

"

Information archivée dans le Web

Ö...á!Á^!•Á^Áæ•Á[~ !Á[ãÁ&Á[&v { ^} dÈ

!!

Vous pouvez demander de recevoir cette information dans des formats de rechange en contactant [l'Institut canadien de conservation](#) au site Web www.cci-icc.gc.ca.

Examen des variations dimensionnelles du bois immergé dans divers agents de consolidation

Wendy A. Baker et David W. Grattan

(Les biographies et les coordonnées des auteurs se trouvent à la fin du présent article.)

Résumé

Le traitement des objets en bois détériorés peut comporter l'immersion dans des solutions d'agents de consolidation à base de résines synthétiques et de solvants organiques, mais cette méthode peut toutefois entraîner des variations dimensionnelles des objets. Le présent article porte sur l'étude de la réaction de deux essences de bois (le pin blanc et le chêne blanc) dont des échantillons ont été immergés dans des solvants purs (éthanol, isopropanol, n-butanol, toluène et pentane) et dans différentes solutions d'agents de consolidation [solution à 5 % d'Aquazol 50 dans l'éthanol, solution à 5 % d'Aquazol 50 dans l'isopropanol, solution à 5 % d'Acryloid B-72 dans le toluène, solution à 5 % de Butvar B-79 {à base de poly(butyril de vinyle)} dans le n-butanol, et solution à 5 % d'AYAC {à base de poly(acétate de vinyle)} dans le toluène]. Les réactions des échantillons sont caractéristiques pour des solvants particuliers. L'immersion dans l'éthanol provoque une augmentation des dimensions du bois, tandis que le toluène et le pentane entraînent un léger retrait des échantillons; quant à l'isopropanol et au n-butanol, ils provoquent un retrait initial, suivi d'un gonflement. Les échantillons de chêne blanc et de pin blanc ont des comportements différents, notamment au chapitre de la vitesse et de l'importance de la réaction. L'ajout d'agents de consolidation aux solvants purs entraîne un accroissement des variations dimensionnelles observées. Bien que la réaction du bois aux solvants organiques dépend probablement de plusieurs variables, le diamètre moléculaire et la polarité du solvant constituent des facteurs importants. La plupart des échantillons ne reprennent pas leurs dimensions initiales, et ce, même après quatre mois de séchage. Les échantillons qui présentent les variations dimensionnelles les plus importantes sont ceux immergés dans une solution de Butvar B-79 dissous dans le toluène et les échantillons de pin blanc immergés dans une solution d'Aquazol 50 dissous dans l'éthanol.

Title and Abstract

Dimensional changes of wood immersed in different consolidant agents

Treatment of deteriorated wooden objects can include immersion in consolidant solutions of synthetic resins and organic solvents — a procedure that may provoke dimensional change. This paper examines the response of eastern white pine and white oak to immersion in ethanol, isopropanol, n-butanol, toluene, and pentane, and in consolidant solutions of 5% Aquazol 50 in ethanol, 5% Aquazol 50 in isopropanol, 5% Acryloid B-72 in toluene, 5% poly (vinyl butyral) Butvar B-79 in n-butanol, and 5% poly (vinyl acetate) AYAC in toluene. Samples demonstrated characteristic behaviours to specific solvents. Ethanol caused an increase in dimension, isopropanol and n-butanol an initial shrinkage followed by swelling, and toluene and pentane a small shrinkage in the wood. Behaviour of the oak and pine differed in rate and degree of response. Although the response of wood to organic solvents is likely multi-variable, molecular diameter and solvent polarity are important factors. The addition of consolidants to the solvents

caused an amplification of dimensional change. For most samples immersed in consolidant solutions, original dimensions are not fully recovered after 4 months of drying. The samples showing the most change are those immersed in Butvar B-79 in toluene, and pine samples immersed in Aquazol 50 in ethanol.

Introduction

Le projet d'étude des effets à court terme et à long terme de la consolidation de masse du bois sur sa stabilité dimensionnelle a été lancé lorsque plusieurs œuvres d'art ont été soumises pour traitement à l'Institut canadien de conservation (ICC). Un fragment de bois d'un des objets (voir la figure 1) présentait de sérieux dommages causés par des insectes foreurs. Il a été établi que la consolidation de masse était nécessaire, et ce, même si cette méthode de traitement est assez extrême, car l'intégrité structurale de l'objet était sérieusement compromise. Il existe plusieurs traitements qui consistent à incorporer un ou des agents de consolidation au bois (Grattan, 1980), mais la présente étude porte principalement sur l'utilisation de résines thermoplastiques dissoutes dans des solvants organiques.



Figure 1. Fragment de sculpture polychrome révélant les sérieux dommages subis par le bois.

La stabilité dimensionnelle de l'objet traité constitue une des exigences fondamentales d'un consolidant idéal (Werner, 1978), car toute variation de ses dimensions peut avoir des effets catastrophiques sur son état, par exemple le gauchissement du bois et le gondolage ou le soulèvement en tente des couches décoratives, dans le cas du retrait, et la formation de nouvelles craquelures ou l'élargissement et le prolongement de celles déjà présentes, dans le cas du gonflement. La figure 2 illustre des craquelures qui se sont formées selon l'axe radial de la couche picturale et de la préparation d'une peinture sur panneau. Celles-ci ont été causées par le gonflement du bois, à la suite d'augmentations de son taux d'humidité, qui a dépassé celui de la couche picturale et de la préparation.

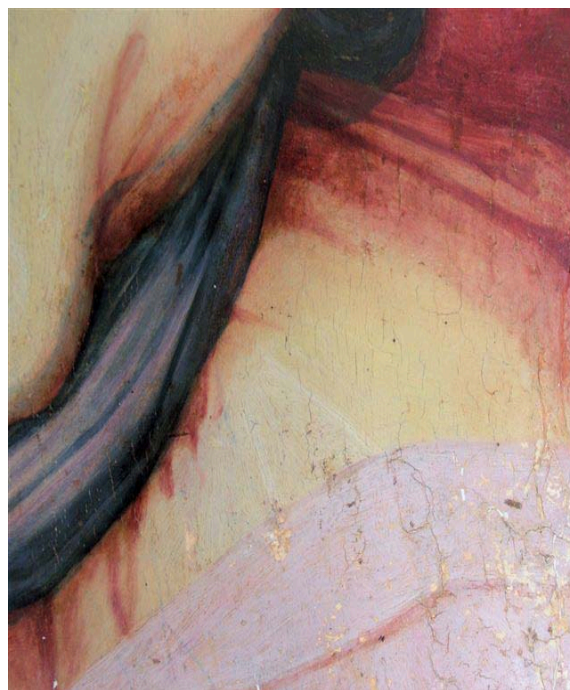


Figure 2. La formation de craquelures selon l'axe radial est causée par le gonflement hygroscopique du bois.

