

Dépôt légal n°D/1980/0480/7.

Edité par: Service d'Archéologie Préhistorique et  
Centre Interdisciplinaire de Recherches Archéologiques.  
12, Avenue Rogier B-4000 Liège

La synthèse présentée ici reprend les données principales d'un mémoire de licence (1). Afin de donner au présent article un aspect essentiellement pratique, l'objectif sera, après une étude rapide du bois et du milieu, un exposé des différentes possibilités de traitement, trop souvent méconnues. L'intérêt d'un tel travail est de faire le point sur une recherche, dont l'évolution nécessite une mise à jour régulière, mais aussi de proposer une analyse des différents procédés, de leurs avantages et de leurs inconvénients. Ce dernier aspect est peut-être le plus important puisqu'il permettra, je l'espère, le choix adéquat d'une méthode. Un index des noms commerciaux et des producteurs nommés dans le texte est joint à cet article afin de faciliter le travail de recherche.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Mademoiselle Hélène Danthine, professeur à l'Université de Liège et à Madame Marguerite Ulrix-Closset, chef de travaux à l'Université de Liège, pour les conseils et les encouragements qu'elles m'ont prodigués. Je remercie également le Dr. J. de Jong et Messieurs A. Wevers et W. Eenkhoorn qui m'ont accueillie et guidée dans le laboratoire du Rijksdienst voor de Ijsselmeerpolders.

## I. DONNEES GENERALES

### 1. Les caractéristiques du bois

Le bois est principalement constitué de cellulose; ce polymère, basé sur des unités de glucose, domine à raison de 50 % en moyenne (Fig.1). Les unités constituantes s'unissent les unes aux autres pour former de très minces faisceaux, les micelles, qui assemblés forment une fibrille élémentaire. Plusieurs de ces fibrilles s'organisent pour donner une microfibrille; les fibres que l'on distingue au microscope sont un assemblage d'une vingtaine de ces microfibrilles. C'est la cellulose qui donne sa dureté au bois, probablement à cause de sa structure en chaîne. Enfin, dans la molécule de cellulose, les groupes hydroxyles terminaux ont un rôle important: ils absorbent les molécules d'eau et contribuent au gonflement.

La lignine est le second constituant du bois; son pourcentage oscille entre 20 et 30 %. Sa composition n'est pas encore totalement définie mais les chercheurs sont unanimes à

---

(1) La conservation du bois gorgé d'eau: problèmes et traitements.  
Mémoire de licence en histoire de l'art et archéologie.  
Université de Liège, année académique 1978-79.

dire qu'il s'agit d'un matériau inerte et insoluble dont les unités sont reliées par des liens complexes et irréversibles. Cette structure explique probablement sa résistance considérablement plus importante que celle de la cellulose. L'apport de la lignine paraît coïncider avec le vieillissement de l'arbre et assure la rigidité du bois.

La paroi cellulaire contient encore des hémicelluloses dans des proportions allant de 10 à 20 %. Ces dernières se dissocient difficilement de la cellulose et semblent conférer à la membrane cellulaire une rigidité qui sera renforcée dans la suite par la lignine.

Les extraits, enfin, interviennent pour une faible part dans la composition du bois mais ils sont très nombreux; la plupart sont localisés dans le coeur. Ils regroupent dans les cellules mortes, les résines, les substances colorantes, le tanin, ... Dans les cellules vivantes, les extraits comprennent les amidons, les sucres et les matières albuminoïdes. Des substances inorganiques ou minérales viennent encore s'y ajouter.

La cellule du bois est constituée de deux parties distinctes : la cavité cellulaire contenant le noyau et le protoplasme et la membrane cellulaire formée de deux parois. La cellulose et les hémicelluloses se combinent dans les parois primaire et secondaire tandis que la lignine, présente aussi dans la paroi secondaire, est surtout abondante dans la lamelle moyenne qui sépare deux cellules.

Certaines particularités favorisent une bonne conservation du bois et l'une des principales est la transformation de l'aubier en duramen. Ce phénomène, qui accompagne le vieillissement de l'arbre, est le résultat de modifications structurales combinées à un changement dans la composition chimique. L'aubier dont la perméabilité est due aux vaisseaux larges et ouverts ne peut donc rivaliser en résistance avec le coeur ou duramen dont les voies de conduction, devenues inutiles, sont bouchées par des excroissances nommées thylls. Des dépôts de substances nouvelles : résine, tanin, substances toxiques, ... ajoutent encore à la résistance du coeur.

Des différentes propriétés physiques du bois, je n'ai retenu que l'hygroscopicité du matériau, l'aspect le plus important relatif au sujet traité. Le bois contient de l'eau sous trois formes :

- l'eau de constitution liée chimiquement à la matière ligneuse et présente également dans le bois à l'état anhydre;
- l'eau libre répartie dans les cavités cellulaires;
- l'eau d'imprégnation absorbée par les parois des cellules.

Pour rester en état d'équilibre avec l'atmosphère environnante, le matériau absorbe ou abandonne de l'eau. Ces variations s'accompagnent de changements dimensionnels : les phénomènes de gonflement et de retrait. Le gonflement est suscité par l'absorption de molécules d'eau se logeant entre

les micelles; les groupes hydroxyles de la cellulose jouent un rôle important dans ce phénomène. Lors du séchage, le bois perd d'abord son eau libre alors que l'eau d'imprégnation est encore retenue dans la membrane cellulaire; à ce stade, le point de saturation des fibres, situé à peu près à 30 %, est atteint. Au-delà, l'évacuation de l'eau d'imprégnation entraîne une diminution de poids et de volume puisque les distances entre les micelles diminuent et cela jusqu'à l'obtention d'un état d'équilibre. Le retrait engendré n'est pas identique dans toutes les directions et crée alors une déformation de la pièce.

## 2. Le bois gorgé d'eau

Le degré d'altération et le comportement du bois revenu à l'air libre sont des facteurs dont il faut tenir compte lors du choix d'un traitement.

Une comparaison entre du bois normal et différents échantillons prélevés lors de fouilles met en évidence les changements intervenus dans la composition chimique du matériau (tableau I). On remarque une perte importante de cellulose et une augmentation de la teneur en lignine et de la quantité de substances minérales. L'augmentation du taux de lignine est à mettre en rapport direct avec la perte de cellulose tandis que le pourcentage des substances minérales résulte de l'infiltration de substances étrangères en provenance du milieu dans lequel le bois a séjourné. Le taux d'humidité indique souvent le degré d'altération: plus un bois a perdu de cellulose, plus il est altéré et plus il est humide. Ce tableau attire aussi l'attention sur deux particularités importantes: une différence de résistance entre l'aubier et le coeur, qui s'explique par les modifications déjà signalées, et une différence dans le degré de décomposition des couches extérieures et des parties intérieures. Cette dernière caractéristique semble prouver que la décomposition débute de l'extérieur vers l'intérieur.

La modification de la composition chimique se répercute sur la structure anatomique. Souvent, il ne subsiste plus que la lamelle moyenne riche en lignine et une mince paroi primaire. La paroi secondaire est absente ou contractée et libre dans le lumen (El. Barghoorn, 1949, p.74-83). Dans ce cas, la dégradation a débuté à l'intérieur de la cellule et la forme de l'objet n'est plus maintenue que par un squelette de lignine rempli d'eau. On rencontre plus rarement un autre type de détérioration qui commence par la lamelle moyenne et les parois avoisinantes et aboutit à une masse informe de cellules isolées.

L'affaiblissement de la structure cellulaire va naturellement influencer les propriétés physiques et mécaniques du bois. Ce dernier est mou et supporte à peine son propre poids, ce qui explique les difficultés rencontrées par les fouilleurs lors de son dégagement. Sa résistance a fortement diminué et

les phénomènes de retrait et de gonflement se trouvent également modifiés. En effet, même lorsque la composition chimique n'a que peu changé, le retrait est parfois extrêmement important. Transposé dans un milieu humide, le matériau tend vers un état d'équilibre et absorbe de l'eau mais il subit également une modification chimique qui affaiblit les parois et les rend plus perméables. Les cavités ainsi formées sont comblées d'eau et l'objet conserve sa forme. Cette eau demeure dans le bois lorsque ce dernier a atteint un état d'équilibre avec le milieu environnant et elle n'est éliminée que si l'objet revient à l'air. Contrairement au bois frais dont le retrait n'est sensible qu'à partir de 30 % (point de saturation des fibres), dans le bois saturé d'eau, le même phénomène se marque bien avant le point de saturation, à des pourcentages de 50 à 60 % d'eau par rapport à la matière humide.

Ce retrait entraîne des réactions diverses: déformation totale, apparition de fentes ou formation d'une surface écaillée en damier. Ces accidents révèlent des degrés de décomposition variables entre la surface et la partie intérieure; les couches extérieures, plus touchées, réagissent différemment et des tensions apparaissent entre les deux parties de la pièce. Dans d'autres cas, les parois cellulaires, très affaiblies, ne peuvent résister à la tension superficielle exercée par l'eau qui s'évapore et le bois s'affaisse.

L'assombrissement rapide de la couleur naturelle conservée par le bois pendant son enfouissement est le fait de l'oxydation des acides humiques et de leurs produits résiduels.

Ces réactions du matériau s'observent à différents degrés d'intensité qui correspondent à des stades de décomposition. Le comportement varie selon qu'il s'agit d'aubier ou de duramen (surtout dans le cas du chêne), des couches superficielles ou de la partie intérieure ou encore selon les essences: le chêne se conserve souvent mieux que le bouleau. C'est à B. Brorson Christensen que l'on doit un essai de systématisation sur les bois des bateaux de Roskilde (B.Brorson Christensen, 1970, p.51 et 74-77). Ces bois sont classés en trois catégories. La condition A se distingue par une perte importante de cellulose, une structure cellulaire réduite à la lamelle moyenne et aux parois primaires voisines et un retrait allant parfois jusqu'à engendrer un affaissement. La condition C, très proche de la composition chimique du bois frais, conserve généralement une structure presque intacte avec une paroi secondaire toujours présente; le retrait subi par ce matériau est faible. Entre ces deux extrêmes, on trouve un bois de condition B, moyennement dégradé avec une paroi secondaire encore présente, mais dont les réactions sont plus sensibles que celles du bois de condition C. Ces différents stades existent à des profondeurs très variables (Fig.2). Récemment, ce type de classement a été repris et perfectionné par J. de Jong après une étude sur des bateaux découverts à Utrecht et à Zwammerdam (J. de Jong, 1975, p.7-8). Trois catégories sont distinguées dans le chêne.

- I. très détérioré : quantité d'eau: 80 % du matériau humide (400 % ou plus du matériau sec);  
perte presque totale de cellulose;  
retrait au séchage allant jusqu'à 70 %.
- II. moyennement détérioré : quantité d'eau: 65 à 80 % du matériau humide; retrait et fissuration importants au séchage;
- III. faiblement détérioré : quantité d'eau: moins de 65 % du matériau humide (moins de 185 % du matériau sec).

Ces différentes catégories ont stimulé les recherches et, actuellement, à chaque condition correspond un traitement assurant le meilleur résultat. Cependant, la difficulté n'est pas définitivement résolue; dans un grand nombre de cas, les catégories se côtoient et le problème se pose à nouveau.

La nécessité de fournir des données précises sur l'état de détérioration du bois découvert devrait donc être une des préoccupations des archéologues et des conservateurs. Ces précisions faciliteraient la comparaison avec les catégories déjà déterminées et, par conséquent, le choix du traitement à appliquer.

