



HAL
open science

Tout ce que vous devez savoir sur les vitrines en bois

Michel Dubus, Anne-Marie Laurent

► **To cite this version:**

Michel Dubus, Anne-Marie Laurent. Tout ce que vous devez savoir sur les vitrines en bois. Technè, 2009. hal-01944324

HAL Id: hal-01944324

<https://hal.science/hal-01944324>

Submitted on 4 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Tout ce que vous devez savoir sur les vitrines en bois

Auteurs : Michel Dubus¹ et Anne-Marie-Laurent²

Remerciements : Béatrice André-Salvini, Caroline Aruhero, Anne Bouquillon, Thomas Calligaro, Agnès Cascio, Sophie Descamps, Christine Descatoire, Cécile Giroire, Hélène Guichard, Anne Lama, Thi-Phuong Nguyen, Christian Tilatti, Philippe Walter

Résumé

Le bois émet de l'acide acétique. Les panneaux de bois émettent de l'acide acétique qui provient du bois lui-même et, en plus, des aldéhydes qui proviennent de la colle. Ces aldéhydes se dégradent pour former des acides organiques volatils. Ces composés volatils sont bien connus pour interagir à distance avec certains matériaux des collections (nacre, plomb...). Et pourtant le bois et les panneaux de bois continuent d'être utilisés pour la construction de vitrines, en particulier le médium pour les expositions temporaires. Or, c'est justement dans les expositions temporaires que sont exposées les œuvres les plus prestigieuses et souvent les plus fragiles.

Mots clés : acide acétique, acide formique, aggloméré, aldéhyde, bois, conservation préventive, contreplaqué, médium, nacre, plomb, vitrine

Abstract

The wood emits acetic acid. The wood products emit acetic acid, which comes from the wood itself and aldehydes derived from the glue. These aldehydes degrade to form volatile organic acids. These volatile compounds are known to interact remotely with the materials of collections (mother-of-pearl, lead...). Still, wood and wooden panels, MDF in particular, are still used to build showcases for temporary exhibitions. Yet it is precisely in the temporary exhibitions that are exposed to the most prestigious and fragile artefacts.

Keywords : aldehyde, acetic acid, formic acid, chipboard, lead, medium, mother-of-pearl, plywood, preventive conservation, showcase, wood

Introduction

Pourquoi cet article? Parce que le Département conservation préventive est régulièrement interrogé par les responsables des collections et les architectes pour donner son avis sur les matériaux "muséographiques", utilisés dans l'environnement plus ou moins proche des collections ; entre juillet 2005 et janvier 2006, le Département conservation préventive du C2RMF a été sollicité lors de travaux de rénovation du musée de l'Evêché à Limoges, du musée historique de Strasbourg, pour le musée de St-Claude, le musée national de l'éducation à Rouen, le musée des beaux arts de Lille, celui de Villeneuve-d'Ascq, pour des conseils au musée des antiquités nationales, des études au musée de Cluny, au musée Guimet, aux départements des objets d'art, des sculptures et des antiquités grecques, étrusques et romaines du musée du Louvre, à la Bibliothèque nationale de France et au service des archives nationales.

Mais aussi parce que les publications de la fin des années 90, qui devraient être connues car facilement consultables sur la toile, ne font apparemment pas référence en France. Cet article se veut donc avant

¹ C2RMF

² Ingénieur hygiéniste, Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris

tout un document pratique, destiné à répondre rapidement aux questions que tout responsable de collections se pose et pour lesquelles les réponses restent floues. C'est également l'occasion de faire une synthèse de l'expérience acquise sur le terrain en réponse aux demandes récurrentes et bien réelles, en espérant que la prise en compte de cette expérience permettra d'éviter des dégâts irrémédiables.

Pourquoi du bois?

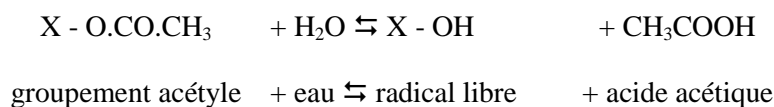
Pourquoi les architectes et les scénographes utilisent-ils du bois ou des panneaux de bois pour construire les vitrines? Par habitude? Parce que les vitrines sont traditionnellement fabriquées par des menuisiers? Parce que le bois se travaille facilement? Parce que le médium est relativement peu coûteux à mettre en oeuvre, facile à peindre sans préparation et qu'il peut être jeté à la fin des expositions temporaires?

Un argument souvent utilisé, c'est que les expositions temporaires ne durent pas longtemps, ce n'est pas très grave si les matériaux des vitrines ne sont pas de bonne qualité. Malheureusement, ce sont toujours les objets phares qui sont demandés pour les expositions temporaires ; donc les objets phares risquent d'être régulièrement exposés dans de mauvaises conditions! C'est pourquoi il faut, au contraire, porter une attention particulière à la construction des vitrines pour les expositions temporaires.

Pour les expositions permanentes, l'investissement se fait sur le moyen - long terme, parfois sur plusieurs dizaines d'années. Dans ce cas le bois est utilisé pour sa texture, sa couleur, il offre la possibilité d'un geste architectural aux conséquences non maîtrisées, exposer par exemple des métaux archéologiques sur des socles en chêne flotté dans l'eau de mer, comme cela s'est vu dans un grand musée français. Parfois le maître d'ouvrage souhaite faire des économies ; le bois, utilisé pour son aspect, se résume alors à un simple placage sur un panneau de fibres, ou en fonds de vitrines en médium.

Pourquoi pas du bois?

La cellulose, principal constituant du bois, est un polysaccharide, c'est-à-dire un polymère constitué de molécules de sucres à longues chaînes. Chaque fragment de chaîne contient des radicaux hydroxyles légèrement basiques, dont une partie est combinée avec des radicaux acétylés sous la forme de groupements esters. Le groupement acétyle constitue environ 1 à 6% en masse du bois sec. Ces groupements peuvent s'hydrolyser en présence d'eau pour donner des radicaux hydroxyles libres et de l'acide acétique, selon l'équation :



où X est l'unité de segment de chaîne. Parce que l'acide acétique est volatil, la réaction se déplace lentement vers la droite. Tous les bois produisent donc de l'acide acétique en vieillissant, même plusieurs dizaines d'années après l'abattage de l'arbre¹. Et parce que l'acide acétique est volatil, le bois peut altérer les matériaux à distance dans un espace confiné. Cette acidité varie selon les essences, l'échantillonnage, les méthodes de mesure et les auteurs. Le pH donne une mesure de la teneur en acide acétique libre dans le bois au moment de la mesure (tableau 1).

genre	nom	pH
Quercus	Chêne	3,35 - 3,90
Castanea	Châtaigner	3,40 - 3,65
Pseudotsuga	Sapin Douglas	3,45 - 4,20
Cedrus	Cèdre rouge	3,45
Fagus	Hêtre européen étuvé	3,85 - 7,20
Picea	Épicéa	4,00 - 4,45

Aucoumea	Okoumé	4,20 - 5,20
Juglans	Noyer	4,40 - 5,20
Tectona	Teck	4,65 - 5,45
Triplochiton	Obéché	4,75 - 6,75
Betula	Bouleau	4,85 - 5,35
Acer	Erable	5,10 - 5,80
Khaya	Acajou d'Afrique	5,10 - 6,65
Araucaria	Pin du Parana	5,20 - 8,80
Gonystylus	Ramin	5,25 - 5,35
Milicia	Iroko	5,40 - 7,25
Ulmus	Orme	6,45 - 7,15

Tableau 1 : acidité de différentes essences de bois dans des conditions tempéréesⁱⁱ. Les essences les plus acides, par exemple le chêne, le châtaignier, le sapin Douglas, le cèdre rouge, connus depuis longtemps pour leurs propriétés corrosives, doivent absolument être évitées pour la conservation des collections.