L'imprégnation du bois dégradé par des consolidants et des liquides organiques constitue toujours un sujet de préoccupation dans l'industrie et la science du bois. Les variations volumétriques ont particulièrement fait l'objet d'études réalisées par Stamm (1934, 1935), de Bruyne (1939) et Mantanis et ses collaborateurs (1994, 1995). Des scientifiques en conservation ont traité de cette question dans le cadre d'études de Wang et Schniewind (1985) et de Schniewind (1990, 1998). Schniewind (1990) a observé que le gonflement du bois lors de sa consolidation est

proportionnel à la capacité de gonflement du solvant. La nature de cette capacité n'est pas clairement définie, mais elle est associée à la polarité du solvant et du consolidant : plus leur polarité est élevée, plus le gonflement est important. En ce qui a trait aux paramètres permettant de prévoir l'ampleur du gonflement, Stamm (1935) et de Bruyne (1939) ont d'abord proposé d'utiliser la masse moléculaire et la polarité du solvant. Par la suite, d'autres théories prévisionnelles ont été élaborées, notamment celles basées sur la densité d'énergie de cohésion du solvant (ou paramètre de solubilité de Hildebrand), ainsi que sur le nombre donneur du solvant (Mantanis et coll., 1994, 1995). Les auteurs ont examiné un certain nombre de théories proposées par des scientifiques pour calculer les variations volumétriques en se basant sur les propriétés du bois et du solvant. Les méthodes de prévision du gonflement du bois publiées ne sont toutefois pas totalement fiables, à l'exception de l'observation de Stamm, selon lequel ce gonflement est proportionnel à la masse moléculaire des alcools employés comme solvants.

Un projet en plusieurs phases a été mis en oeuvre afin d'évaluer les effets à court et à long terme sur la stabilité dimensionnelle de deux essences de bois (le pin blanc et le chêne blanc), lors de leur exposition à des solvants purs (phase 1; Baker et Grattan, 2009; Baker et Grattan, 2010) et à des solutions de consolidant (phase 2). Les travaux avaient pour objectif de répondre à des questions particulières telles que la capacité de prévoir les variations dimensionnelles du bois et de caractériser son comportement, ainsi que d'établir clairement, lorsque ces variations surviennent, si la modification de l'état de l'objet est temporaire ou permanente.

Méthodes et procédures

Échantillons de bois

Les échantillons ont été prélevés dans des planches de chêne blanc et de pin blanc séchées à l'air et débités sur quartier. Ils ont été découpés de manière à ce que l'axe de la longueur soit orienté selon l'axe radial.

Leurs dimensions étaient en grande partie déterminées par la largeur de la planche d'origine : les échantillons de chêne blanc mesuraient 1,7 cm de hauteur, 2,0 cm d'épaisseur et 19,2 cm de longueur, et ceux de pin blanc, 1,6 cm de hauteur, 2,0 cm de largeur et 13,2 cm de longueur

(où hauteur = axe tangentiel, largeur = axe longitudinal et longueur = axe radial). Deux épingles en T en acier inoxydable ont été insérées dans des trous préforés à la surface supérieure de chaque échantillon, près des extrémités (voir la figure 3). La distance entre les deux épingles a été mesurée, en millimètres et à deux décimales près, à l'aide d'un pied à coulisse numérique. Les échantillons ont été laissés dans des conditions leur permettant d'atteindre un état d'équilibre, à 50 % d'humidité relative (HR) et à 20 °C, avant et après leur immersion dans un solvant. Les mesures susmentionnées et le poids des échantillons ont été enregistrés avant le traitement du bois et à de multiples intervalles durant la période d'immersion et après celle-ci. Chaque expérience comportait la mise à l'essai de deux échantillons de chêne blanc et de deux



Figure 3. Échantillon de chêne blanc et épingles de mesure.

échantillons de pin blanc. Les échantillons de bois ont été immergés dans des plats en verre contenant 600 mL de solvant (phase 1 du projet) ou d'une solution de consolidant (phase 2). Les plats ont été recouverts d'une pellicule de Mylar, d'une couche de mousse de polyéthylène expansé et d'un couvercle d'étanchéité en verre. Les échantillons ont été retirés du solvant ou de la solution de consolidant une fois les variations dimensionnelles maximales atteintes (dans la plupart des cas). Ils ont ensuite été séchés sur des grilles de tamis métalliques.

Agents de consolidation

Quatre agents de consolidation ont été choisis pour réaliser les essais. Les trois premiers comptent parmi les consolidants mentionnés dans des publications scientifiques et des analyses documentaires (Schniewind et Kronkright, 1984; Wang et Schniewind, 1985; Schniewind, 1990; Unger et coll., 2001) et ceux indiqués dans des documents particuliers sur les traitements (Barclay, 1981; Payton, 1984) : ce sont le Butvar B-79, à base de poly(butyracétate de vinyle) [PVB], la résine AYAC, à base de poly(acétate de vinyle) [PVAC] et l'Acryloid B-72, un copolymère acrylique. Le quatrième consolidant mis à l'essai était l'Aquazol 50, un des membres de la série d'homopolymères de la 2-éthylloxazoline. Dans les cas où l'agent de consolidation choisi fait partie d'une série de produits, la résine mise à l'essai est celle ayant le plus bas poids moléculaire, ou du moins un bas poids moléculaire. Ainsi, dans la série des PVB, le Butvar B-79 présente le plus bas poids moléculaire, soit de 50 000 à 80 000 g mol⁻¹. L'Acryloid B-72, un copolymère 70/30 de méthacrylate d'éthyle et d'acrylate de méthyle a un poids moléculaire de 30 000 à 34 000 g/mol⁻¹. L'AYAC, dont le poids moléculaire est de 12 000 g/mol⁻¹, est le produit qui possède la plus basse valeur de cette propriété parmi les résines de PVAC et parmi tous les consolidants mis à l'essai dans le cadre de notre étude. Le poids moléculaire de l'Aquazol 50 est de 50 000 g/mol⁻¹. Toutes les solutions préparées étaient des solutions à 5 % (poids/volume) du solide (le consolidant) dissous dans le liquide (le solvant).

Solvants

Cinq solvants ont été choisis pour réaliser les essais, soit l'éthanol (anhydre), l'isopropanol, le n-butanol, le toluène et le pentane. Le choix des solvants étudiés dans le cadre de la phase 1 du projet est basé sur les différences de diamètre moléculaire critique (DMC) ainsi que sur une plage de polarités représentatives, exprimées ci-après sous forme des constantes diélectriques (voir le tableau 1). Les valeurs de l'eau ont été incorporées au tableau aux fins de comparaison. Selon les résultats d'une étude portant sur des échantillons de bois saturé d'eau (Jensen, 1997), la capacité du solvant d'entraîner le gonflement du bois chute pour des valeurs de DMC égales ou supérieures à 5,5 Å; de plus, une fois qu'un solvant est absorbé dans la paroi cellulaire, tout gonflement subséquent du bois ne peut se produire qu'en présence de molécules de solvant polaires (Jensen, 1997).

Tableau 1. Polarité (constante diélectrique) et diamètre moléculaire critique des solvants d'essai.

	eau	éthanol	n-butanol	isopropanol	toluène	pentane
Polarité	9	5,2	4	3,9	2,4	0
DMC (Å)	2,8	4,4	4,5	4,3	6,7	4,96

Si tel est effectivement le cas, les molécules d'éthanol, de n-butanol, d'isopropanol et de pentane devraient être absorbées dans la paroi cellulaire et celles de toluène ne devraient pas l'être. L'éthanol devrait provoquer le plus important gonflement du bois, suivi du n-butanol et de l'isopropanol. Quant au toluène et au pentane, ils ne devraient pas entraîner de gonflement.

Résultats

Phase 1. Exposition du bois à des solvants purs

Les figures 4 (chêne blanc) et 5 (pin blanc) illustrent les variations, exprimées en pourcentage par rapport à la valeur avant traitement, de la dimension radiale mesurée après immersion de l'échantillon dans le solvant. Chaque point du graphique représente une valeur moyenne pour deux échantillons.

