de l'inspection visuelle des billes.

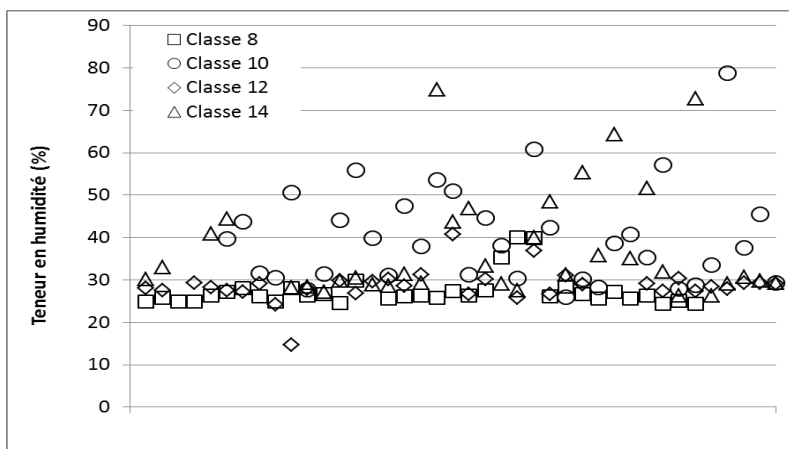


Figure 8. Distribution de la teneur en humidité initiale selon les classes de diamètre



Figure 9. Exemples types de fissures dues à l'amorce du séchage avant tournage

### 4.1.3 Qualité des billes après façonnage

Le façonnage fut réalisé au moyen d'un équipement non conventionnel, dans la mesure où l'outil de coupe correspond à une scie circulaire mobile qui se déplace d'une extrémité de la bille à l'autre, plutôt qu'un couteau de coupe. La qualité de surface des billes après le façonnage est plutôt satisfaisante, bien que dans certains cas, on a observé des bris mécaniques mineurs causés vraisemblablement par la scie. Selon le responsable de l'opération, le temps de façonnage moyen par bille variait entre 15 et 20 minutes dépendamment de la classe de diamètre, et particulièrement du défilement de la bille (rapport entre les diamètres du gros bout et du fin bout). Toujours selon l'opérateur, le façonnage se fait aussi bien pour les billes écorcées que pour les billes non écorcées, seulement que les billes non écorcées demandent un peu plus de temps (3 à 5 minutes).

Plus de 45 % des billes présentaient de l'omission après le tournage (présence de la flache), particulièrement pour les classes de diamètre supérieures, mais seulement 10 % présentaient des cas majeurs. La cause principale de l'omission est la courbure des billes selon la longueur combinée à une conicité non régulière. Le tableau 6 présente les diamètres moyens des billes par classe après le tournage. Par ailleurs, la présence de nœuds était peu fréquente et leur grosseur variait généralement de 5 à 25 mm, à l'exception de quelques cas isolés.

Tableau 6. Diamètre moyen par classe après le façonnage des billes

Diamètre (cm)			
D-8	D-10	D-12	D-14
7,20	9,16	11,13	13,08
<i>0,05</i>	<i>0,07</i>	<i>0,11</i>	<i>0,07</i>

Les valeurs en italiques correspondent à l'écart-type.

## 4.2 Séchage

### 4.2.1 Séchage conventionnel

#### 4.2.1.1 Courbes de séchage

La figure 10 présente les courbes de séchage par classe de diamètre. Chaque courbe représente la moyenne des trois billes témoins sélectionnées pour le suivi de la teneur en humidité au cours du séchage. Rappelons que ces billes ont été choisies de façon représentative de la distribution de la teneur en humidité initiale de la classe (une bille ayant une humidité moyenne, deux autres pour une humidité maximale et minimale). Le temps de séchage était d'environ 162 heures pour les billes de la classe D-8 et D-12 et de 243 et 298 heures pour la classe D-10 et D-14 respectivement. La teneur en humidité finale varie de 11 à 15 %.

