

## **Historique et présentation des aspects chimiques liés à la conservation du bois**

**Emmanuel Maurin, ingénieur d'étude, Laboratoire de recherche des monuments historiques**

*Le bois a longtemps constitué une des matières premières principales des objets et monuments. Du point de vue du diagnostic, un bois « vieux » était un bois comportant des altérations biologiques, des dégradations mécaniques ou des modifications de couleur. Du fait même de sa banalité, le bois a longtemps été le « support » de l'œuvre, il n'y avait pas d'intérêt particulier à le conserver. Ainsi, la restauration a longtemps consisté à « refaire à l'identique » tout ou partie de l'objet ou de la structure. Le restaurateur s'appliquait à reprendre le travail de « l'ancien » parfois éventuellement à « corriger » son travail. Le restaurateur s'appuyait sur la connaissance des techniques dont il est démontré que certaines (préservations, collages, finitions) sont très anciennes. Ainsi, dans la première partie du XX<sup>e</sup> siècle, le milieu de la restauration a participé à la conservation des métiers et des techniques. A partir des années soixante, il y a eu une évolution dans la réflexion concernant la conservation en général. Cette réflexion a conduit à traiter autrement la restauration, notamment pour les objets mobiliers. Du point de vue du diagnostic, malgré l'évolution des techniques, il est encore aujourd'hui difficile d'évaluer un taux d'altération du bois que l'on ne confond plus avec l'âge (dendrochronologie). Différentes théories proposent une modification chimique du matériau selon son environnement (contrainte, lumière). Les interventions (préservation, consolidation) visent à préserver l'intégrité de l'objet, à conserver le maximum d'informations historiques. L'impact de ces nouvelles méthodes sur le matériau demande à être évalué.*

*Wood a long time constituted one of the raw materials principal of the objects and monuments. From the point of view of the diagnosis, an « old » wood was a wood with biological decay, mechanical decay or discoloured. Fact even of its banality, wood was a long time the « support » of the work of art, it did not have there particular interest to preserve it. Thus, the restoration a long time consisted in « remaking with identical » the whole or part of the object or the structure. The curator endeavoured to remake the work of « the old one », sometimes to « perfect » the work of art. The restoration was based on the knowledge of the techniques which are recognise as very old (preservation, joining, completions). Thus, in the first part of the twentieth century, the medium of the restoration thus took part in the conservation of the trades and the techniques. From the Sixties, there was an evolution in the reflection concerning the conservation in general. This reflection resulted in differently treating the restoration in particular for the furnitures. From the point of view of the diagnosis, in spite of the technological developments, it is still today difficult to evaluate a rate of deterioration of the wood which one does not confuse any more with the age (dendrochronology). Various theories propose a chemical modification of material according to its environment (forced, light). The interventions (preservation, consolidation) aim at preserving the integrity of the object, to preserve the maximum of historical information. The impact of these new methods on material requires to be evaluated.*

Le bois, comme tout matériau organique, est altéré par des agents biologiques ou par des facteurs environnementaux. Ce matériau n'étant pas considéré comme précieux, la restauration s'est longtemps limitée à des réparations.

Durant ces cinquante dernières années, le métier de restaurateur a évolué vers la création d'un nouveau métier, celui de conservateur-restaurateur.

Nous présentons ici un bref historique de l'évolution de la notion de restauration pour les objets de musée et les monuments historiques. Une étude de cas présentant le projet de restauration d'un siège permet d'illustrer ce propos. Par la suite, les mécanismes généraux d'altération du matériau à l'échelle moléculaire sont proposés à partir d'une étude bibliographique. Enfin, les nouvelles questions en relation avec la chimie posées couramment par les conservateurs-restaurateurs sont abordées.

## **I Les différents types d'altération**

Sous l'action de différents paramètres, le bois peut être altéré :

- par des organismes vivants (champignons, insectes) ;
- du fait des conditions de conservation (rayonnements ultraviolets, contraintes mécaniques, variations hygrométriques) ;
- par l'usage (« perces », décollements, ...).