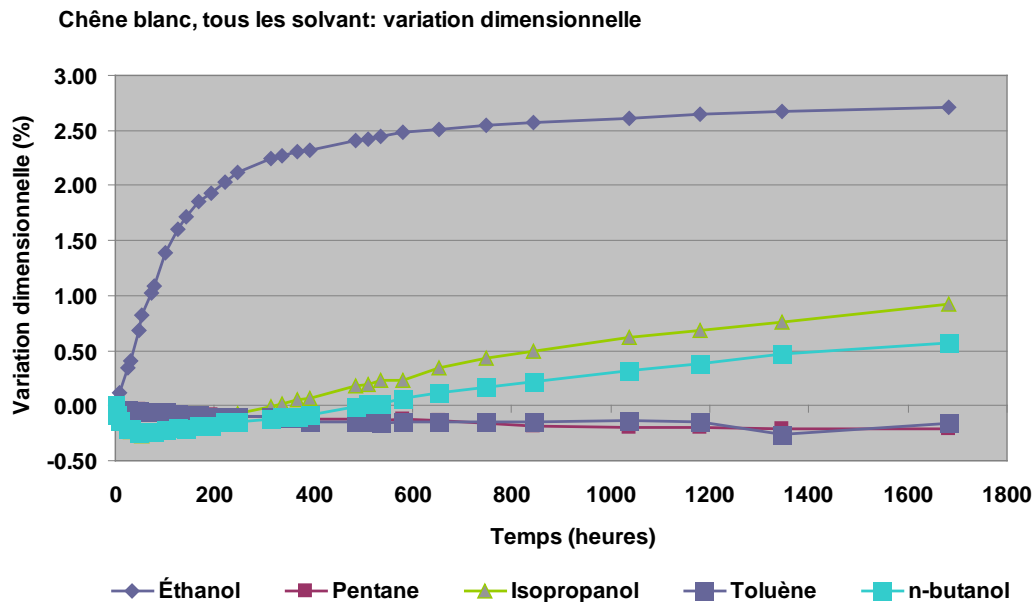


Figure 4. Variation (en pourcentage) de la dimension radiale d'échantillons de chêne blanc immergés dans des solvants purs.

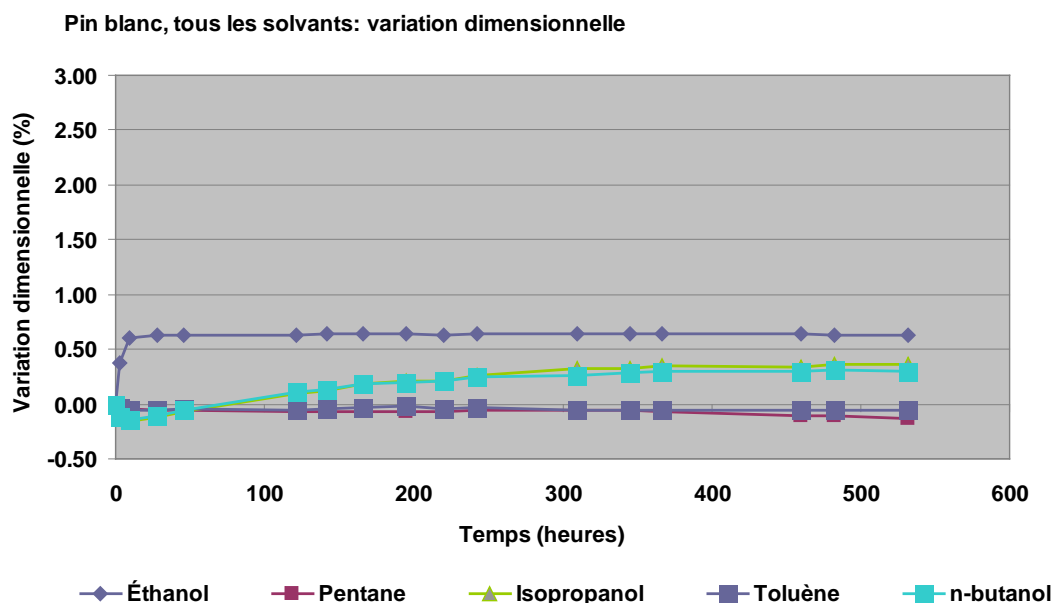


Figure 5. Variation (en pourcentage) de la dimension radiale d'échantillons de pin blanc immergés dans des solvants purs.

Le nombre d'échantillons étant très petit, les données ne sont pas, en elles-mêmes, statistiquement significatives, mais il est tout de même possible, en les examinant globalement (figures 4 et 5), d'identifier des comportements caractéristiques associés à des solvants particuliers. Les variations dimensionnelles du chêne blanc et du pin blanc diffèrent au chapitre de leur importance et de la vitesse à laquelle elles se produisent. La vitesse est supérieure dans le cas du pin blanc, mais les variations sont plus importantes dans celui du chêne blanc. L'accroissement des dimensions est plus important pour les échantillons immergés dans l'éthanol. Les échantillons de chêne blanc présentent un gonflement maximal de plus de 2,5 % après 600 à 800 heures d'exposition à l'éthanol, tandis que ceux de pin blanc immergés dans l'éthanol atteignent une valeur maximale de gonflement de 0,6 % en moins de 10 heures d'exposition. L'exposition à l'isopropanol et au n-butanol entraîne un retrait initial des échantillons de chêne blanc et de pin blanc, suivi de leur gonflement. Dans le cas des échantillons de chêne blanc immergés dans l'un ou l'autre de ces solvants, le retrait atteint 0,25 % après environ 50 heures. Leur gonflement subséquent s'élève à un peu moins de 1 % dans l'isopropanol et un peu plus de 0,5 % dans le n-butanol, à la fin de la période d'essai (1700 heures). Les échantillons de pin blanc, quant à eux, subissent un retrait initial d'environ 0,2 % après moins de 10 heures d'immersion dans l'isopropanol ou le n-butanol. Leur gonflement subséquent est presque identique pour les deux solvants, la valeur maximale de 0,3 % étant atteinte en 300 heures. Les effets du toluène et du pentane sur le bois sont presque identiques : les échantillons de chêne blanc et ceux de pin blanc subissent un retrait immédiat qui se poursuit lentement au cours de toute la période d'essai. La réduction du volume des échantillons de chêne blanc, selon l'axe radial, est de 0,3 % à la fin de la période d'essai

(1700 heures), et celle des échantillons de pin blanc est de 0,15 % après 550 heures d'immersion.

Phase 2. Exposition du bois à des solutions de consolidant

Les figures ci-après sont basées sur des valeurs moyennes de variations dimensionnelles, pour deux échantillons de pin blanc et deux échantillons de chêne blanc immergés dans différentes solutions de consolidant. Les figures 6 à 10 illustrent les variations dimensionnelles subies par les échantillons de chêne blanc (A) et de pin blanc (B) immergés dans des solutions de consolidant et dans des solvants purs. Les échantillons immergés dans les solutions de consolidant en ont été retirés afin de les faire sécher; les résultats de cette étape de séchage sont aussi illustrés dans les figures 6 à 10.