Le bois peut être traité pour obtenir un matériau à valeur ajoutée : étuvage, séchage, traitements fongicides, inhibiteurs de corrosion, traitements anti-feu. Ces traitements peuvent modifier les propriétés du bois : l'étuvage par exemple, accélère la production d'acide acétique libre dans le bois, mais cet acide n'a pas le temps de s'échapper ; le bois étuvé est donc potentiellement beaucoup plus acide et beaucoup plus corrosif qu'un bois séché à l'air. Le bois peut aussi contenir jusqu'à 4% en masse de sel s'il a séjourné dans l'eau de mer (bois flotté) ou si il a été séché dans du sel (c'est le cas de certains bois durs comme l'érable).

Et les panneaux à base de bois?

Les panneaux de bois sont constitués de feuillets (contreplaqué) et/ou de particules (aggloméré) ou de fibres (médium), assemblées à l'aide d'une colle phénol formaldéhyde résistante à l'eau pour la qualité "extérieur", avec une colle urée formaldéhyde pour la qualité "intérieure"ⁱⁱⁱ ; cette dernière^{iv} libère du formaldéhyde (méthanal), un des polluants les plus répandus à l'intérieur des habitations, dont le produit de réaction d'oxydation est l'acide formique^v.

Le médium, matériau très utilisé pour la construction des vitrines en raison de son prix avantageux et de sa mise en œuvre facile, est un panneau de fibres à moyenne densité (MDF) ; il est constitué de fibres de bois assemblées par chauffage et/ou par pression ; la cohésion provient soit d'un feutrage, rendu possible grâce aux propriétés adhésives intrinsèques des fibres (procédé humide), soit de l'addition d'un liant synthétique (procédé à sec)^{vi}. L'aggloméré est constitué de particules de bois, le contreplaqué de particules de bois tendre prises en sandwich entre deux feuillets de bois dur déroulé.

Mais dans la réalité?

Pour répondre aux demandes des conservateurs soucieux de la bonne conservation de leurs collections, plusieurs études ont été menées aux musées de l'air et de l'espace, de Cluny, Guimet, du Louvre, à la Bibliothèque nationale de France et au service des archives nationales. Quand cela était possible les concentrations en acides acétique et formique ont été mesurées. Quand ces mesures n'ont pas été compatibles avec les exigences d'un établissement patrimonial, les concentrations d'aldéhydes ont été mesurées, en exposant des tubes à diffusion dans les environnements étudiés.

Acides

Dix sept prélèvements d'air ont été effectués pour mesurer les concentrations en acides : 8 au service des archives nationales en 2001 et 2006 ; 2 au musée de Cluny du 21 au 28 septembre 2004^{vii} ; 4 à la BnF du 17 au 21 mars 2005 ; 3 au musée de l'air du 8 au 15 février 2006.

Méthodes

Les acides organiques volatils ont été collectés sur un filtre en quartz imprégné de carbonate de sodium, pendant une semaine, à un débit de $50 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. Les particules en suspension dans l'air ont été retenues sur un filtre en fibres de verre placé en amont du filtre imprégné. Les acides volatils ont été séparés par électrophorèse capillaire et détectés dans l'ultraviolet en mode inverse. Les résultats sont exprimés en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Résultats

Les résultats des mesures montrent l'influence du matériau et du confinement sur la concentration en acides acétique et formique (figure 1) : quand il n'y a pas de bois et/ou que les volumes sont bien ventilés, les concentrations en acides sont faibles (acide formique = $10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; acide acétique = $30 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). Dans des magasins et les bureaux lambrissés, parquetés, avec des étagères en bois, les concentrations peuvent être plus importantes (jusqu'à $60 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pour l'acide acétique et $100 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pour l'acide formique). Quand il y a confinement, dans des meubles ou des vitrines associant bois et panneaux de bois, les concentrations peuvent être très importantes (300 à $1000 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pour l'acide acétique, 150 à $300 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pour l'acide formique).

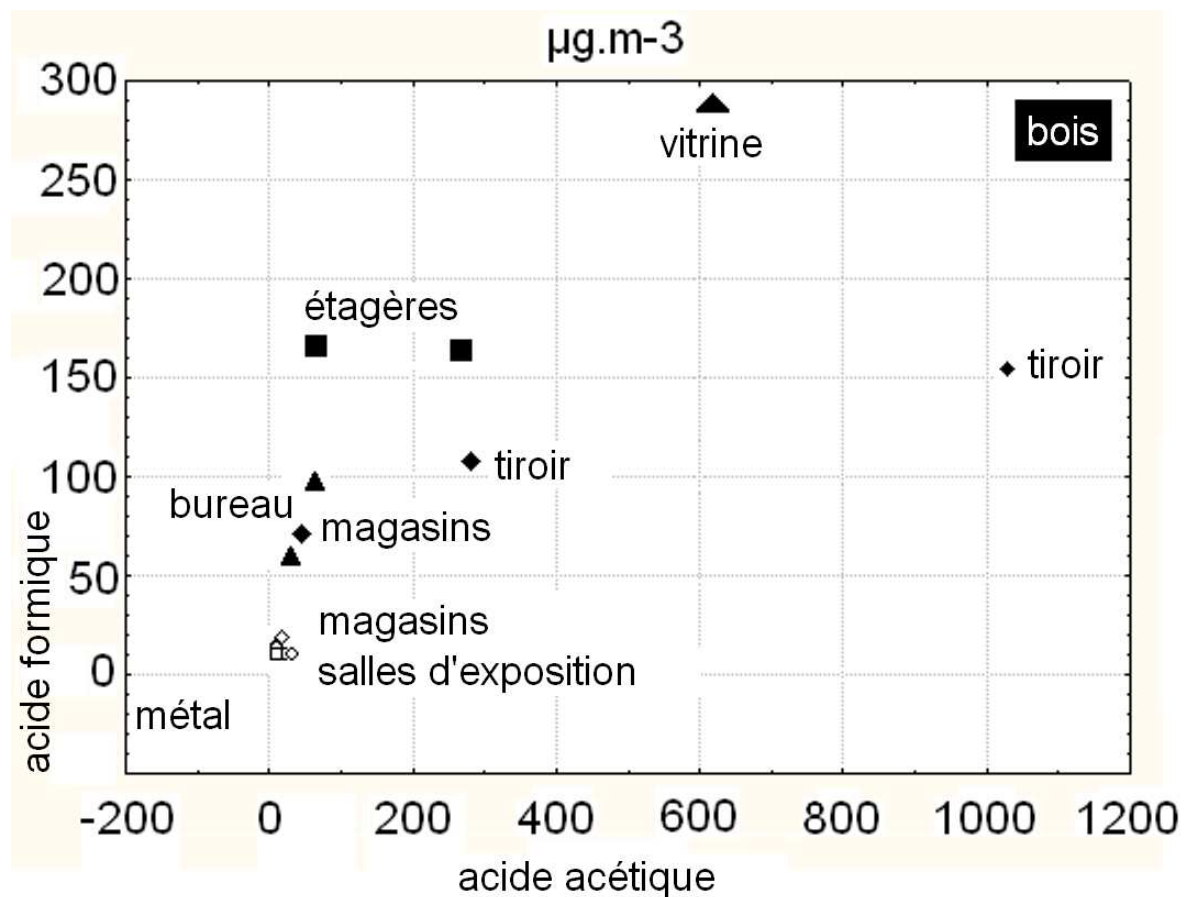


Figure 1 : augmentation des concentrations en acides acétique et formique en fonction du confinement et de la présence de bois.