Ces altérations peuvent être traitées par différentes interventions : réparation, restauration, conservation.

## **II Généralités sur l'histoire de la restauration des œuvres en bois**

Le bois a longtemps été considéré comme un matériau banal, il était le support de l'œuvre, il contribuait à sa structure. Le meuble en tant qu'œuvre de musée était rare. Dans les monuments, alors que le bois a longtemps été le matériau principal (le charpentier était le maître d'œuvre), le constructeur s'est appliqué à cacher le matériau à partir des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècle, en partie pour répondre aux décrets pour limiter les incendies.

Jusqu'après la Seconde Guerre mondiale, à l'exception de quelques particularismes historiques ou régionaux, le constructeur a tendance à cacher ou à maquiller le bois, quand il n'en fait pas une imitation en pierre ou en béton (figure 1). La conservation du bois ancien, en tant que témoin de son temps, n'a réellement été une préoccupation qu'à partir des années 70.



Figure 1. Porte en béton imitant le bois, Ferme du Buisson, Noisiel, (© Emmanuel MAURIN)

Ainsi, nous considérons qu'il y a deux types de restauration : d'une part, la « restauration traditionnelle », d'autre part, la « restauration-conservation » apparue durant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

En restauration traditionnelle, l'œuvre est restaurée par un « homme de l'art » : artisan ébéniste, sculpteur, chaisier, charpentier...

Ainsi, le « restaurateur traditionnel » a la même formation que le fabricant et les techniques utilisées sont les mêmes. Le restaurateur traditionnel participe donc à la conservation des métiers. Pour ce qui concerne les connaissances en chimie, l'utilisation de nombreux produits est nécessaire à la fabrication d'un meuble : acide ou base pour blanchir ou foncer un bois, colles pour les assemblages ou le placage, teintures, vernis... Certains précis d'ébénisterie [1] sont de véritables manuels de chimie appliquée. Ainsi, pour le restaurateur, la connaissance de la chimie est à relier plus aux produits appliqués sur le bois qu'au matériau lui-même. Le « vieillissement » du bois est directement relié à son altération biologique, mécanique ou photo induite. Les restaurations associées à ces altérations vont, en restauration traditionnelle, conduire à l'élimination pure et simple des parties altérées (coupe ou raclage) puis à leur remplacement si nécessaire. Il s'agit plus de réparer que de conserver l'œuvre.

Quel que soit le produit appliqué (ou imprégné) sur le matériau, le restaurateur traditionnel utilise théoriquement les recettes anciennes : produit de préservations, colles animales (colle de peau, de nerf, colle de poisson,...), teintures naturelles, cires et vernis...

Aujourd'hui, il existe tout un champ de recherche qui porte sur ces produits anciens, leur fabrication, leur utilisation [2]. Nous donnerons deux exemples parmi les nombreuses sources d'informations sur les méthodes et techniques anciennes : le fameux traité de Jacques-André Roubo, *L'art du menuisier* [3], daté de 1769-1770, reste une des références de la restauration traditionnelle. Plus loin dans le temps, des meubles retrouvés dans les tombes égyptiennes datées de 1500-1100 avant J.-C. comportent, pour certains, toutes les techniques traditionnelles utilisées bien plus tard au XVIII<sup>e</sup> siècle par des artisans en France : queue d'aronde, collage, placage,

finition à la cire [4]. Ces dernières œuvres (figure 2) posent d'ailleurs la question du vieillissement du bois.



Figure 2. Chaise 18<sup>e</sup> - 19<sup>e</sup> dynastie, 1550 - 1186 avant J.-C. Musée du Louvre, N 2950 Département des Antiquités égyptiennes, Paris (Base Atlas - © R.M.N./Chuzeville)

Depuis le début des années 60, la notion de « conservation-restauration » a vu le jour [5]. Il s'agit moins de « remettre en fonction un produit de l'activité humaine » que de replacer l'œuvre dans son contexte historique pour le transmettre aux générations futures. La restauration moderne se base sur trois grands principes : réversibilité, innocuité, lisibilité. L'action de restauration ne consiste plus à refaire mais à conserver l'œuvre en la resituant dans son contexte. Ici, les idées, les moyens et les méthodes se confrontent, se contredisent parfois. Faut-il dérestaurer un meuble (pour lui rendre son caractère originel) ou bien considère-t-on que la restauration fait partie de l'histoire du meuble ? Chaque restauration peut être le fruit d'une discussion.

