

L'état actuel dans le domaine de la conservation du bois humide

B. MUHLETALER

De nos jours on considère comme résolu le problème de la conservation des bois humides retirés des fouilles. En ce qui concerne la conservation des objets de petite taille il existe bon nombre de méthodes et de produits dont je vous ferai un résumé précis. Mais en ce qui concerne les objets importants (bateaux, échafaudages, maisons, ponts) plus leur taille augmente, plus les facteurs entrant en ligne de compte et pouvant produire des résultats insatisfaisants sont nombreux. En effet, de minimes changements de dimensions s'accroissent sur des longueurs considérables, les procédés de conservation durent fort longtemps et sont très onéreux. Des améliorations s'imposent, mais elles nécessitent des études de base dépassant de loin les possibilités offertes par les laboratoires de musée : les Instituts de recherches sur le bois devraient s'en occuper. Vous connaissez sans doute des exemples récents d'une telle collaboration : la méthode de conservation pour le bateau hanséatique de Brême fut élaborée de concert par l'Institut de recherches sur la physique du bois à l'Institut fédéral de Recherches Reinbek près de Hambourg et la maison Borsig. La conservation du WASA ne serait pas possible sans la somme des expériences et des recherches entreprises par les Instituts supérieurs, l'Etablissement gouvernemental pour l'analyse des matériaux, et avant tout par l'industrie.

Le choix de la méthode des bois humides est déterminé par plusieurs propriétés du bois, notamment par ses réactions à l'eau. D'autres données sont aussi à considérer : d'une part les conditions climatiques du dépôt, d'autre part les exigences des conservateurs quant à l'aspect du bois et à sa maniabilité.

Lorsqu'il paraît, le bois humide offre généralement, une teinte claire, proche de la teinte naturelle, mais qui devient rapidement plus foncée à l'air. Ce brunissement s'explique par l'oxydation des acides d'humine, de leurs produits de décomposition et de ceux de la lignine. Les acides d'humine sont des corps étrangers en provenance du sol.

Dans la plupart des cas les bois humides des différentes espèces sont plus tendres qu'à l'état de bois vert. Ceci est l'effet d'un procédé de décom-

position dont la particularité et l'importance dépendent 1) de la composition primitive du bois et de sa structure, c'est-à-dire de son espèce et de l'histoire de son évolution. Font partie de la composition chimique les substances essentielles, les matières déposées dans les cavités des cellules et les interstices; 2) des circonstances ambiantes, donc du milieu. Il importe de savoir depuis combien de temps le bois a subi des altérations dans l'atmosphère libre. Ces altérations en plein air et donc dues à des conditions aérobies, peuvent consister en oxydation, en hydrolyse et en consommation par des groupes de champignons aérobies, c'est-à-dire ayant besoin d'oxygène pour leurs échanges organiques. De plus, il faudrait savoir à quelles conditions anaérobies le bois a été soumis sous la terre ou dans l'eau après s'y être enfoncé. En dehors de l'air, ce sont avant tout des micro-organismes anaérobies qui provoquent une décomposition. On sait que la part des micro-organismes dans la décomposition est plus importante que celle des influences purement chimiques. Les bois exotiques, dont les substances résineuses empêchent la pourriture et ont même un effet toxique sur les champignons, se conservent infiniment mieux dans des marécages ou dans le sol de la forêt vierge que nos conifères résistants relativement riches en résine.

Enfin, le troisième facteur déterminant la décomposition est, bien entendu, la durée de ces différentes influences.

Des études approfondies sur les phénomènes de décomposition microbienne ont été entreprises, surtout en Russie et en France, au Japon et en Inde. Après disparition des substances du bois solubles par diffusion, c'est généralement d'abord l'hydrolyse qui a lieu, c'est-à-dire une décomposition dans l'eau des hémicelluloses peu durables. Les hémicelluloses plus durables ne sont attaquées que par de rares micro-organismes spécifiques. La décomposition de la cellulose va de pair avec celle des hémicelluloses plus durables. Finalement, seules restent les substances stables de lignine.

Les altérations chimiques provoquées par des micro-organismes sont différentes selon les espèces. Grâce aux produits des échanges organiques on peut déterminer l'espèce des organismes. Dans notre cas cette méthode ne nous est d'aucun secours, parce que le long séjour dans l'eau a fait disparaître par diffusion les produits spécifiques de la décomposition.