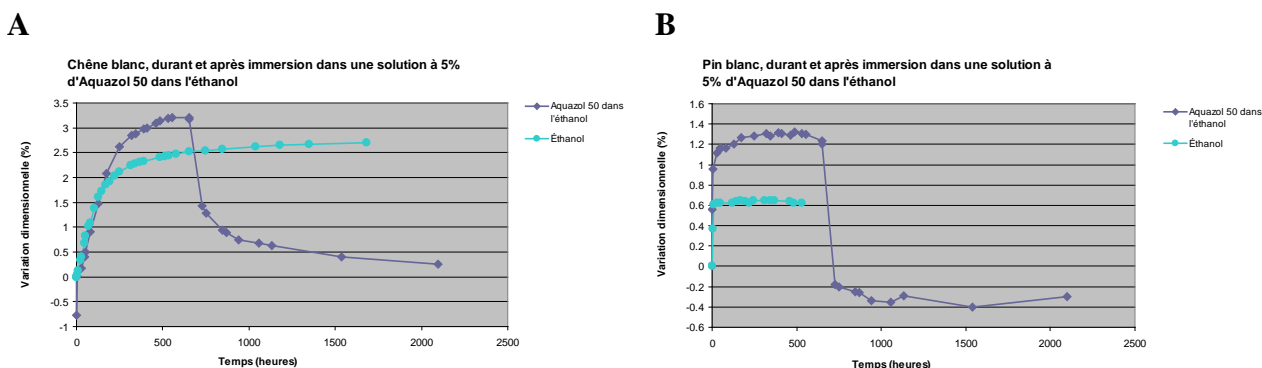
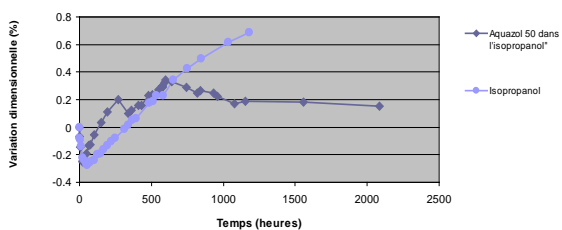


Figure 6. Variation (en pourcentage) de la dimension radiale d'échantillons de chêne blanc et de pin blanc immergés dans une solution à 5 % d'Aquazol 50 dans l'éthanol ou immergés dans l'éthanol pur. Les courbes de séchage, après immersion, des échantillons exposés à une solution de consolidant sont aussi présentées.

La figure 6 illustre les variations dimensionnelles, exprimées en pourcentages, des échantillons de chêne blanc (A) et de pin blanc (B) immergés dans une solution à 5 % d'Aquazol 50 dans l'éthanol et, par comparaison, les variations équivalentes des échantillons immergés dans l'éthanol pur. Les deux types d'échantillons ont été retirés de la solution d'Aquazol 50 dans l'éthanol après 650 heures d'immersion et ont été séchés à l'air pendant 1450 heures. Le gonflement du bois immergé dans la solution de consolidant est identique à celui du bois immergé dans le solvant pur. L'Aquazol 50 entraîne toutefois un gonflement plus important, et ce, pour les deux essences de bois. Dans le cas des échantillons de chêne blanc (A), le gonflement atteint environ 3,25 % lorsque le consolidant est ajouté au solvant, comparativement à quelque 2,5 % pour le solvant pur. Dans celui des échantillons de pin blanc (B), l'ajout d'Aquazol 50 se traduit par un doublement presque deux fois plus important du bois, qui atteint 1,3 % par rapport à une valeur maximale de 0,6 % pour le bois exposé à l'éthanol pur. Après 1450 heures de séchage, aucun des échantillons de chêne blanc ou de pin blanc n'a repris ses dimensions initiales. Les échantillons de chêne blanc présentent encore un gonflement de 0,26 % et ceux de pin blanc ont subi un retrait de 0,3 % par rapport à leur état initial, avant le traitement.

A Chêne blanc, durant et après immersion dans une solution à 5% d'Aquazol 50 dans l'isopropanol



B Pin blanc, durant et après immersion dans une solution à 5% d'Aquazol 50 dans l'isopropanol

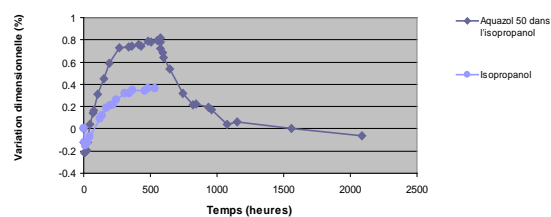


Figure 7. Variation (en pourcentage) de la dimension radiale d'échantillons de chêne blanc et de pin blanc immergés dans une solution à 5 % d'Aquazol 50 dans l'isopropanol ou immergés dans l'isopropanol pur. Les courbes de séchage, après immersion, des échantillons exposés à une solution de consolidant sont aussi présentées.

La figure 7 illustre les résultats obtenus pour les échantillons de chêne blanc (A) et ceux de pin blanc (B) immergés dans une solution à 5 % d'Aquazol 50 dans l'isopropanol et, par comparaison, les variations équivalentes des échantillons immergés dans l'isopropanol pur. Les deux types d'échantillons ont été retirés de la solution de consolidant après 575 heures et ont été séchés pendant 1525 heures (les résultats de cette étape de séchage sont aussi illustrés à la figure 6). Le comportement des échantillons immergés dans des solutions de consolidant est en général similaire à celui des échantillons immergés dans le solvant pur. Les échantillons de chêne blanc et ceux de pin blanc subissent un retrait initial qui est ensuite suivi d'un gonflement. L'importance du gonflement subséquent du bois est accrue par la présence du consolidant. Cette constatation est particulièrement observée dans le cas des échantillons de pin blanc (B), pour lesquels la valeur maximale du gonflement atteint 0,8 % dans la solution de consolidant, comparativement à seulement 0,3 % dans le solvant pur. Le pourcentage de gonflement plus faible observé pour les échantillons de chêne blanc (A) est anormal, ce qui implique que des essais supplémentaires doivent être réalisés pour cette essence de bois. Après l'étape de séchage, les échantillons de chêne blanc n'ont pas repris leur état initial et ils présentent une augmentation de 0,15 % de leurs dimensions. Les échantillons de pin blanc, quant à eux, ont en grande partie repris leurs dimensions initiales.

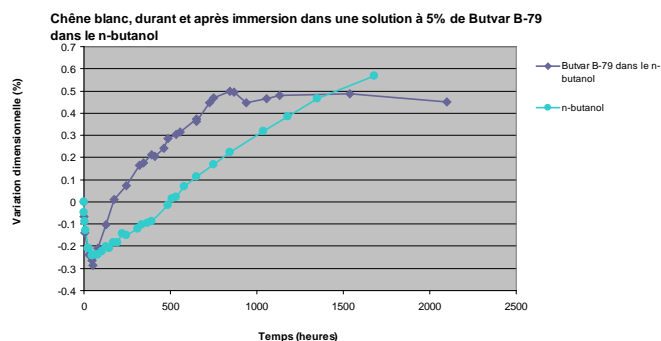
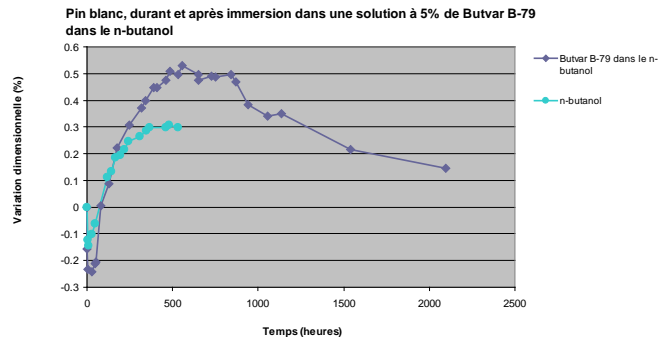
A**B**

Figure 8. Variation (en pourcentage) de la dimension radiale d'échantillons de chêne blanc et de pin blanc immergés dans une solution à 5 % de Butvar B-79 dans le n-butanol ou immergés dans le n-butanol pur. Les courbes de séchage, après immersion, des échantillons exposés à une solution de consolidant sont aussi présentées.

