

PROGRAMME D'AIDE À LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE

Rapport final

OPTIMISATION DU PROCÉDÉ DE TRAITEMENT DU BOIS AU BORATE PAR DIFFUSION PART2005N011

Période du 10 janvier au 31 décembre 2006

Présenté à :

Programme d'aide à la recherche technologique

Service de la recherche et du développement
Direction de l'enseignement collégial
Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport
Édifice Marie-Guyart, 18^e étage
1035, rue De La Chevrotière
Québec (Québec) G1R 5A5

Par :



Centre Collégial de Transfert
de Technologie en foresterie

Pascal Villeneuve, ing.f.

Novembre 2006

RÉSUMÉ

Code du projet (MEQ) : PART2005N011

Titre : Optimisation du procédé de traitement du bois au borate par diffusion.

Par : Pascal Villeneuve

Établissement

d'enseignement : Cégep de Sainte-Foy

CCTT : Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et

Durée : Un an

Résumé :

Une méthode prometteuse de traitement au borate permettrait d'atteindre un taux de rétention similaire, voire supérieur, aux autres méthodes conventionnelles utilisées sur le marché. Ce procédé, étudié dans le cadre d'un projet PART réalisé en 2005 (PART2004N050), prend en effet moins de temps que la méthode traditionnelle, puisqu'il se déroule durant l'opération habituelle de séchage du bois. Cependant, ce procédé se devait d'être exploré de façon plus pointue afin d'éliminer des variables d'étude, et de confirmer des constats trouvés en 2005. Ainsi, une essence et une dimension ont été étudiées, soit du 2" x 6" de sapin baumier de 8 pieds de longueur.

Les objectifs spécifiques du projet étaient de valider et confirmer les modèles mathématiques créés par la Méthode E.M. lors du PART de 2005, et de vérifier si la rétention satisfaisait la norme requise. Le niveau de rentabilité de l'opération se devait d'être exploré également.

Pour fins d'analyse, la méthode statistique multifactorielle S.A.S. a été employée, et la détermination de corrélations entre les paramètres ne fut pas très concluante compte tenu de la différence entre les résultats des deux essais, sauf pour l'effet des colonnes. Avant de pouvoir être adoptée par l'industrie et reconnue par les associations assurant le respect des normes de traitement du bois au borate, l'exploration de la méthode lors de ce deuxième projet apporte des hypothèses très positives. En effet, les taux de pénétration obtenus à l'aide de ce procédé ont presque atteints les minimums requis dans un premier essai, et dépassés de beaucoup la norme prescrite lors du deuxième essai. Par contre, il y a trop de pertes de borate, donc un résultat de rétention du produit dans le bois qui est inférieur à cette même norme. Le coût de traitement est le tiers de ce qui se fait normalement, ce qui est très encourageant. Il est très probable qu'en concentrant nos injections dans un climat très humide, à l'étape du conditionnement en fin de séchage, que la norme de rétention soit atteinte et qu'on obtienne à nouveau une pénétration très profonde. Des essais ultérieurs en laboratoire et en industrie sont à prévoir pour la réussite du procédé, pour toutes les essences de bois d'œuvre du Québec et dans toutes les dimensions.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	I
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
1. RAPPORT TECHNIQUE.....	1
1.1. TITRE DU PROJET (PART2005N011).....	1
1.2. INTRODUCTION	1
1.3. OBJECTIFS DU PROJET	2
1.4. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	2
1.5. DEGRÉS D'INCERTITUDES DU PROJET	4
1.6. MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODOLOGIE	5
1.6.1. Détermination du plan expérimental	5
1.6.2. Matériel.....	7
1.6.3. Méthode de traitement du bois.....	9
1.6.4. Disposition des pièces dans le séchoir.....	12
1.6.5. Séquence des opérations lors des essais	14
1.6.6. Mesures des propriétés des échantillons.....	14
1.7. RÉSULTATS ET DISCUSSION	19
1.7.1. Tableau résumé des propriétés physiques du bois	21
1.7.2. Résultat visuel des tests du taux de pénétration du borate dans le bois.....	21
1.7.3. Analyse des paramètres avec SAS.....	26
1.7.4. Analyse des corrélations	27
1.7.5. Comportement de la rétention	28
1.7.6. Pertes de borate	29
1.7.7. Différences de rétention entre les colonnes	30
1.7.8. Différences de rétention en fonction de la position dans les rangées	32
1.7.9. Comportement de la pénétration.....	33
1.7.10. Influence de l'humidité finale du bois et du gradient d'humidité final	35
1.7.11. Évaluation du coût de traitement à l'aide de cette méthode	38
2. CONCLUSION	39
3. MISE EN GARDE	40
4. RÉFÉRENCES.....	41
5. RAPPORT FINANCIER.....	412

LISTE DES FIGURES

Figure 1 -	Effet quadratique de l'emplacement des pièces de bois suivant les colonnes, sur le taux de pénétration globale	4
Figure 2 -	Effet combiné du gradient d'humidité du bois et de l'humidité relative de l'air dans le séchoir, sur le taux de pénétration globale.....	4
Figure 3 -	Effet combiné de l'essence de bois et le temps de transfert, sur le taux de pénétration forte.....	4
Figure 4 -	Effet combiné de la teneur en humidité du bois et de la dimension des pièces, sur le taux de pénétration globale.....	4
Figure 5 -	Effet combiné de la dimension du bois et la température de la solution, sur le taux de pénétration forte	5
Figure 6 -	Dispositif de séchage expérimental Cathild	8
Figure 7 -	Concentration en Tim-bor® (DOT) en fonction de la température de solubilité de l'eau (de 20 à 60°C).....	11
Figure 8 -	Photo des pièces de bois dans le séchoir sur le support métallique	13
Figure 9	Schéma de coupe pour la mesure du gradient d'humidité.....	15
Figure 10 -	Indicateur chimique de la présence du borate dans le bois.....	17
Figure 11 -	Exemple de mesure du taux de pénétration du borate par analyse topologique (taux de pénétration nul, faible, moyen et fort).....	18
Figure 12 -	Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #7 du premier essai.....	22
Figure 13 -	Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #51 du premier essai.....	23
Figure 14 -	Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #11 du deuxième essai.....	24
Figure 15 -	Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #91 du deuxième essai.....	25
Figure 16 -	Courbe de régression montrant la relation entre la durée de séchage et la pénétration totale.....	27
Figure 17 -	Pénétration totale en fonction de la rétention	30
Figure 18 -	Rétention moyenne par colonne	31
Figure 19 -	Importance de la pénétration par rapport à la colonne (PART 2004N050).....	31
Figure 20 -	Schéma de pulvérisation du borate dans le système	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 -	Cédule de séchage utilisée pour les charges A et B.....	9
Tableau 2 -	Masse de borate à pulvériser	11
Tableau 3 -	Quantité de borate pulvérisé dans le séchoir par étape de séchage.....	12
Tableau 4 -	Disposition dans le séchoir des pièces de bois de la charge A et B.....	13
Tableau 5 -	Série d'échantillonnage des mesures de suivi des charges A et B.....	14
Tableau 6 -	Résumé des propriétés physiques du bois testé	21
Tableau 7 -	Rétention mesurée par pièce échantillon	28
Tableau 8 -	Rétention moyenne des deux empilements selon les positions des échantillons	33
Tableau 9 -	Pénétration totale en fonction de la position (4 niveaux), premier essai	34
Tableau 10 -	Pénétration totale en fonction de la position (4 niveaux), deuxième essai	35
Tableau 11 -	Gradient d'humidité final moyen des 2 essais en fonction de la position (3 niveaux)	36
Tableau 12 -	Humidité finale du premier essai en fonction de la position (4 niveaux)	37
Tableau 13 -	Humidité finale du deuxième essai en fonction de la position (4 niveaux)	37

1. RAPPORT TECHNIQUE

1.1. TITRE DU PROJET (PART2005N011)

Optimisation du procédé de traitement du bois au borate par diffusion.

1.2. INTRODUCTION

Le CENTRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE EN FORESTERIE DE SAINTE-FOY (CERFO), un CCTT spécialisé en foresterie et en transformation du bois, a réalisé une étude en recherche appliquée dans le cadre du Programme d'aide à la recherche technologique (PART) du ministère de l'Éducation du Québec.

En 2005, nous avons réalisé un projet dans le cadre du Programme d'aide à la recherche technologique (PART). Il s'agissait de mettre au point une méthode de traitement du bois au borate par pulvérisation en cours de séchage conventionnel. Nous voulions vérifier si le borate pouvait bel et bien pénétrer dans le bois par ce type de procédé, et découvrir les interactions entre les multiples variables en jeu (avec la méthode E.M.). Les modèles créés lors de ce projet PART nous ont permis d'isoler les variables qui influençaient le plus les taux de pénétration du borate (en mm) dans le bois. Les résultats démontrent que l'essence de bois et sa dimension, de même que l'emplacement de la pièce et des buses dans le séchoir ainsi que le moment de pulvérisation, exerçaient une influence significative sur le taux de pénétration du borate.

Le but de ce présent projet PART était *l'optimisation du procédé de traitement du bois au borate par diffusion*, en confirmant et en validant l'information obtenue des modèles mathématiques créés par la méthode E.M., et en tentant d'améliorer les résultats précédents. D'autre part, en plus de vérifier les taux de pénétration dans le bois (en mm), nous voulions vérifier les taux de rétention du borate (masse du B_2O_3 dans un volume de bois traité), soit les deux paramètres normés dans l'industrie (CSA 080.34-97). Pour y arriver, nous avons éliminé quelques variables afin de concentrer notre travail à l'atteinte du but et des objectifs de ce présent projet PART.

Les résultats obtenus démontrent, à l'aide de la méthode d'expérimentation et de modélisation E.M., qu'effectivement le borate peut pénétrer dans le bois par ce procédé. Plusieurs facteurs viennent influencer le modèle mathématique obtenu, soit positivement ou négativement. Il s'agit notamment de la densité du bois, de l'essence, de la dimension de la pièce et de son emplacement

dans le séchoir, de la température de la solution de borate, l'humidité relative dans l'enceinte de séchage; ce dernier étant intimement lié à l'étape de séchage.

1.3. OBJECTIFS DU PROJET

L'**objectif général** du projet est d'optimiser, sur une base expérimentale, le processus de pénétration et de rétention du borate dans le bois de construction par pulvérisation en cours de séchage conventionnel.

Les objectifs spécifiques sont :

- Valider et confirmer les modèles mathématiques créés par la Méthode E.M lors du PART de 2005.
- Comparer le taux de rétention moyen obtenu en fin de séchage avec celui obtenu par le procédé de traitement traditionnel.
- Déterminer la quantité de borate nécessaire pour obtenir un taux de rétention minimal requis par les normes.
- Évaluer le niveau de rentabilité de ce type de traitement afin de vérifier la possibilité de l'appliquer en industrie.

1.4. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

L'Agence de réglementation de la lutte anti-parasitaire (ARL; une division de Santé-Canada) a interdit l'usage de l'arséniate de cuivre chromaté (ACC) depuis janvier 2004 dans les applications résidentielles, tels les parcs et les jardins. Ce produit, un pesticide homologué au Canada en vertu de la Loi sur les produits antiparasitaires, renferme de l'arsenic inorganique, du chrome et du cuivre. Les ponts, les autoroutes, les quais et les autres applications industrielles ne sont toutefois pas affectés par ce changement. Cette situation a exigé l'utilisation de produits de remplacement, tels que l'ammoniaque quaternaire (CAQ) et l'azole de cuivre (AC).

Le BORATE, un produit plus écologique que les précédents, est aussi utilisé contre les attaques fongiques, les insectes et les termites, en milieux non humides toutefois. Les méthodes employées pour traiter le bois à l'aide du BORATE méritent toutefois d'être améliorées afin de réduire les coûts de traitement. La méthode utilisée depuis plus de 50 ans pour traiter le bois en général (et depuis peu au borate) est l'imprégnation sous-pression, par combinaison de moments de pression et de vide dans une chambre hermétique.

