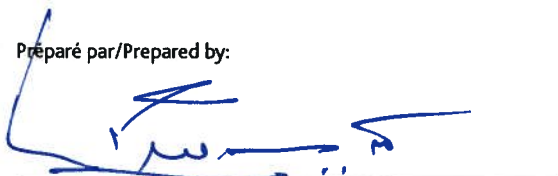

Traverses de ponts acier-bois - Essais de résistance

Projet No 301006883

À l'intention de/Prepared for:

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC
930, Chemin Sainte-Foy, 6e étage
Québec (Québec) G1S 4X9

Préparé par/Prepared by:



Chargé de projet/Project Leader

Vérfié par/Verified by:



Approuvé par/Approved by:

 pour E.K.

Directeur/Manager

18 fév. 2013

Date



Table des matières

Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iii
1 Introduction	1
2 Objectifs	1
3 Équipe technique	1
4 Procédure	1
4.1 Date de réception du matériel	1
4.2 Date des essais	2
4.3 Teneur en humidité et densité	2
4.4 Essais de flexion	2
4.5 Essais de cisaillement	3
5 Résultats	4
5.1 Teneur en humidité et densité	4
5.2 Essais de flexion	5
5.3 Essais de cisaillement	8
5.4 Estimation des valeurs de conception f_b et f_v	11
5.4.1 Exemple pour l'obtention de f_b	13
5.4.2 Exemple pour l'obtention de f_v	13
6 Conclusions et recommandations	14
7 Références bibliographiques	14
Annexe I Documents d'envoi et réception	15
Annexe II Mesures de la teneur en humidité	18
Annexe III Résultats par spécimen	23
Annexe IV Graphiques Charge vs. Déformation – Essai de cisaillement	26

Liste des tableaux

Tableau 1	Valeurs moyennes de la teneur en humidité des pièces par type d'essai	4
Tableau 2	Résultats des essais de flexion	5
Tableau 3	Résultats des essais de cisaillement	9
Tableau 4	Résultats des essais de flexion et cisaillement.....	12
Tableau 5	Mesures de teneur en humidité en date du 28 juin 2012 Hygromètre Delmhorst RDM3 et profondeur égale à 50 mm.....	19
Tableau 6	Mesures de teneur en humidité en date du 28 juin 2012. Rondelles de 50 mm et norme ASTM D4442 (Méthode B).....	20
Tableau 7	Mesures de teneur en humidité en date du 8 août 2012. Hygromètre Delmhorst RDM3 et profondeur égale à 50 mm.....	21
Tableau 8	Mesures de teneur en humidité après la réalisation des essais. Rondelles de 50 mm et norme ASTM D4442 (Méthode B)	22
Tableau 9	Résultats - essais de flexion.....	24
Tableau 10	Résultats - essais de cisaillement.....	25

Liste des figures

Figure 1	Spécimens de bois traité placés sous l'abri.....	2
Figure 2	Schéma du dispositif de chargement – Essais de flexion.....	3
Figure 3	Schéma du dispositif de chargement – Essais de cisaillement	3
Figure 4	Dispositif d'essais de flexion.....	5
Figure 5	Distributions Weibull – MOE par groupe d'échantillons.....	6
Figure 6	Distributions Weibull – MOR par groupe d'échantillons.....	7
Figure 7	Modes de rupture - Essais de flexion	8
Figure 8	Dispositifs d'essais de cisaillement.....	8
Figure 9	Distributions Weibull – Effort tranchant par groupe d'échantillons.....	10
Figure 10	Modes de rupture - Essais de cisaillement.....	11
Figure 11	Distributions Weibull – Effort tranchant « V » et Module de rupture « MOR ».....	12

1 Introduction

Ce programme d'essais fut réalisé à la suite d'une demande de M. Louis-Marie Bélanger du Ministère des transports du Québec (MTQ) concernant les propriétés mécaniques de pièces de bois en Pruche de l'est. Ces pièces sont couramment utilisées dans la construction de ponts hybrides acier-bois. Des essais de flexion et de cisaillement furent proposés par le MTQ pour des échantillons provenant de deux (2) de ses fournisseurs.

Il est à noter que les valeurs déterminées à la suite des essais ne peuvent pas être utilisées pour contester ou valider les valeurs publiées par les normes de construction des ponts routiers (CSA S6-06) et de calcul pour les charpentes en bois (CSA O86-09).

2 Objectifs

Obtenir des valeurs de propriétés mécaniques telles le moment fléchissant, les efforts tranchants pour le cisaillement longitudinal et le module d'élasticité en flexion. De plus, les différents modes de rupture observés lors de la réalisation des essais de flexion et de cisaillement sont rapportés dans le rapport.

3 Équipe technique

Williams Munoz, Ph.D.	Chercheur, Systèmes de construction avancés
Mohammad Mohammad, P.Eng., Ph.D.	Gestionnaire de recherche, Systèmes de construction avancés
Conroy Lum	Gestionnaire de recherche, Systèmes de construction avancés
Sylvain Gagnon, ing.	Gestionnaire de recherche associé, Systèmes de construction avancés
Olivier Baës	Technicien Sénior, Systèmes de construction avancés
Anes Omeranovic	Technicien Sénior, Systèmes de construction avancés

4 Procédure

Trente (30) spécimens, par type de chargement, furent considérés lors de cette étude. Les dimensions des sections étaient de 197 mm x 203 mm et tous les échantillons étaient altérés par incision et traités avec du CCA (Chrome-Cuivre-Arsenic). Les compagnies Goodfellow Inc. et Marwood Ltd. ont fourni les spécimens de bois traité.

4.1 Date de réception du matériel

Les compagnies Goodfellow Inc. et Marwood Ltd. ont fourni les spécimens de bois traité respectivement le 26 avril et le 13 juin 2012. (voir l'Annexe I).

4.2 Date des essais

Les essais ont débuté la journée du 11 septembre 2012 et ont été complétés en novembre 2012.

4.3 Teneur en humidité et densité

Puisque la teneur en humidité des spécimens dépassait les 50% en moyenne, il fut décidé d'entreposer les pièces à l'extérieur sous un abri pour permettre une perte graduelle de l'humidité (voir Figure 1). La teneur en humidité fut donc mesurée pendant environ trois (3) mois avec un hygromètre Delmhorst RDM3. Les lectures furent prises à une profondeur de 50 mm lors de l'entreposage et à 38 mm de profondeur lors de la réalisation des essais. Finalement, dans le but de connaître l'humidité réelle des spécimens au moment des essais, la teneur en humidité fut mesurée selon les indications de la norme ASTM D 4442 (Méthode B). La densité fut aussi obtenue suivant la procédure indiquée dans la norme ASTM D 2395 (Méthode B).



Figure 1 *Spécimens de bois traité placés sous l'abri*

4.4 Essais de flexion

Après une période d'environ trois (3) à quatre (4) mois à l'extérieur, il fut décidé de procéder avec les essais mécaniques. Les essais furent réalisés suivant les indications décrites dans la norme ASTM D 198-09, Section 4. Le dispositif de chargement fut installé selon les dimensions et distances proposées par les représentants du MTQ (voir Figure 2). Cette configuration a permis d'avoir un rapport longueur/profondeur d'environ 20,5, ce qui permet normalement une rupture en flexion.