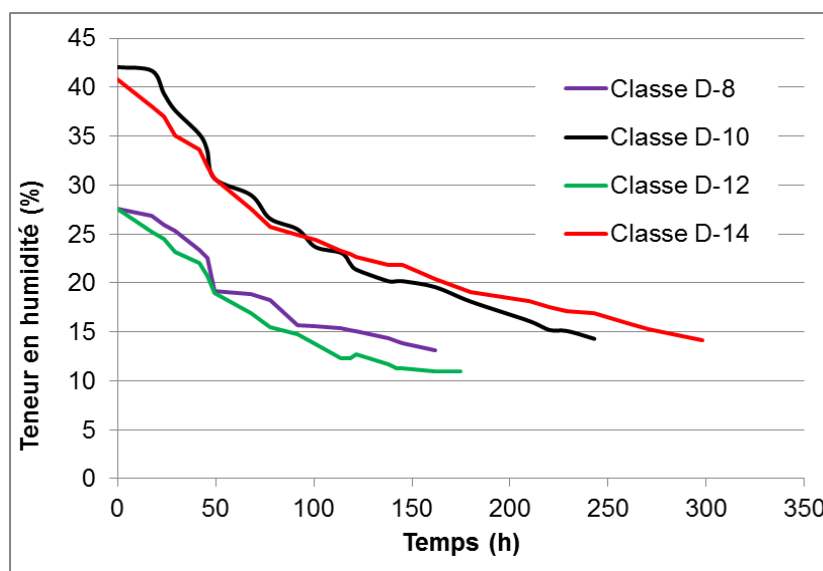


Figure 10. Courbes de séchage conventionnel selon les classes de diamètre

L'une des difficultés majeures rencontrées lors de l'opération de séchage se situe au niveau de la gestion du programme de séchage par rapport à l'hétérogénéité de la charge, que ce soit en termes des classes de diamètre ou de la fourchette de la teneur en humidité initiale. Ces deux facteurs influencent fortement la cinétique de séchage. En d'autres termes, plus le diamètre et la teneur en humidité initiale sont élevés, plus le temps de séchage est important. En outre, la plupart des changements d'étape du programme de séchage se font sur la base de la teneur en humidité. Par conséquent, il était trop difficile d'opérer le programme correctement étant donné que les billes de chaque classe ne séchent pas au même rythme à cause de la différence dans le diamètre combinée à la variation de la teneur en humidité initiale entre les classes.

Dans un scénario industriel, il est recommandé de sécher séparément les classes de diamètre et de procéder à un étuvage avant le séchage d'une durée suffisamment longue pour réduire la fourchette de la teneur en humidité initiale et obtenir par le fait même une humidité finale cible avec moins de variation.

### 4.2.1.2 Qualité des billes après séchage

En plus de l'apparence visuelle, notamment en termes de fissuration, la qualité des billes après séchage était également évaluée par la mesure du diamètre moyen et de la courbure. Des mesures liées à la résistance mécanique ont aussi été déterminées et seront présentées dans la section 4.4.

Le tableau 7 présente le diamètre moyen de chaque classe après séchage. Bien évidemment, on constate une diminution du diamètre due au phénomène du retrait. Comparativement au diamètre avant séchage (tableau 6), la diminution était d'environ 1,6 % pour les classes D-8 et D-10 et de 1,4 % et 1,1 % pour les classes D-12 et D-14 respectivement. Bien qu'on note une légère différence entre les classes, la réduction du diamètre demeure tout de même très faible si on se compare au retrait habituel rencontré dans les sciages d'épinette noire (6-8 %).

Tableau 7. Diamètre moyen après séchage

Diamètre moyen (cm)			
D-8	D-10	D-12	D-14
7,09	9,01	10,98	12,93
<i>0,05</i>	<i>0,05</i>	<i>0,08</i>	<i>0,06</i>

Les valeurs en italiques correspondent à l'écart-type.

Pour quantifier statistiquement l'effet du séchage conventionnel sur la qualité des billes en termes de fissuration, on a procédé à un comptage des billes ne présentant aucune fissure apparente avant le début du séchage. Sur les 100 billes, moins de 50 % ne présentaient pas ou peu de fissures apparentes. Après le séchage, environ 75 % de ces billes présentaient des fissures plus ou moins importantes. La figure 11 montre des exemples de billes avant et après séchage.



Figure 11. Exemples types de fissures dues au séchage conventionnel

Les résultats obtenus en termes de courbure après séchage sont présentés dans le tableau 8. Pour ne pas biaiser les analyses, les billes présentant des valeurs trop élevées qui sont majoritairement dues à des omissions plus importantes ont été exclues. En examinant les valeurs de l'écart-type, il est évident que la courbure mesurée au sein d'une même classe varie de façon considérable. Cette variation est due en partie au caractère variable du bois juvénile et à la variabilité entre les arbres. Bien qu'il soit difficile d'en tirer des conclusions, il semble que les billes de la classe D-8 ont tendance à plus courber au cours du séchage.