Le traitement du bois SOUS PRESSION au BORATE est réglementé par la norme de l'Association canadienne de normalisation (CSA) O80.34 « Traitement de préservation sous pression au borate ». Depuis récemment, le Code national du bâtiment y fait référence dans ses directives. Un des avantages du BORATE est sa facilité à pénétrer dans le bois en milieu humide. Donc, une fois traité sous-pression, la porosité du bois fait en sorte que le BORATE continue de diffuser dans le bois humide pour ainsi obtenir une pénétration plus complète que dans le cas de l'ACC. Il est aussi possible de traiter le bois au BORATE SANS PRESSION¹, soit par prétraitements superficiels (trempage, pulvérisation ou badigeonnage), par traitements supplémentaires ou par traitements curatifs.

De par sa nature inorganique, le BORATE ne contient pas de composants organiques volatiles (COV) nuisibles pour l'environnement. En plus de résister à la pourriture et aux insectes (fourmis, termites), le BORATE intervient également comme agent ignifuge.

L'application par PULVÉRISATION donc, par diffusion, d'un agent de préservation du bois au BORATE en cours de séchage conventionnel pourrait s'avérer une technique efficace qui minimiserait considérablement la manipulation du bois, le temps du processus et, par conséquent, le coût global du traitement.

La technologie de traitement SOUS PRESSION au BORATE utilisée actuellement est coûteuse et ne permet pas de traiter un grand volume de bois à la fois.

Pour leur part, les techniques de prétraitement superficiel SANS PRESSION, soit le TREMPAGE du bois à l'état vert et, d'autre part, la VAPORISATION du bois de construction à l'état sec réalisée directement sur le site de construction, sont aussi limitées en temps et en volume de production. Les coûts associés à ces traitements sont très élevés également, puisqu'ils impliquent en plus un entreposage de plusieurs mois pour permettre au borate de diffuser suffisamment dans le bois.

La nouvelle approche qui a été expérimentée dans cette étude pourrait s'appliquer dans de nombreuses installations de séchage partout sur le territoire québécois. Ce nouveau procédé de traitement du bois intégré dans des séchoirs conventionnels, en présence de vapeur d'eau saturée en BORATE, de chaleur et d'humidité, pourrait remplacer les procédés connus jusqu'à maintenant.

¹. Source : Durabilité du bois. <http://www.durable-wood.com>

1.5. DEGRÉS D'INCERTITUDES DU PROJET

Le présent projet comporte les incertitudes suivantes, qui découlent des résultats obtenus dans le PART précédent et qui devront être solutionnées dans ce présent projet :

- Les valeurs plus faibles des taux de pénétration du borate dans le bois pour les pièces localisées au centre du paquet, par rapport à celles des bords droit et gauche, laissent croire que la solution de borate aurait pu être entraînée par l'eau évaporée du bois. Dans quelle mesure le positionnement des buses influencera-t-il les taux de rétention du borate dans le bois (réf. figure 1).

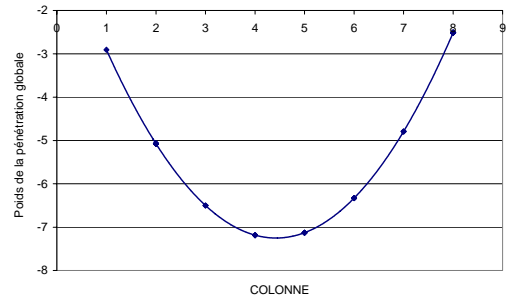


Figure 1 - Effet quadratique de l'emplacement des pièces de bois suivant les colonnes, sur le taux de pénétration globale

- Les résultats du PART précédent ont démontré qu'il serait préférable, pour certaines essences et dimensions, de pulvériser au borate (figure 2) lorsque l'humidité relative est élevée, soit en début de cycle de séchage, et lorsque le gradient d'humidité du bois, du centre par rapport à la surface est compris entre 1,70 et 1,80. Cependant, pour les pièces de sapin baumier (toutes dimensions, réf. figure 3) et les pièces 2 x 6 (toutes essences, réf. figure 4), le taux de pénétration du borate semblerait plus efficace au fur et à mesure que l'on progresse dans le cycle de séchage. Il importera donc, considérant le mélange sapin et épinette de la forêt québécoise, de trouver le moment de pulvérisation le plus approprié pour traiter à la fois les deux essences.

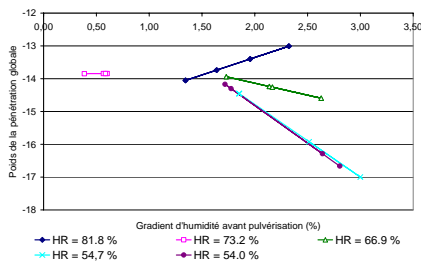


Figure 2 - Effet combiné du gradient d'humidité du bois et de l'humidité relative de l'air dans le séchoir, sur le taux de pénétration globale

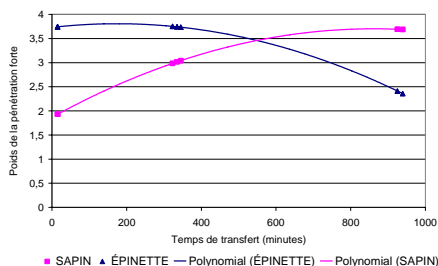


Figure 3 - Effet combiné de l'essence de bois et le temps de transfert, sur le taux de pénétration forte

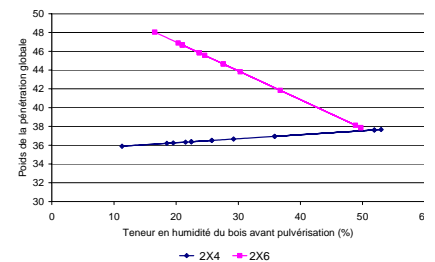


Figure 4 - Effet combiné de la teneur en humidité du bois et de la dimension des pièces, sur le taux de pénétration globale

- Lors du précédent PART, nous avons observé que le fait de pulvériser le bois en trop grande quantité affectait négativement la pénétration du borate, provoquant possiblement un lessivage du borate dans le bois. La pulvérisation à petites doses, fréquentes et répétées, permet-elle d'éviter justement cet effet de lessivage? Dans quelle mesure le fait d'augmenter la quantité de borate amènera-t-il une saturation maximale?
- Il a aussi été observé que la température de la solution de borate avait une influence sur le taux de pénétration forte, positive dans le cas des 2 x 6 mais négative pour les 2 x 4. Il s'agirait ici de déterminer si cela pourrait être attribuable à la plus forte proportion de bois d'aubier dans les pièces 2 x 6 (réf. figure 5).

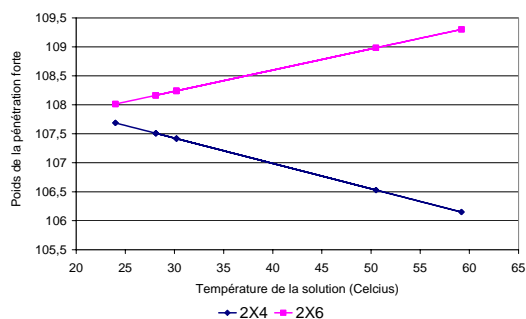


Figure 5 - Effet combiné de la dimension du bois et la température de la solution, sur le taux de pénétration forte

1.6. MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODOLOGIE

1.6.1. Détermination du plan expérimental

■ Analyse statistique multifactorielle par le logiciel SAS

Afin de vérifier s'il existait un effet spatial, la suite « analyse statistique » du système SAS qui sert, entre autres, pour les modèles mixtes (SAS institute, 1996) a été utilisée. Les différents modèles dépendant de la distance entre les observations ont été évalués afin d'identifier le plus performant. Les variables considérées ont été tour à tour la pénétration forte, la pénétration totale et la rétention.

Madame Sylvie Côté du CERFO, aidée et appuyée parfois par M. Gaétan Daigle, professeur à l'Université Laval, ont contribué dans ce projet à tenter d'établir des relations entre les paramètres en cause durant l'expérimentation. Cette méthode permet d'identifier rapidement les scénarios les plus productifs par l'élaboration de modèles mathématiques créés progressivement essai après essai. Les connaissances acquises avec les essais précédents sont considérées dans le choix des facteurs à faire varier dans le nouvel essai, pour l'obtention d'un modèle mathématique de plus en plus fidèle à la réalité.

Dans ce présent projet, les résultats obtenus visaient à confirmer les modèles prédictifs du procédé de traitement du bois de construction au borate, en cours de séchage conventionnel. Les facteurs prédictifs les plus influents ont déjà été identifiés et analysés lors du précédent PART. Il s'agissait de confirmer ou d'infirmer des tendances établies précédemment. Par contre, la variable « rétention » n'avait pas été analysée, ce qui est le cas cette fois-ci.

Selon la philosophie des analyses statistiques telle la méthode E.M.² utilisée au précédent PART, il faut bien comprendre qu'avec plusieurs paramètres (plusieurs dimensions) et peu d'essais (deux seulement), il est très dangereux de conclure des relations entre deux paramètres entre eux. Il est également difficile, voire même impossible de dire quel paramètre est le plus influent dans les résultats finaux. Cette constatation est encore plus vraie si on s'est basé sur deux essais seulement. La méthode E.M. fournit un modèle complexe qui se doit d'être vérifié et validé avec plusieurs essais.

Puisque nous avons éliminé des variables (dimension et essence de bois), et que nous n'avons pas tenu compte de l'influence de certains paramètres plus négligeables, nous avons décidé de fonctionner différemment pour la validation des relations entre les paramètres, soit avec le logiciel SAS.

■ *Structures des traitements*

Le Québec est un grand producteur et exportateur de bois d'œuvre d'essences nordiques (épinette, sapin et pin), de dimensions 2 po x 4 po, 2 po x 6 po, etc., et de longueurs assorties. Par contre, dans le cadre du présent projet, nous nous sommes concentrés sur une dimension (2 po x 6 po) et une seule essence (sapin baumier). Ce choix a été dicté par le précédent projet PART (PART2004N050), puisque ces paramètres ont une réponse plus probable au traitement, et nous permet de concentrer l'étude sur les relations entre les autres paramètres.

C'est pourquoi la méthode E.M., qui permet justement de traiter simultanément plusieurs variables, n'est pas nécessaire dans l'analyse des résultats. Donc, la **structure des traitements** détermine *a priori* une expérience de type factoriel dont l'analyse des résultats est basée sur le taux de rétention et de pénétration du borate dans le bois.

² La méthode E.M. a été créée par l'École de technologie supérieure de Montréal (ETS). La compagnie E.M. Optimisation inc. a été fondée en octobre 1999 par des entrepreneurs comme essaimage avec l'ETS.

■ Variables à l'étude

Pour ce projet, les **facteurs de d'entrée** sont :

- Quantité de borate (kg)
- Température de la solution
- Moment de l'injection

Les **facteurs de sortie** sont :

- Densité anhydre
- Gradients d'humidité
- Colonne
- Rangée
- Temps de transfert de la solution saturée de borates dans le bois
- Humidité relative de l'air dans le séchoir
- Température des pièces de bois
- Température de la solution de borate
- Taux de pénétration du borate dans le bois (mm) : forte et globale

Ainsi, le modèle créé permet de prédire quels sont les facteurs qui influencent le plus le taux de pénétration du borate dans le bois.

