

L'assainissement du bois dans les édifices d'intérêt historique ou artistique (édifices classés)

R. MUNNIKENDAM, Amsterdam

Dans cette conférence, j'aimerais m'entretenir avec vous des problèmes posés par l'assainissement des bois attaqués dans les édifices d'intérêt historique ou artistique. En ce qui concerne l'exécution des mesures d'assainissement, il y a lieu de rechercher d'abord quel est l'organisme qui a provoqué le dommage, de déterminer l'étendue des ravages et d'en analyser les causes. On devrait du reste attacher une importance particulière à ce dernier point, surtout lorsqu'il s'agit de champignons.

Avant de procéder à l'assainissement proprement dit, il y a lieu de remédier d'abord, par exemple, aux fuites négligées ou aux défauts d'exécution du bâtiment qui empêchent ou entravent la circulation de l'air.

Mais avant de m'occuper de la lutte et de l'assainissement pratique, je voudrais vous parler un peu des principaux destructeurs du bois. En ce qui concerne les cryptogames, je me limiterai aux 3 champignons générateurs de la pourriture brune, à savoir : le mэрule, le champignon des caves (*coniophora cerebella*) et le polypore.

Il manque aux champignons les chromophores caractéristiques de la plupart des groupes de plantes, par exemple la chlorophylle; de ce fait l'assimilation, c'est-à-dire la synthèse d'hydrate de carbone à partir d'acide carbonique et d'eau à l'aide de la lumière solaire, n'est pas possible.

Pour pouvoir vivre et se développer les champignons ont besoin de substances organiques de plantes et d'animaux vivants ou morts qui leur permettent de vivre soit en parasite, soit en saprophyte.

Les champignons qui vivent sur le bois ont une structure constituée par des filaments disposés les uns derrière les autres, appelés hyphes. L'ensemble des hyphes constitue le mycélium qui, dans le cas du mэрule, apparaît sous forme d'un coussin de mousse superficiel dense.

Dans la plupart des cas, la propagation des champignons a lieu

par des spores qui sont formées dans des endroits déterminés, les carpophores.

La quantité de spores formée est très importante. C'est ainsi, par exemple, qu'il peut se former 1,5 million de spores sur une surface hyméniale de 1 cm².

C'est pourquoi les spores des champignons du bois se rencontrent partout et toujours en quantité surabondante.

Donc, si du bois d'œuvre reste sain sans qu'il soit protégé cela n'est pas dû à l'absence de spores, mais à des conditions de vie défavorables à une germination et à un développement du champignon.

Les générateurs de pourriture brune décomposent la cellulose de la paroi de la cellule, tandis que la structure ligneuse de la paroi reste intacte. Il se produit ainsi des contraintes qui se manifestent tout particulièrement lors du séchage du bois, sous forme de fissures parallèles et perpendiculaires au sens des fibres du bois ainsi que sous forme de tassements ou affaissements.

Le bois se désagrège en cubes. La substance restante a un aspect charbonneux et peut être réduite facilement en poudre avec les doigts.

En raison de cet état final, cette destruction est appelée parfois aussi pourriture sèche, désignation qu'il vaudrait toutefois mieux éviter, d'autant que les champignons qui la provoquent ont besoin d'une quantité d'humidité particulièrement élevée pour prospérer.

Le taux d'humidité optimal est de 20 % pour le mûrle, de 35 % pour le polypore et de 50 à 60 % pour le *Coniophora cerebella*. Il s'ensuit qu'au-dessous de 20 % environ, aucun champignon d'habitation important ne cause de dégâts notables.

Un excès d'eau empêche les champignons de recevoir suffisamment d'oxygène, mais perturbe également leur croissance. C'est ainsi que du bois immergé dans l'eau est à l'abri d'une attaque pendant de longues années.

Le mûrle (*Merulius lacrymans*) est capable, grâce à son système respiratoire, de se procurer lui-même une partie de l'humidité nécessaire (*lacrymans* signifie : le larmoyant). Cela permet à ce champignon de se propager de son foyer d'origine initialement humide, à du bois qui était séché à l'air et qui est ainsi humidifié par la séparation d'eau. A noter également, que le mycélium superficiel est capable de pousser sur la pierre et le métal et même à travers les murs, ce qui rend sa destruction précisément si difficile. L'absence de tout courant d'air, qui empêche l'humidité de se former, constitue toutefois un facteur important. C'est pourquoi le courant d'air est généralement un moyen de lutte efficace contre les champignons destructeurs du bois.