**Tableau 8. Courbure moyenne après séchage**

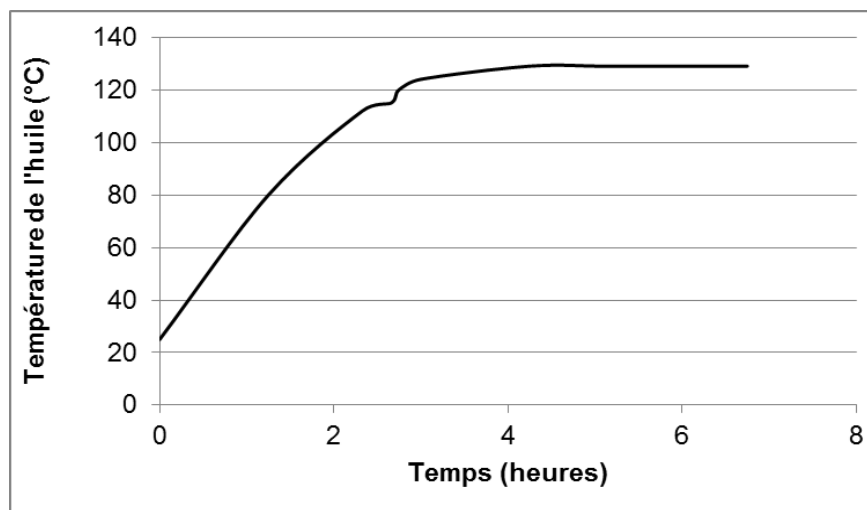
Courbure moyenne (mm)			
D-8	D-10	D-12	D-14
10,09	5,53	5,63	5,64
<i>5,11</i>	<i>2,45</i>	<i>3,58</i>	<i>3,13</i>

Les valeurs en italiques correspondent à l'écart-type.

## 4.2.2 Séchage à l'huile

### 4.2.2.1 Profil de la température

Tous les traitements de séchage à l'huile ont été effectués à une température de l'ordre de 130 °C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ). La figure 12 montre l'évolution de la température de l'huile. La phase de chauffage qui correspond à la montée de la température jusqu'à la température du traitement dure un peu plus de 2 heures. Il est à noter que durant cette phase, l'huile est chauffée dans un réservoir tampon jusqu'à 100 °C avant d'être transférée dans le cylindre de traitement où se trouve les échantillons de bois.



**Figure 12. Profil de température de l'huile utilisée pour le séchage**

### 4.2.2.1 Qualité de séchage

Le tableau ci-dessous présentent les principaux résultats obtenus du procédé de séchage à l'huile. La teneur en humidité finale varie en moyenne de 12 à 17 % pour un temps de séchage ne dépassant pas 36 heures. Bien évidemment, plus le diamètre des billes est supérieur, plus le temps de séchage est long. Cependant, le temps de séchage est réduit considérablement si on se compare au séchage conventionnel (jusqu'à 6-8 fois). La courbure semble également moins prononcée dans le cas du séchage à l'huile, mais il faut souligner que les billes dans ce cas ont seulement une longueur de 4 pi alors que dans le cas du séchage conventionnel, elles ont une longueur deux fois supérieure (8 pi). En termes de fissuration, le procédé de séchage à l'huile a tendance à produire des fissures moins prononcées que le séchage conventionnel. On observe généralement des fissures moins profondes dont les dimensions sont nettement inférieures à celles induites par le séchage conventionnel (figure 13).

**Tableau 9. Teneurs en humidité, courbure et temps de séchage**

Classe	Teneur en humidité moyenne (%)		Temps de séchage (h)	Courbure (mm)
	Initiale	Finale		
D-8	30,54	12,81	25	4,36
	<i>3,43</i>	<i>1,53</i>		<i>2,30</i>
D-10	44,08	15,66	27	4,53
	<i>14,14</i>	<i>2,48</i>		<i>2,67</i>
D-12	34,82	14,15	31	2,89
	<i>3,09</i>	<i>3,68</i>		<i>0,83</i>
D-14	41,11	16,47	36	1,72
	<i>15,51</i>	<i>3,18</i>		<i>0,89</i>

Les valeurs en italiques correspondent à l'écart-type.