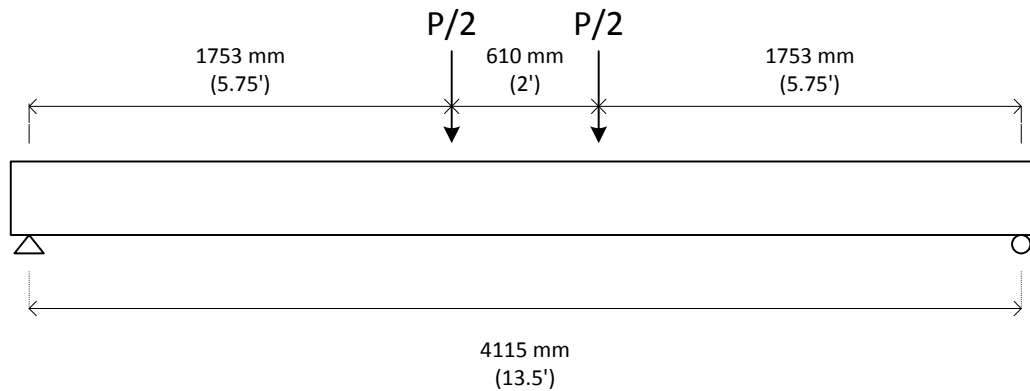


Figure 2 Schéma du dispositif de chargement – Essais de flexion

Le chargement fut réalisé en deux (2) phases : la première, avec une vitesse de progression du piston égale à 8 mm/min et cela jusqu'à une déformation de 10 mm. Deux (2) déflectomètres (lasers) pour mesurer la flèche à la mi-portée furent installés. Les déflectomètres furent retirés après une déformation de 10 mm. La deuxième phase fut réalisée avec une vitesse de progression du piston égale à 20 mm/min, jusqu'à la rupture de la pièce.

4.5 Essais de cisaillement

Les premières discussions avec le client concernant cet essai avaient débouché à un essai de cisaillement qui considérait trois (3) points de réaction et deux (2) points de chargement. Après la réalisation de trois (3) essais, un problème de stabilité du système de chargement fut constaté. Il fut alors décidé de changer le dispositif de chargement (voir Figure 3). Finalement, les essais de cisaillement furent réalisés suivant les indications décrites dans la norme ASTM D 198-09. La charge fut appliquée au centre de la portée à une vitesse de progression du piston égale à 8 mm/min jusqu'à la rupture.

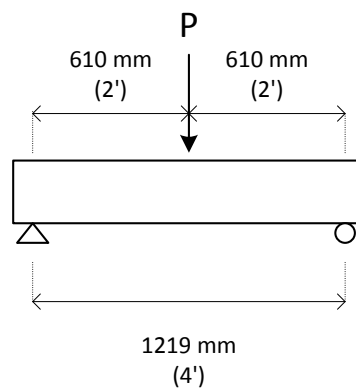


Figure 3 Schéma du dispositif de chargement – Essais de cisaillement

5 Résultats

Les résultats des mesures de teneur en humidité, de densité et des deux (2) essais sont présentés dans les sections suivantes.

Les résultats des essais ont été mesurés à l'aide d'appareils électroniques et comportent donc un certain pourcentage d'incertitude se situant à l'intérieur des limites prescrites par les différentes normes d'essais.

5.1 Teneur en humidité et densité

Les détails des mesures de teneur en humidité sont présentés à l'Annexe II. Tel que proposé au MTQ, les mesures furent prises de façon à suivre la variation sur un période de temps qui s'est échelonnée sur environ trois (3) mois. Au commencement, des mesures prises avec un hygromètre à résistance furent comparées avec celles obtenues à partir de la méthode indiquée dans la norme ASTM D 4442 (Méthode B).

Les mesures prises avec l'hygromètre se situaient très souvent au-delà du champ de fonctionnement de l'appareil qui donnait comme mesure le mot « *High* ». Cet indicateur signifie que la teneur en humidité des pièces était d'au moins 60%.

Une estimation de la teneur en humidité réelle fut obtenue en suivant la procédure décrite dans la norme ASTM. Des rondelles furent coupées aux extrémités (100 mm à l'intérieur) de cinq (5) pièces choisies aléatoirement. Il faut mentionner que les extrémités sont généralement moins humides qu'au centre des pièces. Dans ce cas, la valeur obtenue était de 45,4% pour le groupe Goodfellow et de 69,8% pour le groupe Marwood.

Après une attente de deux (2) mois, une autre série de mesures avec l'hygromètre fut effectuée. Les résultats (Annexe II) ont révélé que la teneur en humidité avait diminué très lentement. La date de début des essais fut décidée après cette série de lectures. Une fois les essais terminés, une nouvelle mesure de teneur en humidité fut réalisée. Les résultats présentés au Tableau 1 indiquent une moyenne générale de 51% pour les deux (2) essais, les deux groupes confondus.

La densité des pièces fut aussi établie en utilisant la norme ASTM D 2395 (Méthode B). Les résultats de cette mesure indiquent une valeur de densité relative (masse et volume secs) moyenne de 0,431.

Tableau 1 Valeurs moyennes de la teneur en humidité des pièces par type d'essai

Essais de flexion		Essais de cisaillement	
30 Spécimens	TH%	27 Spécimens	TH%
Moyenne	51%	Moyenne	51%
Écart type	15%	Écart type	14%
CV	30%	CV	27%
Maximum	83%	Maximum	71%
Minimum	27%	Minimum	21%

5.2 Essais de flexion

Trente (30) spécimens séparés en deux (2) groupes de 15 chacun (Goodfellow et Marwood) furent testés en flexion dans le dispositif de chargement présenté à la Figure 4. Les valeurs obtenues pour le moment fléchissant (M_{max}), le module de rupture (MOR) et le module d'élasticité (MOE) sont présentés au Tableau 2.



Figure 4 Dispositif d'essais de flexion

Tableau 2 Résultats des essais de flexion

Groupe	Paramètre	Charge maximale kN	MOE MPa	MOR MPa	Moment _{Max} kN*m	Densité relative	TH%
Marwood	Moyenne	38,65	6120	25,40	33,87	0,427	46%
	Écart type	12,34	1142	8,11	10,82	0,031	13%
	CV	32%	19%	32%	32%	7%	28%
	Maximum	55,99	8213	36,79	49,07	0,471	71%
	Minimum	11,24	3871	7,39	9,85	0,373	27%
Goodfellow	Moyenne	38,13	6249	25,06	33,42	0,436	57%
	Écart type	11,41	1116	7,50	10,00	0,027	16%
	CV	30%	18%	30%	30%	6%	29%
	Maximum	60,99	7947	40,08	53,46	0,481	83%
	Minimum	22,53	4312	14,81	19,75	0,384	30%

Les distributions *Weibull* pour les valeurs de MOE sont présentées à la Figure 5. D'après ces distributions, les valeurs du E_{05} pour les groupes Marwood et Goodfellow sont respectivement de 4157 et 4327 MPa. Pour le paramètre E_{50} , les valeurs de MOE sont de 6209 et 6351 MPa pour Marwood et Goodfellow, respectivement. Les deux (2) paramètres produisent des valeurs plus grandes pour le groupe de Goodfellow avec un maximum de 5%.

Si on compare les valeurs de E_{50} obtenues lors des essais et celles publiées dans la norme CSA S6-06 (Tableau 9.14, norme CSA S6-06, Essences nordiques de classe SS), les valeurs des essais sont en moyenne, 22% plus faibles.