1.6.2. Matériel

Matériel de base :

- Bois
Sciages de bois d'essence résineuse à **l'état brut et vert**, de dimensions 2 po x 6 po x 8 pieds en sapin baumier.
Fournisseurs : Éloi Moisan de Saint-Gilbert de Portneuf (sapin baumier)
- Produit de préservation
Tétrahydrate octoborate disodique (*Disodium octaborate Tetrahydrate*, DOT) Tim-bor® Professional - $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Fournisseur : U.S. Borax Inc., via Stella-Jones de Sorel

Note : Du silicone résistant aux températures d'utilisation a été appliqué à l'extrémité des pièces de bois échantillonnées afin de réduire la longueur des découpes des échantillons de suivi.

Équipements nécessaires pour l'expérimentation :

- Séchoir :

Une unité de séchage *Cathild* de format expérimental d'environ 1 100 pmp de capacité (2,17 m³).

Fournisseur : Forintek Canada Corp., division de l'Est.



Figure 6 - Dispositif de séchage expérimental Cathild

- Système de distribution du produit de préservation :

Un réservoir de 10 litres, ajusté à une pression de pulvérisation de 5 bars (500 kPa ou 72,5 PSI).

Deux buses (photo en bas, à droite).

- Outil de mesure de la température de l'eau (soluté) :

Un thermocouple.

1.6.3. Méthode de traitement du bois

■ *Volume de sciage de bois par essai*

Essence	Sapin baumier
Dimension	2"x 6" x 8'
Nb de pièces	108
Volume en pmp	864
Volume en m ³	1,71

■ *Cédule de séchage*

La cédule de séchage employée pour les deux essais comporte cinq (5) étapes avec consignes différentes, en plus de la montée en température. Dans le deuxième cas, la durée totale du cycle de séchage est plus élevée en raison d'une défektivité technique lors de la montée en température. Le premier essai a été de 124 heures. Le suivi du séchage, par sonde et par pesée de certaines pièces, était réalisé en fonction de la teneur en humidité du bois la plus élevée, soit le sapin baumier.

Tableau 1 - Cédule de séchage utilisée pour les charges A et B

Étape de séchage	Durée <i>heure</i>		H% Réelle Sondes (8)	H% Cathild	Ts •C	Th •C	HE %	HE Cathild %
	A	B						
Préchauffage 1	3,92	47,17			72	68	13,8	14,8
Étape 1	49,75	21,67		50 et +	78	70	9,9	10,9
Étape 2	14,33	24,08		50-40	81	70	8,2	9,2
				40-35	81	70	8,2	9,2
			33 et +	35-30	81	70	8,2	9,2
Étape 3	8,42	8,25	33-30	30-27	83	70	7,4	8,4
Étape 4	15,83	17,25		27-24	85	65	5,3	6,3
			30-24	24-21	85	65	5,3	6,3
Étape 5	23,67	18,42		21-18	86	65	5	6
			24-18	18-15	86	65	5	6
Étape Finale	8,00	18,33	18-15	15-12	86	77	9	10
				12-9	86	77	9	10
Durée totale :	123,92	155,17						

Note : La durée pour chacune des étapes de séchage s'ajustait à la fois en fonction du comportement hygroscopique du bois, ainsi que des périodes de pulvérisation. Celles-ci devaient idéalement se produire en début d'étape de séchage. Les contraintes d'horaire du personnel faisaient en sorte que certaines étapes pouvaient s'étirer plus longtemps que la normale, pour fins d'opération (pulvérisation et prélèvements des échantillons). Le bois a en général ainsi séché dans des conditions « douces ».

La première charge s'est déroulée sans trop d'inconvénients, mis à part que les changements d'étapes avant les injections étaient retardées délibérément jusqu'au lendemain matin. Il y a eu un retard lors de la deuxième charge, puisque la montée de température a été ralentie pour des raisons d'ordre technique. De plus les changements pour les étapes 4 et 6 se sont effectués en après-midi au lieu du matin, en raison d'une teneur en humidité du bois légèrement supérieure à la valeur voulue et des erreurs de communication.

■ *Quantité de borate à pulvériser en cours de séchage et méthodologie utilisée*

Selon le produit de préservation aux borates utilisé, il faut tenir compte de l'équivalent en B_2O_3 .

Or, le produit utilisé est le **Tim-bor® (DOT)** du fabricant *Osmose* qui nécessite une rétention minimale de **6,7 kg/m³**, pour garantir une rétention de **4,5 kg/m³** en B_2O_3 contre les termites de *Formose*³. Voici les composants chimiques qui composent le produit **Tim-Bor® Industrial (DOT)**⁴:

- B_2O_3 67,1 %
- Na_2O 14,7 %
- H_2O 18,2 %

Dans 100 g de *Tim-Bor® Industrial*, on a 67,1 g de B_2O_3 . C'est ainsi qu'on doit obtenir **6,7 kg de Tim-Bor® Industrial** pour rencontrer la norme pour une rétention en B_2O_3 de **4,5 kg_{B₂O₃} / m³_{bois}**.

- Dilution du borate dans l'eau, en fonction de la température

Le produit de préservation **Tim-bor® (DOT en poudre)** est mis en solution dans l'eau à différentes températures. D'après les spécifications du fabricant⁵, les valeurs de solubilité du produit dans l'eau pour 20°C et 50°C correspondaient respectivement à des concentrations de 9,7 % et 34,3 %. Les autres valeurs sont obtenues par extrapolation linéaire (réf. figure 7 ci-dessous).

³ Source : <http://www.osmose.com/acrobat/AdvanceGuardSpecData.pdf>

⁴ Source : http://www.borax.com/wood/pdfs/Tim-bor_Profile.pdf

⁵ Source : http://www.5star-termite.com/msds_timbor.pdf

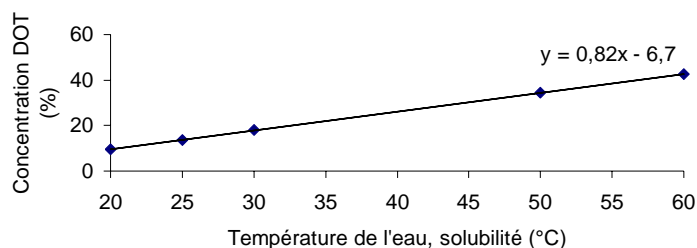


Figure 7 - Concentration en Tim-bor® (DOT) en fonction de la température de solubilité de l'eau (de 20 à 60°C)

- Quantité de produit de préservation

La quantité de borate nécessaire pour obtenir une valeur de rétention minimale de B_2O_3 pour traiter tout le volume de bois séché à 10 % H est de 11,556 kg de DOT. En ajoutant une marge de sécurité, incluant les pertes, de 62 %, la quantité de DOT à pulvériser est de 18,7 kg par charge. Le tableau 2 résume les quantités requises en DOT.

Tableau 2 - Masse de borate à pulvériser

Essence de bois	Densité basale	Volume bois vert	Retrait volumique anhydre	Retrait volumique à 10%H	Volume bois sec à 10%H	Rétention minimum en B_2O_3 (2 charges) (6,7 $kg_{B_2O_3} / m^3_{Bois}$)		Besoins en DOT pour les deux charges	
	kg/m^3		(30 vers 0%H)	(30 vers 10%H)		6,7			
Sapin	335	1,863	0,111	0,0740	1,725	11,556	11,556	kg	Lb
<i>Besoin en DOT pour rencontrer 6,7 $kg_{B_2O_3} / m^3_{Bois}$:</i>						11,556	11,556	23,113	50,848
<i>Marge de sécurité et pertes : 62%</i>						7,165	7,165	14,330	31,526
<i>Quantité nette de DOT par charge (kg) :</i>						18,721	18,721	37,443	82,374

Note: La masse théorique de la charge de bois à 10 %H est de 686,4 kg. Le pourcentage en DOT correspondant à cette quantité de bois, incluant la marge de sécurité et pertes, est de 2,7 %

- Séquences de pulvérisation du borate dans l'enceinte de séchage

Nous avons effectué six (6) pulvérisations de borate (Tim-Bor® Industrial – DOT), d'une durée de l'ordre de 5 minutes, au cours des trois derniers cycles de séchage (#4, #5 et #6), soit deux par cycle. La séquence de pulvérisation, qui tenait compte de la quantité de DOT incluant la marge de sécurité et de pertes, fut la suivante, pour un total de 18,7 kg / 48 L. Le tableau 3 résume les quantités pulvérisées par série de vaporisation.

Tableau 3 - Quantité de borate pulvérisé dans le séchoir par étape de séchage

Temp.(°C)	Concentration			Masse de DOT (en kg) par pulvérisation de 8 litres					
				Cycle de séchage #4		Cycle de séchage #5		Cycle de séchage #6	
	(%)	(g/L)	(kg/L)	Vaporis 1	Vaporis 2	Vaporis 3	Vaporis 4	Vaporis 5	Vaporis 6
0	2,5	25,0	0,025						
10	4,5	45,0	0,045						
20	9,7	97,0	0,097						
30	21,9	219,0	0,219	1,971	1,971				
40	27,4	274,0	0,274						
50	34,3	343,0	0,343			3,087	3,087		
60	40,7	407,0	0,407						
70	47,56	475,6	0,476					4,280	4,280
								total:	18,677

Note: Le volume de solution à pulvériser par séquence est de 8 Litres

1.6.4. Disposition des pièces dans le séchoir

Les 108 pièces de 2 po x 6 po x 8 pi ont été disposées dans le séchoir dans un support métallique permettant 18 rangs de bois de hauteur et trois colonnes, sans ajout de baguettes de séchage. Le premier rang ainsi que les deux derniers n'ont pas été considérés. La disposition des pièces dans le séchoir est présentée au tableau 4.

En tout, quinze pièces (surlignage jaune - #7, 9, 11, 32, 34, 36, 49, 51, 53, 68, 70, 72, 91, 93, 95) ont été échantillonnées pour la réalisation des tests finaux de rétention, taux de pénétration et du gradient d'humidité.

De ce nombre, seulement cinq (# 7, 11, 51, 91, 95) ont été retenues pour effectuer les tests de suivi pour les mesures du taux de pénétration et du gradient d'humidité. Dix sondes assureront le contrôle de l'humidité de la charge de bois durant le séchage : (surlignage bleu - # 9, 20, 22, 32, 34, 53, 57, 68, 70 et 81). Les pièces témoins du contrôle de l'humidité durant le processus de séchage furent les suivantes : (surlignage orangé - # 14, 17, 44, 47, 86 et 89).

On peut également voir à la figure 8 une photo d'une des charges qui ont été testées. On remarque que les pièces reposent sur un support métallique, et la raison principale de cette disposition est la possibilité de prendre les cinq pièces de suivi et les six pièces témoins.

Tableau 4 - Disposition dans le séchoir des pièces de bois de la charge A et B

		Rack 1		Rack 2		Rack 3		Sondes (12)	Échantillons	Echantillons de suivi
Rang1	#	1	2	3	4	5	6	S1 9	7	7
Rang2	#	Suivi / final		S1 / final		Suivi / final		S2 20	9	11
Rang3	#	7	8	9	10	11	12	S3 22	11	51
Rang4	#		Témoin			Témoin		S4 32	32	91
Rang5	#	13	14	15	16	17	18	S5 34	34	95
Rang6	#		S2		S3			S6 53	36	
Rang7	#	19	20	21	22	23	24	S7 57	49	
Rang8	#	25	26	27	28	29	30	S8 68	51	
Rang9	#		S4 / final		S5 / final		final	S9 70	53	
Rang10	#	31	32	33	34	35	36	S10 81	68	
Rang11	#	37	38	39	40	41	42		70	
Rang12	#		Témoin			Témoin			72	
Rang13	#	43	44	45	46	47	48		91	
Rang14	#	final		Suivi / final		S6 / final			93	
Rang15	#	49	50	51	52	53	54		95	
Rang16	#			S7						
Rang17	#	55	56	57	58	59	60			
Rang18	#	61	62	63	64	65	66			
Rang19	#		S8 / final		S9 / final		final			
Rang20	#	67	68	69	70	71	72			
Rang21	#	73	74	75	76	77	78			
Rang22	#			S10						
Rang23	#	79	80	81	82	83	84			
Rang24	#		Témoin			Témoin				
Rang25	#	85	86	87	88	89	90			
Rang26	#	Suivi / final		final		Suivi / final				
Rang27	#	91	92	93	94	95	96			
Rang28	#									
Rang29	#	97	98	99	100	101	102			
Rang30	#	103	104	105	106	107	108			



Figure 8 - Photo des pièces de bois dans le séchoir sur le support métallique

1.6.5. Séquence des opérations lors des essais

Selon le protocole expérimental que nous avons élaboré, voici les séquences réalisées pour la récolte des données servant au suivi et servant à la détermination des paramètres finaux qui étaient à l'étude (tableau 5).