Interprétation

Comme il n'existe pas de normes sur les concentrations de polluants dans les vitrines de musées, la littérature^{viii} reprend les valeurs de la norme NF ISO 11799 - 2004 relative au stockage des documents

d'archives et de bibliothèques, qui préconise de ne pas dépasser $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour l'acide formique, $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour l'acide acétique^{ix} (tableau 2).

	Archives et bibliothèques		Concentrations normales	
	ppb	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	ppb	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Acide acétique	< 4	< 10	4 ; 10	10 ; 25
Acide formique	< 2	< 5	3 ; 15	6 ; 28

Tableau 2 : correspondances des concentrations en acides acétique et formique recommandées pour le stockage et la conservation des archives et des métaux, couramment rencontrées dans les locaux et en ville³. N.B. : $C (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}) = C (\text{ppb}) \times M (\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}) / 24,45$ $C (\text{ppb}) = C (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}) \times 24,45 / M (\text{g}\cdot\text{mol}^{-1})$

On voit figure 2, que toutes les valeurs sont supérieures au seuil recommandé pour les archives et les bibliothèques. En toute rigueur, ces conditions sont donc mauvaises pour la conservation des collections, même si "la probabilité que les objets se détériorent reste faible tant que la concentration d'acide est inférieure à $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ "^x et que "le plomb ne se détériore pas en dessous de $400 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ "^{xi}.

On remarque aussi que plus l'environnement est confiné, plus les concentrations d'acide formique sont importantes, bien que le bon sens dise que, "idéalement, l'intérieur d'une enceinte ne devrait pas être un milieu plus acide que l'environnement extérieur"^{xii}.

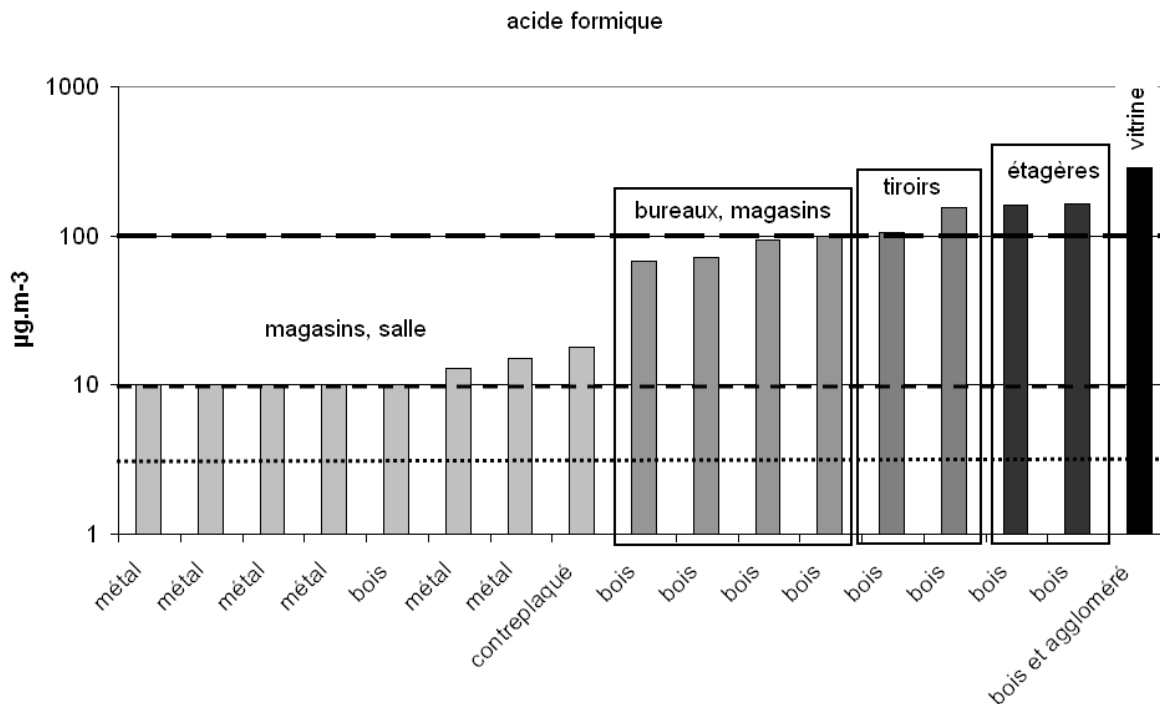


Figure 2 : les concentration d'acide formique (échelle logarithmique), comparées à la norme NF-ISO 11799-2004, aux recommandations de Tétréault, 1998 et Tétréault, 1999.

Aldéhydes

Vingt-cinq prélèvements d'air ont été effectués pour mesurer les concentrations d'aldéhydes : 4 au musée de Cluny, du 30 juin au 7 juillet 2004^{xii} ; 3 (+ 1 témoin) au musée Guimet, du 17 au 21 novembre 2005^{xiii} ; 3 (+ 1 témoin) au service des archives nationales, du 17 au 24 mars 2006 ; 4

mesures dans les magasins de la Bibliothèque nationale de France, site François Mitterrand, du 17 au 27 mars 2006 ; 3 au Musée de l'air et de l'espace, du 8 au 15 février 2006 ; 5 (+ 1 témoin) au département des antiquités grecques, étrusques et romaines du musée du Louvre, du 21 au 28 mars 2006 ; 3 au département des sculptures du musée du Louvre, du 21 au 28 mars 2006.

Cet échantillonnage a été fait dans des salles d'exposition, dans des vitrines situées dans les mêmes salles, et dans des réserves ou des magasins. Pour comparaison, deux prélèvements ont été effectués, l'un au C2RMF du 21 au 29 mars 2006, dans un bureau repeint depuis deux semaines, l'autre dans l'environnement confiné d'une armoire en aggloméré vieille de 10 ans, présentant à l'ouverture une odeur caractéristique de bois et "de miel".

Méthodes

Les vapeurs d'aldéhydes ont été collectées au moyen de tubes à diffusion Radiello (cartouche 165)^{xiv}. La cartouche code 165 est un tube en filet acier inoxydable 100 mesh rempli de florisil imprégné de 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH). Les aldéhydes réagissent avec la 2,4-DNPH pour former les 2,4-dinitro-phénylhydrazones correspondantes. Les hydrazones sont extraits par l'acétonitrile et sont analysés par chromatographie liquide haute performance associée à la détection dans l'ultra-violet. Les concentrations sont calculées sur la base des débits de diffusion fournis par le fabricant et la durée d'exposition du capteur. Les résultats sont exprimés en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). A la BnF l'air a été échantillonné pendant environ 1 heure, à un débit de $11\cdot\text{min}^{-1}$ et analysé conformément à la norme AFNOR NF X 43-264^{xv}.

Résultats

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode mathématique qui consiste à rechercher les directions de l'espace qui représentent le mieux les corrélations entre n variables continues, ce qui permet de détecter la structure des relations entre ces variables : on voit par exemple (figure 3) qu'il y a une relative "opposition" entre les variables "formaldéhyde", caractéristique des colles urée-formaldéhyde utilisées pour les qualités intérieures des panneaux de fibres et de particules, et "acétaldéhyde", un traceur du bois brut et des panneaux de particules (figure 3). L'hexaldéhyde provient des panneaux de particules et de bois brut, mais il peut aussi être émis par les livres et magazines neufs ou les produits de traitement du bois en phase aqueuse^{xvi}.