### 3. Le processus de décomposition

Après son enfouissement, le bois subit une double attaque physico-chimique et biologique. Le processus physico-chimique, conditionné par l'environnement, élimine les substances les moins durables. La voie est ainsi ouverte à des microorganismes, spécifiques au milieu, dont l'attaque se concentre essentiellement sur la cellulose et les hémicelluloses. Cette activité se prolonge aussi longtemps que les conditions du milieu environnant, principalement l'existence d'oxygène, le permettent et il se forme ainsi un squelette de lignine. Toutefois, cette dernière aura subi une modification pour libérer la cellulose assimilée par les microorganismes (W. von Kramer, Br. Mühlethaler, 1968, p.85).

Lors de sa découverte, le bois saturé d'eau est replacé dans un milieu aérobie et de nouveaux microorganismes l'attaquent. Il sera donc nécessaire de le protéger avec un fongicide en attendant le traitement final.

#### L'importance du milieu

=====

Le milieu est un facteur déterminant : il conditionne les types d'altération auxquels les objets sont soumis pendant leur enfouissement mais influence aussi la plus ou moins bonne conservation de la pièce après sa découverte et sa transplantation dans un nouvel environnement.

Un milieu se caractérise par de nombreuses propriétés dont les principales sont :

- la texture du sol. Elle est déterminée par la taille des particules dont le sol est formé. Les activités chimiques et organiques, plus développées dans les niveaux supérieurs, y accélèrent le processus de dégradation.
- la constitution du sol et son degré d'acidité (pH). Le sol est formé de nombreux constituants, présents sous la forme de solides, de liquides et de gaz. Les solides regroupent la silice, des silicates divers et des composants métalliques. Les liquides se réduisent presque exclusivement à l'eau de pluie. Quant aux gaz, les plus communs sont le dioxyde de carbone, le nitrogène, l'oxygène et l'hydrogène. Ces constituants réagissent entre eux et font de la solution du sol un électrolyte.

Un sol acide est essentiellement composé de silice et de silicates pauvres en bases (substances minérales) et possède un pH inférieur à 7. Ce type de sol se trouve là où la roche-mère est acide et dans les régions où les précipitations excèdent l'évaporation. Un sol basique, par contre, est riche en composants métalliques et son pH est supérieur à 7. Il se développe sur un sous-sol alcalin et dans les régions où l'évaporation excède les précipitations. Le climat, dont le degré d'humidité et la température sont les facteurs principaux, est ainsi à la base de toute activité dans les sols.

Le phénomène de décomposition diffère selon les sols : un objet en bois se conserve généralement bien et sur de longues périodes dans un sol acide alors qu'il est rapidement décomposé dans un milieu alcalin (Mary-Lou Florian, 1977, p.11). Néanmoins, dans un sol acide, le processus d'altération peut être tout aussi rapide pour autant que le milieu soit aéré (J.G.Evans, Susan Limbrey, 1974, p.186 et 192).

- le degré d'humidité et d'aération d'un sol. La décomposition chimique nécessite un certain degré d'humidité mais là où les pores du sol imbibés d'eau ne donnent pas à l'oxygène la possibilité de pénétrer en profondeur, le processus de détérioration, actif dans un premier temps, ralentit après la disparition de l'oxygène. Le phénomène inverse, une dégradation rapide due à l'introduction d'oxygène lors du drainage d'un sol jusque là saturé d'eau, se rencontre également (J. de Jong, 1978, p.4-5). L'oxygène est donc nécessaire à la croissance et à la vie des organismes destructeurs et son absence réduit considérablement le processus de décomposition qui se limite alors à l'action des micro-organismes anaérobies (J.C. Mac Cawley, 1977, p.17).

Certains milieux sont ainsi particulièrement favorables à la conservation des matières organiques, du bois notamment. Ce sont les milieux anaérobies tels que les dépôts lacustres, les marais, les tourbières, la mer et les gleys. Ces derniers sont des sols hydromorphes que l'on rencontre fréquemment dans des plaines alluviales peu ou pas drainées et dans les régions où une nappe d'eau est proche de la surface.

L'eau des lacs, comme celle des rivières, contient des substances minérales diverses arrachées aux roches traversées par l'eau et transportées en solution ou en suspension. Ces substances seront déposées en partie dans le bois séjournant dans le lac ou la rivière que cette eau alimente; de là, les différences à la fois dans le pourcentage et la diversité de ces minéraux.

### Les agents biologiques

=====

#### Les animaux xylophages

Dans le processus de décomposition du bois gorgé d'eau, les animaux xylophages n'interviennent que d'une façon secondaire mais l'action des xylophages marins mérite d'être brièvement étudiée. Ces derniers exercent leur activité en mer et regroupent des mollusques et des crustacés. Pour attaquer le bois, ils ont recours à un dispositif du type broyeur qui permet à certains d'assimiler, comme nourriture, des matériaux plus ou moins durs.

Les mollusques sont représentés surtout par le taret et la pholade. Le taret comprend plusieurs espèces et se présente sous la forme d'un ver. Il vit généralement dans des eaux claires et très salines et attaque le bois dans sa partie immergée grâce à une coquille à deux valves garnies de fines stries permettant de râper le matériau. La pholade est une autre espèce de mollusque également protégée par une coquille armée d'un dispositif de râpe. Elle se loge dans des trous creusés dans toutes les matières plus tendres que sa coquille.

Les crustacés comprennent aussi diverses espèces. Armés de mandibules, ils vivent et se déplacent en troupe et leur attaque ne se limite pas à une seule pièce de bois.

Les dégâts causés sont visibles à de petits trous signalant en surface l'entrée d'une galerie. Toutefois, il est rare de découvrir des traces de l'activité de ces xylophages marins sur des épaves immergées. Sur le Wasa, par exemple, aucune attaque du taret n'a été observée, probablement en raison du manque d'oxygène, d'une température basse et d'une faible teneur en sel (L.Barkman, 1969, p.141).

#### Les champignons et les bactéries

Le rôle des champignons est essentiel dans la décomposition du bois. Cette forme de vie végétale, que l'on a scindée en deux groupes: les champignons supérieurs ou Basidiomycètes et les champignons moins évolués: Ascomycètes, Fungi Imperfecti, bactéries..., ne possède pas la chlorophylle nécessaire pour transformer le dioxyde de carbone de l'air en substance nutritive. Ces organismes se nourrissent, par conséquent, de substances insolubles qu'ils réduisent à leur forme simple par la production d'enzymes; la cellulose donne ainsi un produit final sous forme de glucose soluble.

Le champignon possède une constitution assez complexe et requiert des conditions particulières pour se développer. Un environnement favorable à la croissance de fungus répond à de multiples conditions :

- la température doit généralement se maintenir entre 25 et 30° C. Dans certains cas, la croissance peut se dérouler à des températures inférieures tandis que des températures supérieures accélèrent le développement.
- l'oxygène est indispensable à la réalisation du métabolisme mais certains types de fungus se contentent de l'oxygène dissous dans l'eau. Dans des conditions anaérobies, aucun fungus ne se développe.
- l'humidité doit présenter un taux moyen de 35 à 50 %. Quelques fungus croissent néanmoins à des degrés d'humidité de beaucoup inférieurs.

Ces deux dernières conditions ont tendance à se modifier au cours du processus de décomposition puisque les produits qui résultent de la respiration de ces organismes sont l'eau et le dioxyde de carbone (Fr.Kollmann, W. Coté, 1968, p.107-110).

L'activité des bactéries joue un rôle important; elles sont les premières à pénétrer le bois. Celles qui se nourrissent de cellulose et de pectine s'attaquent aux fines membranes fermant les ponctuations ou voies de passage de la paroi cellulaire. Le matériau, rendu perméable, devient alors un terrain favorable au développement de nouveaux organismes. Les bactéries peuvent aussi modifier les conditions du milieu en favorisant une diffusion d'oxygène propice à l'apparition de champignons (J.F. Lévy, 1977, p.20). L'activité des bactéries est aussi la seule décelée dans des conditions anaérobies (Mary-Lou Florian, 1977, p.13).

Parmi les champignons, les moisissures et les fungus des taches de sève (Ascomycètes et Fungi Imperfecti) sont les moins dommageables au bois. Les premières concentrent presque exclusivement leur attaque à la surface parce qu'elles ne possèdent pas les enzymes nécessaires à la décomposition de la paroi cellulaire. Les seconds se nourrissent uniquement des réserves emmagasinées dans les cellules des parenchymes et n'altèrent pas réellement la structure, donc la solidité du bois.

Trois types de pourriture entraînent une décomposition plus importante du matériau. Se nourrissant des principaux constituants de la membrane cellulaire, ces champignons conduisent à une altération partielle ou totale de cette dernière. Les fungus de la "pourriture brune" (Basidiomycètes) détruisent la cellulose et les hémicelluloses. Ils semblent s'attaquer de préférence aux bois tendres. Au cours de leur décomposition, les parois cellulaires conservent une certaine épaisseur jusqu'à un degré de détérioration avancé. Cette altération aboutit à une diminution de la dureté du bois et à un retrait important lors du séchage. La "pourriture blanche"

(Basidiomycètes) s'attaque à tous les constituants de la paroi cellulaire. Cette dernière subit un amincissement graduel qui débute dans le lumen et se poursuit vers la lamelle moyenne; la paroi est donc érodée par l'intérieur. Ce type de dégradation se constate surtout dans les bois durs et le retrait du bois ainsi attaqué est moindre que celui du bois altéré par la "pourriture brune". Enfin, la pourriture molle (Ascomycètes et Fungi Imperfecti) est l'altération la plus fréquente des bois immergés dans l'eau ou en contact avec un sol humide. Elle détruit la cellulose mais son attaque se concentre sur une mince surface qui devient très tendre; sous cette dernière, le bois est généralement sain. La surface tendre se fissure finement en damier lors du séchage.

Ces différents types d'altération ne s'observent qu'en milieu aérobie. Seules quelques bactéries poursuivent l'oeuvre de destruction dans des conditions anaérobies.

La réaction du bois mis au jour dépend donc du type de décomposition auquel l'objet a été soumis. Une meilleure connaissance de ces organismes destructeurs réduirait probablement les dangers auxquels la pièce est exposée lors du séchage. Dans cette optique, le fouilleur doit donner le plus de précisions possibles sur les conditions de la découverte, essentiellement l'état du bois, le type d'altération subie et le milieu dans lequel le matériau s'est trouvé enfoui.

## II. LES TRAITEMENTS DE CONSERVATION

### 1. L'historique

La conservation du bois a débuté très tôt dans la seconde moitié du XIXe siècle. La première préoccupation a été d'assurer la protection du bois entre le moment de sa découverte et le début du traitement. Diverses méthodes ont été adoptées mais le principe reste identique et vaut encore actuellement: conserver le bois dans son état humide afin d'éviter l'apparition de déformations et de fissures. Les pièces étaient entourées d'argile, de mousse, de sable, de linges, d'ouate et autres matières imbibées d'eau. Avec le temps, quelques idées nouvelles sont apparues: ajouter de la formoline ou du phénol à l'eau dans laquelle le bois était conservé ou encore laver les pièces dès leur découverte afin d'éliminer toutes traces de sable ou de limon contenant parfois des oxydes de fer, des sulfures et autres substances nuisibles. Ces précautions ont notamment été prises pour les pièces découvertes à Oseberg au début du XXe siècle.

Les premiers traitements de conservation ont eu recours à des substances naturelles comme la cire d'abeilles, les résines naturelles, les colles de peaux... L'emploi de ces produits a persisté durant la première moitié du XXe siècle jusqu'au moment où la chimie organique, grâce à de rapides

progrès, a mis une série de produits synthétiques à la disposition de l'archéologue et du conservateur. Parmi les procédés anciens, celui de l'alun a été le plus utilisé et, par là même, a connu de nombreuses modifications. Ces particularités m'ont conduite à l'étudier d'une façon plus détaillée tandis que les autres méthodes seront abordées plus rapidement.