Pour le module de rupture (MOR) et le moment fléchissant (M_{max}), les valeurs moyennes pour les deux (2) groupes sont presque équivalentes. Les distributions *Weibull* pour les valeurs de MOR (valeurs qui permettent d'établir la contrainte à laquelle le matériau peut être soumis avant la rupture en flexion) sont présentées à la Figure 6. Les valeurs correspondantes au 5^{ème} percentile, aussi nommé valeur caractéristique, sont respectivement de 13,90 et 12,80 MPa pour les groupes Marwood et Goodfellow. La différence entre les valeurs atteint 8%.

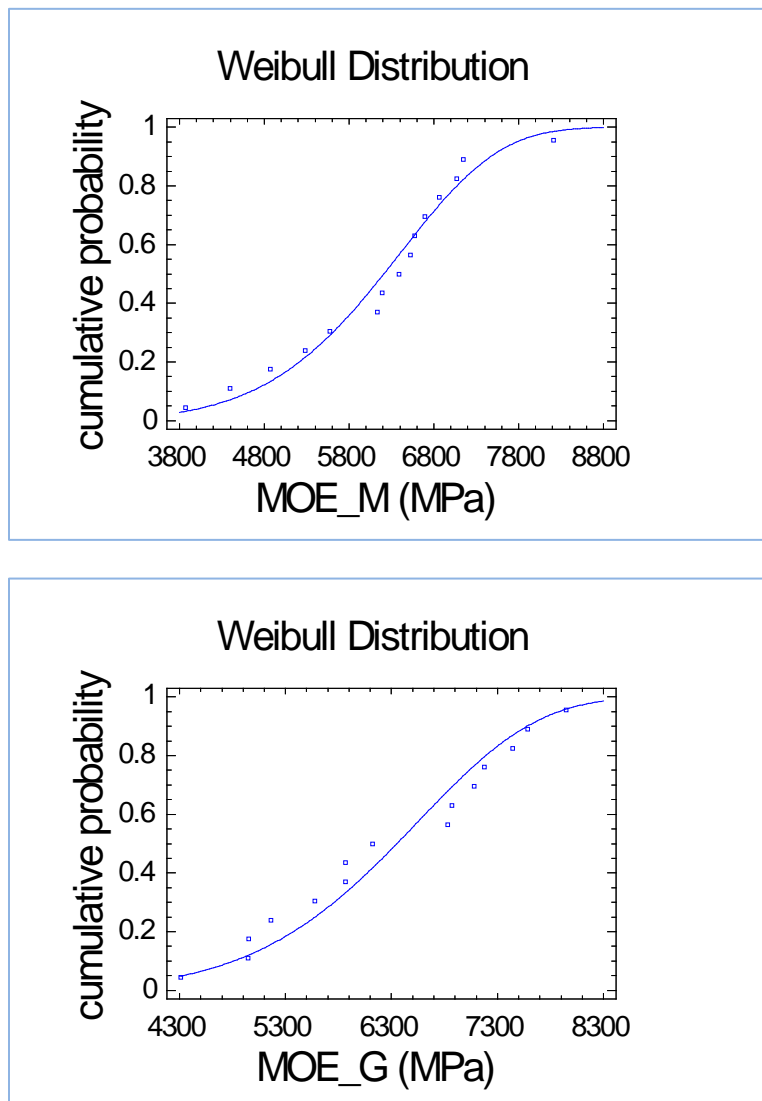


Figure 5 Distributions Weibull – MOE par groupe d'échantillons

Le type d'échantillonnage, ainsi que leur représentativité (nombre), ne permet pas une comparaison adéquate avec la résistance prévue pour la flexion à la fibre extrême présente dans la norme CSA S6-06.

Également, il faut mentionner que le dispositif de chargement choisi dans le cadre de cette étude, c'est-à-dire des distances entre les points de réaction et les points de chargement non égaux (voir figure 2), devrait donner des résultats de MOR (et de M_{\max}) plus élevés entre 15% et 20% que lors d'un essai typique aux tiers points (c.à.d. portée libre divisée par trois : $L/3$). Cette différence relève principalement du fait que, lors d'un essai au tiers-point, la partie centrale qui est sollicitée en flexion pure entre les appuis est plus grande, donc plus de défauts présents. Dans le cadre d'un programme de suivi des propriétés mécaniques, il est possible de corriger la situation en utilisant la théorie statistique de la résistance qui sert à ajuster les effets de la configuration de la charge et de la portée (Madsen, 1992).

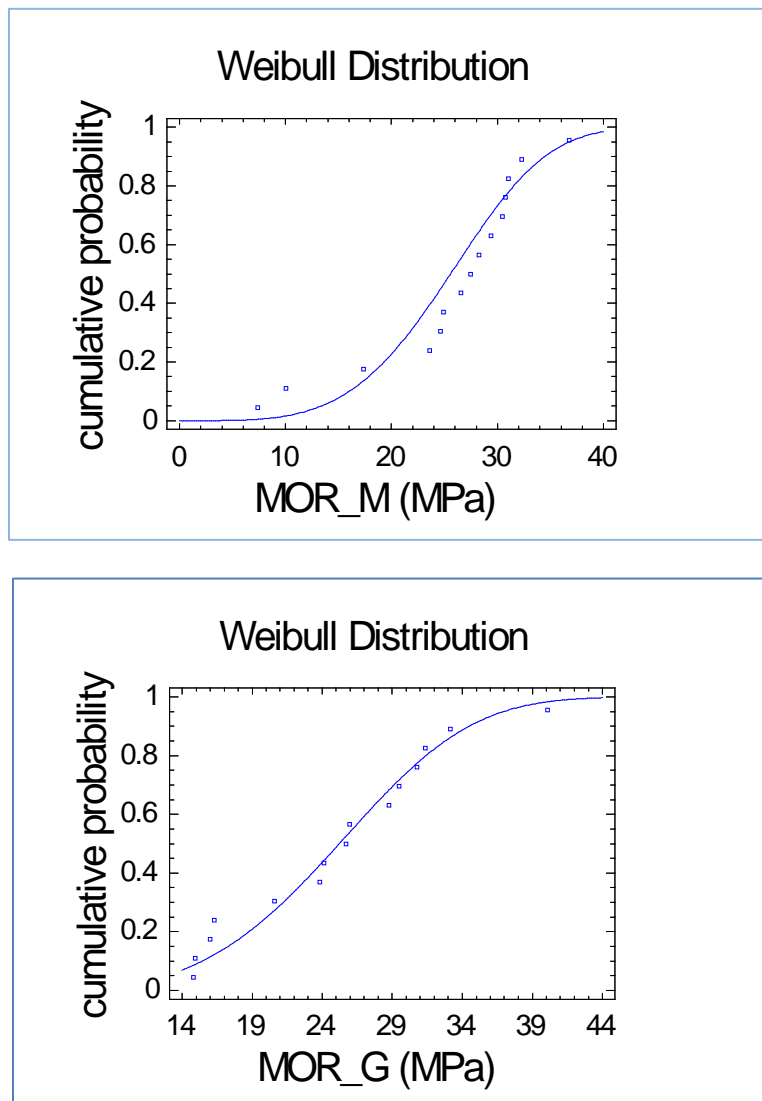


Figure 6 Distributions Weibull – MOR par groupe d'échantillons

Le mode de rupture le plus souvent observé fut celui de rupture en flexion. Considérant le rapport portée/profondeur choisi pour la réalisation des essais, ce mode est conforme aux attentes (voir Figure 7). Il faut mentionner que dans plusieurs cas, la rupture commençait là où un défaut de croissance, c'est-à-dire, nœud, déviation du grain ou autre, était présent.