La composition chimique du reste de bois humide ne nous indique plus rien sur la nature de ses destructeurs. Formulé d'un point de vue pratique, cela signifie que deux bois ayant à l'état humide la même composition chimique peuvent réagir fort différemment pendant le procédé de séchage et de conservation. Malgré une composition chimique similaire, la structure de la substance du bois peut offrir des différences minimes, mais lourdes de conséquences. La structure est importante pour la réaction du bois durant le séchage, la conservation et le dépôt ultérieur. L'examen microscopique nous renseigne sur la structure et, par conséquent, sur la préhistoire du bois. La structure doit nous indiquer la substance qu'il

faut introduire dans le bois pour remplacer celle qu'il a perdue et par quelle voie et sous quelle forme cela doit se faire.

Pour être à même de juger de la possibilité de conservation il nous faut connaître la réaction du bois humide à l'humidité atmosphérique normale.

Caractéristiques du bois humide

Si du bois récemment coupé est exposé à l'air après avoir séjourné dans l'eau jusqu'à complète saturation, il y a échange de l'humidité du bois avec celle contenue dans l'air. C'est-à-dire que le bois sèche jusqu'à atteindre l'équilibre avec l'humidité ambiante. La valeur de cet équilibre dépend de la température.

Au fur et à mesure du séchage du bois son volume diminue; il se rétrécit. La cause en est la structure sub-microscopique et les propriétés d'absorption qui en dépendent. Nous sommes suffisamment bien renseignés sur la structure morphologique et l'arrangement des groupes d'hydrolyses de cellulose déterminant l'hygroscopicité. Il suffira donc de signaler uniquement ici les principales différences entre la conservation du bois humide et celle du bois vert.

1. Augmentation de la porosité et de la perméabilité

Le bois est un corps poreux composé de la substance des parois cellulaires des cavités remplies d'air. La paroi cellulaire possède la structure complexe et hétérogène d'un système capillaire submicroscopique. Les dimensions des cavités varient d'un millionième de millimètre (fentes intermicellaires) à quelques cent millièmes de millimètre (distance des microfibrilles). C'est dans les premières qu'apparaissent les phénomènes de gonflement, alors que les dernières contiennent la substance de lignine. Ce système de cavités ayant une surface interne immense (à peu près 200 m² pour un gramme de bois sec) contient le liquide appelé l'eau hygroscopique. Celle-ci reste dans le bois après établissement de l'équilibre avec l'humidité ambiante et représente dans du bois normal au moins 30 % environ du poids entier.

En ce qui concerne le bois humide des objets archéologiques, le système de cavités se trouve élargi par suite de pertes en matières celluliques et en lignine. La surface intérieure est donc de moindre étendue. Par conséquent les endroits où se déroulent les phénomènes hygroscopiques sont devenus moins nombreux, la capacité de gonflement du bois a diminué. En d'autres termes: le bois, corps primitivement colloïdal - capillaire - poreux se transforme pour devenir un corps uniquement capillaire-poreux, c'est-à-dire que dans le système des cavités il ne reste pratiquement que de l'eau circulant librement.

Dans le bois normal celle-ci se tient à l'intérieur des cavités cellulaires et inter-cellulaires. En étudiant le contenu d'eau, on peut mesurer à peu près le degré de décomposition du bois humide.

2. Altération de la structure visible au microscope, à laquelle je préfère de ne pas m'attarder.
3. Faible poids spatial et solidité amoindrie.

La diminution de la solidité est généralement bien plus grande pour les bois d'arbres feuillus qu'elle ne l'est pour celui des conifères; elle va de pair avec la perte de substance. On la discerne davantage à l'aubier qu'au cœur du bois. Exemple : le hêtre rouge du bateau trouvé à Brême avait une résistance à la pression, dans le sens de ses fibres, 25 fois inférieure à celle du bois vert.