#### La méthode de l'alun

=====

B.Brorson Christensen retrace l'historique du procédé dans son ouvrage consacré à la conservation du bois gorgé d'eau au Musée National du Danemark (B.Brorson Christensen, 1970). Dès les premières mentions de la méthode, apparues aux environs de 1859-1861, cette dernière a suscité un grand intérêt qui s'est prolongé pendant un siècle.

L'alun est un sulfate double d'aluminium et de potassium, soluble dans l'eau à des températures différentes; en fait, il se dissout dans sa propre eau de cristallisation à 96° C et se cristallise lors du refroidissement. Cette substance permet donc d'éliminer l'eau accumulée dans le bois et, en se refroidissant, elle entraîne également une consolidation du matériau.

C.F. Herbst conseille de nettoyer la pièce puis de la faire bouillir dans une solution d'alun concentrée (3 parts d'alun et 1 part d'eau). Pour de petits objets, de deux à trois centimètres de diamètre, la cuisson doit durer deux heures; l'opération sera répétée pour des pièces plus importantes. Après avoir laissé sécher, on applique de l'huile de lin jusqu'à saturation du bois pour faire office d'écran à l'air et à l'humidité. Après un nouveau séchage, le traitement final consiste à appliquer une couche de vernis clair.

La méthode fut appliquée avec succès, semble-t-il, aux pièces en bois tendres provenant d'Oseberg (1). La concentration choisie pour les bains dépassa celles utilisées jusque là et fut encore augmentée pour les bois très altérés. La température employée se situa entre 80 et 90° C. La durée du traitement connut des variantes et s'appuya surtout sur une expérience pratique : la durée moyenne oscilla entre douze et vingt-six heures mais, pour les pièces plus abîmées, elle fut prolongée. Le bois fut lavé dès qu'il fut retiré de l'alun, phase qui n'existait pas encore chez C.F. Herbst, et ensuite il fut séché dans une température ambiante constante jusqu'à stabilisation de la perte de poids; enfin, il fut imprégné d'huile de lin coupée de térébenthine dans un premier temps et ensuite d'huile de lin seule jusqu'à saturation. Parfois, on ajouta une couche de vernis comme protection finale (A. W. Brøgger, 1937).

---

(1) Un bateau et son mobilier funéraire ont été préservés grâce aux couches de tourbe qui recouvraient le tumulus de pierres et scellaient le dépôt. Le bateau fut enduit d'huile de lin et de créosote et enfin d'un vernis mat (Anna Rosenquist, 1969, p.121).

Ce traitement semble compter parmi les rares cas de réussite. En effet, malgré une conservation assez mouvementée dans des conditions d'humidité relative très variables, seule une efflorescence, due à la présence de petits cristaux, s'est manifestée à la surface des objets. Plus de quarante ans après le premier traitement, ce léger inconvénient a été éliminé sans difficulté par un simple brossage à l'éthanol et à la térébenthine (Anna Rosenquist, 1969, p.124).

Généralement, les pièces traitées à l'alun vers la fin du siècle dernier semblent s'être mieux conservées que celles traitées ultérieurement. Cette constatation s'explique, selon B. Brorson Christensen, d'une façon très simple : au début, on permettait à l'alun de se concentrer à la surface de l'objet en formant une croûte tandis que, par la suite, les pièces étaient lavées aussitôt retirées de l'alun afin d'empêcher la formation d'un dépôt blanchâtre. De cette manière, l'alun était éliminé des couches superficielles où il était le plus nécessaire. D'autres modifications sans grand intérêt ont contribué à la détérioration progressive du procédé. L'introduction de la glycérine en est un des meilleurs exemples. Cette substance, très sensible aux variations de l'humidité, entraînait des modifications de volume se traduisant par la formation de fentes à la surface de l'objet. Pour le traitement final, divers produits comme l'huile de lin, la gomme-laque, des vernis à la nitrocellulose..., la cire d'abeilles, probablement la moins inefficace, ont été utilisés. A ce niveau aussi la glycérine a joué un rôle fâcheux : avant son introduction, l'enduit pénétrait jusqu'à un certain point tandis qu'après, l'adhésion de presque tout type d'enduit semblait impossible (B. Brorson Christensen, 1970, p.19-20).

Ce procédé s'est maintenu très longtemps, jusqu'aux années 1950-1960 puisque la méthode n'a été abandonnée qu'en 1958 par le Musée National du Danemark et que son utilisation s'est prolongée en Pologne.

Le traitement a été recommandé aussi bien pour les bois durs que pour les bois tendres mais il a été appliqué avec trop de variantes pour pouvoir être véritablement jugé de façon générale. De plus, il est nécessaire de rappeler une donnée importante : l'état du bois. A l'époque de l'utilisation de l'alun, la réussite du traitement n'était peut-être pas directement en rapport avec le type de bois mais plutôt avec le degré d'altération. Dans l'ensemble, la méthode s'est révélée assez satisfaisante; de nombreuses raisons ont néanmoins provoqué son abandon. Le reproche le plus couramment formulé est la constatation d'une perte de netteté des détails; ceux des sculptures d'Oseberg se sont estompés en dépit d'une bonne conservation générale. La valeur de telles pièces repose précisément sur le travail délicat et soigné du bois et lorsqu'il convient de le préserver, la méthode de l'alun n'est pas la plus adéquate. L'hygroscopicité de l'alun est un autre inconvénient important. Il en résulte une absorption d'humidité qui se condense et l'écoulement de cette eau de condensation élimine progressivement l'alun; le traitement doit donc être

renouvelé. Cette hygroscopicité entraîne également des variations dimensionnelles néfastes au bois ainsi que des efflorescences dues à une migration de l'alun vers la surface où il se cristallise lorsque l'humidité relative faiblit. Enfin, cette méthode, dont la profondeur d'imprégnation ne peut être contrôlée, est considérée comme brutale parce qu'elle fait sauter des cellules du bois lors de la cristallisation de l'alun.

A côté de ce premier traitement, on trouve quantité d'autres "recettes" de conservation. Les grandes tendances se résument facilement mais des précisions réelles sont absentes de la plupart des articles qui leur sont consacrés.

#### Le séchage lent

=====

La conservation la plus simple et la moins coûteuse consiste en un séchage contrôlé. Par divers procédés, on obtient un séchage lent et homogène qui élimine une partie des tensions entre la couche superficielle, plus sèche, et l'intérieur encore humide. Les inconvénients liés à cette méthode dépendent surtout du manque de connaissances précises sur l'état du bois. Actuellement, on expérimente à nouveau ce procédé mais uniquement sur des bois de la catégorie III telle qu'elle a été définie précédemment.

#### La conservation dans un liquide

=====

Cet autre procédé général a été couramment utilisé au début du XXe siècle. Certaines pièces d'Oseberg conservées dans de l'eau additionnée de formol ont toutefois subi plusieurs attaques de fungus. Le Musée National du Danemark a adopté cette méthode pour de petits objets en employant de la glycérine pure. Plusieurs précautions étaient cependant nécessaires : la pièce devait être soigneusement nettoyée avant d'être plongée dans la glycérine et cette dernière était renouvelée plusieurs fois jusqu'à ce qu'elle reste incolore; la couleur brunâtre étant due aux substances humeuses qu'elle absorbe. Une autre possibilité était de conserver le bois dans de l'alcool pur allongé d'eau jusqu'à obtenir 20°.

Ce principe est certainement le moins intéressant. Il nécessite en effet une vigilance constante et un surcroît de travail puisqu'il faut périodiquement renouveler le liquide; de plus, il ne s'applique qu'à de petits objets en raison de l'importance du récipient et de la quantité de liquide nécessaire.

#### Les procédés divers

=====

Trois techniques permettent de regrouper ces méthodes : la déshydratation, l'imprégnation et le revêtement protecteur.

Les procédés de déshydratation étaient combinés à une consolidation ou à un revêtement protecteur. Ils avaient recours le plus souvent à l'alcool et étaient suivis d'une imprégnation dans une solution en parties égales d'alcool et de vernis, dans une solution de résine (15 gr. de résine dans 130 gr. de benzine pure et 20 gr. d'huile de pavot dans 150 gr. d'essence de térébenthine de première qualité) ou dans de l'huile de lin. Une autre méthode était basée sur l'utilisation du pétrole et du benzène.

Les procédés d'imprégnation étaient basés sur un séjour pendant une durée plus ou moins longue dans des solutions très diverses. Ces dernières, notamment le mélange de Speerschneider (8 parts d'huile, 1 part de résine d'épicéa, 1 part de cire et 2 parts de benzène) expérimenté ultérieurement par B. Brorson Christensen, ont parfois révélé des résultats désastreux (B. Brorson Christensen, 1970, p.22).

Une des méthodes proposées utilisait une solution composée en parties égales de pétrole ou de benzine et de vernis. Elle avait l'avantage d'être peu coûteuse mais s'accompagnait d'une difficulté importante: celle de juger si l'imprégnation était totale. W. von Stokar précisait encore que ce procédé, souvent très long, devait être réalisé sous vide pour donner de bons résultats (W. von Stokar, 1939, p.147). D'autres substances telles que la glycérine ou la colle étaient aussi recommandées; mais la glycérine avait l'inconvénient de laisser une surface humide sur laquelle les poussières venaient se fixer.

Dans cette catégorie, le procédé le plus répandu était le traitement à la paraffine. L'ancienne technique consistait soit à recouvrir le bois humide de paraffine que l'on faisait pénétrer en chauffant, soit à l'immerger dans un bain quand il s'agissait de petites pièces; aussi, le coeur, resté humide en raison de la faible profondeur d'imprégnation, se comportait différemment de la surface imprégnée. Une variante plus moderne a tenté d'éliminer l'eau dans toute l'épaisseur du bois et de la remplacer par de la paraffine; dans ce cas, le traitement était précédé d'une phase de déshydratation à l'alcool. Pour éviter un assombrissement du bois dû à l'utilisation de la paraffine, de l'eau oxygénée était ajoutée à l'un des bains déshydratants.

Les méthodes qui consistent en un revêtement protecteur sont simples et ont eu recours aux substances les plus diverses : gomme-laque, huile de lin, carbonyle... B. Brorson Christensen pense que les résultats satisfaisants ainsi obtenus sont le fait d'une bonne préservation du bois. Un traitement superficiel, en formant une couche plus ou moins imperméable à l'humidité, ne fait que retarder l'équilibre entre le bois et son environnement. De plus, son effet est limité dans le temps et, pour obtenir un aspect soigné, il est nécessaire de surveiller la surface des pièces et de renouveler le traitement lorsque des modifications apparaissent. Une substance comme le carbonyle est à déconseiller puisqu'elle doit aboutir à l'obtention d'un bois noir, d'aspect peu naturel.

Contemporaines de ces méthodes, on découvre des expériences intéressantes. Vers la fin des années 1930, W. von Stokar, après plusieurs essais, propose l'utilisation du Celodal. Ce dernier est un produit de condensation d'urée-formaldéhyde, soluble dans l'eau; sa propriété principale consiste en une solidification suite à l'adjonction d'acides. Cette substance de conservation, jugée intéressante pendant une assez longue période, n'est toutefois plus utilisée (W. von Stokar, 1939).