Le polypore (*Polyporus vaporarius*) et le champignon des caves (*Coniophora cerebella*) sont plus faciles à combattre. Leur apparition

reste toujours limitée au foyer de naissance humide. L'humidité est par conséquent une des causes les plus importantes de la destruction du bois.

L'eau peut pénétrer de diverses façons dans le bois, par exemple comme eau de pluie stagnante, dans le cas de charpentes apparentes et d'éléments de pignon en bois, comme eau d'infiltration dans la toiture, ou bien dans le voisinage de canalisations d'eau, par contact avec des murs extérieurs humides, et comme eau de condensation, à proximité de matériaux mauvais isolants, tels que le verre et le métal, par exemple des fenêtres froides et canalisations d'eau.

Dans un local mal ventilé avec une humidité atmosphérique élevée, disons supérieure à 96,5 %, le bois peut en outre absorber tellement d'eau sous forme d'eau hygroscopique, que la limite dangereuse est dépassée. Il peut, enfin, arriver que de la condensation se produise dans le bois lui-même. Car si la perméabilité à la vapeur d'eau d'une couche extérieure est très inférieure à celle de la couche intérieure, il peut, lorsqu'il existe une différence de température entre l'espace intérieur et extérieur, se produire de la condensation dans le bois. Exemple : un châssis de fenêtre dont l'extérieur est revêtu d'une peinture formant une barrière plus ou moins imperméable à la vapeur et dont l'intérieur est peint avec une peinture perméable à la vapeur, ou bien une toiture dont la face supérieure est revêtue de carton bitumé.

Comme nous l'avons dit précédemment, il est très important, avant de procéder au traitement, d'établir un diagnostic exact en ce qui concerne la nature des destructeurs du bois, l'importance de l'attaque et les causes de celle-ci.

En ce qui concerne les champignons, l'attaque se manifeste par un changement de la couleur et de la forme du bois. Les planchers et linteaux se gondolent, les poutres gauchissent, et des fissures se produisent dans le sens longitudinal. Mais il n'est pas toujours possible de se rendre compte de l'extérieur si le bois est attaqué, et dans les cas douteux on peut contrôler la dureté du bois à l'aide d'un instrument acéré ou pointu. Lorsqu'on a constaté une désagrégation par des champignons, il convient en général de prendre les mesures suivantes. Mais, ainsi qu'il a déjà été dit, il faut naturellement éliminer en premier lieu les causes de l'humidité trop élevée. Tout le bois attaqué devra être remplacé ensuite par du bois sain imprégné, opération pour laquelle il convient de supprimer le bois sur une distance minimale de 1 m de part et d'autre du bois attaqué.

Les murs et l'enduit dans le voisinage de l'attaque doivent également être passés à la flamme ou nettoyés mécaniquement, puis traités préventivement avec un fongicide. Les parties de bois irremplaçables doivent être pulvérisées ou badigeonnées à plusieurs reprises avec un antiseptique approprié, ou bien on peut également imprégner le matériau par injection, en forant des trous et en les obturant avec des bouchons.

En ce qui concerne l'attaque par insectes, je me limiterai aux deux principaux destructeurs du bois : le capricorne (*hylotrupes bajulus*) et l'anobie (*anobium punctatum* ou vrillette).

Les déprédateurs proprement dits sont les larves de ces insectes. Celles du capricorne ont une durée de vie qui, suivant les circonstances, atteint de 3 à 12 années, mais en moyenne 4 à 5 ans.

Les larves de la vrillette vivent 2 à 3 années dans le bois.

Les deux insectes proprement dits ne vivent que quelques semaines. Comme le montre l'image suivante, les deux déprédateurs du bois sont sensibles à l'humidité et à la température.

La croissance s'arrête dès que l'humidité du bois est inférieure à environ 10 %, et les larves meurent après un jeûne assez prolongé.

Il en résulte qu'une sécheresse d'une certaine durée, provoquée par exemple par les installations de chauffage central, protège contre les anobies et le capricorne.

Mais plus l'humidité atmosphérique est élevée plus la croissance est rapide, processus dans lequel la vitesse de développement optimale a lieu à un taux d'humidité qui est spécialement supérieur à l'humidité de saturation des fibres, c'est-à-dire supérieur à la quantité d'eau maximale que le bois peut absorber lorsque l'air atmosphérique est saturé d'humidité.

C'est pourquoi les dégradations sont particulièrement importantes au voisinage des côtes et dans les vallées traversées par des rivières, et elles sont maximales à l'intérieur de bâtiments, là où le bois est le plus humide.