Tableau 5 - Série d'échantillonnage des mesures de suivi des charges A et B

<i>Début</i>	<i>Étape #4</i>	<i>Étape #5</i>	<i>Étape finale</i>	<i>Fin</i>
Détermination de la masse et l'humidité initiales, et la densité anhydre pour les 15 échantillons	Détermination du gradient H (G_0) et pénétration (P_0) avant pulvérisation avec 5 échantillons de suivi. Pulvérisations 1A et 1B	Détermination du gradient H (G_1) et pénétration avant pulvérisation (P_1) avec 5 échantillons de suivi. Pulvérisations 2A et 2B	Détermination du gradient H (G_2) et pénétration avant pulvérisation (P_2) avec 5 échantillons de suivi. Pulvérisations 3A et 3B	Détermination du gradient H (G_F), pénétration avant pulvérisation (P_F) et masses finales avec les 15 échantillons.

1.6.6. Mesures des propriétés des échantillons

Sur chacune des pièces retenues pour l'échantillonnage, des échantillons de mesures de la densité anhydre (pour approximation du taux de rétention en kg/m^3), du gradient d'humidité et du taux de pénétration ont été prélevés. Les formules utilisées pour déterminer ces paramètres sont présentées dans cette section.

D'autre part, les conditions dans le séchoir, c'est-à-dire les températures aux thermomètres humide et sec, l'humidité d'équilibre du bois, ainsi que la teneur en humidité du bois déterminée par les sondes, ont été relevées en continue. L'humidité relative de l'air ambiant peut être par la suite obtenue à l'aide d'une formule.

Finalement, pour déterminer si la **teneur en humidité** du bois atteignait celle de consigne pour une étape de séchage donnée, des pièces témoins ont été prélevées aléatoirement et mesurées à l'aide d'une formule simple par pourcentage massique.

■ Teneur en humidité du bois et gradient d'humidité (pourcentage massique)

La teneur en humidité du bois est déterminée par pourcentage massique sur une base de masse sèche.

L'équation est la suivante :

$$H\% = \left(\frac{M_H - M_o}{M_o} \right) * 100 \quad \text{Équation 1}$$

où : M_H = Masse du bois à l'état humide
 M_o = Masse du bois à l'état anhydre (sec)

Pour sa part, le gradient d'humidité du bois est déterminé ici par le rapport entre la teneur en humidité au centre et celle en surface, sur une section transversale de $\frac{1}{4}$ po d'épaisseur selon le schéma de coupe suivant :

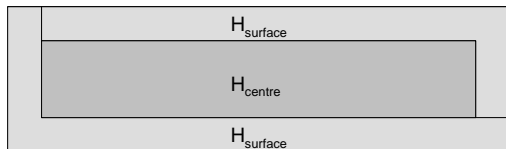


Figure 9 Schéma de coupe pour la mesure du gradient d'humidité

$$\text{Gradient} = \frac{H_{\text{centre}}}{H_{\text{surface}}} \quad \text{Équation 2}$$

La masse de chaque échantillon, une fois découpé, est immédiatement mesurée et notée sur l'échantillon. Par la suite, ce dernier est séché au four. La masse anhydre (M_o) est atteinte généralement après 24 heures à 103°C ou lorsque la masse devient constante.

Il faut cependant être prudent avec les résultats obtenus, étant donné la présence de borate à l'intérieur du bois s'ajoutant au fur et à mesure que le cycle de séchage avançait.

■ Détermination de la densité anhydre (en kg/m^3)

La méthode employée pour mesurer la densité anhydre des échantillons de bois était la suivante :

1. Mise en place des échantillons dans le four (103°C) jusqu'à l'état anhydre (délai d'attente d'un minimum de 24 heures).
2. Vérification de la constance de masse des échantillons.
3. Prise de mesure de la masse anhydre (en gramme) des échantillons (M_0).
4. Prise du volume des échantillons par le **Principe d'Archimède** suivant :
 - a. Installer un bac d'eau sur la balance graduée où le compteur est remis à zéro.
 - b. Mesurer et noter le volume de l'instrument (tige métallique) servant à submerger les pièces, c.-à-d. la pointe qui est introduite dans l'eau avec les pièces échantillons. Ce volume est soustrait à chaque échantillon.
 - c. Piquer le bloc de bois avec la tige et le submerger dans l'eau en le tenant fermement à l'aide d'un trépied, pour stabiliser l'échantillon.
 - d. Indiquer la limite sur la tige pour être constant dans la profondeur de submersion, pour chaque échantillon.
 - e. Éviter tout contact de l'échantillon avec les rebords ou le fond du bac d'eau.
 - f. Noter la différence de poussée dynamique dans l'eau (volume) pour chaque échantillon.
 - g. Remettre la balance à zéro après chaque échantillon mesuré.
5. Compilation des données dans un fichier Excel.

Pour fins d'analyse, la densité anhydre de référence est celle calculée initialement, c'est-à-dire avant le début du cycle de séchage.

■ Mesures du taux de pénétration

Brièvement, le taux de pénétration du borate est un indicateur de la présence de borate dans le bois. Il s'agit d'une *mesure qualitative*. Lorsque traité sous pression, pour être conforme à la norme de l'Association canadienne de normalisation (CSA) O80.34 « *Traitement de préservation sous pression au borate* », le borate doit avoir pénétré sur une profondeur de 10 mm pour des pièces inférieures à 114 mm et d'au moins 13 mm pour des pièces de 114 mm et plus.

La méthode employée pour détecter de façon visuelle ce paramètre est standardisée et mise au point par l'American Wood-Preservers Association (AWPA Standard A2-04 *Standard Methods For Analysis Of Waterborne Preservatives And Fire-Retardant Formulations*, Section 17).

Afin d'obtenir une valeur moyenne de la pénétration par échantillon, une section transversale de la pièce de bois a été prélevée. Tout contact manuel sur la surface à traiter selon la méthode standardisée est à éviter. Chaque échantillon a été préalablement séché au four dès sa sortie du séchoir, afin de le stabiliser et obtenir une valeur du taux de pénétration basée sur la masse anhydre, pour l'ensemble des échantillons. Une fois sec, l'échantillon bien identifié est enveloppé individuellement dans une pellicule plastique, en attente d'être mesuré.

Par la suite, les échantillons ont été traités chimiquement en surface, selon la norme A2-04, employant deux solutions, dont une au curcumin et une seconde à base d'acides. Le curcumin agit comme un indicateur chimique du borate, passant du jaune au rouge à magenta, au contact de l'autre solution :





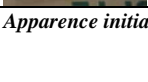
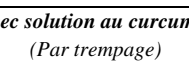
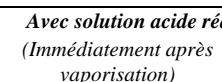
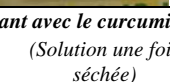
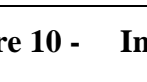

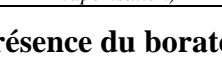





#57				
#74				
#31				
#88				
	<i>Apparence initiale</i>	<i>Avec solution au curcumin (Par trempage)</i>	<i>Avec solution acide réagissant avec le curcumin (Immédiatement après vaporisation)</i>	<i>(Solution une fois séchée)</i>

Figure 10 - Indicateur chimique de la présence du borate dans le bois

Selon ce qui est indiqué dans la norme A2-04, on observe un changement de coloration lorsque le taux de rétention est supérieur à **0,80 kg/m³** et l'intensité de la couleur augmente avec l'augmentation de la charge de borate dans l'échantillon.

Les échantillons ainsi traités ont été de nouveau séchés et emballés individuellement en attendant d'être scannés. Une fois scanné, chaque échantillon a été soumis à un calcul de la surface par **analyse topologique** à l'aide du logiciel **ArcGIS** (*système d'information géographique*). L'image suivante donne un exemple de la méthode utilisée, pour un échantillon pris en fin de cycle de séchage :

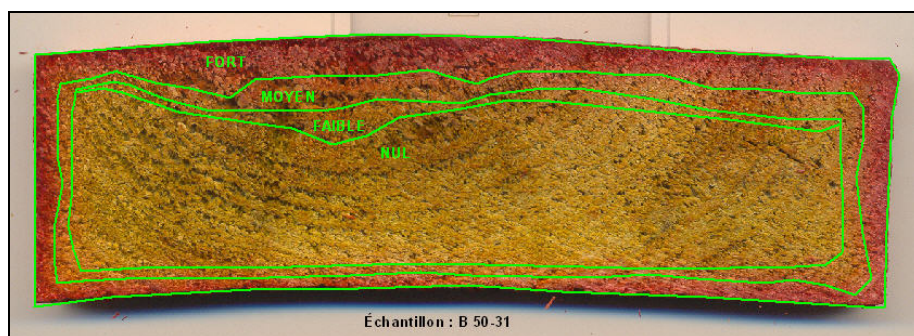


Figure 11 - Exemple de mesure du taux de pénétration du borate par analyse topologique (taux de pénétration nul, faible, moyen et fort)

Comme on peut le voir, différents niveaux de coloration discriminent les taux de pénétration qualifiés de nul, faible, moyen et fort. Le taux de pénétration globale comprend à la fois les niveaux faible, moyen et fort.

La prise de mesure, réalisée de façon systématique, suivait les axes centraux de surface et de rive, pour obtenir une valeur moyenne. À titre indicatif, l'échantillon de la figure ci-dessus a un taux moyen de pénétration globale mesuré de 7 mm.

Pour fins d'analyse statistique, les mesures moyennes du taux de pénétration forte et globale ont été considérées. Rappelons que cette propriété permet d'évaluer le pouvoir de diffusion du borate au fur et à mesure que le traitement s'effectue en cours de séchage conventionnel et ce, de façon *qualitative*.

■ Mesures du taux de rétention

Pour obtenir des valeurs précises du taux de rétention du borate dans le bois, un spectrophotomètre de masse était requis. La norme prévoit une éprouvette de 16 mm de longueur prélevée sur la rive de la pièce de bois à l'aide d'une sonde *Pressler*.

Avec l'analyseur UV / Visible, il s'agit d'une analyse avec l'acide carminique selon la norme A2-04© STANDARD METHODS FOR ANALYSIS OF WATERBORNE PRESERVATIVES AND FIRE-RETARDANT FORMULATIONS© 2004 (Méthode 16. DETERMINATION OF BORON IN TREATED WOOD—USING AZOMETHINE-H1 OR CARMINIC ACID).