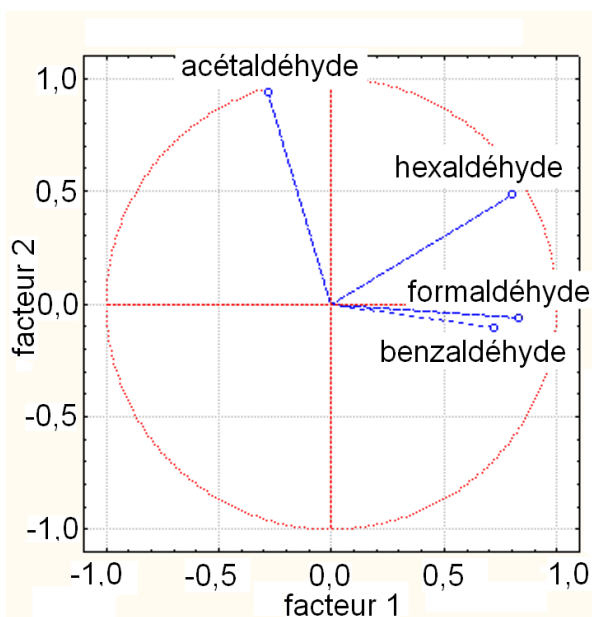


Figure 3 : cette représentation graphique montre la contribution de 4 aldéhydes à la répartition des résultats dans un espace à deux dimensions ; dans cet espace, le facteur 1 représente 49% de la

variance, le facteur 2, 28% de la variance (calculée selon $\sigma^2 = \Sigma(x_i - \mu)^2 / N$, où μ est la moyenne de l'échantillon et N est la taille de l'échantillon^{xvii}).

L'analyse en composante principale permet aussi de répartir les bâtiments en fonction des concentrations en acétaldéhyde, formaldéhyde, hexaldéhyde et benzaldéhyde. Par exemple, les mesures faites au musée de Cluny, où les vitrines sont en chêne, sont proches du "pôle acétaldéhyde", alors que les mesures faites dans l'armoire en aggloméré et au musée Guimet où les vitrines sont en aggloméré, sont plus proches du "pôle formaldéhyde" (figure 4).

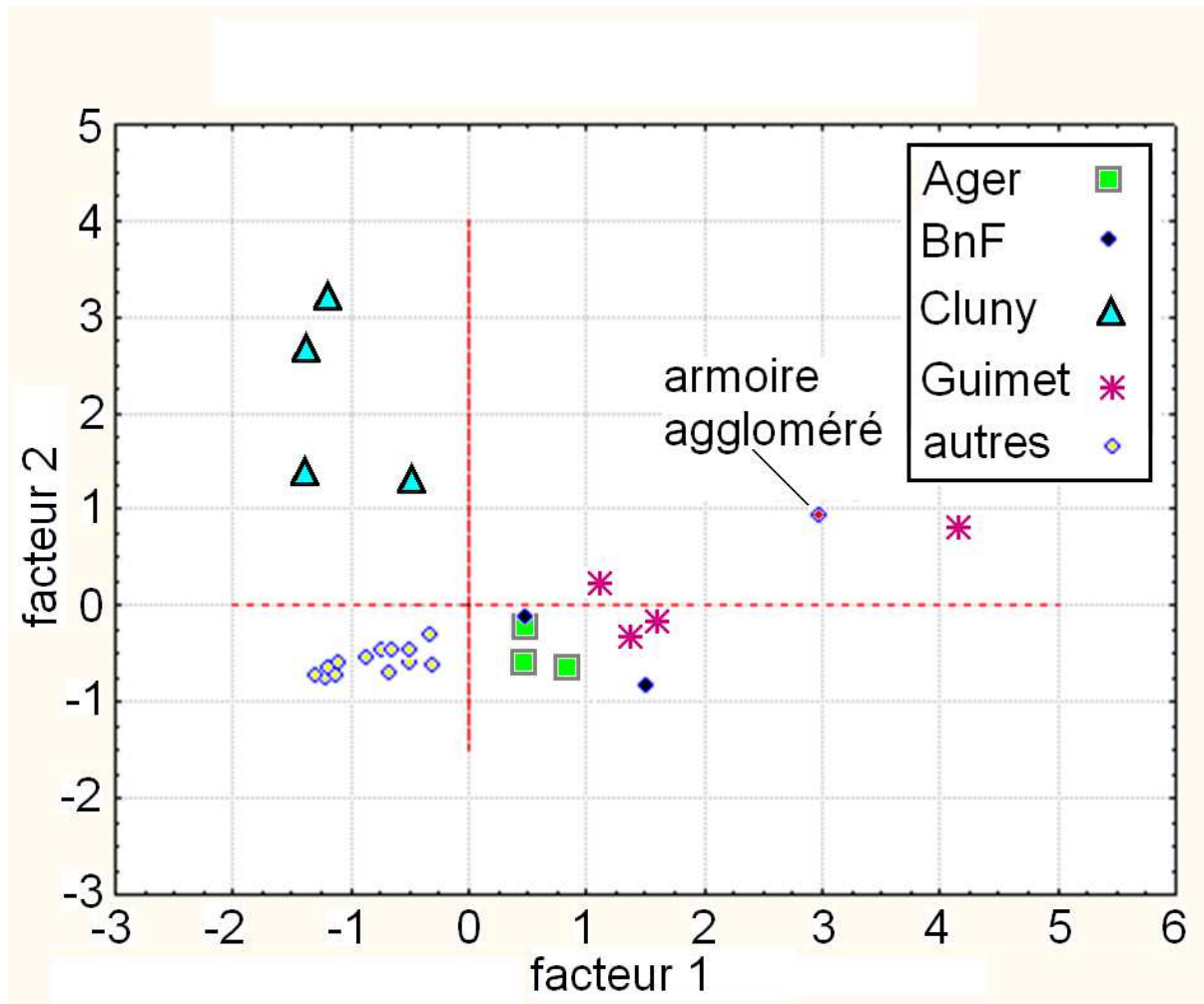


Figure 4 : répartition des bâtiments étudiés en fonction des concentrations en aldéhydes. Le facteur 1 représente 49% de la variance, le facteur 2, 28% de la variance. Ager : département des Antiquités grecques, étrusques et romaines du musée du Louvre ; Guimet : musée Guimet ; BnF : Bibliothèque nationale de France ; Cluny : musée de Cluny.

Interprétation

Ces résultats peuvent être aussi interprétés, soit en comparant différents bâtiments, soit différents locaux d'une même institution, soit différents volumes d'exposition : deux salles entre elles, deux vitrines entre elles, une vitrine et une salle (figure 5).

De telles comparaisons permettent de proposer un classement relatif de la qualité des environnements et parfois même de remonter à la source de la pollution. C'est dans les hangars en tôle du musée de

l'air que les concentrations d'aldéhydes sont les moins importantes ; dans les vitrines en chêne du musée de Cluny, les concentrations d'acétaldéhyde sont les plus importantes.

L'utilisation de contreplaqué ou de médium pour des rayonnages de réserves ou dans des vitrines conduit à des concentrations de formaldéhyde les plus importantes. Ces teneurs sont du même ordre de grandeur que celle mesurée dans l'armoire de bureau en aggloméré [agglo] étudiée comme référence. Les sites étudiés correspondent au musée Guimet, où les vitrines en aggloméré peint datent de 2001, au département des Antiquités grecques, étrusques et romaines du musée du Louvre, où les rayonnages en contreplaqué vernis des réserves datent de 1974, dans la vitrine du trésor de Boscoreale construite en 1993 où les bases sont en médium peint sur la face visible seulement. Au service des archives les concentrations sont très faibles, mais les résultats peuvent être influencés par la température deux fois moins élevée que dans les autres bâtiments au moment des prélèvements (11°C) (Bien que la température au moment de l'échantillonnage ait été prise en compte dans les analyses).

