

La conservation du bois du bateau de guerre « Wasa » des Vikings

Lars BARKMAN

ORGANISATION

Le 10 août 1628, le WASA fait naufrage au large de Beckholmen (Stockholm) et sombre pendant sa première traversée. Le 24 avril 1961, la flotte de renflouage du Wasa ramène le navire à la surface, après quoi les travaux de conservation commencent.

La plus grande partie du navire est en bois. La longueur totale de la coque y compris le beaupré atteignait presque 70 m et la longueur du navire proprement dit, y compris la figure de proue, était de 62 m. Pour une largeur maximale du navire de 11,7 m, une hauteur du pont arrière de 20 m et un déplacement de 1.300 t, la surface totale à conserver s'élevait à 15.000 m². Sur un total de 24.000 objets récupérés, environ 700 étaient des sculptures et des motifs sculptés. L'utilisation de méthodes conventionnelles pour la conservation de ces trouvailles était impossible. Pour résoudre de façon aussi efficace que possible les problèmes qui se posaient, il fallait inventer de nouvelles méthodes et avoir recours à la science de l'ingénieur. C'est au début de l'année 1961 que fut créée la *Section de Conservation du Wasa* en conjugaison avec un comité d'experts, en vue de former *La Commission de Préservation du Wasa du Musée Historique Suédois de la Marine*. Cette Commission est constituée d'experts en matériaux de toutes sortes, susceptibles d'être trouvés sur le Wasa. Elle se compose comme suit : Bertill Thunell, Docteur du Génie civil (Président); Ernst Abramson, Prof.; Olof Arrhenius, Docteur en philosophie; Lars Barkman, Ingénieur diplômé (Chef de la Section de Préservation); Erik Björkman, Prof.; Lars-Ake Kvarning, Docteur en Philosophie; Per Lundström, Directeur de Musée; Einar Mattsson, Docteur en Philosophie; Bengt Rånby, Prof.; Gunnar Schoerner, Ingénieur en Chef de la Marine.

LA PROVENANCE DU BOIS DE CHENE DU WASA

Environ 90 % du bois sont du chêne, par exemple les planches de bordé, les couples, le matériel d'armement, les poutres, le pont principal,

le pont des canons supérieur et le pont des canons inférieur de la coque. Les 10 % restants sont en sapin, pin, tilleul, hêtre, aulne, saule, érable, frêne, bouleau, noyer et même en bois de poirier ou de pommier.

La provenance exacte du bois de chêne du Wasa n'a jamais pu être élucidée complètement. Des écrits renseignent néanmoins quelque peu sur les achats de bois effectués par le chantier naval en 1625 et 1626. Les achats portèrent sur des bois tout prêts pour la construction navale, en majeure partie des planches de chêne, mais aussi des bois tordus et des bois cintrés ainsi que des bois qui étaient débités par les ouvriers du chantier lui-même. Selon les possibilités et selon les idées des charpentiers de la marine, les arbres furent débités au moyen d'outils pour servir de mouchoir, de couples, etc.

A l'époque du Wasa on s'adressait pour l'achat de bois normalisés, par exemple de planches de chêne, soit aux nobles du pays, soit à des négociants suédois ou étrangers. Les plantations de chênes du pays appartenaient pour la plus grande partie à la noblesse, et c'est de leurs forêts que provenait le bois de chêne transformé en couples pour le Wasa. D'autres essences de bois provenaient aussi bien de la Suède que de l'étranger, les sources les plus importantes étaient le Smaland oriental, Angsö dans la partie de Västmanland du Lac Mälars et Erstavik dans le Södermanland. Une certaine quantité de planches de bordé fut achetée en Hollande, à Königsberg et à Riga à l'étranger, ainsi que dans le Småland et l'Östergötland en Suède.

Dans les écrits on trouve également les prix du bois et les frais de transport. Une planche de bordé coûtait 1 1/2 thaler, tandis qu'un chêne entier revenait entre 2 1/2 à 3 1/2 thalers pièce. Mentionnons, à titre de comparaison, que le salaire annuel d'un charpentier s'élevait à 170 thalers.