Les restaurateurs ne sont plus « forcément » des techniciens d'art, ils se proclament « conservateur-restaurateur ». Ils ont une formation spécifique en restauration qui dure 5 ans après le baccalauréat, au cours desquels ils vont être initiés à l'histoire de l'art, acquérir des connaissances sur les matériaux, travailler en atelier en fonction de leur spécialité. La conservation-restauration participe donc plus à la conservation des œuvres, parfois peut-être au détriment de la conservation des métiers.

La « conservation préventive » est une démarche plus poussée dans le domaine de la conservation. Il s'agit de travailler sur le climat, l'environnement de l'œuvre pour que l'objet « ne vieillisse plus ». Une autre des préoccupations est de conserver le maximum d'informations portées par l'œuvre : resterait-il une empreinte de l'artiste ? Peut-on nettoyer ? Cette démarche peut amener à la sanctuarisation de l'œuvre. Un bon exemple de ce type de conservation est la présentation de la Joconde avec ces trois systèmes de climatisation, sa vitrine pare-balle...

### III Illustration des nouveaux principes de restauration à partir d'un exemple de projet de restauration (un siège cabriolet du XVIII<sup>e</sup> siècle)

La demande provient du conservateur du musée Magnin, à Dijon. Il envisage la restauration un siège cabriolet Louis XVI en noyer peint en vert (figure 3).



Figure 3. Siège cabriolet, coll. Musée Magnin, Dijon, (© G. Albezat)

Le siège est actuellement en restauration aux ateliers des musées de France. Il n'y a plus de garniture ; des assemblages, notamment au dos du siège, ne tiennent plus du fait d'altérations biologiques (*Anobium punctatum*) ; la polychromie est très lacunaire.

Pour une restauration traditionnelle, les assemblages fragilisés seraient repris par des entures avec d'éventuels renforts métalliques ; la polychromie serait totalement reprise et une garniture serait faite à l'identique (sangles, semences...). Du siège initial, il ne resterait plus de traces visibles.

Dans le cadre d'une restauration moderne, le siège est tout d'abord replacé dans son contexte : pourquoi est-il important de restaurer ce siège ? Quel est l'intérêt de ce siège dans la collection ? Dans quelles conditions est exposé l'objet ? Doit-on s'asseoir dessus ?... L'ensemble de ces questions permet de rédiger un cahier des charges et d'envisager des solutions en conservation-restauration : il est prévu de consolider un minimum le bois afin qu'il puisse supporter un châssis cadre lui-même garni. Dans cette hypothèse, le siège va perdre sa fonction, il devient un simple objet témoin de son temps, dont on peut faire une copie très fidèle.

Par ailleurs, ce type de restauration pose des problèmes physico-chimiques nouveaux dans le milieu de la restauration. Par exemple pour la consolidation :

- à partir de quel taux d'altération doit-on consolider ?
- comment mesurer ce taux d'altération ?
- quel produit chimique imprégner dans le matériau pour le consolider ?
- quel niveau de consolidation veut-on atteindre ?
- quelle est la réversibilité d'un tel procédé ?
- ...

La conservation-restauration permet un meilleur respect des œuvres. Elle permet, par la concertation entre les différents intervenants, conservateur, restaurateur,

architecte, de rendre une cohérence à l'œuvre. Il n'y a plus de méthode systématique.

#### IV Rappels de chimie sur le matériau et les mécanismes d'altérations

Dans ce paragraphe nous présentons succinctement la chimie du bois et les mécanismes d'altération tels qu'ils sont connus dans la bibliographie.