Le prélèvement des carottes doit être conforme à la norme de l'Association canadienne de normalisation (ACNOR/CSA) séries CSA O80-97 « Préservation du bois », spécifiquement selon l'exigence 3.2 de la série O80.34-97 « Traitement de préservation sous pression aux borates du bois débité et du bois d'oeuvre utilisés pour les surfaces de contact hors sol à protection permanente contre l'eau liquide » :

La rétention doit être déterminée par analyse. Les carottes destinées à l'analyse et à l'essai de pénétration doivent être :

- a) *prélevées sur au moins 20 pièces⁶ d'une charge;*
- b) *prélevées des pièces représentatives;*
- c) *choisies proportionnellement à divers endroits de la charge;*
- d) *prélevées sur les faces du bois parfait et de l'aubier, selon la proportion approximative des faces de bois parfait et d'aubier constituant la charge entière. »*

1.7. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La problématique d'une méthode plus simple d'analyse statistique, tel l'emploi d'un logiciel comme SAS, est la difficulté d'obtenir des corrélations sans équivoque entre certains paramètres mis en cause dans cette étude, et de pouvoir ainsi faire une analyse claire et précise des résultats. Sa force est de faire des relations spatiales, ce qui dans notre cas était intéressant et pouvait apporter des réponses à nos questions. Une seule relation ressort clairement, soit la rétention et la pénétration versus la position des pièces au niveau des colonnes. Il faut comprendre que dans

⁶ Cette norme est établie pour des charges standard de bois, d'un volume de bois nettement plus important que le présent test. C'est pourquoi nous nous en sommes tenu à 15 pièces échantillons de suivi, ce qui est très représentatif.

notre étude, bien que nous ayons éliminé des variations de paramètre comme l'essence et la dimension, les variables que sont la densité, l'humidité initiale, la position spatiale des pièces et le gradient centre-surface étaient difficilement contrôlables et étaient inter reliées entre elles. Les conditions de température et d'humidité relative de l'air durant les injections et l'humidité moyenne du bois pouvaient être prévisibles puisqu'on avait au préalable décidé des moments des injections dans le cycle de séchage.

De plus, le protocole expérimental pour le deuxième essai n'a pas été suivi parfaitement comme prévu. Les premières séries d'injections prévues à l'étape 4 et 6 ont été effectuées trop tôt, soit avec les conditions de séchage de l'étape précédente. Cette situation s'explique par le fait que les conditions d'humidité du bois étaient trop élevées pour changer d'étape de séchage.

Rajoutons que la montée en température de ce deuxième essai a connu un ralentissement dû à une erreur technique et cette période d'arrêt de la montée de la température a peut-être aidé à égaliser en partie toutes les pièces avant le séchage et certainement à éliminer les stress internes. Bref, les pores du bois étaient certainement plus ouverts au début du séchage lors de ce deuxième essai, mais qu'en est-il de leurs conditions plus tard dans le séchage, au moment des injections? Les raisons expliquant les différences entre les résultats des deux essais seront discutées dans ce chapitre.

Les modèles mathématiques retenus lors du précédent PART (PART2004N050) avec la méthode E.M. ont fait ressortir des tendances qui toutefois pouvaient être attribuables au hasard. Il aurait fallu effectuer plusieurs essais pour confirmer toutes les tendances, et l'effet de certains paramètres pouvait très fortement influencer les résultats, et d'autres pouvaient être peu influents. Avant d'analyser et de discuter des résultats de ces modèles, les sections suivantes présentent un tableau sommaire des résultats des propriétés physiques des échantillons et quelques photos numérisées par scanner des échantillons de mesure du taux de pénétration. Finalement, certains graphiques et tableaux en couleurs sont utilisés pour aider à tirer les quelques constats qui ont été faits lors de ces expériences.

1.7.1. Tableau résumé des propriétés physiques du bois

Tableau 6 - Résumé des propriétés physiques du bois testé

Échantillon #	Masse humide (g)	Masse anhydre (g)	Humidité initiale (%)	Volume anhydre (cm ³)	Densité anhydre (g/cm ³)
7	67,3	43,1	56,1%	126	0,342
9	77,8	43,2	80,1%	130	0,332
11	119,9	74,8	60,3%	180,5	0,414
32	70,9	43	64,9%	117	0,368
34	99,5	58,2	71,0%	170	0,342
36	71,6	35	104,6%	106	0,330
49	77,8	52,8	47,3%	156	0,338
51	86,1	49,3	74,6%	143	0,345
53	83,2	49,4	68,4%	129	0,383
68	85,1	43,3	96,5%	131	0,331
70	73,1	45,9	59,3%	136	0,338
72	68,4	36,8	85,9%	110	0,335
91	104,2	49	112,7%	135	0,363
93	103,9	58,3	78,2%	167	0,349
95	84,6	54,7	54,7%	170	0,322
Échantillon	Masse humide	Masse anhydre	Humidité initiale	Volume anhydre	Densité anhydre
7	66,4	41	62,0%	108	0,380
9	77,3	50,8	52,2%	149	0,341
11	63,2	40,9	54,5%	105	0,390
32	75	41,5	80,7%	130	0,319
34	88,5	48,7	81,7%	107	0,455
36	129,8	71,6	81,3%	156	0,459
49	63,7	46,4	37,3%	110,5	0,420
51	93,6	43,2	116,7%	102	0,424
53	64,7	40,5	59,8%	104,5	0,388
68	67,5	41,5	62,7%	116	0,358
70	71,6	33,9	111,2%	87	0,390
72	92,2	49,1	87,8%	149	0,330
91	69,9	49,4	41,5%	146	0,338
93	82,4	39,7	107,6%	113	0,351
95	106,9	47,1	127,0%	112	0,421

1.7.2. Résultat visuel des tests du taux de pénétration du borate dans le bois

Les images suivantes démontrent visuellement l'évolution de la diffusion du borate à l'intérieur du bois en cours de séchage, selon différentes périodes de pulvérisation (de 1 à 3, tout juste avant la prochaine pulvérisation), ainsi qu'à la fin du cycle de séchage, pour quelques échantillons seulement.

■ Échantillon de suivi # 7 du premier essai expérimental

- Pièce # 7
- Dimensions et essence : 2 x 6 sapin
- Densité anhydre avant traitement : 0,342 g/cm³.
- Teneur en humidité : initiale 56,15 % et finale 15,90 %
- Taux de pénétration forte (final) : 3,00 mm
- Taux de pénétration globale (final) : 7,05 mm

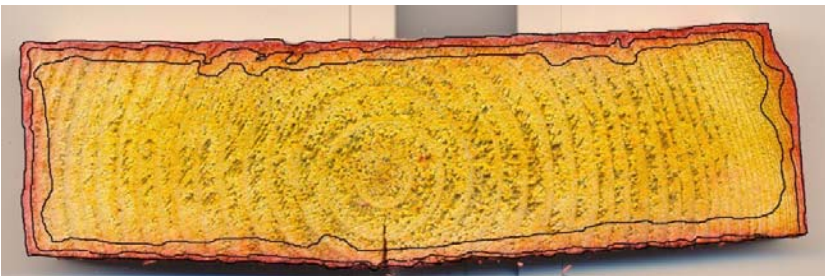
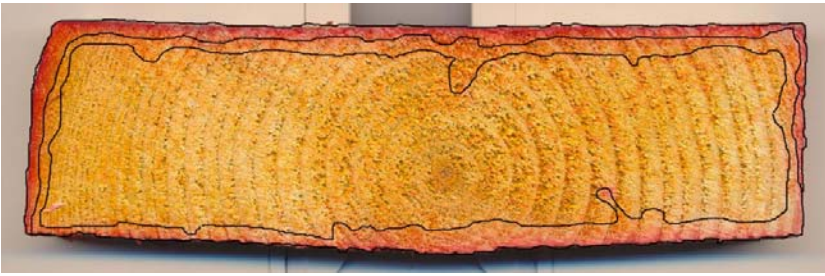

	Tout juste avant 2 ^e pulvérisation
	Tout juste avant 3 ^e pulvérisation
	Mesure finale en fin du cycle de séchage (123 heures)

Figure 12 - Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #7 du premier essai

■ **Échantillon de suivi # 51 du premier essai expérimental**

- Pièce # 51
- Dimensions et essence : 2 x 6 sapin
- Densité anhydre avant traitement : 0,345 g/cm³.
- Teneur en humidité : initiale 74,65 % et finale 14,54 %
- Taux de pénétration forte (final) : 2,58 mm
- Taux de pénétration globale (final) : 7,86 mm



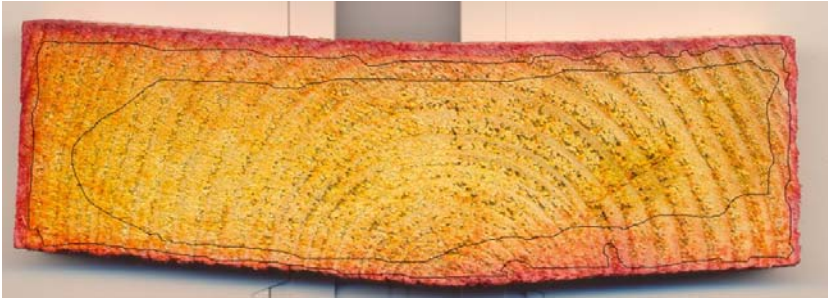
	Tout juste avant 2 ^e pulvérisation
	Tout juste avant 3 ^e pulvérisation
	Mesure finale en fin du cycle de séchage (123 heures)

Figure 13 - Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #51 du premier essai

■ *Échantillon de suivi # 11 du deuxième essai expérimental*

- Pièce # 11
- Dimensions et essence : 2 x 6 sapin
- Densité anhydre avant traitement : 0,390 g/cm³.
- Teneur en humidité : initiale 54,52 % et finale 9,76 %
- Taux de pénétration forte (final) : 9,45 mm
- Taux de pénétration globale (final) : 16,40 mm



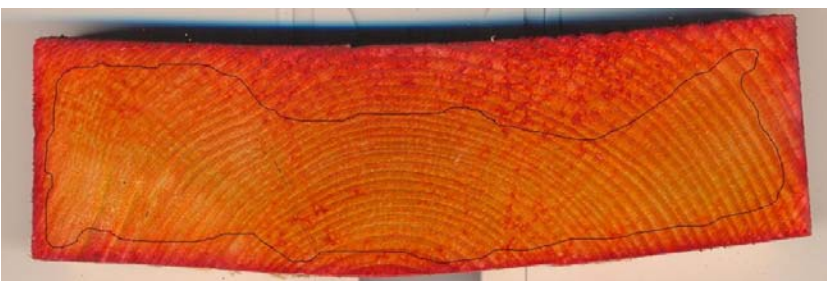
	Tout juste avant 2 ^e pulvérisation
	Tout juste avant 3 ^e pulvérisation
	Mesure finale en fin du cycle de séchage (165 heures)

Figure 14 - Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #11 du deuxième essai

■ **Échantillon de suivi # 91 du deuxième essai expérimental**

- Pièce # 91
- Dimensions et essence : 2 x 6 sapin
- Densité anhydre avant traitement : 0,338 g/cm³.
- Teneur en humidité : initiale 41,50 % et finale 7,73 %
- Taux de pénétration forte (final) : 4,04 mm
- Taux de pénétration globale (final) : 15,93 mm