Mais les exigences de température du capricorne et de la vrillette diffèrent davantage que les besoins d'humidité. A la température optimale du capricorne, environ 30°, aucun développement d'anobies n'est plus possible.

Pour cette raison la larve du capricorne prospère particulièrement bien dans les combles fortement réchauffés en été, et sous les toits revêtus de métal, de carton bitumé ou d'ardoises où le développement d'anobies est généralement plus faible.

Le capricorne ne s'attaque qu'au bois de conifère mort; il se limite principalement à l'aubier et ne pénètre que très rarement jusqu'au bois de cœur. Il porte ses attaques de préférence au voisinage de l'écorce.

A mesure que le bois prend de l'âge, sa valeur nutritive et les probabilités d'attaque diminuent toutefois.

Dans le cas de bâtiments âgés de 80 ans et plus, les risques d'attaque par le capricorne sont très faibles, mais même des bois âgés de 200 ans et plus peuvent encore contenir des larves vivantes.

Les larves d'anobies vivent dans les bois morts d'âge divers; outre les bois de conifère elles attaquent les feuillus indigènes de toutes sortes. Le bois de cœur est lui aussi négligé dans la plupart des cas.

Pour la lutte contre les insectes il importe de savoir si l'attaque est encore dans sa phase active, car la destruction peut cesser au bout de quelques années.

En cas d'attaque par anobies la présence d'insectes vivants se manifeste par de la vermoulure fraîche de couleur claire. Si celle-ci est de teinte marron, il est probable que l'attaque n'est plus active. Mais le capricorne ne produit pas de vermoulure.

La présence de nouveaux trous d'envol de teinte claire dénote également une attaque active. Les trous d'envol des anobies sont très petits et ressemblent beaucoup à des trous laissés par des clous. Mais les trous d'envol du capricorne sont beaucoup plus grands, puisqu'ils mesurent de 0,5 à 1 cm de diamètre.

Avant de procéder à la lutte contre les insectes, il convient de remplacer le bois fortement désagréé par du bois neuf imprégné et de débarrasser soigneusement le vieux bois des poussières et des parties molles pulvérulentes, après quoi on applique un insecticide approprié par pulvérisation ou par badigeonnage.

Ce traitement superficiel ne permet certes pas d'exterminer tous les insectes logés dans le bois, mais il protège la surface contre de nouvelles attaques.

Après quelques années, cependant, les insectes survivants s'envolent, et comme une nouvelle attaque ne peut plus avoir lieu, celles-ci devraient cesser.

Les produits d'imprégnation sont constitués généralement par des solutions dans l'huile minérale de produits chimiques relativement volatiles, chargés de tuer les larves existantes comme, par exemple, les chloronaphtalènes, ou l'orthodichlorobenzène ou l'hexachlorocyclohexane, contenant des substances non volatiles telles que le pentachlorophénol et la dieldrine, qui protègent le bois à titre préventif contre les attaques d'insectes et de champignons.

Les murs seront désinfectés et protégés par une solution aqueuse de 5 % de pentachlorophénate de sodium.

LA CONSOLIDATION DU BOIS

Des objets fragiles en bois peuvent être imprégnés de plusieurs manières. Voici les trois méthodes les plus importantes :

1. Traitement par des solutions résineuses;
2. Imbibition par des substances fondues, par exemple de la cire;
3. Imprégnation par des substances chimiques durcissantes.

Par la première méthode il n'est malheureusement pas possible de traiter plusieurs matériaux à la fois, puisque les concentrations utilisables doivent être assez faibles, par exemple à 5 %, pour limiter la viscosité. L'augmentation de la quantité de résine à la surface, provoquée par l'évaporation de la solution, empêche le traitement du cœur du bois et représente donc un autre inconvénient.

Pour la deuxième méthode on introduit par exemple, un mélange de neuf parts de paraffine et une part de cire fondues à 70 - 110° C. Ces substances sont durables, certes, mais ne garantissent pas une consolidation particulière des objets; leur point de fusion relativement bas comporte la possibilité fâcheuse d'une liquéfaction trop facile et, de plus, elles attirent la poussière. En outre, l'aspect de l'objet peut en pâtir: la trop grande quantité de cire est, en effet, difficile à enlever de la surface.