Pour les panneaux dérivés du bois (fibres, particules, contreplaqués), plusieurs normes définissent les exigences à respecter pour un certain nombre de caractéristiques et les normes d'essais correspondantes. S'agissant du formaldéhyde, deux classes sont considérées, selon l'émission de ce composé dans des conditions normalisées^{xviii}. La classe E1 correspond à une concentration de formaldéhyde dans la chambre expérimentale qui n'excède pas 0,124 mg.m⁻³. Si cette teneur est dépassée, le matériau est classé E2.

Le formaldéhyde est un composé ubiquitaire des environnements intérieurs. Le mobilier, les colles utilisées pour les revêtements muraux et de sols, les produits utilisés pour la décoration (matériaux en bois, peintures, vernis) représentent des sources potentielles de formaldéhyde dans les locaux. Une campagne nationale de qualité d'air, menée dans plus de 550 logements par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, révèle que la concentration de formaldéhyde intégrée sur une semaine, est comprise entre 1,3 et 86,3 µg.m⁻³, la teneur médiane étant égale à 19,6 µg.m⁻³.

Cette substance fait l'objet d'une attention particulière car elle a été classée en 2006 cancérogène pour l'homme (catégorie 1) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). L'Organisation Mondiale de la Santé^{xix} recommande, pour la population générale, de ne pas dépasser un niveau d'exposition de 100 µg.m⁻³ sur une durée de 30 minutes, valeur seuil au delà de laquelle peuvent apparaître des irritations des voies respiratoires supérieures. La norme XP X 43-401^{xx}, relative à l'audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels (bureaux et locaux assimilés) mentionne cette valeur de référence.

Au département des AGER du musée du Louvre, le médium et le contreplaqué sont responsables des concentrations importantes de formaldéhyde, que ce soit dans les vitrines [v_Boscoreale] et encastrée [v_E5] ou sur les étagères des réserves [r_Sully 32] et [r_Henri II], soit 5 fois plus que dans la salle où se trouve le trésor de Boscoreale [s_Sully 33].

Au musée de l'air, les concentrations sont très faibles, que ce soit dans les salles ou dans les réserves, car il n'y a ni confinement, ni bois.

Dans les magasins de la BnF, le rapport formaldéhyde / hexaldéhyde est inversé à cause des émissions d'hexaldéhyde par les collections elles-mêmes.

Au musée de Cluny, les vitrines construites dans les années 80 réunissent les inconvénients d'une structure en chêne sur laquelle sont montés des panneaux d'aggloméré, le tout étant habillé d'un velours de polyester tendu sur du contreplaqué. Les concentrations d'acétaldéhyde sont importantes, particulièrement dans les vitrines [38] et [rouge], moins dans la salle [16] qui est moins confinée et dans la vitrine [gris clair] ; cette vitrine a été modifiée en novembre 2005, justement pour tenter de bloquer les acides organiques en dehors du volume d'exposition.

Au musée Guimet, l'utilisation d'aggloméré dans des volumes confinés est responsable de la forte concentration d'aldéhydes ; c'est dans la vitrine des boîtes à médecine [inrô] que la concentration de

formaldéhyde et d'hexaldéhyde est la plus importante (cette vitrine a un petit volume pour une grande surface de panneaux de bois). C'est dans la vitrine où sont exposées les gardes de sabres [tsuba] que la concentration de formaldéhyde est la moins importante (le fond vertical de cette vitrine est en verre, seule la tablette horizontale est en contreplaqué). La teneur en formaldéhyde mesurée au musée Guimet dépassait notablement les niveaux obtenus dans les habitats étudiés au cours de l'étude menée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI)^{xxi}.

Au département des sculptures du musée du Louvre, les concentrations de formaldéhyde sont 6 fois plus élevées dans la vitrine décorée de panneaux de bois stratifiés [Tancrede] que dans celle dont le socle est en pierre [Henri IV] et que dans la salle [31].

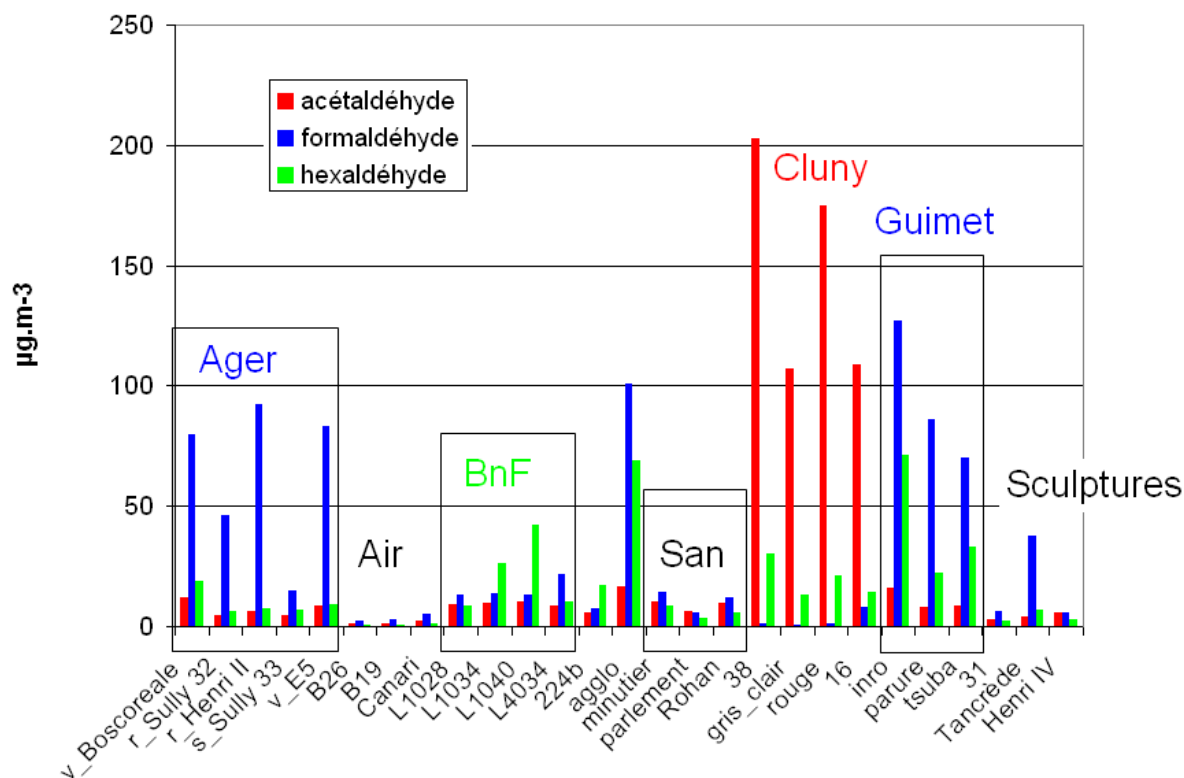


Figure 5 : comparaison des concentrations d'acétaldéhyde, de formaldéhyde et d'hexaldéhyde aux musées de l'Air et de l'Espace, de Cluny, Guimet, du Louvre (département des Antiquités grecques, étrusques et romaines [Ager] et département des Sculptures), dans les magasins de la Bibliothèque nationale de France, site François Mitterrand [BnF] et du Service des archives nationales [San]⁴.

L'expérience montre que l'utilisation de matériaux à base de bois dans les vitrines peut se montrer désastreuse pour les oeuvres. La plupart des objets métalliques, particulièrement le plomb^{xxii}, le cuivre, le zinc, les aciers, mais aussi la nacre^{xxiii}, les photographies^{xxiv}, le verre et certains matériaux organiques sont vulnérables aux composés organiques volatils acides. Les altérations apparaissent d'autant plus rapidement et de manière durable dans des volumes confinés comme les vitrines. Il faut donc être particulièrement attentif à la sensibilité des œuvres à ces composés et utiliser de préférence dès le départ de bons matériaux, plutôt que de devoir remettre en question des vitrines quelques années après le chantier de rénovation du musée.