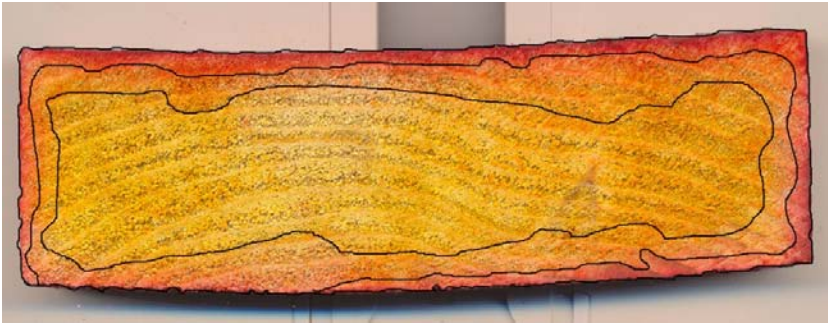
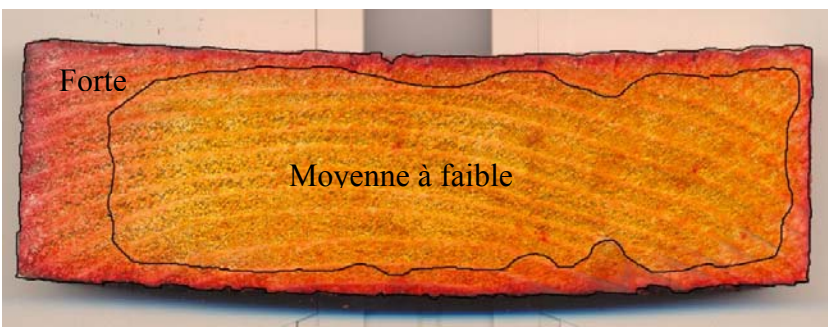
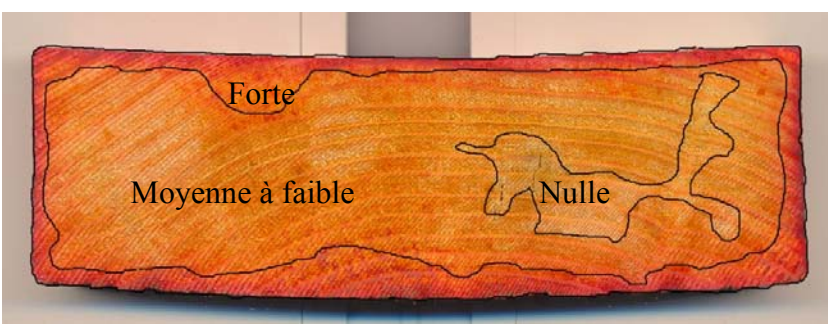
	<p>Tout juste avant 2^e pulvérisation</p>
	<p>Tout juste avant 3^e pulvérisation</p>
	<p>Mesure finale en fin du cycle de séchage (165 heures)</p>

Figure 15 - Visualisation de la pénétration du borate par analyse topologique pour la pièce #91 du deuxième essai

1.7.3. Analyse des paramètres avec SAS

■ *Effet spatial*

Afin de vérifier s'il existait un effet spatial, le système SAS pour les modèles mixtes (SAS institute, 1996) a été utilisé. Les différents modèles dépendants de la distance entre les observations ont été évalués afin d'identifier le plus performant. Les variables considérées ont été tour à tour la pénétration forte, la pénétration totale et la rétention. Ces évaluations ont permis de conclure que la relation spatiale existante ne dépendait pas de la distance entre les observations (i.e. distance entre les pièces dans l'empilement) pour chacune des variables considérées. Cependant, les observations ne sont pas indépendantes et sont corrélées entre elles à divers degrés selon la variable considérée, peu importe l'emplacement dans l'empilement (corrélations obtenues : pénétration forte : 0,6519; pénétration totale : 0,6095; rétention : 0,1288).

Pour chacune des 3 variables (pénétration forte, pénétration totale et rétention), les analyses effectuées permettent de conclure que dans chacun des cas, les moyennes obtenues pour chaque empilement (ou essais) n'étaient pas significativement différentes des moyennes globales (moyenne des 2 essais).

La rétention obtenue ne diffère pas significativement entre les 2 essais réalisés, alors que les pénétrations forte et totale sont très significativement différentes entre les 2 essais ($Pr > F = 0,0001$ pour la pénétration forte et $Pr > F = 0,0003$ pour la pénétration totale).

Les pénétrations forte et totale ne diffèrent pas significativement selon la localisation dans la pile, alors que la rétention diffère très significativement selon les colonnes ($Pr > F = 0,0006$) et significativement entre les rangées échantillonnées à l'intérieur des différentes colonnes ($Pr > F = 0,0261$). Par contre, une tendance observée lors du premier PART semble se confirmer ici : la pénétration est moins importante pour les pièces disposées dans les rangées du haut et du bas. Mais le deuxième essai étant exceptionnel pour la pénétration, il est difficile de valider cette dernière affirmation si l'on fait la moyenne des deux essais. Pour la rétention, la tendance est contraire car elle est plus forte à ces endroits. L'explication probable est que si le produit pénètre moins dans le bois, sa quantité par unité de volume sur le dessus sera plus grande, dans le cas où on a une quantité similaire de borate introduite dans le bois. C'est possiblement le séchage plus important à ces endroits qui explique cette situation de plus faible pénétration.

1.7.4. Analyse des corrélations

Des analyses de corrélations ont été réalisées en tenant compte de l'effet spatial observé. Il ressort que la rétention n'est pas reliée à aucune autre des variables évaluées. Quant aux pénétrations fortes et moyennes, les seules variables qui ressortaient au niveau des corrélations étaient la température du bois et la durée de séchage. Par contre, la durée du deuxième essai fut plus importante en raison du retard pris lors du réchauffement de l'empilement au début du cycle de séchage. La corrélation existante entre la durée de séchage et les pénétrations amène à réfléchir sur une hypothèse intéressante : le bois a été soumis à un conditionnement à moyenne température en début de cycle, pendant 47 heures de plus que la cédule normale, en raison d'un problème technique des instruments de contrôle du séchoir. *Cette erreur de protocole n'était pas désirée, mais le résultat positif de la pénétration du deuxième essai peut s'expliquer par le fait que le bois a été libéré de ses contraintes mécaniques, et qu'une égalisation des teneurs en humidité s'était mise en branle.*

La relation entre les pénétrations et ces deux dernières variables devraient cependant être examinée par le biais de régressions qui tiendraient compte de la corrélation existant entre les essais.

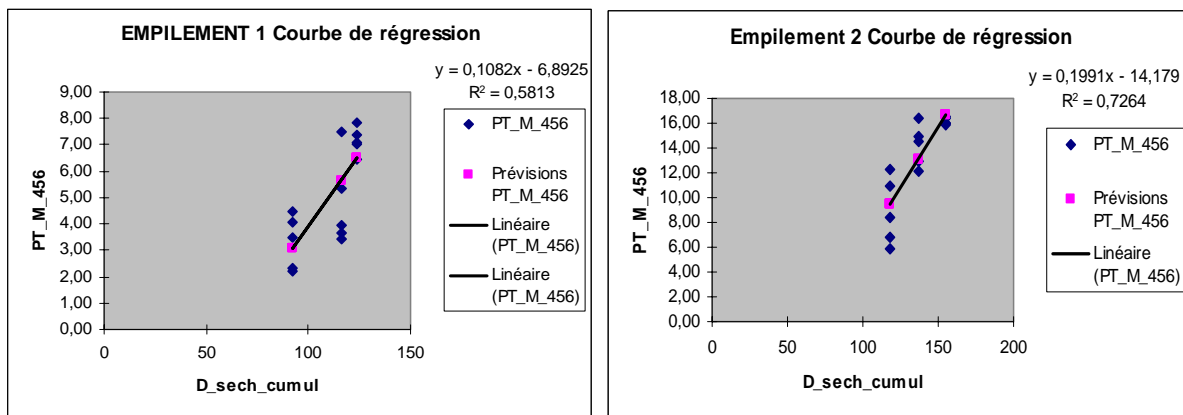


Figure 16 - Courbe de régression montrant la relation entre la durée de séchage et la pénétration totale.

1.7.5. Comportement de la rétention

Lors du premier PART (PART 2004N050) portant sur ce sujet, nous avons la pénétration comme variable principale de comparaison. Mais un des facteurs essentiels à la réussite du traitement au borate demeure le taux de rétention dans le bois. Cette fois-ci, nous avons effectué l'analyse de ce paramètre en fin de séchage pour tous les échantillons. Voici un aperçu des résultats de rétention :

Tableau 7 - Rétention mesurée par pièce échantillon

Échantillon #	ESSAI 1	ESSAI 2
	Rétention kg/m ³	Rétention kg/m ³
7	1,437	1,822
9	1,495	1,534
11	1,865	1,753
32	1,250	1,883
34	1,198	1,183
36	8,816	2,846
49	1,151	1,176
51	1,276	1,525
53	1,570	1,511
68	1,289	1,288
70	1,080	1,325
72	1,773	24,847
91	1,416	1,929
93	1,606	1,300
95	1,351	1,388
Moyenne	1,41	1,60

La valeur minimale à atteindre est de 2,7 kg B_2O_3 /m³ pour la préservation contre les champignons destructeurs, et de 4,5 kg B_2O_3 /m³ pour la protection contre l'exposition aux coptotermes de Formose (*coptotermes formosanus*) ou les termites, ce qui signifie que la quantité de borate n'est pas suffisante pour respecter la norme CSA-O80.34-97. Toutefois, l'autre disposition de la norme indique qu'une pénétration de plus de 10 mm pour 90 % des pièces est requise, et le deuxième essai montre une pénétration beaucoup plus profonde, ce qui laisse croire que la quantité de borate aurait peut-être été suffisante pour protéger les 10 mm requis avec la rétention minimale exigée, mais comme la diffusion était très importante, les carottes prélevées sur le dessus des pièces avaient par la force des choses moins de concentration en borate.

1.7.6. Pertes de borate

Compte tenu des résultats de la rétention du B_2O_3 , et selon le volume réel de chaque pièce, les pertes de borate sont estimées à 82 % environ pour chacun des deux essais, alors qu'on estimait perdre sous toute forme 62 % de borate. Cela nous prouve que lors des injections, le borate se volatilise dans la vapeur d'eau avant de pouvoir diffuser dans le bois, ou après être ressorti du bois.

Il faut réfléchir au comportement du séchage du bois, à chacune des étapes du séchage, pour arriver à une hypothèse plausible. Si le borate doit pénétrer par diffusion dans le bois à partir d'un potentiel ionique fort vers le potentiel faible (de la surface vers le centre des morceaux), mais que le liquide qui contient le borate s'évapore majoritairement avant même de pénétrer dans le bois parce que le climat du séchoir est très asséchant lors des étapes #4 et #5, on peut comprendre les pertes. En plus, la circulation de l'eau contenue dans le bois emprunte le chemin contraire (part du centre avec son potentiel fort pour remonter à la surface, qui a un potentiel faible) grâce à la différence de potentiel hydrique causée par le gradient d'humidité.

Bref, si l'humidité relative de l'air combinée à une température élevée et un gradient d'humidité très fort dans le bois sont des phénomènes néfastes pour faire pénétrer le borate, il faut donc penser que la prochaine phase de cette étude serait d'injecter le borate durant l'étape de conditionnement final du bois uniquement, étape qui a pour but de réduire le gradient d'humidité et du fait même, d'augmenter l'humidité relative du séchoir. C'est ce qui explique pourquoi la pénétration est toujours plus grande lors de l'injection à cette étape (étape #6). Par contre, il faudrait s'assurer que les conditions de climat du séchoir sont atteintes avant d'injecter une première fois, et même d'augmenter l'humidité relative au-delà du niveau requis normalement à cette étape.

Voici quelques essais de relations explorées dans cette étude entre les autres paramètres en jeu et les résultats de la rétention.

À la figure 17, on se rend compte que la rétention n'a pas de relation directe avec le taux de pénétration totale. Cela s'explique de différentes façons : même une faible quantité de borate peut diffuser et se diluer profondément dans le bois, d'où une bonne pénétration, mais une faible rétention. Le contraire est également possible. La concentration est souvent plus forte sur la superficie exposée à l'arrosage (dessus du morceau) que les superficies sur les côtés et le dessous.

La proportion de bois de cœur versus le bois d'aubier, la perméabilité générale du morceau (facilité de l'eau à circuler dans le bois), la localisation du morceau dans le séchoir, les conditions de chaleur et d'humidité relative du séchoir, le gradient d'humidité dans le bois, etc., bref tous les paramètres en cause peuvent expliquer des résultats complètement aléatoires entre les deux grands axes que sont la pénétration et la rétention du borate.