##### IV.1 - Composition chimique du matériau

Le bois est majoritairement constitué de macromolécules : polysaccharides (cellulose et hémicelluloses) et lignine. Ces molécules relativement complexes se trouvent en proportions variables selon les essences de bois (tableau 1). Les polysaccharides constituent l'essentiel de la paroi cellulaire (figure 4).

Tableau1. Composition chimique du bois (en %) (d'après Kollman, 1965 et Wagenführ, 1974)

	Résineux	Pinus sylvestris	Feuillus	Quercus
Cellulose	47-53	52	40-51	44
Hémicellulose	20-26	21	17-37	21
Lignine	24-27	26	18-23	20
Extractible et Cendre	1-5	1	1-15	15

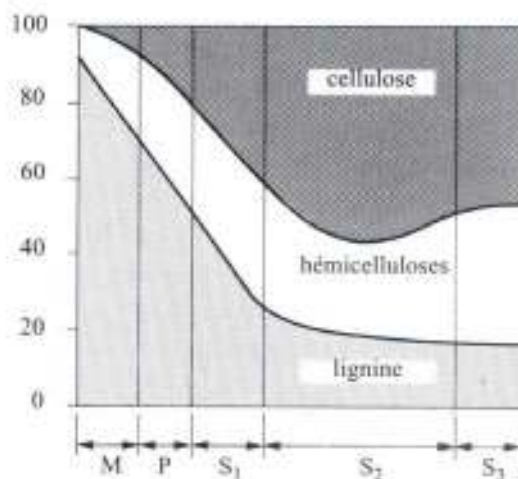


Figure 4. Répartition des macromolécules dans la paroi (Panshin, 1970) [6]

Par ailleurs, des molécules solubles, « extractibles », peuvent représenter une forte proportion du matériau (jusqu'à 15 % pour *Quercus*). On recouvre sous ce terme un grand nombre de substances. En général, ce sont des produits colorés, pouvant avoir des propriétés biocides.

## IV.2 Principes d'évolution des macromolécules et autres constituants du bois

L'hydrolyse des polysaccharides en oligomères de sucres (figure 5) fragilise les microfibrilles.

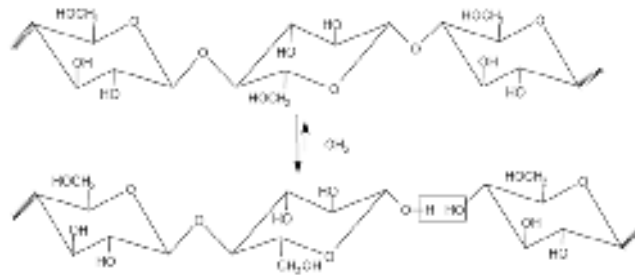


Figure 5. Hydrolyse de la cellulose

Il est possible de déterminer des zones cristallines (aux dimensions connues) et des zones amorphes au sein des microfibrilles. L'évolution du matériau diminue les interactions entre les chaînes de polysaccharides et modifie les proportions relatives zones cristallines/zones amorphes, et/ou la dimension des zones cristallines.

La lignine est susceptible d'être altérée par photo oxydation (figure 6 et 7).