L'ETAT DU BOIS

La coque du Wasa et beaucoup de sculptures du bateau sont en chêne. Les propriétés physiques du bois de chêne furent analysées en vue de la mise au point d'une conservation efficace du bois. La résistance à la compression dans le sens des fibres t , la résistance à la flexion b , la dureté perpendiculairement au sens des fibres R , et la résistance à la flexion par choc A_B furent déterminées sur des éprouvettes intérieures et extérieures, ces dernières ayant été prélevées à 10 à 15 mm de la surface. Les éprouvettes proviennent du bois de cœur, car la coque ne contient pratiquement pas de bois d'aubier. Il n'existait pas de différence notable entre les éprouvettes prélevées à l'intérieur et celles prélevées à l'extérieur. Les résultats des analyses reproduits dans le tableau ci-après proviennent de la moyenne de 10 éprouvettes. A titre de comparaison on a fait figurer la résistance normale du bois de chêne fraîchement abattu.

Valeurs de résistance pour du bois de chêne humide

	Poids volumique F_{ou} g/cm ³	Résistance à la compression t kg/cm ³	Résistance à la flexion b kg/cm ³	Dureté H kg/cm ³	Résistance à la flexion par choc A_B kg/cm ²
Chêne du Wasa	0,46	171	350	284	0,35
Chêne normal	0,65	300	600	450	1,30

L'essai de la résistance à la flexion par choc semble indiquer que la cohésion entre le sens des fibres a été affaiblie.

Des échantillons du bois de chêne du Wasa furent examinés au microscope afin de déceler les attaques microbiennes, c'est-à-dire la présence d'hyphe de champignons, de bactéries, et d'étudier leur influence sur les parois des cellules. Outre les xylophages tels que le taret et la limnorie, les principaux destructeurs du bois dans l'eau de mer sont les champignons marins, qui appartiennent principalement au groupe des Ascomycètes et des fungi imperfecti.

Les 1 ou 2 cm extérieurs du bois sont attaqués par la pourriture le long des parois des cellules, notamment des cellules parenchymateuses.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre d'après les analyses des propriétés physiques du bois, la liaison entre les cellules était également en partie décomposée. On a trouvé des traces de champignons, mais en nombre insuffisant pour qu'ils eussent pu provoquer la destruction totale du bois. Une dissolution des parois de cellule causée par des champignons de pourriture spongieuse ainsi que des cordons d'hyphe bleuâtres ont seulement été observés sur la surface tendre du bois. L'attaque des parties intérieures du bois est probablement due à des bactéries, à une décomposition chimique ou à d'autres formes de destruction.

On a effectué des analyses sur du pin et du chêne, et comparé les résultats avec du bois frais. Les objets récupérés sur le Wasa ont fourni les valeurs moyennes suivantes :

	Eau %	Cendres %	Extrait DCHM %	Galactose %	Glucose %	Mannose %	Arabinose %	Xylose %	Résidu d'hydrol. %
<i>Chêne du Wasa</i>									
Surface	95	11	5,8	18	51	5	11	15	54
Milieu	57	2,1	1,9	2	63	2	1	32	29
<i>Chêne frais</i>		0,4	0,7	3	65	5	1	26	20
<i>Pin du Wasa</i>									
Surface	89	13	3,0	14	50	15	6	13	55
Milieu	67	1,7	2,2	4	67	18	2	9	28
<i>Pin frais</i>		0,3	6,0	7	62	22	3	6	27

Des échantillons prélevés sur la coque elle-même ont donné les valeurs moyennes suivantes par comparaison avec du bois de chêne frais; ce dernier est contenu dans quelques échantillons en provenance de la Suède méridionale dont l'âge est évalué à six millions d'années. Toutes les valeurs ont été obtenues avec du bois exempt de nœuds.