Exemple du plomb

⁴ Auparavant Centre historique des Archives nationales (CHAN).

Le plomb s'avère particulièrement altérable dans certaines conditions défavorables de conservation des objets. C'est le cas en particulier de bulles papales conservées au service des Archives nationales, altérées par des composés organiques acides provenant du mobilier en bois (étagères, médaillers, armoire, planchers). Dans cet exemple, la spectrométrie de rétrodiffusion par particules chargées (RBS) montre la diffusion d'éléments légers, depuis la surface vers l'intérieur du métal, qui révèle un appauvrissement en plomb de la couche superficielle correspondant à la formation d'acétate et de carbonate de plomb en présence de chêne (figure 6).

a) Bulle du pape Innocent VIII (1484), inv. : X691.

b) Analyse RBS : comparaison d'un spectre obtenu sur la bulle d'Innocent VIII avec une référence de plomb pur non altéré.

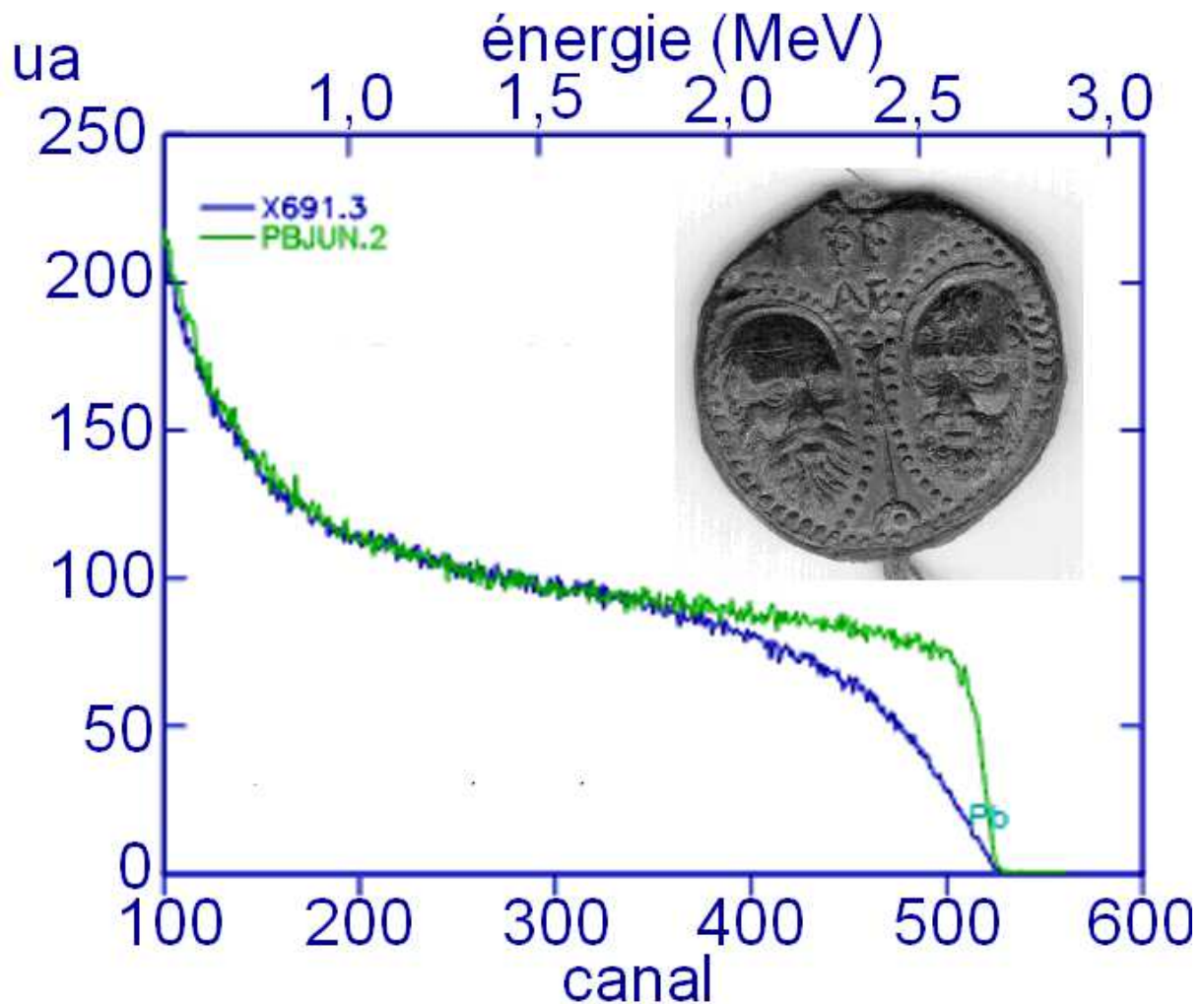
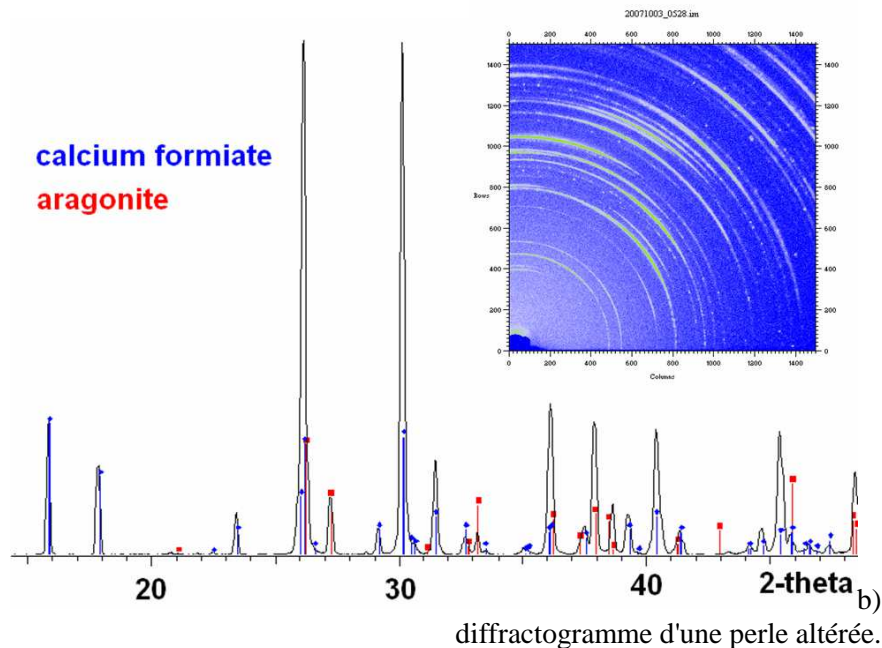


Figure 6 : exemple du plomb. © C2RMF.

Exemple de la nacre : la caractérisation de perles altérées par diffraction des rayons X montre qu'elles sont constituées d'aragonite, un carbonate de calcium (CaCO_3) et de formiate de calcium $\text{Ca}(\text{HCOO})_2$ qui résulte de l'action de l'acide formique sur l'aragonite. Cette réaction s'accompagne de la destruction de la nacre (figure 7)^{xxv}.



a) collier, époque achéménide, 350 avant J.-C., inv. : Sb 2767, musée du Louvre, département des antiquités orientales, détail d'une perle altérée.



b) diffractogramme d'une perle altérée.

Figure 7 : exemple de la nacre. © C2RMF.