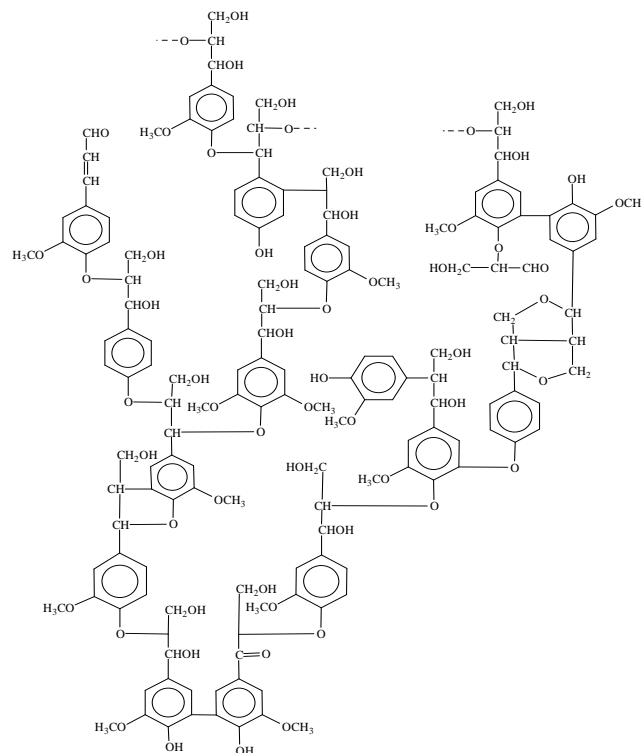


Figure 6. Modèle de structures de lignine d'épicéa (Adler, 1977) [7]

Les quinones issues de cette altération sont responsables du jaunissement du bois [8] [9] Les composés extractibles sont très sensibles à la lumière : une solution de

tanin (de couleur brune) exposée à la lumière se décolore [9]. La combinaison de ces deux phénomènes expliquerait le jaunissement des bois exposés à la lumière.

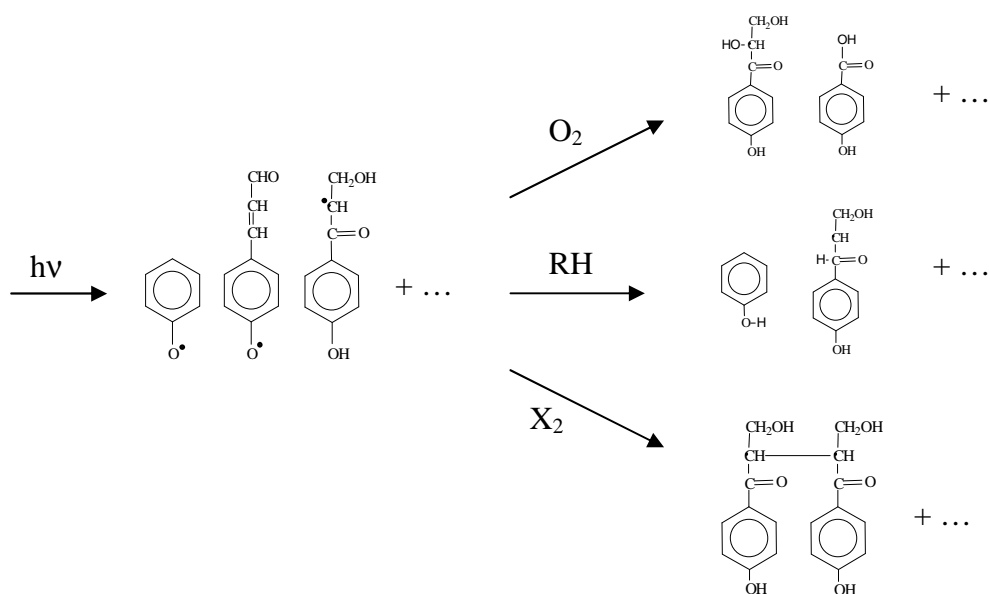


Figure 7. Exemples de mécanisme de photo-oxydation de la lignine (Bouas-Laurent, 1988) [8]

Ces généralités nous permettent d'appréhender la complexité des phénomènes d'altération du bois. La connaissance de ces mécanismes ne permet cependant pas encore de répondre à des questions pratiques.

## V Interrogations de conservateurs-restaurateurs

Comme nous l'avons vu dans le cadre de l'exemple du siège du musée Magnin, lors de la restauration d'une œuvre en bois, le conservateur-restaurateur se pose différentes questions faisant appel à la chimie, ou à la connaissance du matériau. Ces questions portent en particulier sur la préservation, la consolidation, la finition.

### V.1 - Dans quelles conditions est exposé l'objet restauré ?

Cette question se pose pour différentes problématiques : soit c'est l'œuvre qui est en bois (problème de conservation-restauration), soit c'est la vitrine qui est en bois (problème de conservation préventive).