La figure 8 illustre le comportement d'échantillons de chêne blanc (A) et de pin blanc (B) immergés dans une solution à 5 % de Butvar B-79 dans le n-butanol et, par comparaison, les résultats équivalents pour l'immersion dans le n-butanol pur. Les deux types d'échantillons ont été retirés de la solution de consolidant après 650 heures et ont été ensuite séchés pendant une période déterminée (les données de la figure 8 indiquent que cette période de séchage est de 1450 heures). Les échantillons de chêne blanc et ceux de pin blanc ont un comportement similaire pour l'immersion dans la solution de consolidant et dans le solvant pur, soit un retrait initial suivi d'un gonflement. L'importance du gonflement est accrue par la présence du consolidant. Dans le cas du chêne blanc (A), le gonflement atteint une valeur maximale légèrement inférieure à 0,5 %, à 650 heures d'immersion, comparativement à une valeur de 0,25 % pour l'immersion dans le solvant pur. Les échantillons de pin blanc (B) présentent un accroissement de leurs dimensions légèrement supérieur à 0,5 %, à 650 heures d'immersion dans la solution de consolidant, comparativement à une valeur de 0,3 % pour l'immersion équivalente dans le n-butanol pur. Après 1450 heures de séchage, aucun des échantillons de chêne blanc ou de pin blanc n'a repris ses dimensions initiales. Les échantillons de chêne blanc présentent encore un gonflement de 0,45 % et ceux de pin blanc, un gonflement de 0,15 % par rapport à leur état initial.

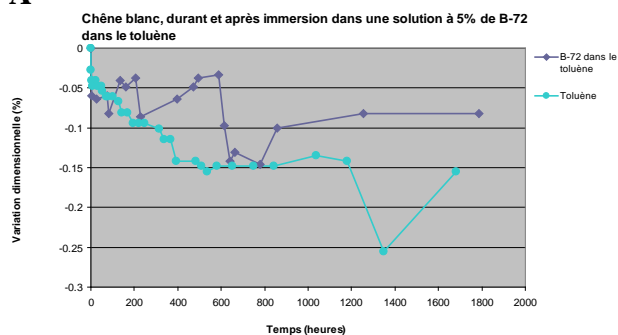
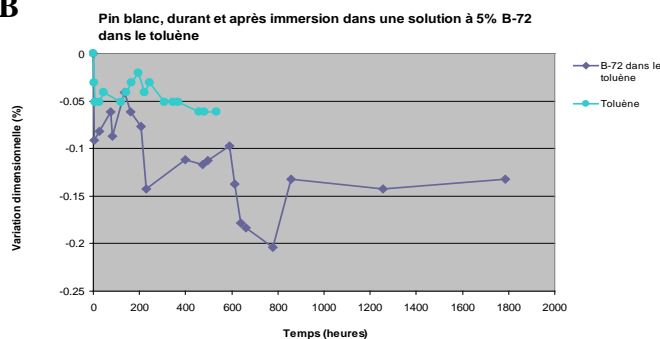
A**B**

Figure 9. Variation (en pourcentage) de la dimension radiale d'échantillons de chêne blanc et de pin blanc immergés dans une solution à 5 % de B-72 dans le toluène ou immergés dans le toluène pur. Les courbes de séchage, après immersion, des échantillons exposés à une solution de consolidant sont aussi présentées.

La figure 9 illustre les résultats obtenus pour les échantillons de chêne blanc (A) et ceux de pin blanc (B) immergés dans une solution à 5 % de B-72 dans le toluène et, par comparaison, les résultats équivalents pour l'immersion dans le toluène pur. Les échantillons ont été retirés de la solution de consolidant après 600 heures et ont été ensuite séchés pendant une période de 1200 heures, selon les données de la figure 9. Comme pour tous les essais précédents, le solvant joue un rôle de premier plan au chapitre du comportement du bois. Dans ce cas particulier, l'exposition des échantillons de chêne blanc et de ceux de pin blanc au solvant pur et leur exposition à la solution de consolidant entraînent un retrait. La présence du consolidant dans la solution d'immersion semble provoquer le comportement non idéal des échantillons de chêne blanc (A), avec une certaine atténuation subséquente des effets, qui est toutefois suivie d'un retrait plus important. Dans le cas des échantillons de pin blanc (B), la présence du consolidant semble uniquement aggraver le retrait, puisque le retrait atteint 0,1 % pour l'immersion dans la solution de consolidant et seulement 0,06 % pour celle dans le toluène pur. Après 1200 heures de séchage, les échantillons de chêne blanc présentent encore un retrait de 0,08 % et ceux de pin blanc, un retrait d'environ 0,13 % par rapport à leur état initial.

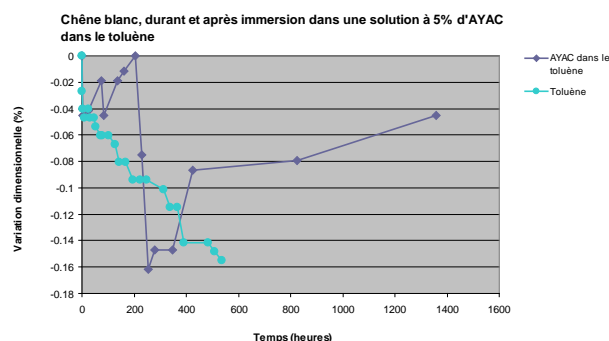
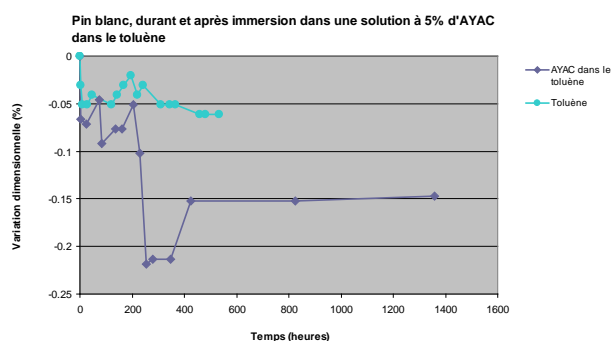
A**B**

Figure 10. Variation (en pourcentage) de la dimension radiale d'échantillons de chêne blanc et de pin blanc immergés dans une solution à 5 % d'AYAC dans le toluène ou immergés dans le toluène pur. Les courbes de séchage, après immersion, des échantillons exposés à une solution de consolidant sont aussi présentées.