	Lignine %	Pentosane %
Eprouvettes fossiles âgées de six millions d'années	75,6	0
Chêne Wasa, échantillon superficiel	62,0	5,6
Chêne Wasa, échantillon prélevé à l'intérieur	26,0	18,4
Chêne frais	27,5	23,4

La partie intérieure a une composition chimique qui ressemble à celle du bois normal, tandis que la couche extérieure a subi une modification manifeste de la composition. La haute teneur en lignine est imputable à une élimination anormalement élevée d'hydrate de carbone pendant le long séjour dans l'eau.

Un autre facteur intéressant est que les attaques sont moins nombreuses aux endroits où il existait des joints de fer, bien que ceux-ci aient été depuis longtemps rongés par la rouille. La teinte du bois de chêne varie énormément. La plus grande partie est sombre, mais certaines parties ont pratiquement la même teinte que le bois de chêne frais. L'analyse du bois a démontré que la teneur en fer des parties désignées par « chêne noir » atteint 0,2 % du poids ou plus, tandis que dans les parties légèrement teintées, la teneur en fer n'atteint que 0,01 % du poids, basée sur le poids du bois sec.

La résistance aux attaques varie suivant l'essence du bois. C'est ainsi qu'on a constaté que les parties intérieures du bois de chêne ont très bien résisté, mais, que par contre, le bois de bouleau a été sérieusement détérioré.

Le taux d'humidité, c'est-à-dire la quantité d'eau, calculée en pourcentage du poids du bois sec, varie considérablement en fonction de l'intensité de l'attaque. C'est ainsi qu'on a noté dans le même morceau de bois de chêne, des variations comprises entre 150 et 800. Pour le bois de bouleau le pourcentage dépasse souvent 1.000. Il n'y a pas eu d'attaque de taret. Ce ver est un mollusque qui détruit le bois par perforation. L'absence de ce mollusque dans l'eau qui a baigné le Wasa est motivée par des raisons importantes, par exemple le manque d'oxygène, la basse température et la faible salinité.

Une autre circonstance heureuse, qui a contribué à la bonne conservation du bois de chêne, est le fait qu'au moment de son naufrage, le Wasa était un navire absolument neuf. Le seul traitement utilisé à cette époque par les constructeurs navals consistait en un badigeonnage au goudron de pin, dont l'effet protecteur est très faible. Il n'était pas rare qu'un bateau, qui n'avait été en service que durant quelques années, devait être réparé parce qu'il avait été attaqué par des champignons.

Retrait et gonflement

Le retrait est le problème le plus sérieux et le plus difficile à résoudre, tandis que la protection contre la pourriture n'entre en considération que dans la mesure où le taux d'humidité du bois se maintient dans les limites autorisant l'attaque par les champignons. Même si les objets renfloués, qui ont été traités et séchés, présentent un taux d'humidité plus élevé que des meubles d'intérieur non traités par exemple, les risques sont pratiquement nuls. Les risques d'attaque du bois par des insectes sont également très faibles et se laissent contrôler facilement.

Le bois frais commence à se contracter approximativement au point de saturation des fibres, c'est-à-dire à un taux d'humidité d'environ 30 %. En ce qui concerne le bois du Wasa, un retrait considérable se produit à des taux supérieurs à 400 % dans les parties les plus touchées, tandis que dans d'autres parties, le retrait se produit à des taux d'environ 100 %.

Il est manifestement intéressant de savoir de combien la coque a gonflé pendant son immersion de 333 années. Le déplacement longitudinal du bois est très faible par rapport au retrait tangentiellement aux cernes. On a mesuré la distance entre deux points fixes d'un barrot de pont et on l'a comparée avec des bordés de pont disposés perpendiculairement au barrot. Le gonflement pendant la période de séjour dans l'eau a ainsi pu être évalué à 1 % près.