Dans le cas où c'est l'œuvre qui est en bois, pour la conservation, il est nécessaire d'avoir connaissance des isothermes de sorption pour connaître l'hygrométrie de l'œuvre et les risques qu'elle prend. La restauration doit être effectuée dans des conditions se rapprochant au maximum des conditions d'exposition.

Dans le cas où c'est la vitrine qui est en bois, il est connu que certains bois (par exemple *Quercus*) relarguent des produits (acétaldéhyde, formaldéhyde, acide acétique,...) qui peuvent dans certains cas provoquer l'oxydation d'objets métalliques. Cette thématique du « bois comme matériau d'emballage » a notamment été étudiée par le Centre de conservation du Québec [10].



## **V.2 Comment préserver un bois ?**

Cette question est en grande partie résolue par les normes EN 335, 350 et 460 qui présentent les notions de « classes d'exposition » (ou « classes de risque ») et de durabilité du bois. Cependant, ces normes ne prennent pas en considération les conditions particulières de développement des moisissures (entre 15 et 20 % d'humidité relative du bois). Les moisissures n'ont aucun impact sur la structure du matériau mais elles peuvent tâcher le bois, et donc altérer l'esthétique d'un meuble par exemple.

Par ailleurs, les produits de préservation ont de tout temps été recherchés (utilisation de créosote dans l'Égypte ancienne). L'évolution actuelle de la restauration fait que l'on évite l'utilisation de produits toxiques qui posent des problèmes de compatibilité (notamment les solvants), d'environnement.

Depuis quelques années, les méthodes de traitement des insectes régulièrement utilisées en conservation-restauration des objets procèdent par privation d'oxygène [11]. Les objets sont placés dans une enceinte hermétiquement fermée. L'oxygène contenu dans l'enceinte est éliminé, soit par des absorbeurs d'oxygène (anoxie statique), soit par introduction d'une surpression d'azote (anoxie dynamique). Ces méthodes sont évidemment inexploitable dans le domaine du bâtiment, où l'on procède en général par pulvérisation (et injection des sols dans le cas des termites) de produits biocides.

Le traitement des champignons est inutile pour les objets de musée, l'humidité relative de l'air devant être inférieure à 15 %. Si un développement est constaté, les conditions sanitaires sont vérifiées et la restauration consiste au nettoyage de l'objet et à son séchage. Il en va de même pour les monuments. En condition de service, le bois constitutif d'un bâtiment ne doit pas avoir une humidité supérieure à 15 % pendant un temps suffisant au développement d'un éventuel champignon. Ceci implique une ventilation suffisante des éléments de structure pour leur séchage en cas d'apport accidentel d'humidité. Le seul champignon qu'il est nécessaire de traiter, et uniquement dans des conditions particulières, est *Serpula lacrymans* (mérule).

## **V.3 Comment évaluer un état d'altération ? Un taux de consolidation ?**

L'affinement de l'intervention nécessite aujourd'hui un diagnostic plus subtil sur le matériau. Dans le domaine du bois, cela reste très primaire. Que ce soit dans le domaine monumental ou le domaine du mobilier, le diagnostic repose essentiellement sur l'œil de l'expert. Comment évaluer un taux d'altération du matériau ? Comment prédire sa rupture ? Malgré les recherches actuelles, les méthodes acoustiques [12] ou vibratoires [13] restent encore limitées dans leurs applications de terrain.

## **V.4 Comment consolider un bois altéré ?**

Il est d'autant plus difficile de répondre à cette question qu'il n'y a pas de réponse à la question précédente.