L'énumération des procédés anciens met leur grand nombre en évidence. L'imprécision des données relatives aux proportions des mélanges, à la durée du traitement, au nombre de couches protectrices qu'il faut appliquer... explique le manque de constance des résultats obtenus. Vers la fin de la première moitié du XXe siècle, plusieurs acquisitions intéressantes sont réalisées : l'emploi du Celodal avant les grands progrès effectués par la chimie organique, l'imprégnation sous vide favorisant la pénétration de l'agent de consolidation et l'utilisation des infrarouges assurant un séchage homogène. Enfin, la transition entre les méthodes anciennes et les procédés récents n'est pas brutale mais elle passe, vers 1960, par une période durant laquelle les substances synthétiques vont progressivement évincer, dans nos régions du moins, les produits naturels.

## 2. Les méthodes actuelles

Face aux problèmes posés par le grand nombre de découvertes et pressés par le temps, les conservateurs ont peu à peu élargi le champ de leurs investigations en essayant les substances synthétiques. La conservation semble toutefois devenir le monopole de grands laboratoires dont les moyens financiers et l'équipement moderne permettent de poursuivre la recherche mais assurent aussi le traitement d'une quantité considérable de pièces.

### Les précautions prises sur chantier et en laboratoire avant le traitement

=====

Le but de ces mesures est double: éviter le retrait, la déformation et la fissuration du bois en le maintenant humide et, en même temps, empêcher une nouvelle agression de micro-organismes.

Dès le dégagement, les objets sont enveloppés d'ouate et de linges et emballés dans du polythène. Une pièce très abîmée sera soutenue au moyen de plâtre, par exemple; dans ce cas, elle sera entourée d'une feuille d'aluminium ou de tout autre isolant avant d'être scellée dans le bloc protecteur. Les difficultés surgissent surtout lors de la découverte de pièces de grandes dimensions, essentiellement des bateaux. Leur dégagement, souvent très long, entraîne un séchage superficiel responsable de tensions ultérieures entre la surface et la

partie interne. Pour y remédier, les fouilleurs utilisent un système d'arrosage intermittent ou permanent. Les pièces sont ensuite traitées de la même façon que les objets de dimensions moyennes. Certaines planches ne supportent plus leur poids, elles sont alors renforcées par une planche récente et la courbure est maintenue en introduisant aux extrémités de petits blocs de bois entre la planche et son support.

En laboratoire, les bois sont entreposés dans de l'eau additionnée d'un fongicide ou uniquement dans de l'eau distillée. Les essais et les études ont surtout porté, les derniers temps, sur le choix du fongicide à employer. On a longtemps utilisé le pentachlorophénate de sodium et la formaline puis on s'est aperçu que le fongicide pouvait avoir un effet secondaire: gêner le processus de durcissement de certaines résines ou diminuer la résistance au vieillissement dans le cas du PEG (1). Aujourd'hui, l'abandon du formol et du phénol est devenu général; les fongicides à base de sels métalliques sont déconseillés et les Suédois semblent même partisans d'un transport en milieu humide sans adjonction de fongicide.

Si la certitude d'une conservation ultérieure au polyéthylène glycol est acquise, le traitement peut débuter sur le chantier avec un poids moléculaire et une concentration faibles, cette dernière de l'ordre de 10 % au plus. Lors du traitement au PEG d'une pièce entreposée dans de l'eau, il est possible d'ajouter un fongicide pour autant qu'il y ait compatibilité entre les deux substances. Pour le Wasa, la protection a été assurée par un mélange d'acide borique et de borax dans des proportions 7 : 3. En Angleterre, on utilise de l'ortophénylphénol tandis qu'en Allemagne, on a essayé un sel d'ammonium quaternaire, le Dodigen 226; ces substances se combinent aussi bien à l'eau qu'au PEG.

#### Les traitements en laboratoire

=====

La conservation doit aboutir à une stabilisation dimensionnelle et à une consolidation du bois rendu fragile par le séchage. La méthode doit être sûre et connue par des expériences antérieures ou par des tests préalables; dans le cas contraire, elle doit être réversible. Idéalement, le traitement doit préserver l'aspect du bois, c'est-à-dire sa texture et sa couleur.

Sur le plan pratique, le procédé tient compte des propriétés du matériau et des agents de consolidation. La première condition nécessite une parfaite connaissance du bois à traiter; le classement des stades de détérioration du chêne dont chacun correspond à un traitement approprié illustre parfaitement ce besoin. La seconde condition concerne les substances utilisées et leurs réactions aux conditions climatiques, dans lesquelles les pièces seront entreposées; cette

---

(1) PEG : abréviation de polyéthylène glycol.

précaution vaut essentiellement pour les pays tropicaux où les variations du climat peuvent être brutales. La pénétration de l'agent de consolidation est un autre facteur primordial; elle dépend de la taille et de la forme des molécules dont la substance est composée mais aussi de la température et de la concentration utilisée. Dans le cas d'un bois relativement bien conservé, une imprégnation partielle peut suffire mais, pour des bois très altérés, une imprégnation totale, donc une pénétration de la substance consolidante à travers toute l'épaisseur de la pièce, s'avère nécessaire.

Le résultat que l'on désire obtenir varie en fonction du type de pièce que l'on traite. La conservation d'une oeuvre unique consiste à n'offrir qu'un retrait minimal tandis que celle d'un objet commun, dont de multiples exemples sont connus, peut se concevoir, à la rigueur, avec un retrait plus important et un aspect moins soigné. Toutefois, un faible pourcentage de retrait apparaîtra toujours parce que le bois a gonflé au fur et à mesure qu'il s'est imbibé d'eau.

Le désir de trouver une méthode simple et peu onéreuse préoccupe aussi les conservateurs. Les premiers essais modernes ont consisté assez souvent en traitements de surface à l'aide de résines synthétiques. Les résultats obtenus n'ont été satisfaisants que pour des pièces dont une mince surface était altérée. Une couche protectrice n'est pas totalement imperméable à l'eau et à la vapeur d'eau et sa pénétration est assez faible; elle retarde donc la création d'un équilibre entre le bois et son environnement. L'état des pièces, généralement moins favorable, a nécessité le développement des possibilités de traitement total.

Les deux objectifs d'une conservation: éliminer l'eau et consolider le bois déshydraté, s'obtiennent soit à l'aide de procédés indépendants, le séchage précédant la consolidation ou l'inverse, soit par des techniques combinant la consolidation et le séchage.

Actuellement, deux procédés sont adoptés pour réaliser la déshydratation du bois saturé d'eau. Le premier consiste à congeler la pièce et à sublimer sous vide l'eau qu'elle contient et le second est basé sur un échange de l'eau contre des solvants, éliminés ensuite par sublimation sous vide ou par évaporation dans des conditions normales ou sous vide.

Quant à la consolidation, elle s'obtient aussi par différents procédés. Afin de soutenir le système de cavités, on introduit dans le bois une substance qui peut être un solide ou un liquide. Dans le cas d'un corps solide, l'imprégnation se fera par fusion ou par dissolution dans l'eau ou dans des solvants et le durcissement s'opérera par l'intermédiaire d'un durcisseur ou du rayonnement  $\gamma$ .

Pour présenter les diverses possibilités, un classement s'est révélé nécessaire. Les procédés de déshydratation, généralement combinés à un traitement de consolidation superficiel ou total, forment le premier groupe tandis que le second ensemble reprend les méthodes d'imprégnation directe.

J'ai opéré une sélection des procédés en omettant délibérément les nombreux tâtonnements qui ont abouti à l'application actuelle et les méthodes qui m'ont paru peu satisfaisantes. Enfin, j'ai écarté les traitements utilisant le rayonnement  $\gamma$  puisqu'ils ne peuvent s'effectuer que dans des centres spécialisés; les procédés basés sur des produits inexistant dans nos régions ont également été éliminés.

A. Les procédés pour lesquels une déshydratation précède la consolidation

1. Le gel ou la lyophilisation  
-----

La réfrigération de l'eau

Le principe consiste à éliminer l'eau sous forme de glace sublimée. L'eau logée dans les cavités du bois joue le rôle d'un agent de remplissage et maintient la forme de l'objet. Lors de son élimination, la tension superficielle de l'eau ne doit pas entraîner un effondrement des parois affaiblies. Pour éviter cet inconvénient, l'eau est sublimée sous vide et la phase liquide est omise. Deux conditions doivent être réunies pour réaliser cette opération. En premier lieu, la pression de la vapeur d'eau au-dessus de la surface de la glace doit être inférieure à celle de cette dernière afin d'éviter une condensation de surface. Pour obtenir cet état, il est recommandé d'utiliser un condenseur en même temps que le vide. En second lieu, il est nécessaire de chauffer la surface de la glace afin de remplacer l'énergie perdue par la conversion de la glace en vapeur d'eau.

Plusieurs expériences ont été tentées; certaines ont été jugées prometteuses mais d'autres se sont révélées négatives. B. Brorson Christensen a essayé la méthode sur des échantillons de bois présentant les trois stades de détérioration A, B et C et a observé un retrait considérable, des fissures et un gauchissement. La cause de ces accidents réside dans une augmentation du volume de l'eau congelée qui risque de faire éclater la structure cellulaire (B. Brorson Christensen, 1970, p.28 et 87).

Pour éliminer cet inconvénient, W.R. Ambrose a proposé l'adjonction d'une substance qui se rétracte à la congélation et compense ainsi l'augmentation de volume de l'eau. Il utilise du PEG 400 dont le point de solidification est plus ou moins identique à celui de l'eau. Lors de la sublimation, la glace est éliminée tandis que le PEG gelé forme une structure poreuse grâce à sa pression de vapeur faible qui détermine une vitesse d'évaporation très lente. Au point de fusion, le PEG se transforme en un liquide visqueux et se diffuse dans le bois. La tension superficielle du PEG 400 (44 dynes/cm) est beaucoup plus faible que celle de l'eau (72 dynes/cm); de plus, les groupes hydroxyles terminaux de la substance forment des liens d'hydrogène avec les composants du bois encore présents. Ces deux propriétés évitent les risques d'affaissement des

parois cellulaires lors de la sublimation de la glace. La quantité de PEG nécessaire au traitement est proportionnelle à la surface interne: un bois mieux préservé contiendra donc une plus grande quantité de PEG qu'un bois altéré. Dans la plupart des cas, une concentration de 8 à 15 % s'est révélée suffisante (W.R. Ambrose, 1975). Des essais tentés avec des PEG de poids moléculaires variés ont démontré le peu d'efficacité des poids moléculaires élevés.

Ce traitement présente plusieurs avantages. Le bois est moins lourd que lorsqu'il subit une imprégnation totale au PEG et la fragilité que l'on pourrait lui reprocher est compensée par un traitement ultérieur à l'aide de substances adéquates. Le retrait est minime et le bois montre une grande stabilité dimensionnelle par rapport aux variations de l'humidité relative. La surface du matériau a retrouvé son aspect naturel et les détails sont préservés. Enfin, la méthode est réversible et le bois, vidé de son contenu de PEG, peut servir à une datation au C<sub>14</sub> (W.R. Ambrose, 1975, p.75/8/4-9 et 4-10).

#### La réfrigération d'un autre liquide

B. Brorson Christensen a expérimenté une autre possibilité: l'échange de l'eau contre de l'alcool butylique tertiaire. Le point de fusion de ce liquide est élevé (25,9° C) mais il est plus bas quand on le mélange à l'eau. Ce solvant a l'avantage de se congeler sans modification appréciable de volume.