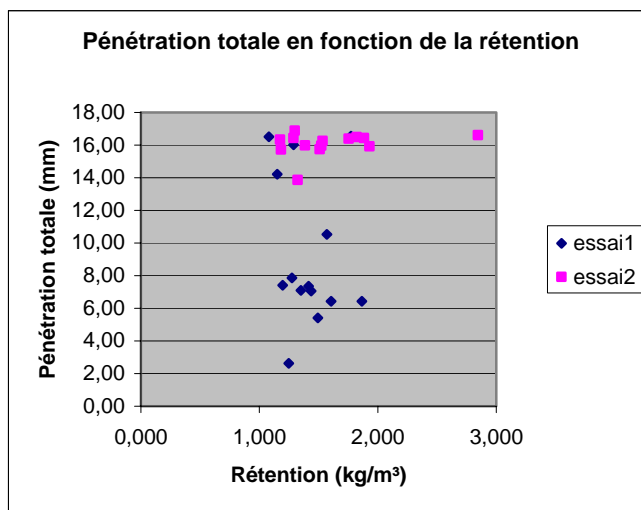


Figure 17 - Pénétration totale en fonction de la rétention

1.7.7. Différences de rétention entre les colonnes

Les contrastes réalisés permettent de conclure que la rétention moyenne enregistrée dans la colonne 6 (2,3095 kg/m³) est très significativement différente (plus élevée) par rapport aux rétentions moyennes observées dans chacune des autres colonnes prises séparément. La rétention moyenne obtenue dans la colonne 5 (1,5730 kg/m³) est aussi très significativement différente par rapport à celle enregistrée dans la colonne 4 (1,1965 kg/m³) où la moyenne observée a été la plus basse (figure suivante).

Ce résultat est facilement explicable, puisque c'est par la colonne 6 que l'air mélangé de particules d'eau boratée pénètre dans la pile de bois, d'où un dépôt plus important des particules d'eau sur les pièces de cette colonne.

Ce qu'il y a d'intéressant cette fois-ci, c'est que la rétention n'est pas plus forte pour les pièces situées dans la colonne #1 contrairement au précédent PART (figure 18). Suite aux résultats

qu'on avait obtenus, nous avons soulevé l'hypothèse que la trop grande vitesse de l'air pouvait expliquer la quantité de borate très faible au centre et qui augmente à mesure qu'on avance vers les côtés de la pile, parce que les particules fines d'eau qui ne se déposaient pas immédiatement à l'entrée étaient trop rapidement transportées par la suite vers l'autre extrémité du paquet, et par le phénomène de turbulence de l'air à la sortie des paquets favorisait le dépôt plus fort de l'eau sur le bois. Nous avons donc décidé de diminuer la vélocité de l'air lors des injections pour permettre à la gravité de faire son travail, et ainsi aider à une meilleure propagation des particules d'eau d'un bord à l'autre de la charge. Notre idée était juste puisque les résultats sont très intéressants.

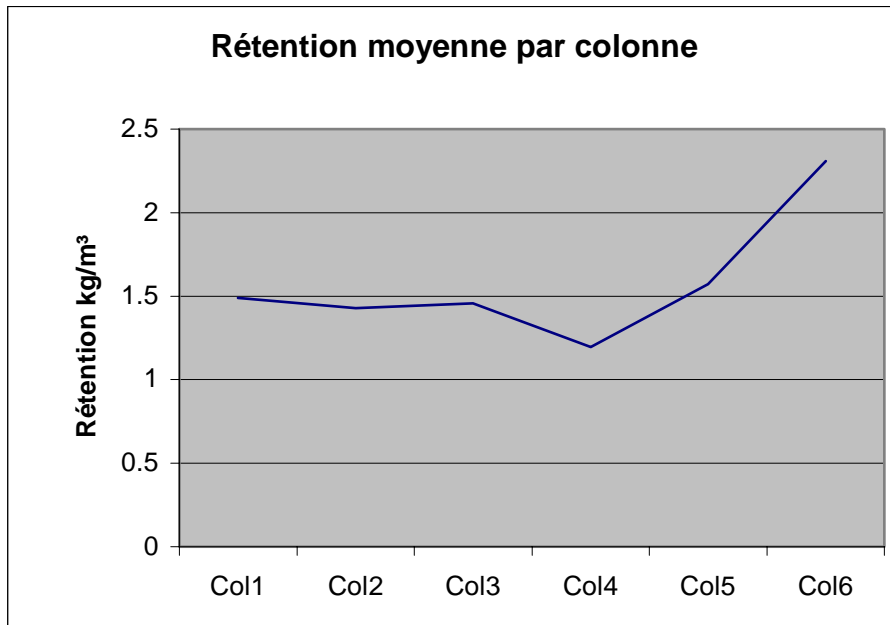


Figure 18 - Rétention moyenne par colonne

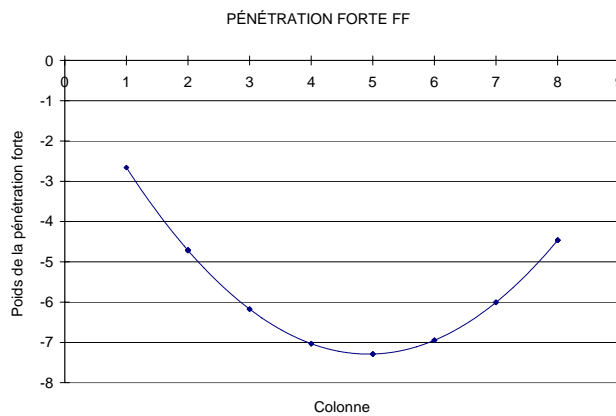


Figure 19 - Importance de la pénétration par rapport à la colonne (PART 2004N050)

Pour bien comprendre le fonctionnement de l'injection du liquide boraté, et ainsi visualiser les résultats décrits ci-haut, voici une description brève du fonctionnement : Les buses étaient situées à la partie supérieure droite du séchoir et orientées vers le haut (figure 20). L'air, durant la phase de pulvérisation, arrivait à contre-courant à une vitesse de 450 pi/min. Par conséquent, il contribuait à faire exploser les particules de solution de borate en suspension dans l'air et les forçait à traverser le paquet. La vélocité de l'air à la sortie du paquet atteignait 350 pi/min. Une période de conditionnement de 15 minutes, sans ouverture des volets, ni de changement d'orientation de la ventilation, suivait chaque phase de pulvérisation.

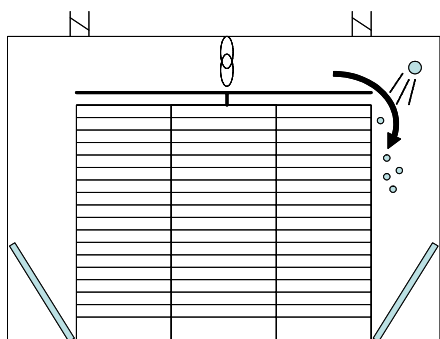


Figure 20 - Schéma de pulvérisation du borate dans le système

1.7.8. Différences de rétention en fonction de la position dans les rangées

Quant à la position selon les rangées, l'effet est moins bien tranché. Les positions doivent d'ailleurs être comparées avec la valeur de quelques rangées seulement, compte tenu que les échantillons ne sont pas présents dans toutes les rangées. Les moyennes obtenues pour les 2 empilements pour chaque position, sont présentées au tableau 8 sous forme de « clusters ».

Tout d'abord, les rétentions moyennes obtenues aux rangées 2 et 6 sont très significativement différentes par rapport à celles obtenues à chacune des autres rangées. C'est le seul constat qu'on peut faire, et mis à part le fait que les buses sont très proches de ces positions, il est difficile d'en arriver à une conclusion plus élaborée.

Tableau 8 - Rétention moyenne des deux empilements selon les positions des échantillons

Moyenne

Rétention moyenne des 2 empilements-3clusters $R^2=0,987$

	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	
Rang1							
Rang2	1,629		1,515		1,809		1,651
Rang3							
Rang4							
Rang5							
Rang6		1,567		1,191		2,846	1,868
Rang7							
Rang8							
Rang9	1,163		1,400		1,541		1,368
Rang10							
Rang11							
Rang12		1,289		1,202		1,773	1,421
Rang13							
Rang14							
Rang15							
Rang16	1,672		1,453		1,370		1,498
Rang17							
Rang18							
	1,488	1,428	1,456	1,197	1,573	2,309	

Faible
Moyen
Fort

1.7.9. Comportement de la pénétration

La pénétration demeure un *indicateur qualitatif* de la présence de borate dans le bois, et par le fait même, on peut évaluer son pouvoir de diffusion au fur et à mesure que le traitement s’effectue en cours de séchage conventionnel. Toutefois, les résultats obtenus sont très différents entre les deux essais, et aucune corrélation valable ne semble ressortir, mise à part la pénétration forte qui a un comportement similaire à la rétention selon les positions spatiales des pièces. Le fait est que pour le deuxième essai, la pénétration obtenue est de 100 % pour la plupart des pièces, alors que 3 pièces sur 15 ont eu cette envergure de pénétration lors du premier essai, mais la plupart des pièces (9 sur 15) ont des résultats en dessous de la limite acceptable par la norme (CSA 080.34-97), soit 10 mm pour 90 % des pièces. La diffusion du produit est difficile à qualifier, surtout aux étapes 4 et 5, puisqu’on ne sait pas trop combien on perd de borate pendant que le bois sèche, et si cette quantité est remplacée lors des autres pulvérisations. Mais l’hypothèse soulevée au point 1.7.6 semble la plus plausible pour la pénétration également.

Bref, il faut diminuer le gradient d'humidité, et concentrer les injections en arrêtant le phénomène du séchage du bois par l'augmentation importante de l'humidité relative dans le séchoir. Cet arrêt de séchage peut être temporaire ou permanent, et il faudrait voir s'il est possible de reprendre le séchage après un certain temps. Pour valider cette hypothèse, il faudrait être en mesure de vérifier si ce borate déjà pénétré dans le bois grâce au liquide caloporteur qu'est l'eau, se fixe au bois par la suite et n'est pas entraîné avec l'eau que l'on ressortirait du bois par le séchage.

La modélisation par « cluster » de la pénétration totale du borate montre le même effet que pour la rétention lors du premier essai, c'est-à-dire que les pièces situées dans la dernière colonne (#6) ont une plus forte pénétration. Par contre, les pièces des rangées supérieures et inférieures ont une plus faible pénétration du borate. Possiblement que la circulation de l'air favorise moins la dispersion du borate à ces rangées, ou encore il arrive souvent dans un séchoir à bois que les pièces du dessus sèchent plus rapidement, ce qui explique une moins bonne diffusion du produit.

Tableau 9 - Pénétration totale en fonction de la position (4 niveaux), premier essai

Empilement #1

4 clusters R²=0,973

Pénétration totale

	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	
Rang1							
Rang2	7,052		5,412		6,441		6,301
Rang3							
Rang4							
Rang5							
Rang6		2,623		7,419		15,140	8,393
Rang7							
Rang8							
Rang9	14,210		7,861		10,530		10,87
Rang10							
Rang11							
Rang12		16,020		16,510		16,560	16,36
Rang13							
Rang14							
Rang15							
Rang16	7,353		6,430		7,104		6,962
Rang17							
Rang18							
	9,537	9,322	6,567	11,96	8,025	15,85	

Moyen faible
Moyen fort
Fort
Faible

Tableau 10 - Pénétration totale en fonction de la position (4 niveaux), deuxième essai.