La consolidation est un terme générique qui englobe un grand nombre de situations : consolidation d'un bois de structure, consolidation d'une pièce de mobilier (d'une sculpture), consolidation par imprégnation, consolidation par comblement d'une

lacune... Dans la bibliographie [14], les chimistes ont proposé un grand nombre de solutions (tableau 2). A titre d'exemple, pour les bois gorgés d'eau, l'utilisation de polyéthylène glycol est désormais classique ; pour les bois secs, les polymères acryliques (comme le Paraloid B72<sup>®</sup>) sont très utilisés en consolidation de surface ou par imprégnation. En structure, les renforcements dits « à la résine » utilisent des résines époxy [15].

Tableau 2. Polymères utilisés en restauration (Horie, 1987)

Familles de polymères utilisés en restauration	Exemples
Hydrocarbures	Polyéthylène et cires paraffines
Polymères dérivés de Vinyle Acétate	PVA
Résines Acryliques	Paraloid B72
Thermoplastiques synthétiques micellaires	Poly (chlorure de vinyle) ; Polystyrène ; PEG
Polymères dérivés de cellulose	Carboxyméthyl cellulose
Polymères naturels solubles dans l'eau	Polysaccharides ; Protéines
Résines naturelles	Dammar ; Mastic ; Colophane ; Gomme-laque ; Cire d'abeilles. Colles animales
Polymères « cross-linkant » thermodurcissables	Polyester ; Polyuréthane ; Epoxy

Le choix du consolidant est théoriquement très vaste mais on s'aperçoit qu'un nombre relativement faible de produits est utilisé en pratique. Le choix d'un produit est souvent plus motivé par le fait que le restaurateur connaît le produit que par l'efficacité même du produit pour l'application concernée.

#### **V.5 Quel type de finition a été utilisé ? Quelle finition faut-il utiliser ?**

Les systèmes de finition appliqués au bois sont connus dans leurs principes (ouvrages de charpente en bois). Il est, cependant, parfois difficile de retrouver des produits autrefois utilisés. Par exemple, des évolutions dans les méthodes de fabrication de l'huile de lin ou des colles animales ont été constatées. Par ailleurs, comme il a été indiqué plus haut, il existe de nombreuses techniques d'atelier pour colorer du bois. Par exemple, il est connu que des bois « bleus » utilisés dans des marqueteries sont en fait des bois altérés par *Auriobasidium pullulans*.

Lors d'une restauration, il faut déterminer la technique et les produits utilisés. Il peut être nécessaire de mettre en œuvre une technique pour permettre la lecture de l'œuvre sans effacer les traces de la peinture originale qui peut être très lacunaire (figure 3). Une des techniques les plus connues en restauration est le *trattegio*. Aujourd'hui, il n'est pas rare de reprendre des marqueteries à l'aquarelle. D'une façon générale, le choix de la finition dépend en grande partie des conditions d'exposition de l'œuvre.

#### **VI Peut-on parler de vieillissement du matériau ?**

Cette question posée à la fois par la communauté des restaurateurs et des scientifiques peut, peut-être, trouver sa réponse avec les objets en bois trouvés dans les tombeaux égyptiens. Ces objets techniquement très complexes sont aussi remarquables du fait de l'état des bois : les couleurs des bois sont encore très prononcées, les bois ne comportent pas d'altération particulière.

Ainsi, l'évolution du matériau dans le temps dépendrait essentiellement de ses conditions environnementales : climat, contraintes mécaniques, exposition à la lumière.

## Conclusion

Les facteurs d'altérations du bois modifient le matériau en introduisant un nouveau facteur de variabilité. Les recherches sur les bois altérés et leur conservation se multiplient avec le développement de la conservation restauration et de la conservation préventive. Nous avons vu que de multiples questions sont encore sans réponse malgré des recherches et des études relativement anciennes dans le domaine du bois.

Il apparaît que les problèmes des conservateurs restaurateurs font appel à des réponses pluridisciplinaires, comme souvent dans le domaine du bois. Aujourd'hui, différents travaux sont engagés. Par exemple, dans le domaine de la préservation, des méthodes physico-chimiques (utilisation de la température) sont testées. Pour ce qui concerne la consolidation par imprégnation, une étude de cas doit nous apporter une nouvelle expertise. Dans tous les cas, les réponses seront le résultat d'association entre des équipes : chimistes, physiciens en sciences du bois et applicateurs (conservateurs, restaurateurs, architectes).