La troisième méthode prévoit l'utilisation de matières synthétiques comme les résines Epoxy et Polyester. On les emploie avantageusement pour la consolidation locale. Mais elles ont le désavantage de posséder une trop grande viscosité, si bien qu'elles ne pénètrent pas l'objet assez profondément. Après le durcissement, ces produits deviennent d'ailleurs insolubles; la méthode est donc irréversible. Des expériences au Laboratoire Central d'Amsterdam ont prouvé que le méthylmethacrylate comme monomère peut être employé utilement pour imbiber des objets en bois fragiles. Cette substance durcit même à la température de chambre et peut être appliquée et activée de plusieurs manières combinées. Elle possède l'avantage d'une excellente pénétration due à sa faible viscosité de 0,6 cP; tandis que celle de la résine Epoxy (Araldite E, CY 232, plus dure HY 951, Ciba) est de 650 - 750 cP.

Le seul inconvénient est la volatilité relativement grande du méthylmethacrylate.

Mais l'évaporation peut être empêchée en isolant l'objet après l'avoir imprégné d'un liquide insoluble dans le méthylmethacrylate, comme de l'eau ou du glycol, épaissis au moyen d'amidon ou de carboxyméthylcellulose.

Cette méthode a également l'avantage de ne laisser aucune altération perceptible à la surface de l'objet puisque le méthylmethacrylate se retire de celle-ci en se contractant au cours de sa polymérisation.

L'ASSAINISSEMENT DES ELEMENTS EN BOIS DES MONUMENTS CLASSES

Quand il faut assainir le bois entamé des monuments classés on devrait toujours commencer par se demander quel est l'organisme ayant provoqué le dommage et quelles en sont les causes.

L'humidité, par exemple, est l'une des causes principales de la destruction du bois. On peut affirmer que généralement aucun champi-

gnon destructeur des bâtiments n'est capable de causer une détérioration sérieuse, si l'humidité du bois ne dépasse pas 20 %. Celle-ci peut avoir plusieurs raisons, mais elle s'explique le plus souvent par des fautes de construction qui entraînent l'absence ou l'insuffisance de la circulation de l'air, la stagnation de l'eau de pluie dans les revêtements extérieurs ou bien son infiltration dans le bois.

Mais le bois peut aussi prendre l'humidité par condensation dans la proximité de mauvais isolants, tels que des vitres froides et des conduites d'eau.

La condensation pourrait éventuellement se produire dans le bois lui-même, si toutefois la perméabilité à la vapeur d'eau d'une couche intérieure était plus grande que celle des couches extérieures, ce qui arrive parfois à cause de l'emploi de différentes peintures à l'intérieur et à l'extérieur, ou bien lorsque la surface de la toiture est recouverte de papier bitumineux. Quand les circonstances les favorisent, les champignons — à savoir le champignon des maisons (mérule pleureur), le polypore des caves et le coniphore — attaquent le bois. Le champignon des maisons, dont les besoins d'humidité sont minimes, est le plus dangereux des trois.

Il est, de plus, capable de se procurer par lui-même une partie de l'humidité nécessaire et de se multiplier ainsi sur du bois auparavant sec en partant de l'humidité de son foyer original. Il peut aussi pousser sur la pierre et le métal et même à travers les murs. Cependant il est très sensible aux courants d'air si bien que l'on peut le combattre avec succès par une bonne ventilation.

Ayant éliminé les causes d'une trop grande humidité, il faudra remplacer tout bois altéré par du bois sain et protégé par imprégnation. Il faudra également enlever aux deux côtés au moins un mètre du bois abîmé.

On devra, en plus, flamber ou nettoyer à sec les murs et l'enduit à proximité de l'endroit contaminé, et par manière de précaution les imprégner de produits fongicides.

Pour protéger des parties en bois irremplaçables il faudra les asperger ou les badigeonner d'une matière antiseptique appropriée; on pourra également appliquer des injections au matériau.

Les attaques par les insectes sont le plus souvent causées par les larves du *capricorne des maisons* ou celles du *Hausbock*, le *capricorne des maisons*, qui peut vivre plusieurs années dans le bois, parfois jusqu'à douze ans. Les larves sont très sensibles à l'humidité et à la chaleur. Ainsi, elles ne peuvent pas se développer lorsque l'humidité du bois tombe au-dessous de 10 %. Une sécheresse persistant pendant une période assez longue, produite par exemple par le chauffage central, protège des anobies et des capricornes des maisons. Mais plus augmente l'humidité relative

de l'air, plus vite croissent les insectes nuisibles, l'optimum étant situé à un degré supérieur à la saturation d'humidité des fibres de bois.