En vue d'évaluer le retrait auquel on pouvait s'attendre lorsqu'on laissait le bois sécher naturellement, on effectua des essais avec du bois

prélevé sur le Wasa à la température ambiante, mais sans qu'il fût exposé à la lumière solaire directe ou à d'autres formes de séchage accéléré. Les résultats furent suffisants pour décourager même le plus farouche adversaire de la préservation du bois. On a mesuré des retraits de 15 % et plus sur les éprouvettes. Autrement dit : si l'on ne préservait pas la coque, il se produirait un retrait considérable. Il s'ensuivrait qu'il faudrait démonter le navire entier et le remonter ensuite, avec tous les inconvénients de dépenses et de retard qu'un tel procédé comporterait.

METHODES DE PRESERVATION

L'un des objectifs les plus urgents lors du choix d'une méthode de préservation consiste à trouver une méthode qui soit réversible, c'est-à-dire qui permette de renouveler la préservation à l'aide d'une autre méthode à une date ultérieure. Ceci constitue une précaution supplémentaire parce que — contrairement à leurs homologues industriels — les matières traitées dans les musées sont irremplaçables et doivent être préservées indéfiniment, avec des soins normaux.

Un autre point important est de déterminer aussi soigneusement que possible la composition et les propriétés du produit de préservation.

Dans l'ensemble, les produits naturels sont considérés comme les moins dangereux, tandis que les produits synthétiques modernes devraient être manipulés avec beaucoup plus de méfiance. C'est là, peut-être, une simplification excessive étant donné que l'aptitude d'une combinaison donnée est jugée d'après des propriétés entièrement différentes de celles de ses origines. En fait, les produits de préservation utilisés pour le Wasa sont de nature presque exclusivement synthétique.

La phase la plus importante du processus de préservation est la détermination de l'attaque par les insectes, de la pourriture, du retrait et de la fissuration. Pour résoudre ces problèmes on a choisi des produits susceptibles de se mélanger avec l'eau déjà présente dans le bois. Pour protéger le bois contre les attaques par les insectes et les champignons on a choisi un mélange d'acide borique et de borax dans la proportion 7 : 3. Des essais pratiques, effectués avec du bois traité au bore, donnèrent une impression fautive de la toxicité de celui-ci vis-à-vis des champignons, étant donné que le bois avait été soumis à une forte lixiviation. Malgré cela, on a constaté que le bore augmente de deux à trois fois la durée de vie moyenne du bois par rapport à des pièces de bois non traitées. L'accumulation d'eau atteignit 0,016 g/cm². En ce qui concerne le Wasa, la lixiviation ne posait absolument aucun problème, puisqu'elle avait eu lieu depuis longtemps à partir de l'intérieur. Les limites de toxicité furent étudiées dans de nombreux laboratoires. Avec la méthode d'étude sur cubes d'aubier de chêne prélevés près du sol, le seuil de concentration varie entre 0,17 et 0,6 %, par rapport au poids du bois sec, suivant la nature du champignon d'épreuve. Le degré de

toxicité le plus bas pour l'acide borique est inférieur à celui du borate de sodium et se situe entre 30 et 50 % des valeurs pour le borax. Pour cette raison le mélange avec de l'acide borique assure une meilleure protection; la solubilité dans des solutions aqueuses peut être augmentée, en outre, au moyen de polyéthylène-glycol. Le borate fortement alcalin a tendance à rendre les bois durs quelque peu fragiles, alors que la solution neutre à base d'acide borique n'exerce pas d'effets aussi nuisibles. En ce qui concerne la toxicité du bore vis-à-vis des insectes, la concentration mortelle pour le lyctus brunneus est de 0,12 %, tandis que pour l'anobium punctatum (vrillette), une concentration d'acide borique de 0,04 est absolument mortelle. Les limites de toxicité pour les larves de l'hylotrupes bajulus sont du même ordre de grandeur. Pour le contrôle de la moisissure verte et de la décoloration du bois d'aubier, on s'est servi de pentachlorophénate de sodium.