4. Matières étrangères dans les cavités.

L'augmentation du système des cavités ainsi que le long séjour dans le sol humide avait pour suite l'amoncellement de matières étrangères organiques (vase pourrie, matières colorantes des marais etc.) et minérales (argiles, hydroxydes de fers colloïdaux etc.). Les matières étrangères peuvent quelquefois donner plus de solidité durant le temps de séchage. Mais elles rendent difficile la pénétration des produits de conservation et donnent au bois un aspect et une teinte peu naturels. Pour obtenir une conservation de parfaite qualité il importe de les éliminer, au moins des zones périphériques du bois.

5. Réaction anormale durant le séchage.

Si l'on sèche du bois vert saturé d'eau, l'eau s'évapore d'abord; ensuite les parois cellulaires se débarrassent de l'eau hygroscopique jusqu'à ce que l'état d'équilibre soit obtenu avec l'humidité ambiante. En même temps se manifeste une diminution du volume du bois correspondant à peu près au volume d'eau hygroscopique éliminée. Ces phénomènes de diminution n'existent que dans le domaine hygroscopique, c'est-à-dire, de 30 à 0 %. Les changements de dimension sont fonction des principaux changements anatomiques du bois : elles varient tangentiellement d'à peu près 10 %, radialement d'à peu près 5 %, et longitudinalement (sens des fibres) de très peu, de moins de 1 %. Quant au bois archéologique, les phénomènes de diminution s'observent bien avant que l'humidité du bois ait atteint les limites de la saturation des fibres.

Par suite de la tension de la surface de l'eau dans les vaisseaux capillaires, les parois cellulaires amollies ne résistent pas aux forces d'attraction de l'eau capillaire et s'effondrent; le bois se rétrécit, se déchire, joue, souvent jusqu'à la désagrégation complète. Nous assistons donc à un phénomène bizarre : le bois archéologique diminue anormalement, malgré une humidité ambiante pouvant atteindre 98 % et malgré un séchage soigneusement entrepris.

Pour le problème de conservation, deux facteurs sont à considérer :

1. Éliminer l'eau jusqu'à obtention d'un équilibre avec l'atmosphère entourant l'objet sans que des altérations de la masse interviennent durant ce procédé. Les résultats de recherches récentes sur le bois nous apprennent qu'une fois l'invariabilité de la masse obtenue, elle ne peut être

maintenue que par l'équilibre sus-mentionné, c'est-à-dire par une température et une humidité invariables et restant dans des limites restreintes.

2. L'objet rendu friable par le séchage, a besoin d'être renforcé mécaniquement par des produits de solidification. Il doit supporter son propre poids et être maniable. De plus, son hygroscopicité doit être modifiée de telle manière que l'objet supporte des changements climatiques extrêmes sans pour cela changer de forme.

Pratiquement des procédés existent, bien entendu, qui combinent les deux phases du séchage et de la solidification; elles se déroulent en même temps, ou bien le séchage est évité par une solidification mécanique dans un milieu humide.

Les possibilités de la conservation dépendent d'une part des propriétés décrites et de la structure du bois humide et d'autre part des propriétés des produits de solidification. Avant de vous donner un aperçu des produits et des méthodes de conservation, j'aimerais faire remarquer que déjà au cours des fouilles il serait souhaitable de veiller aux meilleures conditions pour la conservation ultérieure : il est important que les objets ne commencent pas à sécher. Mis dans des sacs en polyéthylène ils peuvent être conservés dans l'eau, additionnée d'un fongicide. Si le délai entre ce trempage et la conservation était très long et si l'on ne pouvait maintenir les objets sous l'eau, on pourrait les imbiber de glycérine ou d'éthylène glycol (antigel pour voitures) à condition que le climat ambiant soit très sec. Au cas où l'on est certain de procéder à la conservation ultérieure par des polyéthylèneglycols, le traitement peut déjà commencer à l'endroit des feuilles en utilisant différentes sortes de polyéthylèneglycols à bas degré moléculaire dilués à 10 % au maximum. Ici encore l'addition d'un fongicide à la solution est indispensable.

Avant le transport d'objets délicats protégés par du plâtre ou d'autres matières durcissantes, il est indispensable d'isoler le bois par des feuilles d'aluminium ou d'autres produits semblables. Il faut éviter de gêner ou de restreindre les mesures ultérieures de conservation. C'est pourquoi on devrait s'abstenir d'employer des fongicides contenant de la formaline, du phénol ou des sels de métaux. Plus tard ils pourraient dérégler le procédé de durcissement de résines à deux composants, ou, lors d'un traitement par le polyéthylèneglycol, ils pourraient diminuer considérablement la persistance.