## Références

- [1] Coutrait, J.-P., *Trucs et procédés du bois*, Edition d'art Charles Moreau, Paris, 1996.
- [2] Depuydt, L., *Le collage des panneaux peints : étude comparative entre différentes colles animales par rapport à un acétate de polyvinyle*, Mém. : Ecole nationale supérieure des arts visuels de la Cambre, Restauration et conservation d'oeuvres d'art, 1988.
- [3] Roubo, J.-J., *L'art du menuisier*, Reprod. en fac-sim., Genève : Slatkine Reprints, 1984.
- [4] Gale R., Gasson P., Hepper N., Killen G., « Wood », in *Ancient egyptian Materials and Technology*, éd. P.-T. Nicholson, I. Shaw, Cambridge University Press, 2000, p. 334-372.
- [5] Brandi C., trad. par Colette Déroche, *Théorie de la restauration*, Paris : Éditions du patrimoine, 2001.
- [6] PANSHIN A.-J. , DE ZEIJW C., *Text book of wood technology*, vol. 1, 3<sup>e</sup> éd., Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1970 (répartition des produits).
- NF EN 335 : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Définition des classes de risque d'attaque biologique.
- NF EN 350 : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif.
- NF EN 460 : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif - Guide d'exigences de durabilité du bois pour son utilisation selon les classes de risque.
- Ouvrages de charpente en bois : fascicule technique, cahier des clauses particulières, mode de métré, bordereau de prix unitaire. Paris : sous-direction des monuments historiques, mission études et travaux, 2002, 122 p.

- [7] Adler E., « Lignin chemistry – past, present and future » in *Wood Science Technology*, n°11, 1977, p.169-218.  
Base Atlas,  
[http://cartelfr.louvre.fr/cartelfr/visite?srv=crt\\_frm\\_rs&langue=fr&initCritere=true](http://cartelfr.louvre.fr/cartelfr/visite?srv=crt_frm_rs&langue=fr&initCritere=true)
- [8] Bouas- Laurent, H., Castellan, A., « Etude de la dégradation photochimique des constituants la lignine », Groupement scientifique Cellulose-Papier, 1988.
- [9] Mazet, J.-F., Triboulot-Trouy, M.-C., Merlin, A., Janin, G., Deglise, X., « Modification de la couleur de bois de chênes européens exposé à la lumière solaire », in *Annales des sciences forestières*, n°50, 1993, p. 119-146.
- [10] Tetreault, J., « La mesure de l'acidité des produits volatils », in *Journal of the international institute of conservation – Groupe canadien*, vol 17, 1993, p. 72-80.
- [11] De Reyer D., Maurin E., « Les altérations biologiques et les biens patrimoniaux. Chapitre V. Infestation par des insectes : traitement et conservation préventive », in *Monumental*, Paris, Direction du patrimoine, 2005, semestriel 1, p. 113-116. ISSN 1168-4534
- [12] Bucur, V., *Acoustics of wood*, Boca Raton ; New York ; London : CRC, cop. 1995.
- [13] Galimard, Ph., Maurin, E., « Diagnostic mécanique et conservation des structures en bois » in *Monumental*, Paris, Direction du patrimoine, 2004, semestriel 2, 18 p., ill. en coul., 30 cm, ISSN 1168-4534, p. 96-113.
- [14] Horie C.-V., *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coatings*, Oxford, London, Johannesburg (etc.) : Architectural press, 1987.
- [15] Maurin, E, Surleau, J., « Local reinforcement of structures using "resin-based" methods », proceedings of the international conference *The conservation of historic wooden structures*, Florence, February 22-27, 2005, Gennaro Tampone ed., [organisé par le] Collegio degli Ingegneri della Toscana, vol. 2, p. 1-5.
- Price, N.-S., Talley, K., Melucco-Vaccaro, A., *Historical and philosophical issue in conservation of culture heritage*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1996.