Figure 7 Modes de rupture - Essais de flexion

5.3 Essais de cisaillement

Les essais de cisaillement ont débuté avec un dispositif de chargement qui n'a pas donné les résultats escomptés en raison de la présence d'instabilité dans le système (voir Figure 8a). Ce dispositif fut remplacé par un chargement simple concentré (Figure 8b). Le premier dispositif de chargement fut utilisé pour seulement trois (3) spécimens du groupe Goodfellow, ce qui a réduit le nombre final de spécimens de ce groupe à douze (12). Le groupe Marwood est demeuré à quinze (15) spécimens.

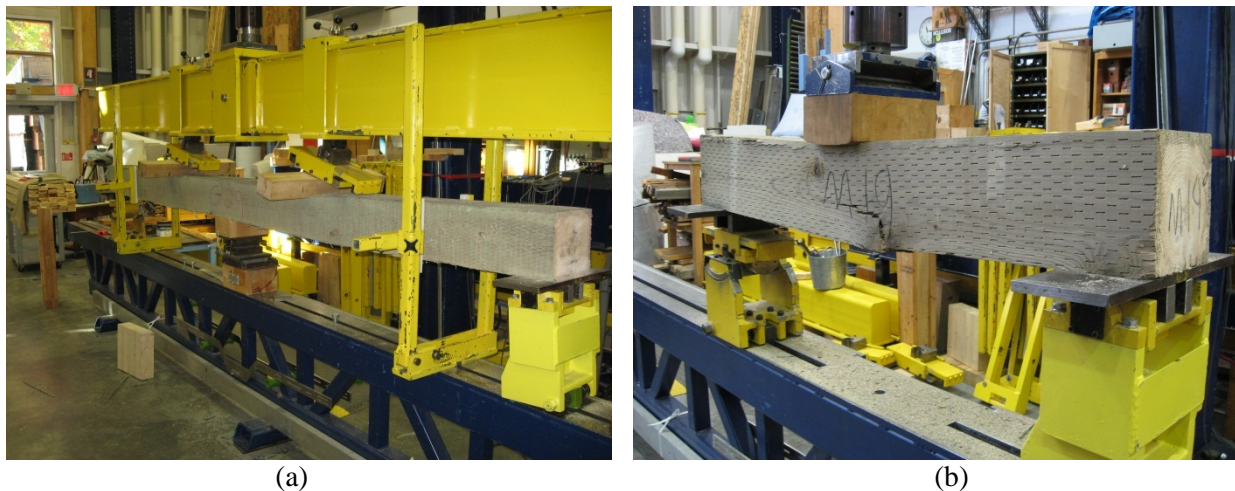


Figure 8 Dispositifs d'essais de cisaillement

Les résultats d'essais de cisaillement sont présentés au Tableau 3. Les valeurs pour l'effort tranchant sont d'environ 5% plus élevées pour le groupe Goodfellow. Ce groupe a également montré la plus faible variabilité (CV).

Tableau 3 Résultats des essais de cisaillement

Groupe	Paramètre	Charge Maximale kN	Effort tranchant (V) kN	Densité relative	TH%
Marwood	Moyenne	119,92	59,96	0,422	56%
	Écart type	21,81	10,91	0,030	10%
	CV	18%	18%	7%	18%
	Maximum	147,31	73,66	0,491	69%
	Minimum	75,33	37,67	0,377	35%
Goodfellow	Moyenne	126,74	63,37	0,439	44%
	Écart type	14,62	7,31	0,038	16%
	CV	12%	12%	9%	35%
	Maximum	148,15	74,07	0,511	71%
	Minimum	93,46	46,73	0,383	21%

Les valeurs d'effort tranchant pour Les distributions *Weibull* sont présentées à la Figure 9. De ces distributions, les 5^{èmes} percentiles obtenus sont respectivement de 41,72 et 50,77 kN pour les groupes Marwood et Goodfellow. La différence entre les groupes atteint 18%. Il faut mentionner que le type d'échantillonnage, ainsi que leur représentativité, rendent inutile une comparaison avec la résistance prévue pour le cisaillement longitudinal présentée dans la norme CSA S6-06.

Le mode de rupture le plus observé fut le cisaillement combiné avec la flexion (Figure 10 a, b et c). La présence de rupture en flexion est associée à la haute teneur en humidité présente dans les spécimens qui réduit la rigidité du bois. Également, la présence de défauts tels que des nœuds, déviation du fil et autres défauts majeurs a servi comme élément déclencheur de ruptures prématurées. Lors de la réalisation des essais, il fut aussi possible d'observer de l'écrasement du bois au-dessous du point d'application de la charge (Figure 10d).