Les résultats des essais effectués sur des matériaux d'expérimentation ont été complétés par une vérification des résultats de la préservation de la coque. Ces analyses sont effectuées chaque année et portent sur des études étendues d'échantillons de bois qui ont été prélevés sur 500 pièces différentes.

On a effectué aussi bien des analyses chimiques que des déterminations de toxicité vis-à-vis des champignons générateurs de la pourriture du bois. Les valeurs moyennes du dosage de bore montrent que ce traitement a été efficace dès 1965. La valeur la plus faible enregistrée dans la coque atteignait 1,8 % en poids.

PLANCHES DE BORDE COUPLES PIÈCES D'ARMEMENT

Les essais de toxicité montrent que, contrairement au bois de chêne frais, le bois de chêne du Wasa, qui est constitué de duramen dans tous les endroits importants, possède une résistance naturelle vis-à-vis de la pourriture. Dans les éprouvettes, la décomposition par les attaques de champignons, a été de 21 % en trois mois pour du bois de chêne frais, tandis qu'elle n'a atteint que 7 % pour le bois de chêne préservé du Wasa pendant la même période. Le bois de chêne préservé était protégé presque intégralement contre la pourriture. Sur du bois de chêne qui n'était pas préservé à cœur, cette méthode d'essai a même permis de suivre la pénétration de l'antiseptique dans le bois et confirmé ainsi l'exactitude de l'analyse chimique.

LE POLYETHYLENEGLYCOL (PEG) EN TANT QUE PRODUIT STABILISATEUR

Le problème de la stabilisation du bois fut plus difficile à résoudre que celui de la découverte de méthodes pour la lutte contre les champignons. En outre, il n'existait pas de méthodes de traitement fiables, et l'on ne disposait pas non plus de valeurs relatives à la concentration

nécessaire à utiliser dans le bois pour y réaliser une stabilisation proprement dite, autres que celles des sels de bore pour la protection contre les champignons. Le rapport dans la diffusion de PEG est en outre plus faible que celui des sels de bore, et la distribution dans le bois est moins efficace.

Cela revient à dire que le processus de préservation au moyen de PEG demande plus de temps qu'avec des sels de bore. On estime qu'il sera achevé en juin 1971.

Lors du choix d'une qualité de PEG, on s'efforce d'en utiliser une ayant un poids moléculaire aussi faible que possible, afin d'augmenter le rapport entre la diffusion et l'absorption, dans la mesure où l'on ne recherche qu'une stabilisation du bois et non une augmentation effective de sa résistance. En ce qui concerne la coque du Wasa, on s'est efforcé, en premier lieu, de diminuer les risques de retrait et de fissuration, étant donné que — exception faite pour la surface extérieure très mince du bois — la résistance est d'ores et déjà satisfaisante. On utilise actuellement une solution à 15 % de PEG 1.500 dans l'eau. La surface extérieure sera traitée ultérieurement avec du PEG 4.000. Ce dernier poids moléculaire moyen sera également utilisé sur des objets récupérés, traités dans de vastes cuves. Ces objets détachés du Wasa sont de résistance variable, et cette méthode permet d'accélérer le traitement de préservation par une augmentation de la température de la solution.

Un autre facteur à prendre en considération lors du choix de la qualité du PEG convenable est l'hygroscopicité, qui croît à mesure que le poids moléculaire diminue. L'hygroscopicité du PEG et des sels de bore semble être un des facteurs de l'aptitude du PEG à stabiliser le bois.

Toutefois, lorsqu'elle est trop élevée, les pièces à préserver ne sécheront jamais et leurs surfaces resteront poisseuses. L'absorption d'eau du PEG varie en fonction de l'humidité relative et est maximale entre les poids moléculaires 1.500 et 1.000.