**Figure 13. Exemples types de fissures produites lors du séchage à l'huile**

D'un point de vue apparence, le procédé de séchage à l'huile induit aux billes un changement de couleur au niveau de la surface. Comme le montre la figure 14, la couleur devient relativement foncée et tend vers une couleur brunâtre rappelant l'apparence du bois torréfié.



Figure 14. Changement de couleur en surface après le séchage à l'huile

### 4.2.3 Séchage à l'air libre

Le séchage à l'air libre s'est déroulé sur une saison quasi complète, soit du début septembre 2012 jusqu'à mai 2013. Rappelons que les billes n'ont pas été tournées et ont seulement été écorcées. La teneur en humidité moyenne initiale était de 27 %, 33 %, 34 % et 36 % pour les classes D-8, D-10, D-12 et D-14 respectivement. Au début de l'automne (mois de septembre), la perte d'humidité du bois était de 0,5-0,6 % par jour pour la classe D-8 et D-10, et d'environ 0,4-0,5 % par jour pour la classe D-12 et D-14. Au fur et à mesure que la saison avance, le taux de séchage diminue pour atteindre 0,1 % par jour à la fin du mois d'octobre. L'humidité moyenne en ce temps était autour de 19 %, 21 %, 23 % et 26 % pour les classes D-8, D-10, D-12 et D-14 respectivement. Depuis le mois de novembre, peu de variations d'humidité ont été enregistrées, et ce n'est qu'au début du printemps (mars) que le séchage a repris. La teneur en humidité finale mesurée au mois de mai était de 17,8 %, 19,1 %, 17,9 % et 18 % pour les classes D-8, D-10, D-12 et D-14 respectivement, ce qui correspond à un taux de séchage variant de 0,02 à 0,09 % par jour, dépendamment des classes.

D'un point de vue qualité de séchage, la totalité des billes présentait des fissures plus ou moins importantes (figure 15), et ce, quelle que soit la classe de diamètre. Il semble que les fissures les plus importantes soient associées aux billes des classes supérieures. En examinant la typologie des fissures, on constate que dans la plupart des cas les fissures sont inclinées par rapport à l'axe de la bille, ce qui est généralement un indice révélateur de la déviation du fil du bois qui se traduit le plus souvent par un impact négatif sur les propriétés mécaniques.



Figure 15. État de fissuration des billes séchées à l'air libre

## 4.4 Propriétés mécaniques

### 4.4.1 Modules d'élasticité et de rupture

Les résultats en termes de propriétés mécaniques sont présentés en moyenne par classe de diamètre dans le tableau 10. Ces résultats correspondent seulement à l'échantillonnage utilisé pour le séchage conventionnel. Les valeurs en italiques indiquent l'écart-type. Au premier abord, il paraît clairement que les modules d'élasticité et de rupture en flexion (MOE, MOR) sont relativement faibles si on les compare au bois mature d'épinette noire dont la valeur du MOE est d'environ 10 400 MPa et celle du MOR est autour de 78 MPa, et ce, bien que la densité soit comparable. Cette différence est attribuée en grande partie aux caractéristiques mécaniques faibles et variables du bois juvénile. Plusieurs études affirment que les propriétés mécaniques du bois juvénile sont de 30 à 50 % plus faibles.<sup>1</sup>

De plus, en examinant la comparaison entre les classes, il semble que le module en flexion croît inversement avec la classe de diamètre. Par ailleurs, on note que les modules d'élasticité dynamiques mesurés par les systèmes HM-200 et E-Computer de Metriguard affichent des valeurs relativement faibles par rapport aux modules statiques, particulièrement pour la classe D-12. En principe, le module dynamique est souvent supérieur au module statique. Malheureusement, aucune explication plausible à cet artefact ne peut être avancée à ce stade de l'étude.

<sup>1</sup> Kollman F.F.P and Cote W.A.J (1975) : Principles of Wood Science and Technology : Volume 2: Wood Based Materials, Manufacture and Properties

Tableau 10. Propriétés physicomécaniques des billes par classe de diamètre

Classe	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Humidité (%)	MOE (*) (MPa)	MOR (*) (MPa)	MOE_HM-200 (MPa)	MOE_Metriguard (MPa)
D-8	0,392	13,1	7 980	45,9	7 343	6 729
	0,041	1,5	1 202	8,6	1 164	1 261
D-10	0,416	14,3	7 210	44,8	7 219	6 584
	0,030	2,5	1 173	8,6	1 043	1 380
D-12	0,429	11,1	7 197	40,8	5 888	5 798
	0,042	3,7	1 391	6,7	1 021	1 243
D-14	0,431	14,1	7 093	36,2	6422	6350
	0,029	3,2	568	6,4	762	576
Épinette noire (**)	0,406	12	10 400	78,3	-----	-----
			2 200	13		

(\*) : Propriétés déterminées à partir de l'essai de flexion statique en quatre points. Le S fait référence à statique.