Les besoins de chaleur du capricorne des maisons et de l'anobie diffèrent davantage que leurs besoins d'humidité. A la température la plus favorable à l'assainissement du capricorne des maisons — à peu près 30 degrés — les anobies ne peuvent plus se développer. C'est pourquoi la larve du capricorne des maisons prospère particulièrement bien dans les greniers chauffés par le soleil d'été. Le capricorne des maisons n'attaque que le bois mort des conifères et se contente généralement de l'aubier. Les anobies assaillent les conifères et tous les bois feuillus de nos régions. Pour les détruire il est important de savoir si l'attaque est toujours active, ce que l'on peut vérifier par la présence de vermoulure fraîche et claire et de petits trous d'entrée.

Avant de commencer le traitement, le bois très abîmé doit être remplacé par du bois neuf imprégné; le vieux bois sera soigneusement nettoyé des poussières et des parties molles et poudreuses, après quoi on l'aspergera ou bien on l'enduit d'un insecticide approprié. Certes, il ne sera pas possible de tuer tous les insectes cachés dans le bois par ce traitement, mais celui-ci protégera la surface d'attaques nouvelles.

Les substances d'imprégnation utilisées pour tuer les larves sont le plus souvent des solutions d'huile minérale de corps chimiques relativement volatils, comme les chlorures de naphthaline ou l'orthodichlorobenzol et l'hexachlorocyclohexane composés avec des substances non volatiles comme le pentachlorophénol, la diéldrine qui protègent de manière préventive des attaques par les champignons et les insectes.

Les murailles sont désinfectées et protégées par des solutions de 5 % de pentachlorophénolate de natron dissous dans l'eau.

SUMMARY

CONSOLIDATION OF WOOD BY IMPREGNATING WITH ACRYLIC SYSTEMS

In the treatment of old timber in buildings of artistic or historical value the problem of the consolidation of weak parts will arise in many cases. First of all, parts which are badly affected by moulds or insects should of course be carefully eliminated and replaced by impregnated sound wood. There are, however, cases in which this procedure is impossible, e.g. when dealing with valuable ornamental or sculptural parts.

Also, for those pieces which are only partly attacked by insects, it might be more economical to preserve the old wood by impregnation.

There are several methods for the consolidation of fragile wood.

1. Treatment with solutions of natural or synthetic resins in a solvent, e.g. Xylamon-L.X. hardening, (Desowag-Chemie GmbH, Germany) and Bedacryl 122-X, (ICI).

Although good results may be obtained with this method, drawbacks are the low resin-content of the solutions, which is necessary to keep their viscosity low, and the enrichment of resin on the surface of the impregnated object, due to evaporation of the solvent.

2. With the second method, molten waxes are introduced into the decayed wood, e.g. 9 parts paraffin and 1 part beeswax at a temperature of 70-110° C.

The main drawbacks of this method are the low mechanical strength of these substance and their tendency to ooze out and to attract dust.

3. The third group of consolidating products are the solvent-free, chemically-hardening systems, such as the epoxy resins and the unsaturated polyester resins, which have, however, the disadvantage of low penetration as a result of their high viscosity, and of yielding an insoluble product after curing. Acrylate monomers also belong to this category. They are the raw materials for the manufacture of certain plastics, and have a viscosity which is about thousand times lower than that of the epoxy resins.

Experiments have shown that these substances may be used for the impregnation of fragile wood and stone.

These monomers, such as methyl methacrylate, are able to penetrate very easily into the porous substrate and will solidify by a chemical reaction at ambient temperatures, initiated by a combination of an organic peroxide such as benzoyl peroxide or tertiary butyl perbenzoate, and a reducing agent such as dimethyl paratoluidine, p.-toluene sulphonic acid, and combinations of certain organic sulphur compounds with quaternary ammonium chlorides.

The main emphasis in the work done till now in the Central Laboratory in Amsterdam is on control of the evaporation of the monomers, which are rather volatile, during the polymerization, by wrapping or coating the impregnated object in different ways, or by using monomers with a lower vapour-pressure, such as butyl methacrylate, and on further elimination of the retarding influence of oxygen on the polymerization process by adding oxygen-absorbing monomers such as allyl ethers, or by using initiator-systems which actually need oxygen to be effective, such as the organic boranes and borane/amine complexes. Reaction mixtures can be introduced by peristaltic pumping of a two-component system via a mixing chamber and a hypodermic needle. Future plans are to study the influence of insecticides and fungicides on the polymerization, and to measure the curing times of different mixtures of monomers and initiating systems with a dilatometric method.