En premier lieu, les pièces sont déshydratées dans des bains successifs d'alcool butylique tertiaire et lorsque la déshydratation totale est obtenue, elles sont immergées dans une solution de butanol contenant 8 à 10 % de shellac (1). Les objets sont ensuite congelés à température ambiante après avoir été essuyés et enveloppés de feuilles d'étain. Enfin, les pièces sont retirées de leurs enveloppes et le butanol est sublimé sous vide afin d'amoindrir la tension de surface exercée sur les parois cellulaires. La durée totale du traitement varie, selon les dimensions, de quelques heures à plusieurs jours. Les objets traités ont conservé leur forme et sont devenus poreux et légers. Une immersion dans une solution de benzène pur à 4 % de polyméthacrylate de méthyle suivie, lorsque le benzène s'est évaporé, d'un bain rapide dans un vernis qu'on laissera ensuite sécher, assure une consolidation du matériau.

Plus récemment, l'auteur a amélioré sa méthode. La déshydratation est suivie d'une immersion dans une solution de butanol contenant du PEG 4000; la concentration de ce dernier ne doit en aucun cas dépasser 50 à 66 %. Après la sublimation sous vide du butanol, l'objet apparaît recouvert d'une croûte

---

(1) Shellac : synonyme de gomme-laque.

de PEG; cette dernière sera répartie de façon homogène en passant avec précaution une lampe à infrarouges sur la surface. Le PEG absorbé renforce ainsi les couches externes du bois. Cette différence de concentration, la plus élevée se trouvant dans les couches extérieures, est primordiale pour la réussite du traitement.

Ce procédé, appliqué à des pièces comprenant divers stades de détérioration (conditions A, B et C), a donné d'excellents résultats puisque le retrait n'a pas excédé 4 %. L'aspect du bois est également très satisfaisant (B. Brorson Christensen, 1970, p.29-33 et 91-93).

Le principe de la lyophilisation, considéré à juste titre comme efficace, est néanmoins peu utilisé. Il nécessite, en effet, un investissement important pour obtenir l'équipement adéquat et ne permet, jusqu'à présent, que le traitement de pièces de petites et moyennes dimensions.

## 2. La déshydratation par échange de l'eau avec des solvants

-----

### La méthode de l'imprégnation à la cire

Le principe consiste à déshydrater le bois dans plusieurs bains d'alcool et à l'imprégner ensuite d'un mélange de cires. B. Brorson Christensen déshydrate la pièce dans des bains d'éthanol dont deux ou trois suffisent si le volume de la solution correspond à cinq fois le volume du bois. L'éthanol est ensuite remplacé par des bains successifs de toluène ou de xylène et, dans le dernier de ces bains, on ajoute une solution résineuse (3 parts en poids de cire d'abeilles, 1 part en poids de cire de carnauba brute (1), 1 part de résine dammar (2) et 1 part de cire de paraffine). Ce mélange chauffé à 80° C est versé dans le récipient contenant le toluène ou le xylène et l'ensemble est placé dans un four dont la température (50° C au début) est progressivement élevée à 85° C. A ce stade, le récipient est retiré et le mélange est remplacé par de la cire fondue; le tout est à nouveau replacé au four maintenu à 80-85° C. Après une période qui varie de quelques jours à une semaine ou plus, on renouvelle la cire et l'opération se répète. Enfin, on réalise l'évaporation sous vide du toluène ou du xylène et ensuite, les objets sont lentement séchés. L'excédent de cire resté à la surface est éliminé en grande partie à l'aide d'une flamme et ensuite avec un mélange de benzène et de chloroforme. Pour éclaircir le bois, il est possible à ce stade de le plonger dans du benzène aussitôt éliminé, de préférence sous vide. La surface peut alors être vernie avec une solution de méthacrylate de méthyle dilué dans de l'acétone (B. Brorson Christensen, 1970, p.27).

---

(1) Cire de carnauba: cire naturelle végétale fournie par un palmier qui croît au Brésil.

(2) Résine dammar: résine produite par les dammaras, conifères de Nouvelle-Zélande.

Les résultats de ce procédé appliqué surtout aux bois tendres ou très altérés sont satisfaisants. Le retrait est faible, la pièce ne subit aucune déformation et les fissures, lorsqu'elles apparaissent, sont fines. Les substances introduites dans le bois sont stables, n'entraînent aucune réaction secondaire et peuvent, au besoin, être éliminées. Toutefois, la méthode n'est intéressante que pour des pièces de dimensions assez restreintes. En effet, le prix élevé des solvants utilisés et le temps nécessaire pour réaliser la déshydratation et le renouvellement des bains deviendraient de véritables inconvénients si le procédé était appliqué à des objets de grande taille.

#### La méthode de l'alcool/éther/résine

Des expériences ont démontré que le bois souffre moins du séchage lorsque celui-ci est rapide et lorsque la tension superficielle exercée sur la paroi par le liquide employé ainsi que le poids spécifique de ce dernier sont faibles. L'éther éthylique est considéré comme un des liquides les plus adéquats puisque sa tension superficielle (17 dynes/cm) est de beaucoup inférieure à celle de l'eau (72 dynes/cm) et réduit les risques d'affaissement de la paroi (B. Brorson Christensen, 1970, p.56-57).

Au Musée National danois, le bois est déshydraté dans plusieurs bains de méthanol dont les deux premiers sont de concentration plus faible, ensuite, par des bains successifs, le méthanol est remplacé par de l'éther éthylique. Le bois est alors séché sous vide et sort de cette opération léger et délicat; une consolidation est donc nécessaire. Celle-ci débute par une immersion rapide dans une solution concentrée de résine dans de l'éther; ensuite, on opère un séchage sous vide et enfin, la pièce est plongée dans une solution de benzène pur à 5-7 % de polyméthacrylate de méthyle (B. Brorson Christensen, 1970, p.28-29).

Au Musée National suisse, le même procédé est utilisé avec quelques variantes. La principale préoccupation des conservateurs, outre le maintien de la forme et du volume, est d'obtenir un aspect aussi proche que possible de l'état originel de la pièce. Aussi, un nettoyage dans une solution aqueuse à 0,1 % d'ammoniaque et à 0,05 %-0,12 % d'eau oxygénée précède le traitement. Cette opération se prolonge jusqu'à ce que la couleur sombre disparaisse et la solution est, au besoin, renouvelée. Un lavage à l'eau élimine ensuite le surplus de solution qui entraîne les dernières substances colorantes dissoutes. Suit alors la déshydratation dans l'alcool éthylique remplacé dans un second temps par l'éther éthylique; l'échange complet est mesuré par des contrôles colorimétriques. Les pièces sont enfin plongées dans une solution composée d'éther et d'un mélange résineux (500 gr. de résine dammar, 200 gr. de colophane, 100 cm<sup>3</sup> d'huile de ricin soufflée et 100 cm<sup>3</sup> de standolie (1) dilués dans 3000 cm<sup>3</sup> d'éther).

---

(1) Standolie : huile épaisse obtenue par polymérisation à chaud de l'huile de lin et employée dans la préparation des peintures laquées.

L'élimination de l'éther se fait sous vide et l'excédent de cire est enlevé avec du chlorure de méthylène. Le traitement final consiste en une application d'un mélange de microcires (W. von Kramer, Br. Mühlethaler, 1968, p.78-88).

Cette méthode dont la durée varie en fonction des dimensions des pièces s'applique essentiellement à de petits objets. Les meilleurs résultats s'obtiennent avec des bois tendres, poreux et facilement perméables; par contre, la méthode semble moins appropriée pour le traitement des conifères. Le retrait des pièces traitées est réduit de façon considérable et se situe aux environs de 1 à 5 %. Les fissures sont le plus souvent évitées mais elles peuvent apparaître lors de fortes variations de température et d'humidité; un contrôle de l'environnement est donc souhaitable. L'aspect du bois demeure naturel et le mélange résineux peut toujours être éliminé. Malheureusement, le coût de l'éther éthylique et son inflammabilité limitent l'application du procédé à des pièces de dimensions restreintes.

#### La méthode de Bouis

Ce procédé tire parti des substances absorbées par le bois. La surface de la pièce est d'abord nettoyée avec une solution aqueuse à 25 % d'acide chlorhydrique puis rincée à l'eau. La phase suivante consiste en une immersion dans de l'acétone renouvelé périodiquement jusqu'à stabilisation de ce dernier à 90-95 % après vingt-quatre heures. Ensuite, on imprègne le bois saturé d'acétone d'une solution chromique en le plongeant dans un bain dont la formule moyenne comporte 1000 cm<sup>3</sup> d'eau distillée, 90 gr. d'anhydride chromique, 300 gr. de bichromate de soude et 15 gr. de chlorure de soude. La consolidation débute directement grâce à la réaction du bichromate en présence d'un réducteur organique, le glucose par exemple. Des réactions en chaîne font suite et aboutissent à la fixation, sous forme de sels insolubles, des éléments minéraux absorbés par le bois altéré. La pièce est ensuite retirée du bain et rincée à l'eau. Pour des bois très clairs, on ajoute 100 cm<sup>3</sup> d'eau oxygénée à 100 volumes par litre d'eau de rinçage. Le bois subit alors une nouvelle immersion dans de l'acétone jusqu'à stabilisation de la concentration de ce dernier à 80-90 %. Enfin, la pièce est plongée dans une solution acétonique de résines acryliques afin d'obtenir un revêtement protecteur; après un séjour de vingt-cinq à quarante heures dans ce dernier bain, le bois est séché à l'air. Cette étape est nécessaire au maintien de la stabilisation du bois qui, ayant perdu toute son eau, réagit de façon très sensible aux variations de température et d'humidité.

La méthode présente quelques avantages: elle utilise des produits peu onéreux et s'applique à des bois de toutes tailles; néanmoins, plusieurs inconvénients réduisent son intérêt. La couleur du bois demeure généralement assez sombre. De plus, le bois devenu anhydre est très sensible aux variations d'humidité et des tensions risquent de se manifester.

Mais l'inconvénient majeur est d'aboutir à des précipités insolubles et, par conséquent, à un résultat irréversible (J. Bouis, 1967).

### Le procédé de l'acétone/colophane

Le traitement débute par un nettoyage des pièces et est suivi d'une immersion dans une solution aqueuse à 3,5 % d'acide chlorhydrique (1 part d'acide chlorhydrique pour 9 parts d'eau). La durée de ce bain varie selon les dimensions; une période de quatre jours est nécessaire pour réaliser une pénétration complète dans une pièce de 10 cm<sup>3</sup>. L'acide est ensuite éliminé en lavant la pièce à l'eau courante pendant trois à cinq jours; le contrôle du pH indique sa disparition progressive. La déshydratation s'obtient alors par une immersion dans un bain d'acétone dont les proportions sont de 5 : 1 par rapport au bois. Pour un échantillon de 10 cm<sup>3</sup>, trois bains successifs, de quatre jours chacun, sont conseillés. Le bois ainsi préparé est alors imprégné d'une solution d'acétone saturée de colophane. L'opération se déroule à 52° C, ce qui permet d'obtenir un pourcentage de colophane de 67 %; il faudra cependant en ajouter au cours de l'imprégnation pour compenser l'acétone qui sort du bois. Pendant le processus, l'objet doit rester dans un récipient scellé pour éviter l'évaporation de l'acétone. Toujours pour un échantillon de 10 cm<sup>3</sup>, une imprégnation pendant quatre semaines est suffisante. Un peu d'acétone permet d'éliminer l'excédent de colophane lorsque les pièces sont retirées de la solution.

Le procédé s'échelonne au total sur une période de deux mois et s'applique à des objets ayant au minimum 10 cm. Avec des modifications, la méthode peut être aussi utilisée pour de petites pièces; dans ce cas, la durée du traitement se raccourcit. Les premiers essais ont été tentés sur du chêne mais d'autres expériences réalisées sur des bois tendres ont donné d'aussi bons résultats; pour ces derniers, l'immersion dans l'acide chlorhydrique avait toutefois été omise (H. Mac Kerrel, Elisabeth Roger, A. Varsanyi, 1972, p.111-125).