(\*\*) : Données associées au bois mature d'épinette noire

#### 4.4.2 Corrélation entre propriétés mécaniques

Dans cette section, il s'agit d'explorer d'éventuelles corrélations pouvant exister entre les différentes propriétés mécaniques, notamment entre les modules dynamiques et le module statique dans le but de se doter d'un outil prévisionnel permettant de cibler au mieux les billes ayant un fort potentiel en termes de propriétés mécaniques, et ce, sans avoir à utiliser des méthodes destructives comme les essais statiques de flexion. Ce genre de démarche peut s'inscrire facilement dans le processus de triage.

La figure 16 présente les graphiques reliant les modules d'élasticité dynamiques mesurés par le système HM-200 (MOE\_HM200) et E-Computer de Metriguard (MOE\_Metriguard). Des corrélations très significatives ont été obtenues entre les deux modules que ce soit avant ou après le séchage. Le coefficient de détermination  $R^2$  était d'environ 0,6 et 0,8 respectivement. Les classes D-8 et D-10 semblent se distinguer par des modules légèrement supérieurs. Cette tendance est plus visible dans le cas des modules après séchage.

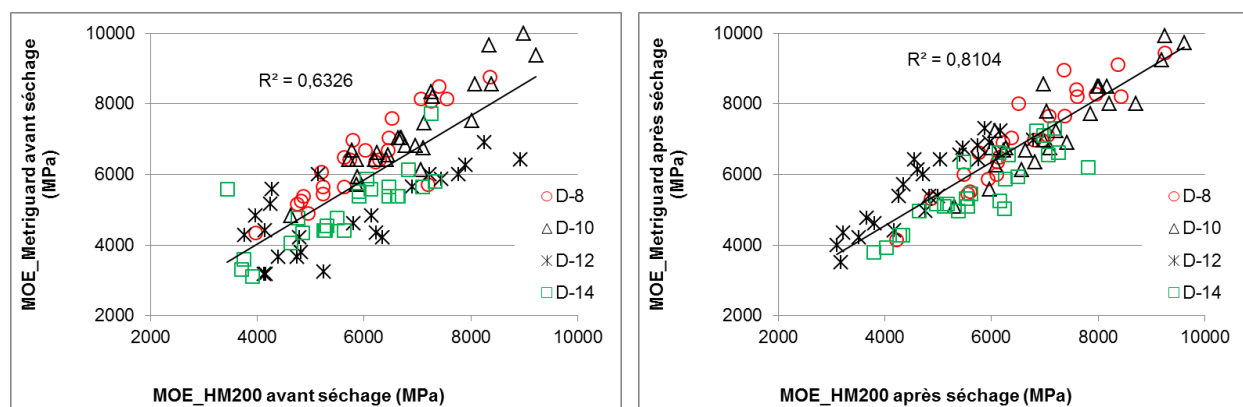
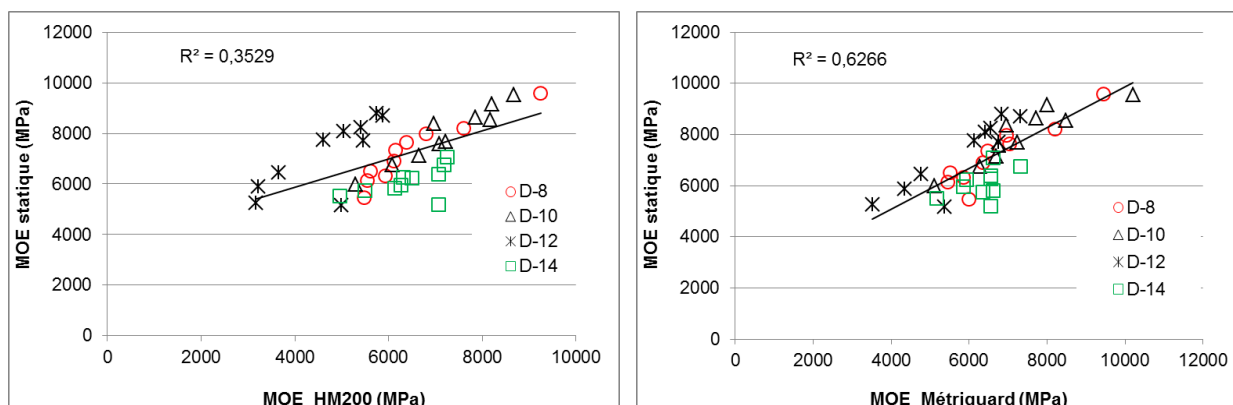