Conclusions

On a vu que le bois ne se bonifie pas en vieillissant! Même après plusieurs dizaines d'années, le bois émet de l'acide acétique. Les panneaux de bois, même peints, même stratifiés, émettent donc eux aussi de l'acide acétique, ainsi que du formaldéhyde qui se dégrade en formant de l'acide formique. En atmosphères confinées, ces acides peuvent détruire les collections qui ont traversé les siècles en quelques dizaines de jours. Alors que faire pour réaliser des vitrines qui jouent correctement leur rôle protecteur?

Composites. Les transports terrestres, la construction navale, les aménageurs de stands fabriquent aussi bien des superstructures que des décorations avec des matériaux composites, qui peuvent être avantageusement utilisés dans les musées, comme le montre l'exemple du musée de Cluny où les fonds de vitrines ont été remplacés par un support inerte, rigide, composé d'un noyau en poly-éthylène basse densité (LDPE) entre 2 feuilles d'aluminium⁵. Ces panneaux sont entrés dans le monde de la culture grâce aux photographes qui l'utilisent comme support inerte lisse, léger et rigide. Les émissions d'aldéhydes et d'acides organiques peuvent être limitées en recouvrant le bois de pare-vapeur^{xxvi}, un film composite imperméable aux gaz, constitué d'un "sandwich" polyéthylène (PE) - aluminium - polyester (PET) appliqué à chaud ou avec un adhésif double face.

Notice. Exiger et lire la notice de mise en œuvre et la fiche de données de sécurité, qui fournissent des informations utiles sur le produit envisagé pour construire une vitrine.

⁵ Les alliages aluminium-magnésium de la série 5000 ont une résistance mécanique moyenne, une bonne aptitude à la déformation et au soudage, un excellent comportement aux basses températures et une très bonne résistance à la corrosion (en milieu marin en particulier). La finition des faces est une laque polyester (PET) déposée à chaud en étuve, disponible en de nombreuses couleurs. Il existe aussi une version avec dos finition laminée. La surface est protégée par un film pelable avant usage. Les dimensions standard : épaisseur = 2, 3, 4 mm, largeur = 1500 mm, L à la demande. Applications : transports terrestres (citernes), construction navale (superstructures, aménagements et décoration de paquebots), industrie chimique (réservoirs), cryogénie (cuves de stockage et transport de gaz liquéfiés), biens de consommation (caravanes, mobilier...).

Précaution. Appliquer le principe de précaution, en utilisant des matériaux inorganiques (verre, métaux, pierre), ou organique réputés pour leur inertie (acrylique, résines thermodurcissables)^{xxvii} et en se référant à la norme française sur la construction des vitrines^{xxviii}.

Restaurateur. Consulter un restaurateur, car il connaît la fragilité des collections et leur réactivité aux composés émis par les matériaux utilisés dans les vitrines.

Naviguer dans la base de données "Cameo" du *Museum of fine arts* de Boston qui rassemble les propriétés chimiques, physiques et visuelles des matériaux utilisés en conservation^{xxix}, dans la base de données "Préserv'art" du *Centre de conservation du Québec* qui donne des informations sur certains produits et équipements pour la conservation et la protection des objets, des œuvres d'art et des documents d'archives^{xxx} et dans la base de données "Information sur la conservation" de l'*Institut canadien de conservation*, qui rassemble des articles couvrant une vaste gamme de sujets et de questions sur la conservation préventive^{xxxi}.

Tester les matériaux comme le British Museum^{xxxii}, pour vérifier l'absence d'émissions nocives (aldéhydes^{xxxiii}, acides organiques^{xxxiv}).

Fournisseurs

Dibond® : <http://www.dibond.com/alcan>

LHVP : Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, 11 rue Georges Eastman, 75013 Paris

Marvelseal® : <http://jamesdawson.thomasnet.com>

Radiello®, Fondazione Salvatore Maugeri, Centro di Ricerche Ambientali, Via Svizzera, 16, I-35127 Padova, <http://www.radiello.it>

Valsem® : ruelle de Compiègne, BP 30, 60190 Lachelle

References

ⁱ Department of Trade and Industry, National Corrosion Service : *Corrosion of metals by wood*, in Guides to Practice in Corrosion Control, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, TW11 0LW, UK, 2008, <http://www.corrosion-doctors.org>

ⁱⁱ <http://www.bois.com/> [www.http\ctba.fr/](http://www.ctba.fr/) <http://www.onf.fr/>

ⁱⁱⁱ T Jester : Plywood, in Twentieth-century building materials, T Jest ed., MacGraw-Hill, NY, 1995.

NF B 56-010 : Panneaux « Fibragglos » - Définition – Désignation.

NF EN 309 (NF B 54-101) : Panneaux de Particules - Définition et classification.

NF EN 335-3 (NF B 50-100-3) : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – Définition des classes de risque d'attaque biologique – partie 3 : Application aux panneaux à base de bois.

NF EN 312 (NF B 54-114) : Panneaux de Particules - Exigences (et normes d'essais associées).

NF EN 633 (NF B 54-130) : Panneaux de particules liées au ciment – Définition et Classification.

NF EN 634 (NF B 54-130) : Panneaux de particules liées au ciment – Exigences.

NF ENV 1995 (NF P 21-711) : EC 5 - Eurocode 5 : Calcul des structures en bois.

NF EN 12369-1 (NF B 51-078-1) : Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures.

NF EN 12871 (NF B 54-074) : Panneaux à base de bois – Spécifications et exigences fonctionnelles pour panneaux travaillants utilisés en planchers, murs et toitures.

NF EN 13986 (NF B 54-250) : Panneaux à base de bois destinés à la construction – Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage.

XP ENV 12 872 (XP B 54-075) : Guide pour l'utilisation des panneaux structurels des planchers, murs et toitures.

NF P 21-400 : Bois de structure et produits à base de bois - Classe de résistance et contraintes admissibles associées.

NF P 21-701 : CB 71 - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois.

P.Hatchfield : *Pollutants in the Museum Environment*, Archetype Press, London, 2002.

^{iv} C. Gould, K. Konrad, K. Milley, R. Gallagher : *Fiberboard*, in *Twentieth-Century Building*, T Jest ed., MacGraw-Hill, NY, 1995.

^v A. Pichard : Formaldéhyde, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 25/05/2005, 53 p. <http://www.ineris.fr>

^{vi} NF EN 316 (NF B 54-050) : Panneaux de fibres de bois - Définition, classification et symboles.

NF EN 622 (NF B 54-051) : Panneaux de fibres de bois – Exigences.

NF EN 13171 (NF P 75-412) : Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en fibres de bois (WF) – Spécification.

^{vii} Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris : *Mesures de qualité d'air dans une salle et une vitrine du musée de Cluny*, 18 octobre 2004.

^{viii} J. Tétreault : *Museum standard levels for indoor pollutants*, in *Indoor air pollution : detection and mitigation of carbonyls*, Glasgow, University of Strathclyde, 1998, 15-17.

^{ix} NF ISO 11799 - 2004 *Prescriptions pour le stockage des documents d'archives et de bibliothèques*, AFNOR, 2004, 15 p.

^x Jean Tétreault : *Vitrines en chêne, problèmes de conservation et solutions*, in *Information sur la conservation*, ICC, 01/01/1999, 6 p., <http://www.cci-icc.gc.ca>

^{xi} J. Tétreault, J. Sirois et E. Stamatopoulou : *Study of lead corrosion in acetic acid environment*, *Studies in conservation*, 42, 1998, 17-32.

^{xii} CSTB : *Mesure des aldéhydes dans 4 vitrines du musée de Cluny*, Rapport d'essais n° SB-04-026, 23 juillet 2004.