PRESERVATION DE DIVERS OBJETS EN BOIS

En raison des grandes quantités de matériaux à traiter on a édifié un bâtiment affecté spécialement à la préservation des objets en provenance du Wasa. La plupart des objets en bois sont traités dans deux cuves principales. Eu égard au fait que certains objets ont plus de 17 m de long, les cuves ont une longueur de 20 m. Leur largeur est de 1,65 ou 2 m et le volume total 80 m³. C'est probablement, en son genre, l'installation la plus moderne et la plus grande dans le monde entier. On utilise la méthode continue. Les cuves sont remplies d'eau pure, et la température est portée à 60° C. On ajoute une solution à 2 % d'acide borique et de borax dans le rapport 7 : 3

comme agent fongicide ainsi que du polyéthylène glycol soluble pour empêcher le retrait. On augmente la concentration très lentement pendant les douze premiers mois, de 1/12 % par 24 heures, car autrement le glycol risquerait d'être absorbé trop rapidement par le bois. Si cela se produisait, le taux d'humidité effectif du bois diminuerait trop rapidement, ce qui entraînerait le retrait des objets pendant qu'ils séjournent dans le bain. La concentration est augmentée ensuite de 1/5 % pendant les cinq mois suivants et de 1/2 % par 24 heures pendant le tout dernier mois. Avant et après le traitement de préservation, les pièces sont contrôlées par pesage et analyse des éprouvettes.

A la fin de la phase d'immersion du traitement de préservation les sculptures sont retirées et séchées progressivement, opération pendant laquelle elles sont soumises à un traitement superficiel avec une solution de glycol. Ce traitement dure six mois, mais les objets peuvent néanmoins être exposés. Après achèvement du traitement de surface définitif et du processus de séchage, le taux d'humidité se stabilise entre 10 et 20 %. Ce n'est qu'après que cet état est atteint, qu'on peut être certain qu'aucune autre modification ne se produira dans l'état du matériau, à condition, toutefois, qu'à partir de là, l'objet en question reçoive les soins de musée habituels. La période de séchage varie en fonction de la taille de l'objet, de sorte que les sculptures représentant des chevaliers nécessiteront par exemple 2 à 3 ans.

PRESERVATION DE LA COQUE

La préservation de la coque du Wasa a posé de nombreux problèmes intéressants. Pour des raisons aussi bien pratiques que économiques, un démontage de la coque et un remontage pièce par pièce étaient hors de question. Il fallait, au contraire, la traiter dans son intégralité avec des moyens spéciaux. Au début, la pulvérisation était pratiquée à la main, et pour empêcher la coque de dessécher entre les périodes d'arrosage, il a fallu prévoir un système d'humidification spécial pour le maintien de l'humidité de l'air. Un système d'arrosage entièrement automatique à pulvérisateurs permanents a toutefois été installé en mars 1965. Ce système a permis, d'une part, de supprimer la nécessité de surveiller le taux d'humidité et a également rendu, d'autre part, les conditions plus agréables pour les visiteurs et les ouvriers travaillant sur la coque. Avec le nouveau système, le bois a absorbé en un an plus du double de la quantité d'antiseptique qu'il ne l'avait fait pendant les trois années précédentes avec pulvérisation à la main. Fin 1965, toutes les planches extérieures, les couples et les objets d'équipement intérieur, dont certains atteignaient jusqu'à 46 cm d'épaisseur, étaient imprégnés d'antiseptique. Eu égard au fait que la plus grande partie du bois était du cœur de chêne, c'était là un résultat fort satisfaisant. L'antiseptique utilisé était un mélange d'acide borique, de borax et de polyéthylène glycol 1.500, c'est-à-dire qu'il avait un point de fusion

plus bas que le glycol utilisé dans les bains. On estime que l'arrosage de la coque se poursuivra jusque vers le milieu de l'année 1971.

Depuis le renflouage en 1961, la coque sèche très, très lentement. Il se passera encore plusieurs décennies avant que ce processus échelonné ne soit terminé. Cela n'entravera toutefois pas la poursuite des travaux de restauration et n'empêchera pas non plus le public de monter à bord de ce navire unique du xvr^e siècle.