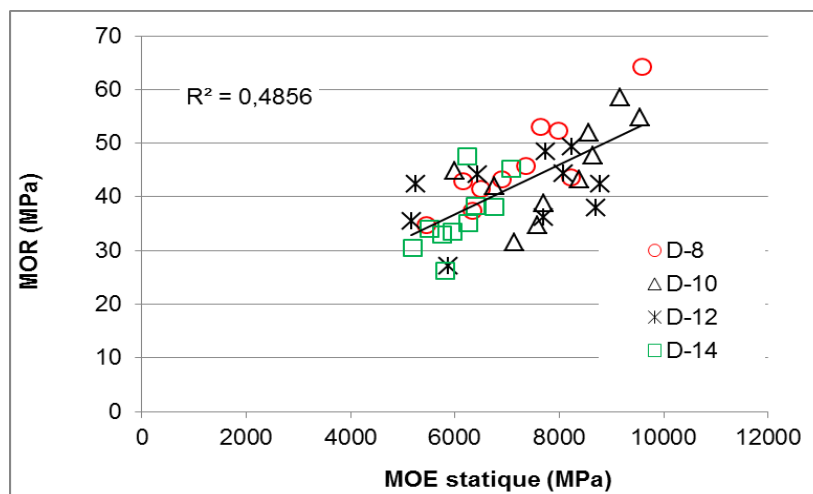
Figure 16. Relations entre les modules d'élasticité dynamiques avant et après séchage

La figure 17 montre les graphiques présentant la relation entre le module d'élasticité statique et les modules dynamiques déterminés après le séchage. Le MOE statique est mieux corrélé au MOE dynamique obtenu par le système Metriguard avec un coefficient de détermination d'environ 0,6. Toutefois, en examinant le graphique reliant le MOE statique et le MOE dynamique obtenu par le système HM-200, on constate que la classe D-12 se démarque par des valeurs de MOE statique plus élevées correspondant à des valeurs de MOE dynamique relativement faibles, et par le fait même, qui influencent le degré de la corrélation. En effet, si on exclut la classe D-12 du graphique, la corrélation devient plus significative avec un coefficient de détermination d'environ 0,7.



**Figure 17. Relations entre le module d'élasticité statique et les modules dynamiques**

La figure 18 présente la relation entre le MOE statique et le MOR. La corrélation entre les deux modules, toutes classes confondues, est relativement faible avec un coefficient de détermination légèrement inférieur à 0,5. Toutefois, en considérant les classes individuellement, la corrélation entre les deux modules est davantage significative, à l'exception de la classe D-12. En effet, on obtient un coefficient de détermination de 0,8 pour la classe D-8, 0,7 pour la classe D-10 et 0,63 pour la classe D-14.



**Figure 18. Relation entre le module d'élasticité statique et le MOR**

## 4.5 Traitement d'imprégnation

Cette étape du projet n'a pas pu être complétée et est présentement en cours de réalisation dans le cadre d'un des volets du projet CSRNG voué au traitement thermique. Rappelons que le traitement proposé repose sur le principe de l'oléothermie et permet d'imprégner l'huile de lin en surface afin d'apporter une protection au bois et d'améliorer sa durabilité dans les conditions d'utilisations extérieures. La figure 16 présente un aperçu des résultats obtenus lors des premiers essais de traitement. On y observe le profil de la pénétration de l'huile de lin à travers la section de la bille.



Figure 16. Sections de billes imprégnées d'huile de lin par oléothermie

## 5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'objectif principal de cette étude visait à combler des lacunes identifiées sur le plan des connaissances des propriétés et des défis de transformation des bois ronds de faible diamètre provenant des éclaircies commerciales. Ce mandat a été confié au SEREX par la CRÉBSL et s'inscrit dans le cadre d'un important chantier d'éclaircies commerciales dans la région du Bas-Saint-Laurent.