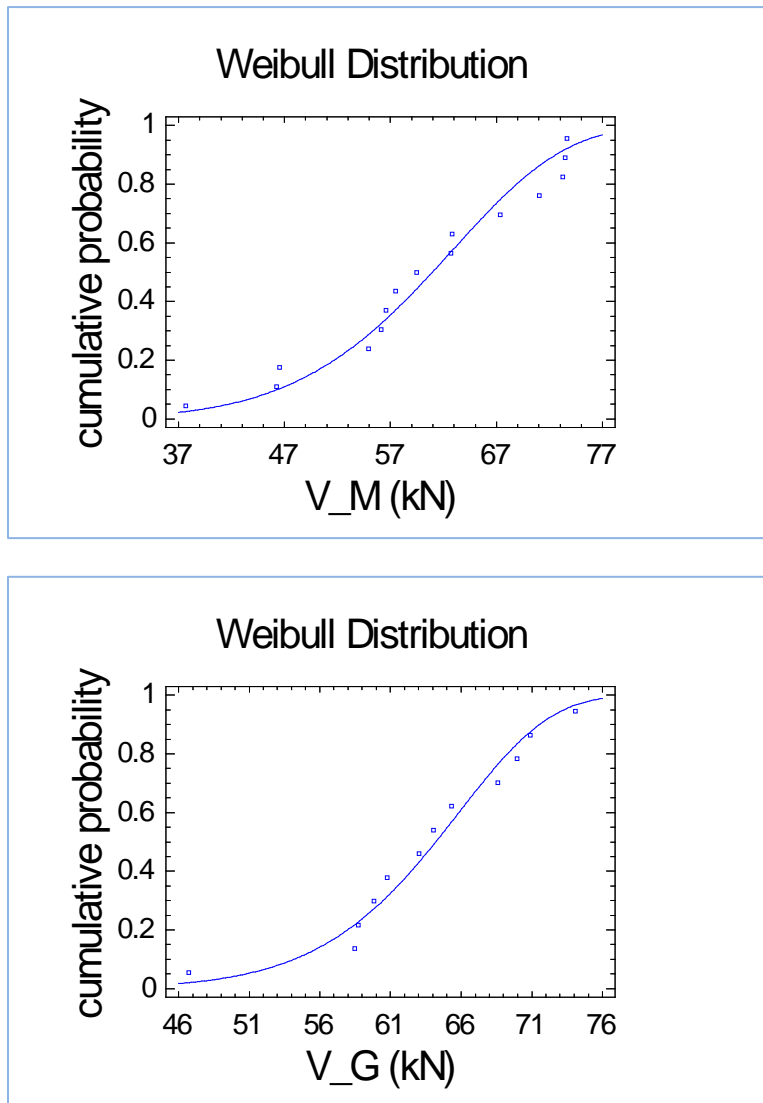


Figure 9 Distributions Weibull – Effort tranchant par groupe d'échantillons

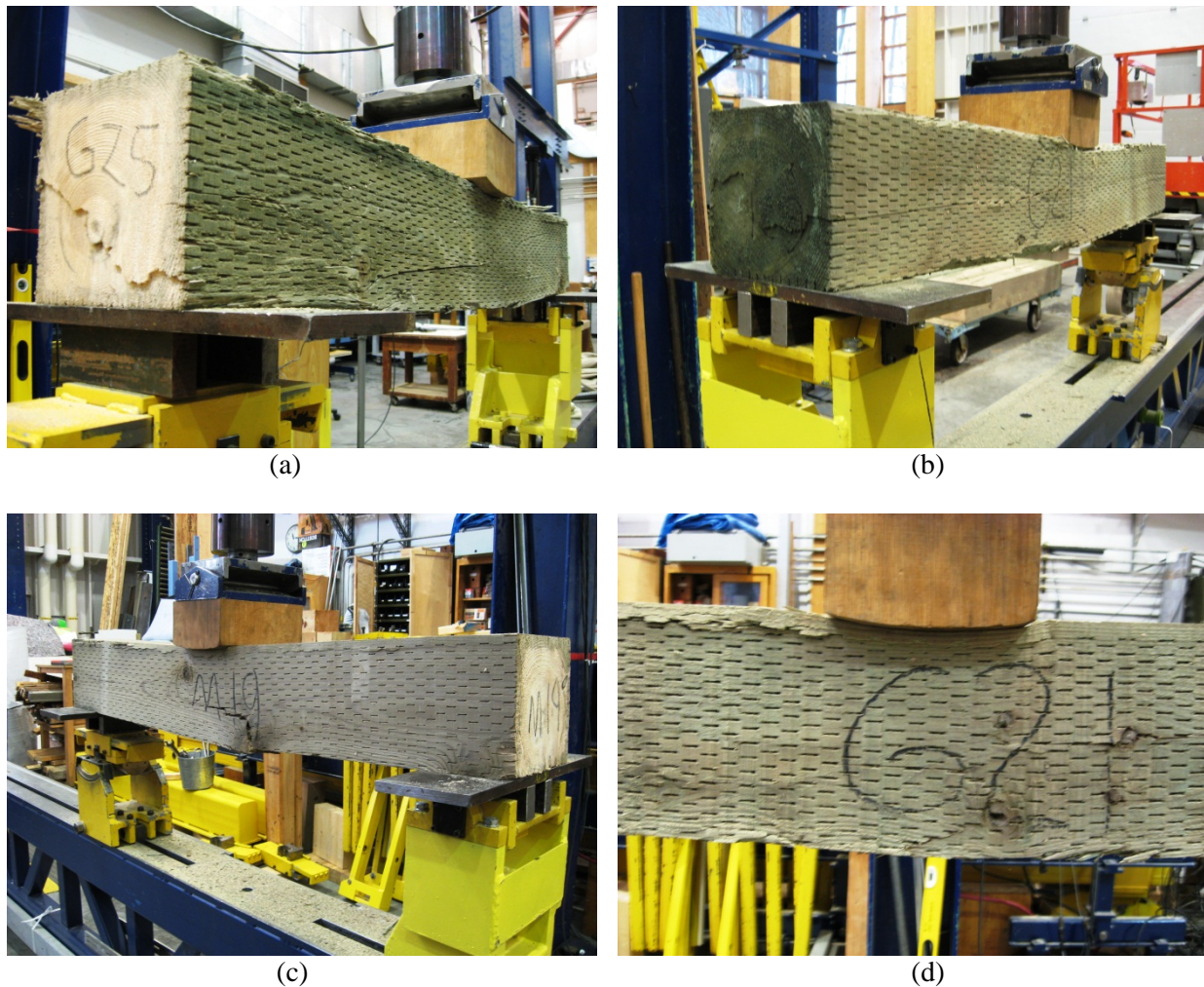


Figure 10 Modes de rupture - Essais de cisaillement

5.4 Estimation des valeurs de conception f_b et f_v

Pour cet exercice, les spécimens des deux (2) groupes par type d'essai furent réunis totalisant ainsi trente (30) spécimens pour l'essai de flexion et vingt-sept (27) pour l'essai de cisaillement. L'obtention des paramètres α et β des distributions *Weibull* pour les résultats des essais de flexion et cisaillement a été possible en utilisant le logiciel *Statgraphics*. Les graphiques de distributions *Weibull* sont reproduits à la Figure 11.

Ces derniers paramètres furent utilisés pour calculer les valeurs de résistances prévues pour la flexion à la fibre extrême (f_b) à partir des valeurs de MOR et le cisaillement longitudinal (f_v) à partir de l'effort tranchant (V). La procédure établie dans le document "*Standard Practice Relating Specified Strengths of Structural Members to Characteristic Structural Properties*" fut suivie. L'indice de fiabilité (β) fut fixé à 2,6. Les valeurs obtenues sont montrées dans le Tableau 4.

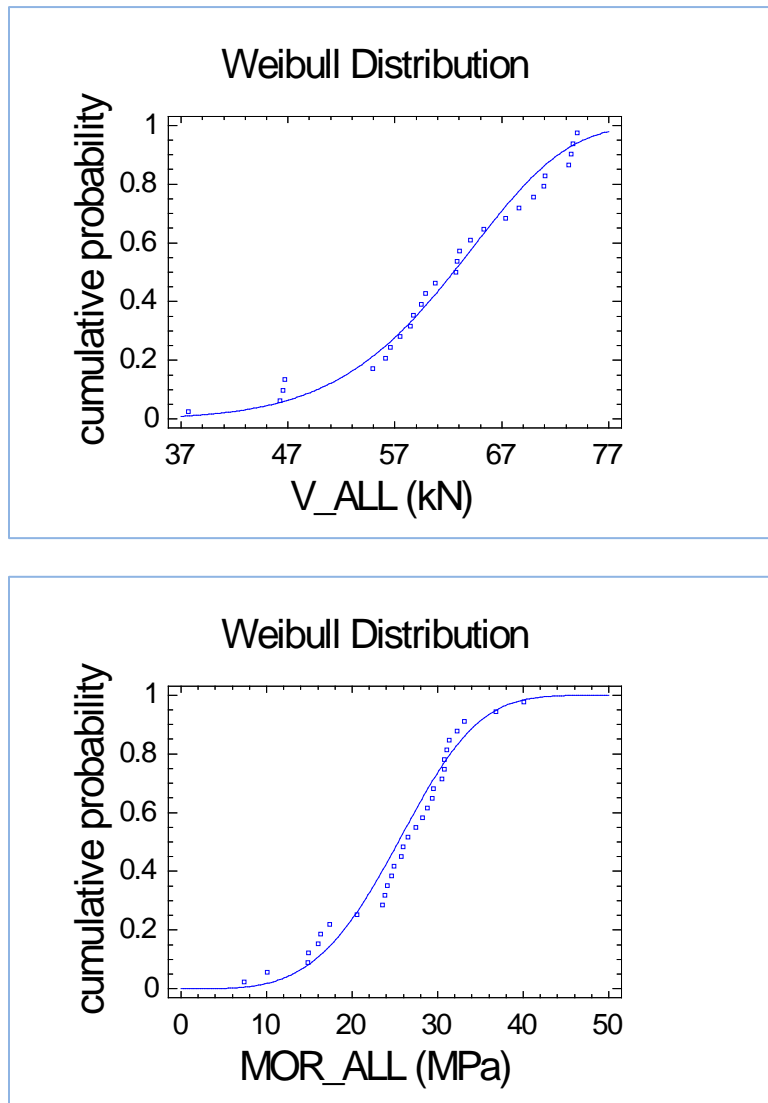


Figure 11 Distributions Weibull – Effort tranchant « V » et Module de rupture « MOR »