$R^2=0,976$

Pénétration totale

	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	
Rang1							
Rang2	16,5		16,25		16,4		16,38
Rang3							
Rang4							
Rang5							
Rang6		16,44		15,73		16,61	16,26
Rang7							
Rang8							
Rang9	16,32		15,95		15,75		16,01
Rang10							
Rang11							
Rang12		16,42		13,85		16,03	15,44
Rang13							
Rang14							
Rang15							
Rang16	15,93		16,89		15,98		16,27
Rang17							
Rang18							
	16,25	16,43	16,36	14,79	16,04	16,32	

Moyen faible
Moyen fort
Fort
Faible

1.7.10. Influence de l'humidité finale du bois et du gradient d'humidité final

Nous avons effectué la même approche spatiale pour vérifier si le gradient d'humidité final et l'humidité moyenne finale pouvait avoir un résultat similaire aux tableaux de la rétention et de la pénétration. Les analyses ont été faites et il en ressort que la corrélation est inexistante. C'est donc dire que le gradient d'humidité à lui seul ne peut expliquer le résultat de la pénétration ou de la rétention, ni même l'humidité moyenne des pièces de bois à la fin du séchage. On aurait pu penser qu'un gradient important d'humidité favoriserait le mouvement du borate vers le centre des morceaux, ce qui peut être vrai en partie, mais impossible à confirmer avec ce test. On aurait également pu croire que plus les pièces étaient sèches, moins le borate a de la facilité à pénétrer dans le bois, et même à la limite, ressort du bois avec l'eau. Encore là, impossible de voir une relation claire.

Finalement, on doit rajouter le paramètre de la densité (ou masse volumique) du bois qui a un rôle connu sur la conductivité de l'eau (facilité de l'eau à migrer du centre vers la surface, ou le contraire), c'est-à-dire que l'eau circule mieux avec une densité du bois faible, et circule plus difficilement à mesure que la densité du bois est importante. Les tableaux 11 et 12 montrent le résultat de ces analyses par « cluster ».

Tableau 11 - Gradient d'humidité final moyen des 2 essais en fonction de la position (3 niveaux)

Gradient humidité finale, moyenne des 2 empilements-3clusters **R²=0,925**

	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	
Rang1							
Rang2	2,236		1,221		1,606		1,688
Rang3							
Rang4							
Rang5							
Rang6		1,292		1,262		1,638	1,397
Rang7							
Rang8							
Rang9	1,576		1,728		1,185		1,496
Rang10							
Rang11							
Rang12		1,207		1,447		1,230	1,295
Rang13							
Rang14							
Rang15							
Rang16	1,945		1,537		1,135		1,539
Rang17							
Rang18							
	1,919	1,25	1,495	1,355	1,309	1,434	

Moyen

Faible

Fort

Tableau 12 - Humidité finale du premier essai en fonction de la position (4 niveaux)

Humidité finale de l'empilement #1 $R^2=0,965$

	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	
Rang1							Faible
Rang2	0,159		0,077		0,107	0,114	Très fort
Rang3							Très faible
Rang4							Fort
Rang5							
Rang6		0,072		0,083		0,058	0,071
Rang7							
Rang8							
Rang9	0,071		0,145		0,076	0,097	
Rang10							
Rang11							
Rang12		0,078		0,069		0,091	0,079
Rang13							
Rang14							
Rang15							
Rang16	0,203		0,114		0,071	0,13	
Rang17							
Rang18							
	0,144	0,075	0,112	0,076	0,085	0,075	

Tableau 13 - Humidité finale du deuxième essai en fonction de la position (4 niveaux)

Humidité finale de l'empilement #2 $R^2=0,946$

	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	
Rang1							
Rang2	0,211		0,090		0,098	0,133	Faible
Rang3							Très fort
Rang4							Très faible
Rang5							Fort
Rang6		0,100		0,089		0,123	0,104
Rang7							
Rang8							
Rang9	0,068		0,167		0,095	0,11	
Rang10							
Rang11							
Rang12		0,109		0,145		0,085	0,113
Rang13							
Rang14							
Rang15							
Rang16	0,077		0,152		0,120	0,116	
Rang17							
Rang18							
	0,119	0,105	0,136	0,117	0,104	0,104	

1.7.11. Évaluation du coût de traitement à l'aide de cette méthode

La consommation de borate pour chacune des charges était de 18,77 kg (41,38 lbs). Un sac de TIMBOR pèse 55 livres et en coûte 110\$. C'est donc dire qu'il en a coûté 82,76 \$ en produit par essai. Le volume traité était de 1,71 m³ (864 PMP) de bois, ce qui revient à un coût de 48,40 \$/m³ (95,79 \$/MPMP). Ce montant est trois fois moindre que ce qu'il en coûterait à un producteur de bois pour faire traiter chez un sous-traitant qui utilise une méthode de traitement conventionnelle au borate.

Évidemment, il ne faut pas perdre de vue que la perte réelle fut de 82 % et non pas de 65 % comme il était prévu. Dans cette optique, il aurait donc fallu utiliser 21,03 kg (46,36 lbs), soit un coût total de 92,72 \$. Bref, le coût devrait s'élever à 54,22 \$/m³ (107,31 \$/MPMP) pour réussir le traitement selon les standards de rétention voulus. Par contre, selon les hypothèses amenées jusqu'à maintenant, nous sommes très optimistes d'obtenir des résultats comportant moins de pertes que le présent test.

2. CONCLUSION

L'objectif général de ce projet était d'optimiser, sur une base expérimentale, le processus de pénétration du borate dans le bois de construction par pulvérisation en cours de séchage conventionnel. L'essence de bois utilisée était le sapin baumier, dans la dimension 2 x 6, en longueur de 8 pieds. Le volume total de bois traité était de 864 pmp (1,60 m³) dans le séchoir expérimental.

Pour fins d'analyse, la suite « analyse statistique » du système SAS qui sert, entre autres, pour les modèles mixtes (SAS institute, 1996) a été employée. Nous avons tenté d'établir des relations entre les paramètres en cause durant l'expérimentation. Cette méthode permettait d'identifier rapidement les scénarios les plus productifs par l'élaboration de modèles mathématiques créés progressivement essai après essai. Les connaissances acquises avec les essais précédents sont considérées dans le choix des facteurs à faire varier dans le nouvel essai, pour l'obtention d'un modèle mathématique de plus en plus fidèle à la réalité.

Voici les principales conclusions que cette méthode mathématique et nos analyses nous ont permis de faire :

- Les pièces localisées sur les bords droit du paquet semblent favorisées, pour les deux modèles (pénétration totale et rétention).
- Les pièces localisées dans les rangées du haut semblent légèrement avantagées pour la rétention du borate, mais pas pour la pénétration totale.
- Les pertes de borate s'élèvent à 82 %, ce qui est très fort. Les raisons sont diverses, allant de l'évaporation de la solution sur les parois, le sol et sur le bois avant qu'il ne puisse pénétrer, et la migration du borate avec l'eau du bois qui s'élimine par le séchage.
- Le fait d'égaliser le bois en début de cycle de séchage pendant un temps important semble être un paramètre à considérer et qui pourrait en partie expliquer le succès de la pénétration lors du deuxième essai.
- Un traitement au borate aux étapes 4 et 5, soit les étapes de séchage intense du bois, semble donner des résultats en pénétration très ordinaires.
- Il apparaît pertinent de pulvériser au borate lorsque l'humidité relative est très élevée, soit uniquement en fin de cycle de séchage, lors de l'étape du conditionnement (étape #6 dans le cas présent), à température élevée (celle de la solution de borate et celle du bois). Ceci a comme avantage de freiner le séchage, donc créer un climat humide où le liquide a peu de chances de s'évaporer de la surface du bois, et pénètre plus facilement dans celui-ci par diffusion. En plus, au début du cycle du conditionnement, le gradient d'humidité est plus fort, et permet un meilleur taux de pénétration.

3. MISE EN GARDE

Il est important de se rappeler que les quantités de bois et les informations obtenues lors des dispositifs expérimentaux décrits précédemment, ne peuvent s'appliquer directement à des volumes et des installations de séchage industrielles de fortes capacités.

Les résultats obtenus au dernier essai sur les taux de pénétration totale et la rétention (selon la norme A3-00© *Standard Methods For Determining Penetration Of Preservatives And Fire Retardants*) ne sont pas encore acceptables. Dans le cas de la pénétration, le succès fut plus important, mais il nous faut répéter les résultats du deuxième essai et voir à amoindrir les pertes de borate.

Des essais ultérieurs, en concentrant les injections en fin de cycle (étape de conditionnement) seraient une suite logique pour voir à améliorer le procédé et à obtenir des résultats qui rencontrent les normes du marché. Ces essais pourraient se faire également en vérifiant l'hypothèse qu'une égalisation longue après le réchauffement du bois aide à obtenir de meilleurs résultats.

Notons que des résultats de pénétration de 100 % dans presque toutes les pièces pulvérisées lors du deuxième essai sont plus qu'encourageants. La difficulté des traités utilisant l'une des méthodes de traitement du borate existante est de satisfaire à la norme voulue de la pénétration qui est de 10 mm pour 90 % des pièces. Nous avons un résultat qui dépasse de loin ces normes, il s'agit de le répéter avec les mêmes caractéristiques de bois, et plus tard pour d'autres densités ou essences. Il ne nous resterait qu'à bien doser les injections pour qu'en plus, il y ait atteinte des standards de rétention.

4. RÉFÉRENCES

Références bibliographiques :

Fiche technique sur la protection du bois. *Bois de construction traité aux borates*, Forintek Canada Corp., septembre 2002.

U.S. Patent # 6 025 027. Feb.15, 2000. *Method For Producing Cellulose Insulation Materials Using Liquid Borate Fire Retardant Compositions*.

CSA O80 SERIES-97 (R2002). *Préservation du bois*. 140 pages.

AWPA Standard A2-04. *Standard Methods For Analysis Of Waterborne Preservatives And Fire-Retardant Formulations*. 13 pages.

Sites Web consultés :

<http://www.durable-wood.com>

<http://www.acc-securite.ca/>

Statistiques relatives à l'industrie canadienne. Coûts de fabrication. Préservation du bois (SCIAN 321114). 17/08/04.

<http://strategis.ic.gc.ca/canadian_industry_statistics/cis.nsf/IDF/cis321114cstf.html> (17/10/04)

<<http://www.borax.com/wood/applications1.html>> (20/10/04).

Exportation des produits forestiers. MRNFPQ. Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. 27/09/04.

< <http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/Exportations2.pdf> > (15/10/04).

<http://www.durable-wood.com/faqs/borates.php> (20/10/04)

<http://www.osmose.com/acrobat/AdvanceGuardManuSpec.pdf> (20/10/04)

http://www.5star-termite.com/msds_timbor.pdf (20/10/04)

<http://www.sas.com/offices/europe/france/software/technologies/statistics.html>

5. RAPPORT FINANCIER

NUMÉRO DE PROJET : PART2005N011

Date de présentation de la demande :

Fonds disponibles (en argent) :

Programme PART :	35 000,00 \$
Organisme partenaire :	0,00 \$
Établissement (<u>0,2</u> ETC x <u>63 295</u> \$ =)	12 600,00 \$
Autres (précisez)	0,00 \$
Somme totale :	(A) 47 600,00 \$

Dépenses (en argent)

Utilisation des sommes allouées

1- Salaires (excluant les ETC)	
▪ Consultants, consultantes, personnel professionnel	35 439,73 \$
▪ Techniciens, techniciennes	0,00 \$
▪ Personnel de bureau	420,00 \$
▪ Autres (étudiant cégep)	0,00 \$
2- Équipement et matériel admissibles	
▪ Achat	1 736,80 \$
▪ Location	3 240,00 \$
3- Frais de déplacement admissibles	52,88 \$
4- Autres frais admissibles	41,67 \$
5- Autres (précisez)	0,00 \$
Somme totale :	(B) 40 931,08 \$

Utilisation de l'enseignant (ETC)

<i>Nom</i>	<i>Discipline</i>	<i>Dégagement</i>	<i>Salaire</i>
<u>Pascal Villeneuve</u>	<u>Séchage et préservation du bois</u>	<u>0,2 ETC</u>	<u>12 600,00 \$</u>
	Somme totale :	(C)	12 600,00 \$
	Solde [A - (B+C)] :	(D)	-5 931,08 \$
	Solde inutilisé :	(1)	0,00 \$

Je déclare que les renseignements fournis dans ce rapport sont exacts et fidèles à la réalité.

Directeur du Centre collégial de transfert de technologie en foresterie

Date