La méthode comporte de nombreux avantages. Les substances employées sont peu coûteuses et le retrait observé ne dépasse jamais 7 %; il varie avec les essences traitées mais aussi avec l'application du pré-traitement à l'acide chlorhydrique. L'aspect et le poids du bois sont proches de ceux d'un bois naturel. Ce procédé assez rapide est également réversible. Le seul inconvénient serait l'inflammabilité de l'acétone nécessitant certaines normes de sécurité. Toutefois, des expériences réalisées aux Pays-Bas n'ont pas abouti à des résultats favorables. La colophane présenterait aussi quelques désavantages: souvent collante, elle possède un degré d'acidité élevé et l'oxygène de l'air entraîne son vieillissement (J. de Jong, 1977, p.307).

### La méthode du butanol/PEG

Cette technique, toujours en étude actuellement, a été mise au point pour assurer la conservation du bois de catégorie III, avec un coeur peu détérioré et un pourcentage en eau inférieur à 65 %. Le procédé comporte trois étapes. D'abord, le bois est déshydraté à température ambiante dans une solution à 88 % d'alcool butylique tertiaire jusqu'à l'obtention d'une composition azéotropique du mélange butanol/eau (1). Au cours de cette opération, l'eau est extraite de l'alcool par distillation azéotropique et l'alcool distillé est réutilisé après une adjonction de butanol frais pour compenser la perte due à l'eau et à la vapeur d'alcool. Cette étape permet l'extraction des substances colorantes, ce qui éclaircit le bois et augmente la vitesse d'imprégnation du PEG pendant la phase suivante. Ensuite, le bois déshydraté est imprégné de PEG 4000 dissous à 55° C dans l'azéotrope alcool/eau. Sur une période de dix semaines, la concentration passe de 0 à 50 % en volume pour des échantillons de 20 X 30 X 95 cm, puis elle est maintenue constante à 50 % pendant huit autres semaines. La température demeure à 55°C pendant toute la durée de l'imprégnation. Enfin, on retire la pièce du bain et on laisse évaporer l'alcool pendant deux à trois semaines. En dernier lieu, pour favoriser la diffusion du PEG 4000, la pièce est soumise à une chaleur de 60 à 80°C pendant une période allant de quelques jours à deux semaines.

Les résultats obtenus lors des essais ont été très satisfaisants. Le retrait n'a jamais dépassé 5 % et l'aspect du bois est meilleur que celui obtenu après une imprégnation traditionnelle au PEG. L'inconvénient du traitement est son coût élevé. Il nécessite, en effet, l'emploi du butanol, solvant coûteux, mais aussi une installation qui permette la distillation du mélange alcool/eau. Actuellement, les expériences continuent sur des pièces plus importantes (J. de Jong, 1978, p.8-11).

En conclusion, le principe de la déshydratation du bois suivie d'une consolidation est, dans son ensemble, assez coûteux puisqu'il a recours à des solvants onéreux, surtout employés à grande échelle, mais aussi à des installations complexes avec des appareils à faire le vide, des thermostats... Ces exigences et, dans certains cas, le danger dû aux vapeurs d'alcool limitent essentiellement l'application de ces techniques à de petits objets.

---

(1) Un mélange azéotropique est un mélange de deux ou plusieurs liquides qui se distille à une température constante et possède une composition constante à une pression constante.

## B. Les méthodes d'imprégnation directe

### 1. Les monomères solubles dans l'eau

-----

Le principe de cette catégorie est d'imprégner le bois d'un monomère soluble dans l'eau; ce dernier est ensuite polymérisé in situ par l'adjonction d'un catalyseur ou par l'intermédiaire du rayonnement. La consolidation s'opère donc dans le bois humide et le séchage vient ensuite.

#### Le procédé de l'Arigal C

L'Arigal C est un produit de condensation de mélamine-formaldéhyde soluble dans l'eau. Suite à l'adjonction d'un catalyseur, il se transforme rapidement, à une température élevée, en une substance insoluble consolidant la structure ligneuse.

La première étape consiste à nettoyer le bois dans de l'eau distillée, chaque jour renouvelée, pendant quatre jours. L'imprégnation du bois avec une solution à 25 % d'Arigal C est la phase suivante. Pour composer la solution, l'Arigal C est dissous à 80°C dans de l'eau distillée et le mélange est secoué jusqu'à devenir clair; sa quantité égale cinq fois le volume du bois humide. La concentration d'Arigal C ne doit pas dépasser 25 % sinon elle risque d'entraîner une précipitation prématurée. Le bois immergé est maintenu dans la solution jusqu'à ce qu'il s'enfonce; ensuite, par mesure de sécurité, on attend deux jours supplémentaires ou plusieurs dans le cas de pièces importantes. Pendant l'imprégnation qui se déroule à température ambiante, la solution est agitée chaque jour afin de conserver sa clarté. Une imprégnation prolongée n'est pas nuisible mais nécessite la surveillance du pH de la solution. Ce dernier ne doit jamais descendre en-dessous de 7,8 sinon une précipitation est possible. Pour éviter celle-ci, on élimine l'eau remontée à la surface puisqu'elle est plus légère que l'Arigal C; l'élimination s'opère par aspiration et l'eau (environ 1/4 du volume total) est remplacée par une solution fraîche à 25 % d'Arigal C. On agite le mélange et l'on y replace la pièce. Le tout est alors transporté dans un appareil à faire le vide et la pression est réduite à 80 mm de mercure. Après trente-cinq à quarante heures, la résine devient insoluble et l'on retire l'objet. Le dépôt de résine fixé à la surface du bois s'enlève facilement avec de l'eau chaude ou de l'acide sulfurique dilué éliminé ensuite à l'eau chaude. La pièce est alors enveloppée d'une feuille de cellulose imbibée d'eau distillée et le tout est enfermé hermétiquement dans un sac de polyéthylène. Enfin, les objets sont soumis dans un thermostat à une température de 65°C pendant quarante-huit heures. La résine se précipite dans le bois humide et ce dernier est consolidé. Cette opération terminée, les pièces sont retirées de leurs enveloppes et séchées à une température de 35°-40°C au maximum; après une vingtaine d'heures, le séchage se prolonge à température ambiante.

Pour des pièces très délicates, les auteurs conseillent de recommencer le traitement. Après un séchage de vingt-quatre heures à température ordinaire, les objets sont à nouveau immergés dans l'Arigal C; la durée de cette seconde imprégnation est cependant limitée à trois ou quatre jours puisqu'un reste de catalyseur est encore présent. Ensuite, le bois est retiré du bain et on ajoute 5 % de catalyseur par rapport à la quantité de résine; la pièce est alors replongée pour vingt-quatre heures dans le mélange. Lorsque des fissures apparaissent lors du premier séchage, une nouvelle imprégnation permet de les éliminer.

Les avantages de la méthode sont nombreux et en font l'une des plus employées à l'heure actuelle. Le procédé est relativement simple et fiable si l'on contrôle périodiquement le pH. Le traitement s'applique à tous les types de bois et donne généralement un retrait tangentiel inférieur à 1 % et un retrait longitudinal inférieur à 0,5 %. Les fissures et les fentes sont rares et aucune modification n'est apparue sur des bois traités depuis plus de huit ans. Le procédé laisse enfin la possibilité de faire des analyses ultérieures telles que la détermination de l'essence et la datation par dendrochronologie (A.Haas, H.Müller-Beck, F.Schweingruber, 1961/1962).

Quelques inconvénients existent cependant. Le principal est l'irréversibilité de la méthode; l'Arigal C ne se dissout que sous l'action de réactifs très forts qui, par conséquent, abîment le bois. La courte période de validité des solutions est un autre désavantage puisqu'elle limite la possibilité de pénétration de la résine. Afin d'écartier cet inconvénient réduisant l'application du procédé à de petites pièces, A.Haas réalise deux imprégnations normales par l'extérieur et une imprégnation par l'intérieur. Pour cette dernière, des trous sont forés en un endroit peu visible. La pièce déposée dans un récipient est alors placée dans un appareil à faire le vide et des tubes en verre sont adaptés aux différents trous. Des tuyaux de caoutchouc relient ces tubes à des robinets qui permettent d'introduire la solution à 25 % d'Arigal C à laquelle le catalyseur est déjà ajouté. On réalise alors le vide et le mélange est introduit. Ce dernier est aspiré vers l'extérieur par capillarité et des gouttes apparaissent à la surface du bois; lorsque le liquide s'écoule de façon régulière et continue, l'imprégnation est totale. La suite des opérations est identique à la méthode traditionnelle et le traitement achevé, les petites ouvertures sont bouchées. Cette technique permet la conservation de pièces dont le poids humide peut atteindre 15 kg (A.Haas, 1969, p.16-17).

L'objection, généralement émise, est celle de l'apparition d'un dépôt ou d'une coloration blanchâtre. Toutefois, les auteurs de la méthode déclarent qu'il n'y a pas de modification fondamentale de couleur mais un léger éclaircissement; ce dernier n'est pas un désavantage et ils sont partisans de laisser la pièce telle quelle ou d'y appliquer une couche de laque incolore. Les véritables inconvénients de la méthode sont le prix relativement élevé et la quantité de résine nécessaire puisque cette dernière ne peut être réutilisée.

Récemment, un article de H. Ebert signale la disparition de l'Arigal C et relate les essais tentés avec différentes substances de remplacement. Un produit, le Lyofix 4036, devenu le Lyofix DML, s'est révélé intéressant. Quelques différences le distinguent de l'Arigal C : le Lyofix 4036 est soluble dans l'eau distillée à 60°C et le pH de la solution étant de 7,3, il est nécessaire d'y ajouter de la triéthanolamine pour maintenir le pH à 9. Enfin, la vitesse de réaction est plus lente que celle de l'Arigal C mais le processus de fixation est semblable et les résultats obtenus sont comparables à ceux du traitement à l'Arigal C (H. Ebert, 1977).

## 2. L'imprégnation au polyéthylène glycol

-----

Les PEG sont des cires synthétiques solubles dans l'eau et d'autres solvants. Ils existent dans une gamme de poids moléculaires mais les PEG de faibles poids moléculaires sont plus hygroscopiques que ceux de poids moléculaires élevés. Lors du traitement, pour assurer une diffusion optimale dans le bois, l'objet doit être nettoyé afin d'éliminer les dépôts de substances organiques ralentissant la diffusion. Ensuite, il faut permettre une imprégnation de longue durée. La diffusion est encore favorisée dans un bois très altéré tandis qu'elle est plus difficile dans un bois bien conservé. Aussi, on conseille de commencer avec une concentration faible, progressivement augmentée parallèlement à une élévation de la température.

Le traitement connaît de nombreuses variantes. Les différences résident dans le choix du poids moléculaire, dans la concentration initiale et dans la durée du traitement.

### Le procédé de Moren et de Centerwall

#### a. Procédé pour des bois possédant plus de 80 % d'humidité

Les pièces sont nettoyées à l'eau puis subissent une immersion dans une solution à 10 % de PEG (1 part en poids de PEG 4000, 9 parts d'eau et un dixième de part de pentachlorophénate de sodium). Le niveau du liquide est maintenu constant en remplaçant l'eau évaporée par une solution de renouvellement de composition identique à la solution primaire sans le pentachlorophénate de sodium. Pour accélérer l'évaporation de l'eau, la cuve peut être chauffée indirectement et, à la fin du processus d'échange, la pièce est immergée dans du PEG pur fondu.