Tableau 4 Résultats des essais de flexion et cisaillement

Paramètre	Paramètre		Valeur Caractéristique R_{05}	Facteur de normalisation B	Propriété structurale nominale R_n	Effet de la grandeur de l'échantillonnage C	Valeur prévue R_s
	Shape	Scale					
V (kN) n = 27	Shape	8,24675	45,56	1,2	54,67	0,9254	40,47
	Scale	65,3142					
	CV	0,1436					
f_b (MPa) n = 30	Shape	3,92146	13,07	0,9599	12,55	0,8598	8,63
	Scale	27,8854					
	CV	0,2845					

À l'aide du Tableau 4, on peut affirmer que la haute variation (CV = 28,45%) observée pour les essais de flexion a affecté considérablement la valeur prévue finale (R_s). Pour ce cas en particulier, la valeur prévue fut 34% plus faible que la valeur caractéristique obtenue des essais. De la même façon, mais plus atténuée, la variation des essais de cisaillement (CV = 14,36%) a influencé la valeur prévue (R_s) qui montre une diminution de 11% par rapport à la valeur caractéristique.

5.4.1 Exemple pour l'obtention de f_b

La procédure montrée ci-dessous permet d'estimer la valeur de conception f_b .

$$R_s = R_{05} \cdot B \cdot C \cdot 0,8 ;$$

où la valeur « 0,8 » représente le facteur de conversion pour la durée de la charge¹.

$$R_s = f_b = 13,07 \cdot 0,9599 \cdot 0,8598 \cdot 0,8 = 8,63 \text{ MPa}$$

5.4.2 Exemple pour l'obtention de f_v

La procédure montrée ici-bas permet d'estimer la valeur de conception R_s pour l'effort tranchant V :

$$R_s = R_{05} \cdot B \cdot C \cdot 0,8 ;$$

où la valeur « 0,8 » représente le facteur de conversion pour la durée de la charge.

$$R_s = 45,56 \cdot 1,2 \cdot 0,9254 \cdot 0,8 = 40,47 \text{ kN}$$

La valeur de f_v peut alors être calculée en utilisant l'équation suivante :

$$f_v = \frac{3 \cdot V}{2 \cdot b \cdot d} \quad [1]$$

Si on considère V comme la valeur prévue R_s égale à 40,48 kN et les dimensions b et d comme la largeur et profondeur des spécimens égales à 0,2 m alors la valeur de f_v est égale à **1,52 MPa**.

¹ La valeur 0,8 est incorporée dans le calcul de l'obtention de la résistance prévue pour modifier les valeurs d'essai, qui sont considérées comme situations de charges de courte durée (essais en laboratoire d'une durée approximative de 10 minutes), à une durée de charge normale ($K_D = 1$). C'est à l'étape de conception qu'il faut tenir compte du type de chargement appliqué sur la structure (c'est-à-dire, courte, normale ou continue) et apporter ainsi les facteurs destinés à réduire ou majorer les résistances prévues en utilisant le bon facteur K_D .

6 Conclusions et recommandations

Des essais de flexion et de cisaillement sur des pièces de bois furent réalisés dans le but d'étudier les valeurs de résistance mécanique de spécimens de Pruche de l'est. Ce type de bois est soumis à des traitements d'imprégnation au CCA pour être utilisé dans la construction de ponts acier-bois. Un nombre total de trente (30) spécimens a été retenu pour chacune des deux (2) séries d'essais. D'après les résultats, on peut conclure ce qui suit :

- La teneur en humidité moyenne pour tous les spécimens confondus atteint 51% lors de la réalisation des essais. Ceci dénote que, même après deux mois de conditionnement, la perte en humidité s'est fait très lentement dans les spécimens de Pruche de l'est de cette dimension ;
- Les valeurs des propriétés mécaniques mesurées ne devraient pas varier beaucoup entre le point de saturation des fibres (PSF \approx 28%) et le 51% de teneur en humidité mesuré à la fin des essais ;
- Les valeurs des résistances prévues f_b et f_v obtenues lors des essais sont comparables à celles présentées dans la norme CSA S6 et CSA O86. Néanmoins, une vérification s'impose pour valider ces valeurs à partir d'un programme complet de suivi de propriétés mécaniques ;
- Les modes de rupture observés laissent entrevoir la grande influence de la présence de défauts de croissance (nœuds, déviations du grain, etc.) comme éléments déclencheurs de ces ruptures. Toutefois, le classement visuel des pièces effectué à l'usine de transformation tient normalement compte des défauts acceptés en fonction de la classe souhaitée. Aucune validation de la classe visuelle n'a été effectuée sur les pièces évaluées lors de cette étude ;
- La réalisation d'un vaste programme de suivi des propriétés mécaniques, qui tient compte de l'échantillonnage et du nombre de spécimens à tester, serait nécessaire pour obtenir des valeurs fiables qui puissent être comparées à celles présentées dans la norme S6-06 et la norme CSA O86.

7 Références bibliographiques

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2011 *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 04.10 Wood. ASTM, Philadelphia, Pa, 835 p.

Canadian Standards Association (CSA). 2006. CSA S6-06. *Canadian Highway Bridge Design Code*. Etobicoke, Ontario.

Standard Practise Relating Specified Strengths of Structural Members to Characteristic Structural Properties.

Statistical Graphic Corp. 1996. *STATGRAPHICS PLUS for Windows 2.0*. USA.

Madsen, B. 1992. *Structural Behaviour of Timber*. Timber Engineering Ltd. North Vancouver, British Columbia, Canada.

Annexe I

Documents d'envoi et réception

Order #: 153984 Bill of Lading # 125230
 TA # 69241

ARWOOD LTD.

P.O. BOX 338 POSTAL STATION "A" FREDERICTON, N.B. E3B 4Z9 TEL.: (506) 459-7777
 SALES FAX: (506) 444-7152 SHIPPING FAX: (506) 443-3104

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
 5353 BOUL PIERRE-BERTRAND
 QUEBEC QC G2K 1M1

M. MOHAMMAD MOHAMMAD
 FPInnovations-FORINTEK DIVISION
 319 RUE FRANQUET
 QUEBEC, QC G1P 4R4
 Telephone: 418 643-2528

DATE SHIPPED/DATE D'EXPÉDITION	CARRIER/TRANSPORTEUR	CUSTOMER REQUISITION NO N° REQ. DU CLIENT	CUSTOMER ORDER NO. N° COMM. DU CLIENT
12/2012	AKITA EQUIPMENT		646-0352-4207
UNIT UNITÉ	PIECES/PIÈCES	PRODUCT DESCRIPTION/DESCRIPTION DU PRODUIT	QUANTITY/QUANTITÉ
2560	30	TI PRESSURE TREATED TIMBER 6.4 KG/M3 CCA TH 8"x8"x18' S CALL AHEAD 418 659-2844	2560 FBM 2560 FBM

**Réception de
 .. marchandises
 13 JUN 2012
 FPInnovations-Forintek
 ISO 17025**

[Signature]


No subcontracting or reloading of product without Marwood authorization. Seals may only be broken by authorized personnel (if applicable).