La figure 10 illustre les résultats obtenus pour les échantillons de chêne blanc (A) et ceux de pin blanc (B) immergés dans une solution à 5 % d'AYAC dans le toluène et, par comparaison, les résultats équivalents pour l'immersion dans le toluène pur. Les échantillons ont été retirés de la solution de consolidant après 250 heures et ont été ensuite séchés pendant une période déterminée (les données de la figure 10 indiquent que cette période de séchage est de 1150 heures). Ceci est un autre cas où le solvant influence sur la réaction du chêne blanc comme sur celle du pin blanc, leur comportement étant en grande partie caractérisé par un retrait. Ce comportement est similaire à celui des échantillons immergés dans le toluène et dans une solution de B-72 (figure 9A et figure 9B), car les échantillons de chêne blanc (figure 10A) présentent un comportement non idéal, soit une certaine atténuation des effets de retrait qui est toutefois suivie d'un retrait plus important, tandis que les échantillons de pin blanc (figure 10B) présentent un accroissement global du retrait. Une fois séchés, les échantillons de chêne blanc retrouvent graduellement une bonne partie de leurs dimensions initiales, car ils présentent tout de même un retrait légèrement supérieur à 0,04 % après 1150 heures de séchage. Quant aux échantillons de pin blanc, leurs variations dimensionnelles correspondent à un retrait de 1,5 %.

Effets à long terme

Le tableau 2 comporte les résultats des mesures des dimensions et du poids des échantillons immergés dans des solutions de consolidant, après quatre mois de séchage. Les valeurs négatives correspondent à un retrait. Dans presque tous les essais réalisés, les échantillons conservent une certaine partie des variations dimensionnelles subies par immersion. De manière générale, ce sont les échantillons de pin blanc qui présentent les réactions les plus importantes, que ce soit en matière de maintien du gonflement ou du retrait. Ceux immergés dans une solution d'Aquazol 50 dans l'éthanol sont caractérisés, après la période de séchage, par un large retrait (-0,39 %) par rapport à leurs dimensions initiales, et ceux immergés dans une solution d'Aquazol 50 dans l'isopropanol suivent, à un moindre degré, la même tendance (-0,05 %). Les échantillons des deux essences de bois immergés dans une solution de Butvar B-79 dans le n-butanol présentent les variations les plus importantes, après le séchage à long terme, car ils conservent alors un gonflement de 0,44 % dans le cas du chêne blanc, et de 0,65 %, dans celui du pin blanc. À la suite de leur immersion dans une solution d'AYAC dans le toluène ou de

B-72 dans le toluène, les échantillons de chêne blanc retournent pratiquement à l'état qui les caractérisait avant le traitement, tandis que ceux de pin blanc présentent toujours un retrait. En ce qui a trait à la quantité de consolidant toujours présent dans les échantillons, les plus faibles gains de poids sont associés aux échantillons immergés dans une solution de Butvar B-79 dans le n-butanol ou d'Acryloid B-72 dans le toluène. D'autre part, ce sont les échantillons de chêne blanc et ceux de pin blanc immergés dans une solution d'AYAC dans le toluène qui présentent les gains de poids les plus importants. C'est la résine AYAC qui possède le plus bas poids moléculaire parmi tous les consolidants mis à l'essai et il est probable que son absorption à travers la structure du bois et dans les pores est plus facile que celle des consolidants ayant une structure moléculaire plus complexe. Tous les échantillons de bois (ceux de pin blanc et ceux de chêne blanc) immergés dans une solution d'Aquazol 50 dans l'éthanol présentent un gain de poids supérieur à celui des échantillons immergés dans une solution d'Aquazol 50 dans l'isopropanol. Dans ce cas particulier, ce pourrait être le gonflement accru du bois causé par l'éthanol qui est responsable de l'absorption plus efficace du consolidant.

Tableau 2. Variations dimensionnelles (en pourcentage) des échantillons, après quatre mois de séchage, et gains de poids connexes.

Solvants et solutions de consolidant	Variations dimensionnelles (en pourcentage), après quatre mois de séchage		Gain de poids	
	Chêne blanc	Pin blanc	Chêne blanc	Pin blanc
Éthanol + Aquazol 50	0,19	-0,39	2,29	5,60
Isopropanol + Aquazol 50	0,08	-0,05	1,58	2,30
n-Butanol + Butvar B-79	0,44	0,65	1,88	1,57
Toluène + Acryloid B-72	-0,04	-0,13	0,89	3,65
Toluène + AYAC	0	-0,15	2,66	11,90

Discussion

Rôle des solvants

Les résultats indiquent qu'il existe une corrélation entre les variations dimensionnelles du bois et son exposition aux solvants et que la nature des variations dépend du solvant. La polarité de celui-ci joue un rôle important à cet égard, selon les indications de Schniewind (1990), et selon certains auteurs (Stamm, 1935; de Bruyne, 1939; Jensen, 1997), le volume ou le poids moléculaire font de même. Plus un solvant est polaire, plus la capacité de gonflement est grande, et plus la molécule est petite, plus la probabilité qu'elle puisse pénétrer dans la paroi cellulaire, là où le gonflement se produit, est élevée. Les solvants ne peuvent provoquer le gonflement du bois qu'en empruntant les mêmes voies physico-chimiques que l'eau. Celle-ci existe sous deux formes dans le bois, soit celle de molécules adsorbées dans les parois cellulaires et celle de molécules libres, présentes dans les pores des cellules. Une fois que l'eau est absorbée dans les pores, elle subit, dans des conditions inférieures à celles du point de saturation des fibres, une diffusion au sein de la structure de la cellule, laquelle est régie par les

gradients d'humidité établis en travers des parois cellulaires (Kollmann, 1968, p. 220). Cette diffusion se produit par le biais d'un processus de saut moléculaire où les molécules d'une vapeur de composé polaire (l'eau) sont adsorbées sur les groupements hydroxyle de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine, aux interfaces solide-pore (Stamm, 1975, p. 104-106). Une fois que l'eau est adsorbée, elle entraîne le gonflement des parois cellulaires par interaction avec les groupements hydroxyle de la cellulose et de l'hémicellulose (Unger et coll., 2001, p. 21). Le gonflement n'est pas associé à l'absorption du liquide par la lumière (le cana médullaire) ou par les pores de la cellule (Siau, 1971, p. 5). Les bois de feuillus (comme celui du chêne) présentent un rapport des parois cellulaires et des pores plus élevé que les bois de résineux (comme celui du pin) et, comme le gonflement est proportionnel au volume d'eau adsorbée dans les parois cellulaires, il en découle que plus une essence de bois est dense, plus ses variations dimensionnelles seront importantes (Kollmann, 1968, p. 162). Les résultats des essais d'immersion de bois de feuillus et de bois de résineux dans des solvants purs confirment la validité de cette corrélation.

Un solvant qui possède un bas DMC et une forte polarité, par exemple l'éthanol, peut rapidement remplacer l'eau présente dans les parois cellulaires, ce qui provoque leur gonflement, car le bois est saturé de solvant. Les solvants moins polaires et dont la structure moléculaire est plus grande, soit l'isopropanol et le n-butanol, peuvent pénétrer dans les parois cellulaires et forcer l'évacuation de l'eau, mais ils ne peuvent remplacer l'eau aussi facilement que l'éthanol qui est plus polaire. Ce fait pourrait expliquer le retrait initial, suivi du gonflement graduel, que subit le bois exposé à ces solvants particuliers. Dans le cas du toluène, le DMC des molécules est trop large pour leur permettre de pénétrer dans les parois, et même si c'était le cas, comme pour les molécules de pentane qui sont plus petites, ces solvants non polaires ou peu polaires ne peuvent avoir accès aux groupes hydroxyle réactifs et interagir avec ceux-ci, ce qui exclut la possibilité de gonflement. Finalement, lors de l'étape où l'eau se retire des cellules, le bois subit un retrait.