3. Possibilités fondamentales : La structure et les propriétés du bois offrent les possibilités suivantes : obtention de la solidité mécanique originale par introduction de substances étrangères à la place de celles disparues. Au produit de solidification incombe une fonction mécanique d'appui, soit en remplissant intégralement les cavités, soit en renforçant les surfaces extérieure et intérieure, cette dernière étant visible au microscope. Si les circonstances climatiques sont extrêmes, le produit de solidification doit aussi être à même d'exclure les changements de volume déterminés par l'hygroscopicité. On exige donc du produit de solidification

d'avoir comme effet supplémentaire de stabiliser les dimensions. Parmi les produits de solidification et de stabilisation de dimensions employés jusqu'ici, les uns sont sensibles à l'humidité, les autres sont imperméables à la vapeur d'eau. Si le produit de solidification est sensible à l'humidité, donc perméable à la vapeur d'eau, il agit comme un amortisseur entre les influences du climat et de la substance hygroscopique du bois. C'est donc de l'hygroscopicité du produit de solidification que dépendra le degré jusqu'auquel il sera susceptible de compenser les inégalités extrêmes du climat. L'expérience nous a montré que seules sont compensables les variations climatiques de courte durée et de peu d'importance.

Les produits de solidification insensibles à l'humidité, donc imperméable à la vapeur d'eau devraient être à même de défendre le bois de toutes les variations climatiques. La substance du bois se trouverait alors continuellement dans les mêmes conditions qu'au moment de son imprégnation. Cette solution serait idéale s'il existait des produits qui, en couches minces, étaient totalement imperméables à la vapeur d'eau et dont on pourrait couvrir sans faille la surface intérieure du bois. En réalité il n'existe pas une seule résine synthétique parfaitement imperméable à l'eau. Les meilleurs produits de ce genre ne sont d'aucune utilité pour ce que nous recherchons parce que, soit ils ne sont pas solubles, soit ils ne peuvent pénétrer en profondeur à cause de leur haut degré moléculaire.

En revanche, on obtient des résultats satisfaisants en employant des huiles bitumineuses et des solutions de résine synthétique qui pénètrent le mieux dans le système de bas degré moléculaire capillaire submicroscopique du bois.

En enduisant la surface extérieure d'un objet en bois d'une couche, même très épaisse, on peut uniquement influencer sur la vitesse à laquelle on atteindra l'équilibre entre l'humidité maximum du bois et le climat ambiant extrême. Avant l'utilisation d'un produit de solidification, la déshydratation du bois s'impose; on peut avoir recours à trois procédés :

1. Faire geler l'eau dans le bois et l'éliminer par sublimation dans le vide - la méthode de séchage par le gel.
2. Remplacer l'eau par des liquides qui en refroidissant se figent et sont éliminés par sublimation dans le vide - modification du procédé de séchage par le gel avec addition d'alcool de butyle tertiaire.
3. Remplacer l'eau par des liquides qui s'éliminent en s'évaporant à une température normale et à la pression atmosphérique ou bien dans le vide. C'est une partie de la méthode à l'alcool - à l'éther - et à la résine utilisée par le Musée Fédéral Suisse.

Dans de nombreuses méthodes, la déshydratation ne va pas jusqu'à l'obtention de bois sec; le liquide servant à la déshydratation est remplacé à la fin par une solution qui fait également partie de la solution préservatrice proprement dite.

Les propriétés des produits de solidification offrent les possibilités suivantes

1. Introduction de corps solides dans le système de cavité comme moyen d'appui, soit en les fondant à une température élevée (autrefois la paraffine, la cire d'abeilles modifiée de plusieurs manières; de nos jours les polyéthylène-glycols), soit en les dissolvant dans l'eau, respectivement dans des solutions organiques à une température normale ou élevée (autrefois des colles, du sucre, de l'alun; actuellement des polyéthylène-glycols, parfois des résines synthétiques à une composante solubles dans l'eau, et la méthode à l'alcool - l'éther - et la résine). A ce groupe appartiennent la plupart des laques séchant mécaniquement par l'évaporation du produit de solution ou bien par absorption d'oxygène atmosphérique.