DRIVER'S / SIGNATURE DU
 NATURE / CAMIONNEUR *[Signature]* CUSTOMER'S SIGNATURE
 SIGNATURE DU CLIENT

ACKNOWLEDGE GOODS RECEIVED IN GOOD CONDITION AND CORRECTNESS OF OUR TALLY. CLAIMS MUST BE MADE WITHIN 5 DAYS OF SHIPMENT DATE. SHIPMENT MUST BE HELD IN TACT FOR OFFICIAL INSPECTION. GOODS REMAIN PROPERTY OF SELLER UNTIL PAID IN FULL.

ACCUSÉ DE RÉCEPTION DE MARCHANDISE EN BONNE CONDITION ET QUANTITÉ REQUISE. TOUTES DEMANDES DOIVENT ÊTRE FAITES EN DEDANS DE CINQ JOURS DE LA DATE DE L'EXPÉDITION. MARCHANDISE DOIT ÊTRE TENU ENSEMBLE POUR INSPECTION OFFICIELLE. LES DROITS DE POSSESSION SUR LA MARCHANDISE DEMEURERONT LA PROPRIÉTÉ DU VENDEUR JUSQU'À PAIEMENT COMPLET.

BILL OF LADING 125230
CONNAISSEMENT



GOODFELLOW

**SPÉCIALISTES DU BOIS
THE WOOD SPECIALISTS**
www.goodfellowinc.com

TELEPHONE 418 646-0352

VENDU À - SOLD TO 1 4 2194 30
MTQ-QUEBEC(SOUTIEN TECHNIQUE)
DIRECTION DES STRUCTURES
2700, RUE EINSTEIN
QUEBEC, QC

EXPÉDIÉ À - SHIPPED TO 1 4 2194 30
M. MOHAMMAD MOHAMMAD
PROJET TRAVERSES DE PONT
FPIINNOVATIONS-FORINTEK
317 RUE FRANQUET
QUEBEC, QC

COPIES DU CLIENT/CUSTOMER COPY

16:13:57 24/04/2012

N° LICENCE PROV.
PROV. LICENSE NO.

G1P 3W8 T.P.S. 319

DATE DE LA FACTURE
4 SEMAINES
26/04/2012
REQUÊRE DATE

CODE
A - UNITÉ - UNIT
D - PL. CA. - SO. FT.
M - P.M.P. - FB.M.

505777

DARSENEAUL
DSPLT012A

ZONE 5000

FONDS CAN.

VOTRE N° DE COMMANDE YOUR ORDER NO.	VIA ROUTE	F.A.B. F.O.B.	N° RÉFÉRENCE REFERENCE NO.	TERMES - TERMS	N° DE LA FACTURE INVOICE NO.
*****	*NOTRE CAMION	DESTINATION	G - 05777	% 30 JOURS DAYS	06

COMMANDE ORDERED	DESCRIPTION	CODE	EXPÉDIÉ SHIPPED	PRIX PRICE	MONTANT AMOUNT
	PRUCHE (DE L'EST) VERT #ISEUL.BIF TRAITE CCA 0.40 *** 30/MCX DE 14' *** 2240 8 X 8 X 14' FRAIS DU MOULIN		EM 2240		5204071991
	FRAIS DU MOULIN				OK
	LES PRODUITS DE DEMAIN, AUJOURD'HUI TOMORROW'S PRODUCTS TODAY				OK
	FRAIS DIVERS: FRAIS DIVERS:				

Réception de
marchandises

26 AVR. 2012

FPIinnovations-Forintek
ISO 17025

TOUTE RECLAMATION DOIT ÊTRE SIGNALÉE PAR ÉCRIT EN DEDANS DES 5 JOURS SUIVANT LA DATE DE LIVRAISON. LE MATÉRIEL DOIT DEMEURER INTACT.
"RESERVE DE PROPRIÉTÉ: GOODFELLOW DEMEURERA PROPRIÉTAIRE ABSOLU DE TOUS LES BIENS VENDUS À L'ACHÈTEUR, TANT ET AUSSI LONGTEMPS QUE LE COÛT D'ACHAT NE SERA PAS ENTIÈREMENT RÉSQUITTÉ."

SIGNATURE: *[Signature]* DATE: 26/04/2012

# TRAVERS/CROSSERS	T.P.S./G.S.T./H.S.T. *****	TAXE PROV. TAX *****	TOTAL *****
ESCOMPTE DE CASH DISCOUNT OF	ALLOUÉ SI PAYÉ LE 26/04/2012 (LBS.) ALLOWED IF PAID BY		

APRÈS CETTE DATE, LES TERMES SONT NETS À LA DATE, LES TERMES SONT NETS À LA DATE. LES TERMES SONT NETS À LA DATE, LES TERMES SONT NETS À LA DATE.

CETTE COMMANDE EST SUJETTE AUX TERMES ET CONDITIONS DE VENTE TELS QU'INDIQUÉS AU VERSO DE CETTE FORMULE
THIS ORDER IS SUBJECT TO THE TERMS AND CONDITIONS OF SALE AS INDICATED ON THE REVERSE SIDE OF THIS FORM

Annexe II

Mesures de la teneur en humidité

Tableau 5 Mesures de teneur en humidité en date du 28 juin 2012 Hygromètre Delmhorst RDM3 et profondeur égale à 50 mm

Goodfellow Spécimen	TH% 1	TH% 2	TH% 3	Marwood Spécimen	TH% 1	TH% 2	TH% 3
G1	37,6	36,4	33,2	M1	30,0	30,4	32,0
G2	29,0	30,8	47,6	M2	30,7	27,1	27,8
G3	47,0	45,0	43,5	M3	39,0	44,0	29,0
G4	47,0	36,2	30,7	M4	34,8	39,0	29,7
G5	57,0	High	58,0	M5	37,0	33,4	29,2
G6	49,1	53,0	46,1	M6	39,2	34,1	31,0
G7	42,5	41,1	37,0	M7	53,0	High	High
G8	29,0	47,0	53,5	M8	High	High	High
G9	45,0	44,5	54,4	M9	High	High	High
G10	High	High	High	M10	High	High	High
G11	52,0	High	High	M11	High	High	High
G12	47,0	44,2	High	M12	High	High	High
G13	24,3	27,0	27,6	M13	40,6	30,4	30,8
G14	20,4	32,0	33,0	M14	34,0	46,0	33,0
G15	23,9	28,0	24,4	M15	51,0	High	High
G16	27,8	58,3	38,7	M16	26,1	28,5	32,5
G17	57,8	47,9	28,4	M17	52,0	43,5	50,0
G18	33,5	50,0	36,2	M18	31,0	31,2	31,3
G19	24,2	46,7	57,0	M19	41,1	High	High
G20	46,2	High	High	M20	High	High	45,2
G21	High	58,7	57,1	M21	High	High	High
G22	High	44,9	47,9	M22	High	High	High
G23	52,0	44,1	37,6	M23	High	High	High
G24	High	26,0	24,6	M24	High	High	High
G25	24,0	22,3	26,7	M25	High	High	High
G26	32,0	26,9	23,0	M26	High	High	High
G27	High	43,0	37,6	M27	High	High	High
G28	48,5	48,0	46,5	M28	High	High	High
G29	High	56,0	High	M29	High	High	High
G30	44,5	45,3	33,5	M30	58,0	High	High