Pendant l'imprégnation, deux données sont régulièrement contrôlées: le pH et la température. Le pH est maintenu entre 7,5 et 10 pour éviter une précipitation de pentachlorophénol; lorsqu'il baisse, on ajoute une solution aqueuse à 10 % de carbonate de sodium. La température, qui au début ne dépasse pas 30°C, est progressivement élevée à 70°C; à la fin du traitement, une courte période d'imprégnation à 90°C est possible.

L'imprégnation est complète lorsque le niveau du bain (100 % de PEG pur) est resté identique pendant deux à trois jours. On retire alors la pièce, on élimine le surplus de PEG et on laisse sécher. Si un dépôt de PEG est encore visible, on l'enlève avec une solution à 50 % d'éthanol.

Pour accélérer le processus d'échange, il est possible de remplacer la moitié de l'eau de la solution d'origine par de l'éthanol également présent dans la solution de renouvellement jusqu'à ce qu'une concentration de 50 % de PEG soit atteinte. Cependant, l'utilisation de l'alcool entraîne un risque d'incendie; une bonne aération et une température peu élevée jusqu'à élimination complète de l'alcool sont, dans ce cas, recommandées (R. Moren, B. Centerwall, 1960).

#### b. Procédé pour des bois possédant moins de 80 % d'humidité

Dès le début, ces pièces sont plongées dans une solution à 30 % de PEG et la suite du traitement est identique au précédent.

Les pièces de grande taille qui ne peuvent être immergées sont aspergées ou enduites d'une solution composée de 5 % en poids de PEG 4000 dissous dans une solution à 40 % d'éthanol. Le traitement est appliqué à intervalles réguliers et une meilleure pénétration est obtenue si la pièce est en même temps soumise aux infrarouges.

#### Le procédé d'Organ

Selon cette méthode, la pièce déjà nettoyée est plongée dans une solution de 12 à 24 % de PEG 4000 à 30°C. Dans le récipient, la hauteur de la solution doit correspondre environ à dix fois la hauteur de la pièce. L'auteur réalise une imprégnation sur une période de vingt-cinq à trente semaines; à ce moment, la température a atteint 60°C. Pour contrôler l'imprégnation, on observe un échantillon de cire retiré du bain. Si la cire refroidie n'est pas dure mais gluante et foncée, la solution est remplacée par du PEG pur à même température; après une semaine, le test est recommencé. Parfois, cette opération devra être renouvelée plusieurs fois. Lorsque l'imprégnation est complète, l'objet est retiré du bain et l'excédent de cire s'écoule grâce à l'utilisation d'un courant d'air chaud. A ce stade, une pièce déformée peut être remodelée pendant que le bois est encore chaud et flexible. Enfin, après le refroidissement total, le surplus de cire est éliminé au toluène chaud (R.M. Organ, 1959, p.100-102).

Ce procédé demande moins de surveillance que la méthode précédente et cette simplification résulte de l'absence du pentachlorophénate de sodium.

#### La méthode de Seborg et Inverarity

Ce procédé consiste à plonger les pièces, ici des planches de bateaux, dans une solution aqueuse à 50 % de PEG 1000.

L'imprégnation qui se déroule à température ambiante se prolonge de quatre heures à trois semaines. Ensuite, le bois est séché à 26-27°C dans une humidité relative de 30 %. Les résultats obtenus ont été comparés à l'état de planches identiques séchées à l'air dans les mêmes conditions; le traitement a permis d'éviter les fissures apparues à la surface des planches non traitées. Le retrait de 5 à 7 % sur les pièces non traitées a été réduit à 0,5-1 % sur les autres. La méthode utilisée pour le traitement de bateaux a donné de bons résultats: de fines fissures sont apparues mais aucun retrait n'a été observé. Toutefois, le PEG 1000 devient gluant à une humidité relative de 80 % et suinte à une humidité relative de 90 %; des couches de protection et un contrôle rigoureux du milieu sont donc nécessaires (R.M. Seborg, R.B. Inverarity, 1962).

#### Le procédé de Brorson Christensen

Il consiste à plonger la pièce dans une solution froide à 10 % de PEG. Après quelques jours, on augmente la température pour atteindre 60°C; à ce niveau, elle reste constante jusqu'à la fin de l'imprégnation. Au fur et à mesure de l'évaporation de l'eau, on ajoute du PEG pour maintenir le niveau de la solution et à la fin, la pièce baigne dans du PEG dont la concentration oscille entre 95 à 100 %.

Ce procédé fut appliqué aux bateaux découverts à Roskilde. De bons résultats furent obtenus avec les feuillus à bois tendre mais les planches en chêne et certaines en pin présentaient un retrait considérable. Ces planches, en général les mieux préservées, furent étudiées. Les observations mirent en évidence l'existence, dans une même pièce, de plusieurs stades de détérioration (A, B et C). C'est pourquoi, lors de l'imprégnation, l'échange se faisait sans difficulté dans les couches de condition A et de condition B mais il ne s'opérait pas dans le noyau de condition C. Cette absence de PEG entraînait un affaissement de la partie interne et, par conséquent, celui des couches superficielles.

Le traitement a donc été appliqué sur base d'une classification. La catégorie I avec une partie interne dure peu importante ou même absente a été conservée selon le premier procédé sur une période de vingt-quatre mois. La catégorie II avec une partie centrale dure plus ou moins grande a été traitée à froid avec une solution de PEG contenant 1 % d'un mélange composé de quatre parts d'acide borique et de sept parts de borax. La concentration initiale de 25 % a été augmentée pour atteindre 50 % au bout de douze mois. Ensuite, le bois a été séché lentement avec, chaque jour, une courte immersion dans une solution à 50 % de PEG. Cette imprégnation à froid évitait la réaction d'affaissement qui aurait suivi le traitement avec élévation de température. L'étape finale de ces traitements consistait à éliminer le surplus de PEG à l'eau chaude ou au chlorure de méthylène et à appliquer un enduit imperméable. La catégorie III a été temporairement conservée dans l'eau (B. Brorson Christensen, 1970, p.33-35).

Les mêmes catégories de bois et les mêmes traitements ont été repris pour la conservation de bateaux découverts aux Pays-Bas. Pour le bois classé dans la catégorie III, des essais sont tentés avec la méthode du butanol/PEG décrite précédemment et avec la méthode du séchage contrôlé (J. de Jong, 1975, p.6-11 et 1978, p.12-13).

Des tentatives de conservation au PEG sur des bateaux de l'ampleur du Wasa (L. Barkman, 1975, p.65-105) et du Bremer Kogge (B. Noack, 1965, p.43-72) ont un caractère si particulier que leur étude ne me semble pas devoir prendre place dans cet exposé.

Après l'énumération de ces différents procédés utilisant le PEG, il reste à étudier la question du matériau employé pour les cuves d'imprégnation. Plusieurs avis contradictoires ont été émis mais selon des expériences récentes, l'acier inoxydable et le verre sont considérés comme les matériaux les plus résistants. Toutefois, vu le grand nombre d'aciers inoxydables proposés sur le marché, il est prudent d'effectuer des tests préalables.

En conclusion, le PEG offre de nombreux avantages. L'imprégnation débute directement sur le bois gorgé d'eau sans l'intermédiaire de solvants, le traitement est toujours réversible et le retrait des bois traités est généralement faible. De plus, la conservation peut débiter sur le chantier ou même s'y dérouler entièrement. Le procédé s'adapte également aux conditions requises par l'état du bois: par exemple, les différents traitements appliqués au chêne des catégories I et II. La méthode est valable pour des pièces de toutes dimensions et de toutes espèces de bois pour autant que la durée de l'imprégnation soit assez longue pour assurer une pénétration suffisante du PEG; c'est donc la seule méthode applicable à de très grandes pièces. Enfin, le PEG s'utilise aussi pour la conservation du cuir mais uniquement au poids moléculaire 1500.

Le procédé présente également des inconvénients dont certains sont négligeables en contrepartie des résultats obtenus et dont d'autres peuvent être écartés par des mesures adéquates. Un des principaux inconvénients est l'alourdissement parfois considérable des objets traités. La couleur foncée des pièces et la perte de netteté des détails, due aux frottements exercés sur la surface pour éliminer le surplus de PEG qui s'y est déposé, sont deux autres aspects peu favorables. Certains conservateurs reprochent encore au procédé la longue période d'imprégnation nécessaire; l'inconvénient ne peut cependant être retenu en regard de résultats tels que la conservation du Wasa et celle des bateaux de Roskilde... Le dernier inconvénient est l'hygroscopicité du PEG: à 80 % d'humidité relative, la surface des objets devient humide et à 90 %, elle suinte parce que le PEG se dissout dans l'eau absorbée et s'écoule lentement. Toutefois, cet inconvénient est facilement éliminé si l'on maintient les pièces dans une humidité relative de 60-65 %.

## CONCLUSION

Au terme de cette étude, je crois pouvoir dégager les conditions essentielles présidant à une bonne conservation ainsi que les traitements qui m'ont paru les plus efficaces.

Les conditions à remplir avant d'entreprendre un traitement sont au nombre de trois :

- une connaissance du bois à traiter: essence, degré de décomposition,...
- une connaissance des substances de consolidation : possibilités de réversibilité, comportement ultérieur,...
- une connaissance des conditions futures dans lesquelles les pièces seront exposées, le degré d'humidité relative essentiellement.

Quant au traitement, son choix repose sur différents critères. Du point de vue archéologique qui consiste à conserver le document avec un retrait minimal, les différentes méthodes énoncées ont toutes plus ou moins la même efficacité; si par contre, on tient compte de l'aspect du bois traité, c'est celle de l'alcool/éther/résine qui l'emporte.

Du point de vue d'un laboratoire modeste, les procédés de l'Arigal C, de l'alcool/éther/résine et de l'imprégnation à la cire m'ont semblé les plus intéressants. Le premier, assez rapide, nécessite l'utilisation d'un thermostat; son seul véritable inconvénient est d'être irréversible. Le traitement à l'alcool/éther/résine et celui par imprégnation à la cire sont un peu plus coûteux en raison des solvants utilisés et demandent un travail manuel plus long mais ils ont l'avantage d'être réversibles. Ces deux méthodes nécessitent un appareil à faire le vide mais pour l'imprégnation à la cire, il faut également un thermostat.

Enfin, j'émetts une réserve aux conclusions présentées ci-dessus et à celles qui suivent les divers procédés énoncés: elles ne doivent en aucun cas être considérées comme définitives. Le nombre de techniques s'accroît sans cesse grâce aux progrès de la science et si certaines, en cours d'expérience, ne peuvent être jugées, d'autres ne le sont qu'avec un recul beaucoup trop court. En conséquence, l'archéologue et le conservateur ne pourront qu'être prudents, choisissant de préférence un procédé réversible. Cette précaution permettra de suivre l'évolution des autres techniques et d'y avoir recours au cas où l'une d'entre elles se révélerait satisfaisante.

Index des noms commerciaux (1)

Liste des produits chimiques présentés dans cet article avec rappel de leur utilisation et de leur composition. Les PEG mentionnés de façon générale dans le texte sont signalés ici sous différents noms commerciaux.