Les polyglycols sont pour le moment les produits dont l'emploi offre le plus de possibilités. Leur efficacité est garantie par leur solubilité dans l'eau qui dans des solutions suffisamment diluées permet une diffusion dans le système capillaire submicroscopique du bois.

2. Possibilité des phénomènes d'absorption aux endroits hygroscopiques de la substance de la paroi cellulaire. Les groupes d'hydroxyle et d'éther des molécules PEG pourraient exercer des fonctions de gonflement plutôt restreintes il est vrai en comparaison avec celles de l'eau. Grâce à de nombreux travaux nous savons que le PEG peut obtenir une parfaite stabilisation de dimensions, si le bois a pu être imprégné suffisamment : le degré de décomposition du bois semble déterminer la quantité de PEG à employer pour obtenir la stabilisation parfaite. Dans le cas de vieux bois de pin ayant séjourné dans l'eau il en a fallu au moins 70 %.

En appliquant cette méthode il faut en faciliter le plus possible la diffusion. Pour en arriver là il faut purifier le bois des matières contenues, choisir une faible concentration initiale de PEG (10 à 15 %, au maximum 25 %) et un poids moléculaire moyen des PEG. Si cela est faisable on devrait opérer à une température élevée. De plus il faudrait accorder assez de temps au procédé d'échanges.

Les conservations exécutées par-ci, par-là au moyen des PEG diffèrent simplement par le choix de la nature du PEG, celui de la concentration initiale, celui de la durée du processus et celui de la température.

3. L'injection d'un liquide s'endurcissant jusqu'à en devenir un corps solide, ou bien en tant que matière synthétique liquide et monomère, rendu polymérisé ou polycondensé au moyen d'un catalyseur (styril ou bien acide d'acrylester aux peroxydes, résines de phénol, d'urée, formaldéhyde, polyester, résines époxydes) ou bien en tant que matière synthétique liquide et monomère, polymérisée au moyen de rayons gamma, riches en énergie (acides d'acrylester et methacrylester avec Cobalt 60, comme source de radiation). Il faut tenir compte également des résines mélamine-formaldéhydes telles que l'Arigal C. Pour des objets de petite taille, les méthodes les plus universellement utilisables sont la méthode

Arigal et la méthode alcool - éther - résine. Les limites de l'utilisation de la première méthode dépendent de la durée de la préparation encore toujours très brève; les limites de la seconde méthode dépendent du danger inhérent aux grandes quantités d'éther. Pour le traitement des conifères et de la moelle du bois de chêne, ces deux méthodes s'avéraient en général moins efficaces que celle utilisant les polyglycols, qui exige cependant des traitements de plus longue durée.

Pour l'avenir, les matières synthétiques monomérisées nous fournissent des produits de solidification très convenables. En effet, ces matières, liquides, de faible viscosité, pénètrent fort bien dans le bois et peuvent être durcies à un moment librement choisi.

4. Introduction d'un corps gazeux, polymérisé en corps solide soit par des catalyseurs, soit par des rayons gamma. Nous n'avons pas encore eu recours à cette méthode dans notre domaine, mais son emploi industriel a déjà été breveté. Il est évident qu'il s'agit à présent de choisir un produit de solidification capable de pénétrer totalement dans le système capillaire du bois. Cette capacité dépend avant tout de la taille et de la forme de ses molécules. En remplissant les plus grandes cavités du bois, on peut obtenir une simple solidification mécanique, en choisissant parmi les nombreuses matières naturelles et synthétiques. Dans la plupart des cas on obtiendra de bons résultats, si toutefois les circonstances climatiques de la conservation sont satisfaisantes. Mais si nous nous efforçons d'obtenir une solidification et une stabilisation parfaites, et ceci dans des circonstances climatiques défavorables, nous n'aurons que peu de produits de solidification à notre disposition.