Un total de 160 billes d'épinette noire de faible diamètre fut sélectionné en forêt sur la base du diamètre au fin bout, et réparties ensuite en quatre classes de diamètre à part égale (D-8, D-10, D-12 et D14). Le choix des billes s'est basé également sur d'autres critères tels que le défilement, la courbure, les nœuds, la pourriture, etc. Une bille sur trois ne rencontrait pas ces critères. Le défilement était la cause majeure du rejet. Le défilement moyen des billes sélectionnées variait entre 1,3 et 1,4 dépendamment des classes de diamètre. Cela signifie que la section du gros bout est 30 à 40 % supérieure à celle du fin bout, ce qui peut se traduire par une perte de matière équivalente à l'étape de tournage.

La densité moyenne toutes classes confondues est comparable à celle du bois mature de la même essence (épinette noire). Environ 90 % des billes de la classe D-14 ont une densité supérieure à 0,400 g/cm<sup>3</sup>, 39 % pour la classe D-10, 72 % pour la classe D-12 et 74 % pour la classe D-14.

La teneur en humidité initiale moyenne avant l'étape de tournage variait entre 25 et 40 %. Elle est relativement faible si on se compare au bois de sciage de l'épinette noire qui a habituellement une teneur en humidité initiale moyenne de 50 %. Ceci est fort probablement dû à une amorce de séchage qui s'est initiée entre la collecte du bois en forêt et le début de l'étape de tournage (plus d'un mois). D'ailleurs, l'examen individuel des billes a montré que la majorité des billes présente des fissures qui s'apparentent à celles induites par le séchage. Dans un éventuel processus de transformation, il est primordial de bien entreposer les billes et réduire le plus possible le temps entre les étapes de transformation, particulièrement avant le séchage.

Bien que l'écorçage de la majorité des billes se soit effectué en forêt, il a été démontré que le tournage se fait aussi bien sur des billes écorcées que sur des billes non écorcées, sauf que les billes non écorcées nécessitent un peu plus de temps. Le diamètre moyen par classe (D-8, D-10, D-12 et D-14) après le tournage était de 72, 92, 112 et 131 mm respectivement. La présence de nœuds était peu fréquente et leur grosseur variait de 5 à 15 mm, à l'exception de quelques cas isolés. Par ailleurs, on a noté un peu plus de 45 % des billes présentant de l'omission après le tournage (présence de la flache). Quant à la qualité de la surface du bois, il est certain qu'elle peut être améliorée davantage si on utilise un équipement mieux adapté au tournage, car l'équipement de tournage utilisé dans la présente étude s'apparentait à un tour à bois non conventionnel, dont l'outil de coupe correspond à une scie circulaire mobile.

Trois procédés de séchage ont été explorés dans la présente étude, soit le séchage conventionnel, le séchage à l'huile et le séchage à l'air libre. Dépendamment des classes de diamètre, le temps de séchage conventionnel variait de 160 à 300 heures, alors que celui du séchage à l'huile ne dépassait pas 36 heures, et ce, pour une teneur en humidité finale variant entre 11 et 17 %. Il est clair que le séchage à l'huile permet de réduire considérablement le temps de séchage, jusqu'à 6-8 fois comparativement au séchage conventionnel.

L'une des difficultés majeures rencontrées lors du séchage conventionnel se situe au niveau de la gestion du programme de séchage pour une charge constituée de billes de différents diamètres et d'une fourchette de teneurs en humidité trop large. Il est évident que ces deux facteurs influencent fortement la cinétique du séchage. En effet, étant donné que la plupart des changements d'étape du programme de séchage se font sur la base de la teneur en humidité, il est difficile de sécher en même temps des billes de différents diamètres et encore moins lorsque la teneur en humidité est trop variable. Dans un scénario industriel, il est recommandé de sécher séparément les classes de diamètre et de procéder à un étuvage avant le séchage d'une durée assez suffisante pour réduire la fourchette de la teneur en humidité initiale et obtenir par le fait même une humidité finale cible avec moins de variation.