Tableau 6 Mesures de teneur en humidité en date du 28 juin 2012. Rondelles de 50 mm et norme ASTM D4442 (Méthode B)

Goodfellow Spécimen	TH%	Marwood Spécimen	TH%
G25	36,9	M25	54,1
G26	51,8	M26	74,4
G27	41,4	M27	63,1
G28	52,1	M28	75,4
G29	55,9	M29	76,0
G30	34,1	M30	75,7
Moyenne	45,4	Moyenne	69,8
Écart type	9,1	Écart type	9,1
CV	20,0	CV	13,1

Tableau 7 Mesures de teneur en humidité en date du 8 août 2012. Hygromètre Delmhorst RDM3 et profondeur égale à 50 mm

Goodfellow Spécimen	TH%	Marwood Spécimen	TH%
G1	32,0	M1	47,0
G2	50,0	M2	33,0
G3	54,0	M3	High
G4	50,0	M4	High
G5	43,0	M5	High
G6	54,0	M6	49,0
G7	48,0	M7	33,0
G8	47,0	M8	High
G9	42,0	M9	High
G10	52,0	M10	49,0
G11	41,0	M11	High
G12	47,0	M12	40,0
G13	50,0	M13	25,5
G14	38,0	M14	39,3
G15	35,0	M15	44,0
G16	45,0	M16	High
G17	37,0	M17	High
G18	26,0	M18	High
G19	29,0	M19	High
G20	53,0	M20	High
G21	50,0	M21	High
G22	48,0	M22	39,3
G23	47,0	M23	High
G24	45,0	M24	High
G25	30,0	M25	29,0
G26	High	M26	27,4
G27	41,0	M27	High
G28	High	M28	54,0
G29	53,0	M29	43,0
G30	30,0	M30	44,2

Tableau 8 Mesures de teneur en humidité après la réalisation des essais. Rondelles de 50 mm et norme ASTM D4442 (Méthode B)

Essais de flexion		Essais de cisaillement	
Spécimen	TH%	Spécimen	TH%
M1	46%	M16	47%
M2	71%	M17	66%
M3	64%	M18	45%
M4	35%	M19	60%
M5	60%	M20	69%
M6	45%	M21	64%
M7	27%	M22	52%
M8	56%	M23	35%
M9	41%	M24	68%
M10	50%	M25	53%
M11	32%	M26	53%
M12	44%	M27	57%
M13	30%	M28	50%
M14	40%	M29	48%
M15	45%	M30	68%
G1	35%	G16	71%
G2	39%	G17	62%
G3	80%	G18	32%
G4	61%	G19	21%
G5	83%	G20	47%
G6	76%	G21	41%
G7	68%	G22	57%
G8	55%	G23	41%
G9	51%	G24	56%
G10	62%	G25	27%
G11	65%	G26	47%
G12	45%	G27	28%
G13	59%	--	--
G14	44%	--	--
G15	30%	--	--
Moyenne	51%	Moyenne	51%
Écart type	15%	Écart type	14%
CV	30%	CV	27%
Maximum	83%	Maximum	71%
Minimum	27%	Minimum	21%

Annexe III

Résultats par spécimen

Tableau 9 Résultats - essais de flexion

Spécimen	Charge maximale kN	MOE MPa	MOR MPa	Moment _{Max} kN*m	Densité relative	TH%
M1	26,46	5280	17,39	23,19	0,401	46%
M2	44,72	6189	29,39	39,20	0,460	71%
M3	49,12	7146	32,28	43,05	0,448	64%
M4	37,47	6132	24,63	32,85	0,445	35%
M5	35,89	4398	23,58	31,45	0,380	60%
M6	42,96	6576	28,23	37,65	0,426	45%
M7	15,33	4872	10,07	13,44	0,463	27%
M8	40,40	6390	26,55	35,41	0,407	56%
M9	41,80	6525	27,47	36,63	0,437	41%
M10	55,99	8213	36,79	49,07	0,404	50%
M11	47,25	5573	31,05	41,41	0,471	32%
M12	11,24	3871	7,39	9,85	0,373	44%
M13	46,39	6865	30,49	40,66	0,414	30%
M14	46,82	7072	30,77	41,03	0,466	40%
M15	37,85	6693	24,88	33,18	0,414	45%
G1	44,91	7178	29,51	39,36	0,434	35%
G2	24,81	5577	16,30	21,74	0,427	39%
G3	46,84	7443	30,78	41,06	0,460	80%
G4	50,42	7584	33,13	44,19	0,418	61%
G5	36,71	5864	24,12	32,17	0,409	83%
G6	36,27	6124	23,84	31,79	0,481	76%
G7	39,13	6870	25,71	34,29	0,448	68%
G8	39,49	6832	25,95	34,61	0,478	55%
G9	31,32	5163	20,59	27,46	0,411	51%
G10	22,53	4953	14,81	19,75	0,446	62%
G11	24,38	4947	16,02	21,37	0,418	65%
G12	60,99	7947	40,08	53,46	0,446	45%
G13	43,77	7082	28,76	38,36	0,423	59%
G14	47,72	5866	31,36	41,83	0,460	44%
G15	22,70	4312	14,92	19,90	0,384	30%
Moyenne	38,39	6185	25,23	33,65	0,432	51%
Écart type	11,68	1111	7,68	10,24	0,029	15%
CV	30%	18%	30%	30%	7%	30%
Maximum	60,99	8213	40,08	53,46	0,481	83%
Minimum	11,24	3871	7,39	9,85	0,373	27%

Tableau 10 Résultats - essais de cisaillement

Spécimen	Charge maximale kN	Effort tranchant (V) kN	Densité relative	TH%
M16	92,48	46,24	0,468	47%
M17	118,93	59,47	0,436	66%
M18	75,33	37,67	0,419	45%
M19	115,00	57,50	0,400	60%
M20	146,55	73,28	0,491	69%
M21	142,15	71,07	0,423	64%
M22	147,31	73,66	0,433	52%
M23	125,43	62,72	0,386	35%
M24	93,01	46,51	0,445	68%
M25	109,86	54,93	0,413	53%
M26	112,28	56,14	0,377	53%
M27	134,75	67,38	0,419	57%
M28	146,95	73,48	0,428	50%
M29	125,59	62,80	0,395	48%
M30	113,19	56,59	0,401	68%
G16	93,46	46,73	0,434	71%
G17	116,95	58,47	0,435	62%
G18	119,70	59,85	0,439	32%
G19	117,42	58,71	0,392	21%
G20	126,05	63,02	0,477	47%
G21	148,15	74,07	0,482	41%
G22	141,82	70,91	0,511	57%
G23	128,08	64,04	0,383	41%
G24	137,19	68,60	0,440	56%
G25	139,90	69,95	0,424	27%
G26	130,65	65,33	0,449	47%
G27	121,56	60,78	0,402	28%
Moyenne	122,95	61,48	0,430	51%
Écart type	18,94	9,47	0,034	14%
CV	15%	15%	8%	27%
Maximum	148,15	74,07	0,511	71%
Minimum	75,33	37,67	0,377	21%

Annexe IV

Graphiques Charge vs. Déformation – Essai de cisaillement