Les résines synthétiques sont des polymères, c'est-à-dire qu'elles se composent de matériaux simples reliés parfois les uns aux autres comme les maillons d'une chaîne. Le nombre des unités se répétant est appelé le degré de polymérisation. Le poids d'une molécule composée de cette matière est appelé le poids moléculaire. Les deux notions nous aident à comprendre la taille d'une molécule polymère. A côté des molécules polymères filiformes et linéaires il en existe qui, à intervalles réguliers, ont formé des ramifications le long de la chaîne, et d'autres où les molécules entières se sont unies entre elles transversalement; elles présentent un réseau spatial, autrement dit, elles durcissent. Dans ce cas elles ne sont plus solubles, à la rigueur peuvent-elles gonfler dans quelques solutions. De même ne peuvent gonfler que les molécules filiformes circulant librement, linéaires ou ramifiées, ayant un très haut degré de polymérisation. De telles molécules géantes ont, en effet, tendance à s'agglomérer étroitement les unes aux autres formant des « paquets » si bien que les produits de solutions ne peuvent s'infiltrer que difficilement entre chaque chaîne. Elles présentent un GEL, non une solution dans laquelle les molécules peuvent circuler librement. Les polymères ayant un degré de polymérisation moyen ou bas se laissent de plus en plus facilement dissoudre.

Il apparaît que la plupart des cires et des résines d'origine naturelle ont en moyenne des degrés de polymérisation moindres que les cires et les

résines synthétiques. Comme, à part cela, leurs propriétés se ressemblent on les utilise pour remplacer les premières. Exemple, la paraffine naturelle fondant entre 52 et 65° Celsius, possède un degré de polymérisation d'environ 17 - 35 ce qui donne comme poids moléculaire 250 à 500. Des paraffines synthétiques fondant à 130° peuvent déjà atteindre des degrés de polymérisation de 500, et des poids moléculaires allant jusqu'à 7.000.

En outre, il a été prouvé que des polyéthylèneglycols ayant un degré de polymérisation allant jusqu'à 6, correspondant à un poids moléculaire allant jusqu'à 400 environ, peuvent s'infiltrer presque complètement dans le système capillaire submicroscopique du bois. Des dés en bois de chêne ou de frêne, traités par ces polyéthylèneglycols gardaient intactes leurs dimensions. Des polyéthylèneglycols d'un degré de polymérisation supérieur ne peuvent plus pénétrer parfaitement dans les bois. Les résines et les cires d'origine naturelle ont plus de chance d'obtenir une stabilisation de dimension suffisante que n'en ont leurs remplaçants synthétiques. Nous comprenons sans difficulté les raisons pour lesquelles les celluloses d'acétyle et de méthyle dérivées de cellulose, ont une moindre capacité de pénétration. Ils ont des degrés de polymérisation de 200 à 300, leur élément de base étant déjà en lui-même une grosse molécule.

Si on vise une solidification totale, deux possibilités sont à notre disposition : l'utilisation des cires et des résines naturelles, des polyéthylèneglycols et des polyvinylacétates ayant tous un bas degré moléculaire. Ou bien la production, par polymérisation aussitôt à l'intérieur du bois, du corps solide à haut degré moléculaire, en partant des éléments de base, à savoir, les monomères capables de pénétration. Ceci est déjà réalisable. Quelques firmes fournissent des résines de méthacrylates qui, après mélange avec des produits durcissants appropriés et des catalyseurs, pénètrent dans le bois, à une température normale, de préférence, à sous-pression et qui, légèrement réchauffés y durcissent tel un corps figé. Voici un autre procédé : le bois est imbibé de méthylméthacrylate monomère, sans addition de catalyseur; ensuite, on l'expose aux radiations d'une source de Cobalt 60. La quantité de radiation était de 5 Mrad à une intensité de radiation de 0,1 Mrad/h. Grâce à ce procédé, on a pu obtenir une solidification et une stabilisation de dimension à 100 %. Puisqu'il s'agit de rayons gamma, il va de soi que le bois ne devient pas radio-actif.

Des auteurs russes ont élaboré un procédé qui utilise des matières initiales solubles dans l'eau, l'acétone ou l'alcool pour réussir la formation de résine d'urée ou de mélamineformaldehyde dans la résine. L'Institut central de restauration de Moscou s'en sert avec succès pour la conservation des sculptures et des objets archéologiques en bois.