<u>Produit</u>	<u>Composition</u>	<u>Utilisation</u>	<u>Producteur</u> (2)
Arigal C	Précondensat de mélamine-formaldéhyde	Consolidant	Ciba (3)
Carbowax	Polyéthylène glycol	Consolidant	Union Carbide Corporation
Dodigen 226	Sel d'ammonium quaternaire	Fongicide	Hoechst
Lyofix DM	Résine de mélamine-formaldéhyde	Consolidant	Ciba-Geigy
Lyofix 4036 devenu Lyofix DML	Résine de mélamine-formaldéhyde	Consolidant	Ciba-Geigy
PEG	Polyéthylène glycol	Consolidant	Shell Chemical
Polydiol	Polyéthylène glycol	Consolidant	Hüls
Polywachs	Polyéthylène glycol	Consolidant	Hüls

---

(1) Il est évident que ces produits ne sont pas uniques et que des compositions plus ou moins identiques sont proposées par d'autres firmes.

(2) Les adresses complètes sont mentionnées dans l'index des producteurs.

(3) La société Ciba n'existe plus. De même l'Arigal C a été remplacé par le Lyofix 4036, devenu le Lyofix DML produit par la Société Ciba-Geigy.

Index des producteurs

- CIBA-GEIGY, S.A., boulevard d'Ypres, 35-37, 1000 Bruxelles  
tél.: 02-218.67.02  
218.67.04  
218.01.56
- HOECHST BELGIUM, S.A., chaussée de Charleroi, 111-113  
1060 Bruxelles tél.: 02-537.73.35
- HÜLS CHEMIE, S.A., chaussée de Waterloo, 1589d, 1180 Bruxelles  
tél.: 02-358.77.81
- SHELL CHEMICAL - BELGIAN SHELL, S.A., Cantersteen, 47,  
1000 Bruxelles tél.: 02-512.31.60
- UNION CARBIDE BELGIUM, Atlantic House, Noordelaan, 147,  
2030 Anvers tél.: 031-42.30.50
- UNION CARBIDE EUROPE, avenue de la Renaissance, 34, boîte 39  
1040 Bruxelles tél.: 02-736.59.40

Brève orientation pour les musées et les laboratoires

- Rijksdienst voor de Ijsselmeerpolders, Smedinghuis,  
Zuiderwagenplein, 2, 8200 Lelystad, Pays-Bas.
- Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Ernst-Ludwig-Platz, 2,  
6500 Mainz, Allemagne.
- Viking Ship Museum, Strandengen, D.K. 4000 Roskilde, Danemark.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- AMBROSE, W.R.,  
1975 Stabilizing Degraded Swamp Wood by Freeze-Drying, ICOM Committee for Conservation, 4th Meeting, p.75/8/4- 1 à 14.
- BARGHOORN, El.,  
1949 Paleobotanical Studies of the Fishweir and Associated Deposits - Part II - Anatomical and Microchemical Studies of the Degradation of Plant Remains from the Site with Reference to "Fossilization", The Boylston Street Fishweir II, Papers of the Robert S. Peabody Foundation of Archaeology, 4, n°1, p.74-83.
- BARKMAN, L.,  
1969 Konservierung von Holz des Kriegsschiffes Wasa, Deutsche Kunst und Denkmalpflege, 27, 2, p.138-146.  
1975 The Preservation of the Warship Wasa, Problems of the Conservation of Waterlogged Wood, Maritime Monographs and Reports, 16, p.65-105.
- BOUIS, J.,  
1967 Principes de conservation et de restauration des bois antiques immergés, Sixième réunion mixte du comité de l'ICOM, Bruxelles, p.1-5.
- BRØGGER, A.W.,  
1937 The Preservation and Restoration of the Oseberg Find. Extrait du Dossier de la Conférence internationale des Fouilles, Le Caire, 9-14/3/1937 (IRPA).
- BRORSON CHRISTENSEN, B.,  
1970 The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark, Studies in Museum Technology 1, Copenhagen.
- DE JONG, J.,  
1975 The Conservation of Waterlogged Timber at Ketelhaven (Holland), ICOM Committee for Conservation, 4th Triennial Meeting, Venice, Tirage à part, p.1-16.  
1977 Conservation Techniques for Old Waterlogged Wood from Shipwrecks Found in the Netherlands, Biodeterioration Investigation Techniques, p.295-338.  
1978 The Conservation of Shipwrecks, ICOM Committee for Conservation, 5th Triennial Meeting, Zagreb, Tirage à part, p.1-16.
- EBERT, H.,  
1977 Zur Feuchtholzkonservierung, Arbeitsblätter für Restauratoren, 1, gr.8, p.78-80.

- EVANS, J.G., LIMBRAY, Susan,  
1974 The Experimental Earthwork on Morden Bog, Wareham, Dorset, England: 1963 to 1972. Report of the Experimental Earthworks Committee of the British Association for Advancement of Science, Proceedings of the Prehistoric Society, 40, p.170-202.
- FINDLAY, W.P.K.,  
1978 Timber: Properties and Uses, 2° ed., (London).
- FLORIAN, Mary-Lou,  
1977 Les objets saturés d'eau: la nature des matériaux, Journal de l'Institut de conservation canadien, 2, p.11-16.
- HAAS, A., MÜLLER-BECK, H., SCHWEINGRUBER, F.,  
1961/1962 - Erfahrungen bei der Konservierung von Feuchthölzern mit Arigal C, Jahrbuch des Bernischen Historischen Museums, 41/42, p.509-537.
- HAAS, A.,  
1969 Weitere Fortschritte bei der Konservierung von Feuchthölzern mit Arigal C, Arbeitsblätter für Restauratoren, 2, gr.8, p.16-20.
- KOLLMANN, Fr., COTE, W.,  
1968 Principles of Wood Science and Technology.I. Solid Wood, Berlin, Heidelberg, New York.
- LEVY, J.F.,  
1977 Degradation of Wood, Sources and Techniques in Boat Archaeology, p.15-22.
- MAC CAWLEY, J.C.,  
1977 Les objets saturés d'eau: un défi pour les restaurateurs, Journal de l'Institut de conservation canadien, 2, p.17-26.
- MAC KERREL, H. ROGER, Elisabeth, VARSANYI, A.,  
1972 The Acetone/Rosin Method for Conservation of Waterlogged Wood, Studies in Conservation, 17, p.111-125.
- MOREN, R., CENTERWALL, B.,  
1960 The Use of Polyglycols in the Stabilizing and Preservation of Wood: I. The Preservation of Archaeological Discoveries with Polyglycol, Meddelanden fran Lunds Universitets Historiska Museum, p.176-196.
- NOACK, D.,  
1965 Neue Beiträge zum Fund der Bremer Kogge - 3. Der gegenwärtige Stand der Dimensionsstabilisierung von Holz und Schlussfolgerung für die Konservierung der Bremer Kogge, Bremisches Jahrbuch, 50, p.43-72.

- ORGAN, R.M.,  
1959 Carbowax and Other Materials in the Treatment of Water-logged Paleolithic Wood, Studies in Conservation, IV, p.96-105.
- ROSENQUIST, Anna,  
1969 Der Osebergfund, seine Konservierung und gegenwärtiger Stand, Deutsche Kunst und Denkmalpflege, 27, 2, p.121-129.
- SEBORG, R.M., INVERARITY, R.B.,  
1962 Conservation of 200-year-old water-logged Boats with Polyethylene Glycol, Studies in Conservation, 7, p.111-120.
- VON KRAMER, W., MÜHLETHALER, Br.,  
1968 Über die Erfahrungen mit der Alkoholäthermethode für die Konservierung von Nassholz am Schweizerischen Landesmuseum, Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte, 25, 2, p.78-88.
- VON STOKAR, W.  
1939 Ein neues Verfahren zur Konservierung von Moorhölzern, Nachrichtenblatt für Deutsche Vorzeit, 15, 5/6, p.145-149.

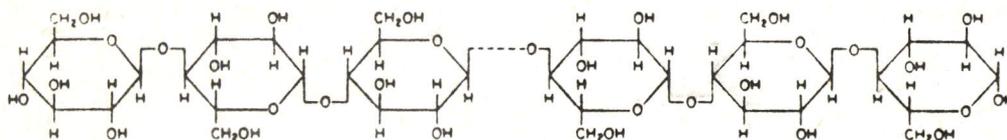


Fig.1. Structure d'une molécule de cellulose  
(W.P.K. Findley, 1978, p.53)

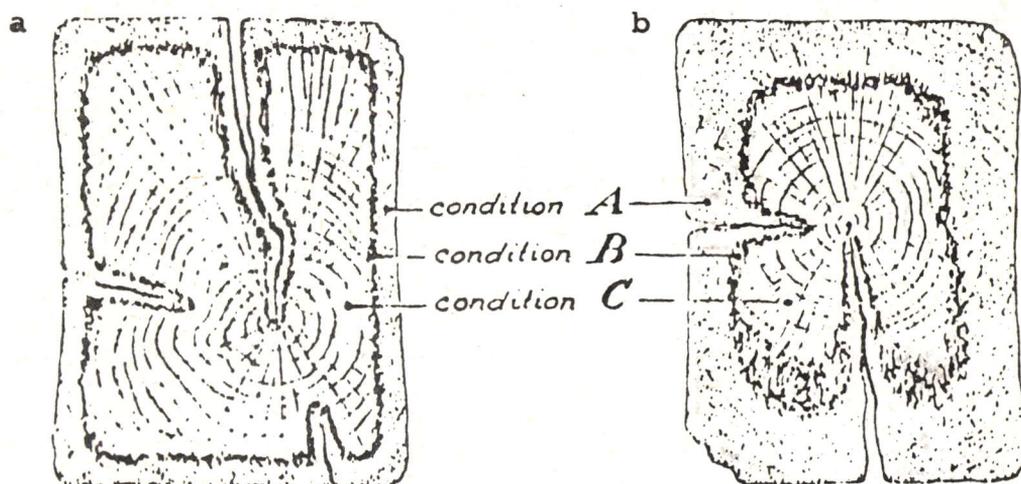


Fig.2. Coupe schématique de deux planches en chêne.  
La dégradation est plus avancée en b qu'en a.  
En effet, en b, l'épaisseur de la couche de  
condition A a augmenté tandis que le bois de  
condition C a diminué en importance  
(B.Brorsen Christensen, 1970, p.48).

Pourcentage d'eau  
par rapport à la  
matière sèche

taux exprimés en % par rapport au bois sec au four

Bois	Origine	Cellulose	Hémicelluloses	Lignine	Cendrées	Fe
Coeur de chêne	Récent	± 65	-	± 25	± 0,3	-
Coeur de chêne	Récent	± 50	-	32	0,4	-
Aubier de chêne	Récent	± 50	-	32	0,6	-
Hêtre	Récent	± 66	-	± 23	0,8	-
Coeur de chêne	Wasa (intérieur)	67	-	26*	-	-
Coeur de chêne	Wasa (extérieur)	26	-	62	-	-
Coeur de chêne	Bremer Kogge	96 - 120	-	36	5,3	-
Aubier de chêne	Bremer Kogge	600	-	62	7,7	-
Coeur de chêne	Bateaux d'Utrecht	131	8,1	25,1	2	0,8
Coeur de chêne	Bateaux d'Utrecht	455	9,4	50,6	8,9	0,5
Aubier de chêne	Bateaux d'Utrecht	760	3,1	64,1	10,1	0,4
Coeur de chêne	Bateaux de Zwammerdam	98	11,1	23,1	1,4	0,7
Coeur de chêne	Bateaux de Zwammerdam	494	16,9	51,3	7,6	0,5
Hêtre	Bremer Kogge	590 - 610	-	64	3,2	-

**Tableau I : Composition chimique de bois récents et de bois gorgés d'eau**  
(D. Noack, 1965, p.69, J. de Jong, 1977, p.300).

\* Rectification d'après L. Barkman qui mentionne 26 au lieu de 29 repris dans les tableaux de D. Noack et J. de Jong (L. Barkman, 1969, p.140).