Solutions de consolidant

Les solvants régissent le comportement dimensionnel du bois et les consolidants qui sont présents dans des solutions où le solvant provoque le gonflement, par exemple l'éthanol, l'isopropanol et le n-butanol, accroissent la capacité de gonflement du solvant. Les effets des consolidants dissous dans un solvant qui entraîne le retrait du bois, par exemple le toluène, sont plus complexes et ils pourraient être associés à la densité (masse volumique) du bois. Dans le cas du bois plus dense, le consolidant dissous dans le toluène entraîne une légère inhibition du retrait, mais à l'inverse, il amplifie ce processus pour les échantillons de bois de résineux. Schniewind (1990) rapporte que pour un certain nombre de solutions de consolidant, le gonflement tangentiel d'échantillons de douglas de Menzies est en grande partie éliminé après une période de quatre semaines. Les résultats de la présente étude démontrent que les échantillons séchés pendant quatre mois retrouvent en partie leurs dimensions initiales, notamment les échantillons de chêne blanc immergés dans une solution d'AYAC dans le toluène ou d'Acryloid B-72 dans le toluène. Des variations à long terme sont toutefois évidentes pour la plupart des autres échantillons, particulièrement tous ceux de pin blanc, pour lesquels le retrait ou le gonflement, après quatre mois de séchage, est plus important que pour les échantillons de chêne blanc. Ceci n'est pas attribuable à la quantité de consolidant absorbé par le bois, car il n'existe pas de corrélation entre le gain de poids et les variations dimensionnelles.

Dans la plupart des cas, les échantillons de pin blanc présentent une réduction dimensionnelle qui se prolonge pendant un certain temps, voire qui est permanente, particulièrement dans le cas des échantillons immergés dans une solution d'Aquazol 50 dans l'éthanol. Le retrait en question peut être imputable à l'effondrement cellulaire causé par la formation de gradients de pression dans les parois des cellules et entre la paroi cellulaire et les pores, lors de la perte de solvant qui se produit au cours de la période de séchage. Il est possible que le consolidant encore présent dans les pores des cellules empêche le bois de reprendre ses dimensions initiales lors du séchage.

Conclusions

Les variations dimensionnelles peuvent se produire au cours d'un intervalle normal de traitement. Le gonflement du bois entraîne la formation de craquelures, tandis que son retrait cause son gauchissement ainsi que la compression et la délamination des couches décoratives. Les essais ont été réalisés sur des échantillons de bois en bon état, mais il faut souligner que les essences de bois qui composent les objets historiques réagiront aussi aux effets des solvants (Buck, 1952; Erhardt et coll., 1996; Unger et coll., 2001). Les présents travaux de recherche avaient pour objectif de mieux comprendre le comportement du bois immergé dans des solvants courants et dans des solutions de consolidant, et d'amorcer la caractérisation de ces différents comportements. Il n'a pas encore été possible d'établir clairement quelle est la meilleure méthode de traitement, mais des résultats d'intérêt sont présentés dans le présent article, notamment en ce qui a trait au gonflement et au retrait qui sont causés par les solvants et les solutions de consolidant. Il faudra exécuter des travaux additionnels pour caractériser le comportement de diverses essences de bois exposées à des solvants et consolidants particuliers, afin de pouvoir identifier des combinaisons adéquates qui réduisent au minimum les variations dimensionnelles du bois.

Remerciements

Nous tenons à remercier Alastair Fox et James Hay, restaurateurs de l'ICC spécialisés dans le mobilier et les arts décoratifs, pour leur aide et leurs conseils précieux.

Références

Alderson, S. « Polyvinyl Acetate Resin », <http://cool.conservation-us.org/byform/mailling-lists/cdl/2008/1342.html> (document mis en ligne le 8 décembre 2008 et consulté le 11 janvier 2011)

Baker, W. et D. Grattan. « Search for a Dimension-neutral Effect in the Solvent Treatment of Wood », résumé d'une présentation par affiche, dans *Panel Paintings Initiative, Facing the Challenges of Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments and Training* [Los Angeles, 17 et 18 mai 2009], Los Angeles, Getty Conservation Centre, publication en attente.

Baker, W., and D. Grattan. « Mapping and Predicting the Action of Organic Solvents on Wood: Search for a Dimension-neutral Effect », article présenté dans le cadre de *Wooden Artifacts Specialty Session, American Institute for Conservation Conference* [Milwaukee, 11 au 14 mai 2010], Milwaukee, AIC, non publié.

Barclay, R. « Consolidation d'une pompe à incendie », p. 43-45, dans *Comptes rendus du symposium sur le mobilier et les objets en bois* [Ottawa, 2 et 3 juillet 1980], Ottawa, Institut canadien de conservation, 1980.

Buck, R.A. « A Note on the Effect of Age on the Hygroscopic Behaviour of Wood », *Studies in Conservation*, 1, 1 (1952), p. 39-44.

de Bruyne, N.A. « The Swelling of Wood: An Analysis of the Swelling Resulting from Absorption of Various Liquids », *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 11, 2 (1939), p. 44-46.

Erhardt, D., M. Mecklenburg, C. Tumosa et T. Olstad. « New Versus Old Wood: Differences and Similarities in Physical, Mechanical and Chemical Properties », p. 903-910, dans *Proceedings of the 11th Triennial Meeting of the International Committee for Conservation* [Édimbourg (Écosse), 1^{er} au 6 septembre 1996], Londres, James and James, 1996.

Grattan, D. « Agents de consolidation pour objets en bois dégradé et endommagé », p. 27-42, dans *Comptes rendus du symposium sur le mobilier et les objets en bois* [Ottawa, 2 et 3 juillet 1980], Ottawa, Institut canadien de conservation, 1980.

Green, D., J. Winandy et D. Kretschmann. « Mechanical Properties of Wood », dans *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*, Madison (Wisconsin), USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report, 1999.

Jensen, P. « Sorption of Water and Watersoluble Agents in the Waterlogged Wooden Cell Wall », p. 399-434, dans *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* [York, 9 au 13 septembre 1996], Bremerhaven, ICOM, 1997.

Kollmann, F.F.P. « Physics of Wood », p. 160-291, dans *Principles of Wood Science and Technology, volume 1: Solid Wood* (F.F.P. Kollmann et W.A. Coté, éd.), New York, Springer-Verlag, 1968.

Mantanis, G.I., R.A. Young et R.M. Rowell. « Swelling of Wood Part 2, Swelling in Organic Liquids », *Holzforschung*, 48 (1994), p. 480-490.

Mantanis, G.I., R.A. Young et R.M. Rowell. « Swelling of Wood Part 4, A Statistical Model for Prediction of Maximum Swelling of Wood in Organic Liquids », *Wood and Fiber Science*, 27, 1 (1995), p. 22-24.

Payton, R. « The Conservation of an Eighth Century B.C. Table from Gordion », p. 133-137, dans *Preprints of the Contributions to the IIC Paris Congress: Adhesives and Consolidants* [Paris, 2 au 8 septembre 1984], Londres, Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques (IIC), 1984.

Schniewind, A.P. « Solvent and Moisture Effects in Deteriorated Wood Consolidated with Soluble Resins », *Holz als Roh und Werkstoff*, 48, 1 (1990), p. 11-14.