SUMMARY

NOTE ON PRESERVATION PROCESSES FOR MOIST WOOD

A reasonable range of materials and techniques is available for the conservation of archaeological moist wood finds. These materials and techniques are the fruit of elaborate tests, developed over the years by experts in the conservation area on the basis of the easiest technical means. In brief, conservation of all small moist wood objects can be achieved, provided they can be displayed in a museum with stable climatic conditions. To this extent, the problem of conservation can be considered as solved.

In the case of bigger objects, such as ships, houses or parts of bridges, the increase in size creates problems out of all proportion to the actual increase in dimensions, which can be neglected in the case of smaller ones. Consequently, preservation processes are stretched over extremely long periods of time and require important technical and organizational equipment. They further call for basic research which exceeds the capacity of a museum laboratory and must be carried out in wood-research institutes. Recent examples of collaboration of this kind have come to our knowledge. Thus the preservation process for the "Bremen Cogg" was developed jointly by the Institute of Wood Physics of the Reinbek Federal Research Institute near Hamburg and the Borsig laboratory. Similarly, without the wide range of experience and the research undertaken by the university institutes and the State laboratory for the testing of materials, and above all without the support of industry, conservation of the Vasa would never have been achieved.

For the selection of a preservation process for moist wood, a certain number of properties of the material must be taken into account, the chief of which will be its relationship with water. Also important are the climatic conditions and the curator's requirements with regard to display and handling.

Characteristics of moist wood

1. Moist wood is usually less hard than recently cleared wood. This is the consequence of a degradation process depending on :
 - a) The wood species and the circumstances of its growth;
 - b) Environmental, soil chemical and physical conditions, presence of micro-organisms greatly encouraging destruction;
 - c) Duration of the interaction of all these influences.
2. In order to evaluate the possibilities of preservation, it is important to know how moist wood reacts against the atmospheric moisture at the place where it is to be treated, and also at the place where it is to be conserved, and also the relationships between the moist wood

and water. In comparison with new wood, typical differences to be observed are :

- a) Increase in porosity and permeability;
- b) Modification of microscopic structure;
- c) Lower specific gravity and lower resistance;
- d) Deposits of foreign substances in cavities;
- e) Abnormal behaviour during the drying process.

3. The problem of conservation involves the following two factors :

- a) Water elimination until a balance is reached with the object environment, without involving a subsequent mass modification. (Contemporary research has revealed that when a mass constancy is reached it can be preserved only when the balance in question can be maintained, i.e. when ambient air temperature and moisture-content are kept unchanged or within very specific and restricted limits.)
- b) The dried-out, and consequently fragile, object should be strengthened by mechanical strengthening methods. It should be enabled to support its own gravity and to stand handling. Moreover its hygroscopicity should be modified in such a way that it does not react to climate modifications by distortion.

Possibilities of preservation

The structure and properties of wood are such as to allow of restoration of mechanical solidity by means of insets of foreign substances replacing those which have disappeared.

The strengthening agent should assume a supporting function, either by filling in cavities in the wood or by coating the external surface and the internal surface detected by the microscope.

In the case of extreme climatic conditions, the strengthening agent should be capable of preventing or eliminating volume alterations determined by hygroscopicity. This agent should therefore also be capable of exerting a dimensional stabilization effect.

The strengthening agents available are such as to provide the following possibilities :

1. Introduction of *solids* into the cavities of wood as a supporting agent, either after melting at a very high temperature or as a solution in water or in an organic solution. The solid remains after the solvent is evaporated.
2. Introduction of a *liquid* which solidifies in the wood cavities. The solidifying process is developed through polycondensation or polymerization by means of a catalyser or by the application of high-energy rays in the wood itself.

3. Introduction of *gaseous substances* which are polymerized by means of catalysers — previously inset through impregnation — or by gamma rays. At this point a strengthening agent should be selected for thorough penetration into the wood cavities.

The capacity of a strengthening agent is mainly dependent on the size and form of its molecules. Plain mechanical strengthening, through filling-in of the largest wood cavities, can be achieved with a wide range of natural or synthetic compounds. When the conservation process is developed in a more-or-less climatized environment, the operation is generally successful in practice. However, when an attempt is made to achieve optimal strengthening and dimensional stability under unfavourable climatic conditions, the process adopted must be one of the few available for such use.