Le retrait moyen en diamètre dû au séchage ne dépassait pas 1,6 % peu importe le procédé. Il demeure très faible par rapport au retrait rencontré habituellement dans les bois de sciages d'épinette noire (6-8 %). Par contre, il semble qu'en moyenne la courbure est moins importante dans le cas du séchage à l'huile (il est à noter que les billes séchées à l'huile ont seulement une longueur de 4 pi alors que dans le cas du procédé conventionnel elles ont une longueur de 8 pi, soit deux fois supérieure).

D'un point de vue fissuration, les trois procédés de séchage infligent aux billes des fissures plus ou moins importantes dépendamment du procédé. Les fissures sont généralement radiales et se propagent de la périphérie vers la moelle (c'est le cas typique des fissures dues au séchage). La plupart d'entre elles ont une ligne inclinée par rapport à l'axe de la tige, parfois avec une configuration hélicoïdale. Ceci est un indice révélateur de la présence de déviation importante du fil du bois qui en général a un impact négatif sur les propriétés mécaniques. Sur l'ensemble des billes n'ayant pas ou peu de fissures apparentes avant le séchage, seulement 25 % ne présentaient pas de fissures après le séchage dans le cas du procédé conventionnel et 45 % dans le cas du procédé à l'huile, tandis que la quasi-totalité des billes séchées à l'air libre ont fissuré. Toutefois, le procédé à l'huile se démarque des deux autres par le fait qu'il engendre des fissures moins prononcées, généralement moins profondes et avec des dimensions nettement inférieures.

Sur le plan de l'apparence visuelle, le procédé de séchage à l'huile provoque des changements de couleur au niveau de la surface du bois qui devient relativement foncé et tend vers une couleur brunâtre qui rappelle celle du bois torréfié.

Le module d'élasticité en flexion (MOE) varie en moyenne entre 7 000 et 8 000 MPa, et celui de rupture (MOR) entre 36 et 46 MPa. Ces valeurs demeurent relativement faibles par rapport au bois mature d'épinette noire (MOE = 10 400 MPa et MOR = 78 MPa). Cette différence est attribuée en grande partie au caractère faible et variable du bois juvénile. De plus, les résultats obtenus indiquent que le MOE et le MOR croissent inversement au diamètre. C'est-à-dire que la classe D-8 affiche les modules les plus élevés. Par ailleurs, on a noté que les modules d'élasticité dynamiques correspondant aux deux systèmes de mesures (HM-200 et E-Computer de Metriguard) sont inférieurs au module de flexion. Ce constat va à l'encontre du principe qui stipule que le module d'élasticité dynamique est souvent supérieur au module statique. Malheureusement, aucune explication plausible à cet artefact ne peut être avancée à ce stade de l'étude.

Toutefois, des corrélations significatives ont été obtenues entre ces modules, notamment les relations qui lient le module statique et les modules dynamiques avant séchage. Ces dernières sont de grand intérêt puisqu'elles permettent de détecter les billes ayant un fort potentiel en termes de propriétés mécaniques bien avant toutes les transformations.

Finalement, à la lumière des résultats obtenus, il reste que dans l'ensemble, le caractère faible du bois juvénile affecte considérablement les propriétés mécaniques des bois rond de faible diamètre et réduit par le fait même les possibilités de rencontrer les exigences du code de bâtiments en matière de résistance mécanique, particulièrement lorsqu'il s'agit de les utiliser comme éléments porteur dans une structure fortement sollicitée. Par contre, il est tout à fait envisageable d'employer ces bois rond comme éléments secondaires de structures de petite envergure où encore comme éléments de poutres reconstituées selon des configurations optimales permettant de compenser la faiblesse des propriétés mécaniques, comme par exemple des poutres en treillis. D'autres parts, le traitement thermique à l'huile, que ce soit le séchage ou l'imprégnation procurent au bois une coloration de surface qui s'apparente au bois torréfié. Cette caractéristique très recherchée dans plusieurs applications fournit au bois ronds des possibilités fort intéressantes pour percer dans le marché des bois d'apparence.

Dans la perspective d'une continuité de la présente étude, il serait judicieux d'explorer davantage la voie des traitements thermiques à l'huile, sans toutefois abandonner le volet structural, puisque les résultats obtenus démontrent tout de même que les bois rond de faible diamètre ont un potentiel de développement de marchés de niche, notamment les structures légèrement sollicités telles que les petits ponts, les airs de repos, les observatoires, etc. Cependant, il est nécessaire de développer des méthodes d'assemblage d'éléments de bois rond et de vérifier leur intégrité en termes de résistance mécanique.