Schniewind, A.P. « Consolidation of Wooden Panels », p. 87-109, dans *Proceedings of a Symposium: The Structural Conservation of Panel Paintings* [J. Paul Getty Museum, Los Angeles, 24 au 28 avril 1995], Los Angeles, Getty Conservation Institute, 1998.

Schniewind, A.P. et D.P. Kronkright. « Strength Evaluation of Deteriorated Wood Treated with Consolidants », p. 146-150, dans *Preprints of the Contributions to the IIC Paris Congress: Adhesives and Consolidants* [Paris, 2 au

8 septembre 1984], Londres, Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques (IIC), 1984.

Siau, J.F. « *Flow in Wood* », Syracuse, Syracuse University Press, 1971.

Stamm, A.J. « Swelling of Wood », *US Forestry Products Laboratory Report No. R1061*, 1934.

Stamm, A.J. « Shrinking and Swelling of Wood », *Industrial and Engineering Chemistry*, 27, 4 (1935), p. 401-406.

Stamm, A.J. « Solid Modified Woods », p. 94-149, dans *Principles of Wood Science and Technology, vol. II Wood Based Materials* (F.P. Kollmann, E.W. Kuenzi et A.J. Stamm, éd.), New York, Springer-Verlag, 1975.

Unger, A., A.P. Schniewind et W. Unger. « *Conservation of Wooden Artifacts, a Handbook* », New York, Springer-Verlag, 2001.

Wang, Y. et A.P. Schniewind. « Consolidation of Deteriorated Wood with Soluble Resins », *Journal of the American Institute for Conservation*, 24 (1985), p. 77-99.

Werner, A.E. « Consolidation of Deteriorated Wooden Artifacts », p. 17-21, dans *Proceedings of the International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property-Conservation of Wood [Tokyo (Japon), 24 au 28 novembre 1977]*, Tokyo, National Research Institute of Cultural Properties, 1978.

Matériaux et fournisseurs

Acryloid B-72 (Paraloid B-72)

Rohm and Haas Canada
2, ch. Manse
Scarborough (Ontario) Canada
Tél. : 416-284-4711

AYAC

Union Carbide (Dow Chemical Company)
Les résines utilisées dans le cadre de la présente étude, qui nous avaient été fournies en 2002 par la société Conservation Emporium, de Sparks, au Nevada, aux États-Unis, étaient fabriquées par la société Union Carbide (Dow Chemical Company). Celle-ci ne fabrique plus de résines à partir de PVAC. Certaines résines de ce type sont actuellement disponibles sur le marché (fabricant indéterminé), mais elles ne constituent pas des équivalents identiques des produits de la Union Carbide. Les températures de transition vitreuse et les poids moléculaires sont notamment différents.

Aquazol 50

Polymer Chemistry Innovations Inc.
4231 South Fremont Avenue
Tucson (Arizona) États-Unis
Tél. : 520-746-8876

Butvar B-79

Monsanto Company
5054 W. Jefferson Avenue
Trenton (Michigan) États-Unis
Tél. : 313-675-5444

Éthanol (alcool éthylique anhydre, teneur en eau de 0,1 %)

Commercial Alcohols Inc.
98, rue Walker
Brampton (Ontario) Canada
Tél. : 905-790-7500

Isopropanol (alcool isopropylique, teneur en eau de 0,2 %, certifié ACS)

Canada Wide Scientific
2300, ch. Walkley
Ottawa (Ontario) Canada
Tél. : 1-800-267-2362

n-Butanol (butan-1-ol, certifié ACS)

Thermo Fisher Scientific
112, ch. Colonnade
Nepean (Ontario) Canada
Tél. : 613-226-8874

Toluène (certifié ACS, teneur en eau de 0,006 %)

Thermo Fisher Scientific
112, ch. Colonnade
Nepean (Ontario) Canada
Tél. : 613-226-8874

Biographies et coordonnées des auteurs

Wendy A. Baker est diplômée du programme de conservation-restauration de l'Université Queen's, à Kingston en Ontario (1977 à 1979). Après avoir travaillé un certain temps dans le secteur privé, où elle avait ouvert un studio spécialisé en restauration de tableaux, elle fait son entrée en 2002 au laboratoire des beaux-arts de l'Institut canadien de conservation. Dans le cadre de ses fonctions, elle effectue des traitements de restauration de peintures, réalise des travaux de recherche sur les techniques et les matériaux de restauration et veille à l'apprentissage des stagiaires.

Coordonnées :
Institut canadien de conservation
1030, chemin Innes
Ottawa (Ontario) K1A 0M5 Canada
Tél. : 613-998-3721, poste 271
Courriel : wendy.baker@pch.gc.ca

David W. Grattan a obtenu un diplôme en chimie à l'Imperial College de l'Université de Londres en 1968, et il a consacré les deux années subséquentes à des travaux de recherche industrielle à l'International Synthetic Rubber Company. Il poursuit ses études et obtient un doctorat en chimie des polymères à l'Université de Keele (1973), puis il passe quatre ans à mener des travaux de recherche au niveau postdoctoral au Conseil national de recherches du Canada sur la cinétique des gaz, puis sur la stabilité à la lumière des polymères. M. Grattan commence à travailler à l'Institut canadien de conservation (ICC) en 1977, où il s'est d'abord attaqué aux problèmes des bois gorgés d'eau. Il continue de mener des recherches sur les applications scientifiques utiles pour la restauration du bois. Il a occupé la présidence du Comité pour la conservation du Conseil international des musées (ICOM-CC) durant deux mandats consécutifs, de 1996 à 2002; il a également siégé plusieurs années au conseil d'administration de l'Abstracts of International Conservation Literature (AATA). En février 2011, il a quitté son poste de directeur de la recherche en conservation à l'ICC pour prendre sa retraite.

Coordonnées :
Directeur de la recherche en conservation (à la retraite)
Institut canadien de conservation
Courriel : dwgrattan@gmail.com

Author Biographies and Contact Information

Wendy A. Baker is a graduate of the Art Conservation Program at Queen's University, Kingston, Ontario (1977–1979). After working for a number of years in the private sector where she maintained a studio specializing in the conservation of paintings, she joined the Fine Arts Laboratory of the Canadian Conservation Institute in 2002. Her duties now include conservation treatments of paintings, research into conservation techniques and materials, and the training of interns.

Contact Information:
Canadian Conservation Institute
1030 Innes Road
Ottawa ON K1A 0M5 Canada
Tel.: 613-998-3721 ext. 271
E-mail: wendy.baker@pch.gc.ca

David W. Grattan earned a degree in Chemistry from Imperial College, University of London in 1968, and spent the next 2 years in industrial research at the International Synthetic Rubber Company. He continued his education with a PhD in Polymer Chemistry from the University of Keele (1973) followed by 4 years of postdoctoral research at the National Research Council of Canada, involving gas kinetics and then the light stability of polymers. David joined the Canadian Conservation Institute (CCI) in 1977, where he began his conservation career immersed in the problems of waterlogged wood. He maintains an active research interest in the application of science to the conservation of wood. David was Chair of the International Council of Museums – Committee for Conservation (ICOM-CC) for two successive terms from 1996 to 2002, and also served on the board of Abstracts of International Conservation Literature (AATA) for a number of years. He retired as Manager of Conservation Research at CCI in February 2011.

Contact Information:
Manager of Conservation Research (retired)
Canadian Conservation Institute
E-mail: dwgrattan@gmail.com