^{xiii} CSTB : *Mesure des aldéhydes dans 8 vitrines (musée de l'air et musée Guimet)*, Rapport d'essais n° SB-05-081, 18 décembre 2005.

^{xiv} NF ISO 16000-4 *Air intérieur - Partie 4 : dosage du formaldéhyde - Méthode par échantillonnage diffusif*, avril 2006.

^{xv} AFNOR NF X 43-264 *Qualité de l'air - Air des lieux de travail - Prélèvement et dosage d'aldéhyde*, février 2002.

^{xvi} <http://www.cstb.fr>

^{xvii} Statistica <http://www.statsoft.fr>

^{xviii} homogénéiser NF EN 717-1 : *Panneaux à base de bois – Détermination du dégagement de formaldéhyde – Partie 1 : émission de formaldéhyde par la méthode à la chambre.*

^{xix} *Air Quality Guidelines for Europe – WHO Regional Publications, European Series, n°91 – 2000.*

^{xx} AFNOR XP X 43-401 : *Qualité de l'air. Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels. Bâtiments à usage de bureaux et locaux similaires*, décembre 1998.

^{xxi} *Campagne nationale logements : Etat de la qualité de l'air intérieur dans les logements français*, Observatoire de la qualité de l'air intérieur – rapport final – DDD/SB – 2006-57, novembre 2006.

^{xxii} Michel Dubus, Marc Aucouturier, Isabelle Colson, Jean-Claude Dran, Michèle Agnoko Gunn, Anne-Marie Laurent, M. Leroy, Brice Moignard, Joseph Salomon, philippe Walter : *Evaluation de la corrosion du plomb aux archives nationales de France*, ICOM-CC 2002, 851-859.

^{xxiii} Norman H. Tennent & Thomas Baird : *The deterioration of mollusca collections : identification of shell efflorescence*, Studies in conservation, vol. 30, n°2, mai 1985, 73-85.

^{xxiv} Bertrand Lavédrine : *Les collections photographiques, guide de conservation préventive*, Arsag, Paris, 2000, 311 p.

^{xxv} Davis Nancy : *Conservation of archeological shell artefacts*, Proceedings of the 1986 Shell Bead Conference: selected papers, Hayes, Charles F., Iii; Ceci, Lynn (Editor); Rochester: Rochester Museum and Science Center, Research Division, 1989, 13-16.

^{xxvi} David Thickett : *Sealing of MDF to prevent corrosive emissions*, The conservator, n°22, 1998, 49-55.

John Burke: *Vapor Barrier Films*, WAAC Newsletter, vol. 14, n°2, 1992, pp.13-17
<http://palimpsest.stanford.edu/waac/wn/wn14/wn14-2/wn14-204.html>

^{xxvii} Jean Tétreaut : *Guide de sélection des matériaux pour l'exposition, la mise en réserve et le transport*, Information sur la conservation, ICC, 1993, 10 p., <http://www.cci-icc.gc.ca>

Jean Tétreaut : *Matériaux d'exposition : les bons, les mauvais et les autres*, Institut canadien de conservation, Ottawa, 1994.

^{xxviii} XP X80-002 *Conservation des biens culturels - Recommandations pour concevoir, aménager, choisir et utiliser une vitrine d'exposition de biens culturels*, décembre 2007.

^{xxxix} Michele Derrick : CAMEO, *Conservation and art material encyclopedia online*, Museum of Fine Arts, Boston, 2008, http://www.mfa.org/_cameo_verifier_lien

^{xxx} <http://preservart.ccq.mcc.gouv.qc.ca>

^{xxxix} http://www.cci-icc.gc.ca/document-manager/conservation-information_f.cfm

^{xxxii} Joseph A. Bamberger, Ellen G. Howe & George Wheeler : *A variant Oddy test procedure for evaluating materials used in storage and display cases*, *Studies in Conservation*, 1999, vol. 44., n°2, pp. 86 – 90.

L. Robinet & D. Thickett : *A new methodology for accelerated corrosion testing*, *Studies in conservation*, vol. 48 , no 4 , 2003 , pp. 263 – 268.

^{xxxiii} P. Bisgaard, L. Mølhave, B. Rietz & P. Wilhardt : *A method for personal sampling and analysis of nanogram amounts of formaldehyde in air*, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 45 (6), 1984, pp. 425 – 429.

^{xxxiv} L.T. Gibson, B.G. Cooksey, D. Littlejohn & N.H. Tennent : *Determination of acetic and formic acid in the museum environment by passive sampling*, *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, vol. 10, Brussels, 1997, pp. 108-112.

Annexes

Annexe 1 : concentrations d'aldéhydes, valeurs moyennes pour 100 minutes d'exposition.

musée	localisation	matériaux	acétaldéhyde	formaldéhyde	Acroléine	Hexaldéhyde	benzaldéhyde
Louvre Ager	vitrine	Médium peint	12	80	6	19	0
Louvre Ager	réserve	Contreplaqué vernis	4	46	7	6	0
Louvre Ager	réserve	Contreplaqué vernis	6	92	6	8	0
Louvre Ager	salle	Parquet	5	15	2	7	0
Louvre Ager	vitrine	Fond médium peint	8	83	7	9	2
Air	réserve	Hangar métal	1	3	1	0	0
Air	réserve	Hangar métal	1	3	1	0	0
Air	salle	Avion contreplaqué	2	5	1	1	0
BnF	réserve	Rayonnages métal	9	13	3	9	1
BnF	réserve	Rayonnages métal	9	14	4	26	2
BnF	réserve	Rayonnages métal	10	13	3	42	2
BnF	réserve	Rayonnages métal	9	22	5	10	6
bureau	bureau	Armoires aggloméré	6	8	1	17	1
armoires	armoires	Dans armoire aggloméré	17	101	3	69	2
San	réserve	Rayonnages bois	11	14	2	9	1
San	réserve	Rayonnages bois	6	6	1	3	0
San	réserve	Rayonnages bois	9	12	3	6	1
Cluny	vitrine	Chêne et contreplaqué	203	1	1	30	0
Cluny	vitrine	Chêne et contreplaqué	107	0	0	13	0
Cluny	vitrine	Chêne et contreplaqué	175	1	1	21	0

Cluny	salle	Parquet et lambris	109	8	1	14	2
Guimet	vitrine	Aggloméré	16	127	1	71	3
Guimet	vitrine	Aggloméré peint	8	86	2	22	2
Guimet	vitrine	Verre et aggloméré	9	70	1	33	2
Louvre Sculptures	salle	Pierre et plâtre peint	3	6	1	2	0
Louvre Sculptures	vitrine	Aggloméré stratifié	4	38	5	7	0
Louvre Sculptures	vitrine	Pierre	5	6	1	3	1

Annexe 2 : concentrations d'acides acétique et formique mesurées dans différents environnements patrimoniaux ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

établissement	localisation	précisions	acide acétique	acide formique
Air	magasin	Métal	12	13
Air	magasin	Métal	12	15
Air	salle	Dans avion en contreplaqué	20	18
BnF	magasin	Etagères métal	10	10
BnF	magasin	Etagères métal	24	10
BnF	magasin	Etagères métal	33	10
BnF	magasin	Etagères métal	34	10
San	bureau	Bureau	30	67
San	magasin	Etagères bois	30	99
San	magasin	Etagères bois	41	71
San	bureau	Parqueté et lambrissé	60	94
San	magasin	Sur étagères bois	69	161
San	magasin	Sur étagères bois	266	163
San	tiroir	Dans tiroir bois	282	106
San	tiroir	Dans tiroir bois	1032	155
Cluny	Salle d'exposition	Parquetée et lambrissée	10	10
Cluny	vitrine	Vitrine chêne, contreplaqué et aggloméré	619	288