

La notion de compatibilité des matériaux de stockage et la prévention incendie

JACQUES REBIERE

CONSERVATEUR-RESTAURATEUR

CENTRE ARCHÉOLOGIQUE DU VAR/CEPAM-CNRS

LABORATOIRE DE CONSERVATION, RESTAURATION ET RECHERCHES - DRAGUIGNAN

Conserver d'importantes collections très diversifiées est l'une des missions les plus communes confiée aux conservateurs de musées. Hormis la petite proportion de biens culturels présentée au public, l'essentiel - à l'abri des regards - est concentré dans les «réserves». Mal mis en valeur, ces locaux sont le plus souvent les «parents pauvres» du bâtiment. Ainsi, rarement climatisés, parfois inondables et souvent mal équipés en supports adaptés, ces entités «abritent» des éléments entreposés dans des conteneurs de fortune.

Aux fluctuations d'humidité ou de température, s'ajoutent donc les conséquences de l'interaction entre l'environnement et les emballages employés. Cela implique que l'on soit attentif au

respect de la «compatibilité» des matériaux de stockage servant à un stockage prolongé du patrimoine.

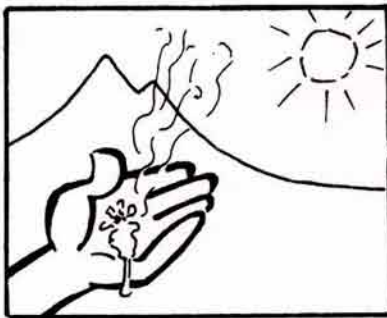
1. Bref rappel du pouvoir destructif de certaines matières.

Le dessin ci-après suggère, à sa façon, que tout ce qui nous entoure est sujet à évolution ou à destruction. Seul le temps nécessaire varie... notre démarche de «conservation» paraît donc bien vaine. Elle peut néanmoins être encore plus compromise si elle repose sur l'emploi de mauvais matériaux, ou de matériaux inadaptés à la composition exacte des biens culturels à conserver.

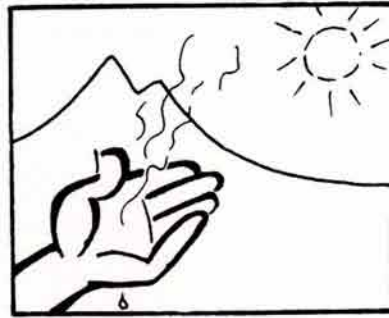
Qui ne connaît pas d'exemples de piles de boîtes en carton ondulé contenant des objets fragiles qui se sont effondrées



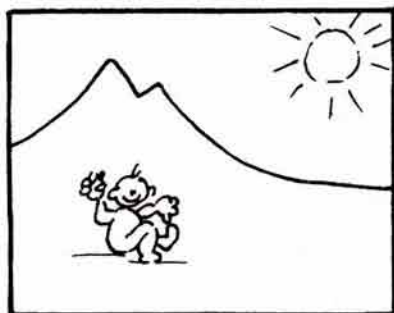
UN CRISTAL DE NEIGE ...



CHANGE DE FORME ...



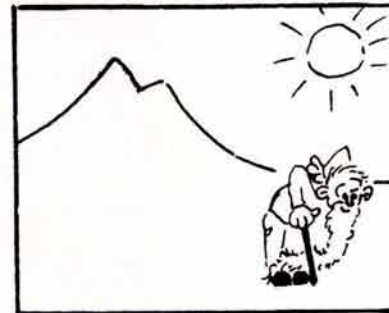
EN QUELQUES SECONDES



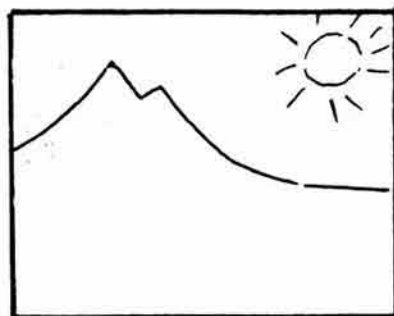
UN ÊTRE HUMAIN ...



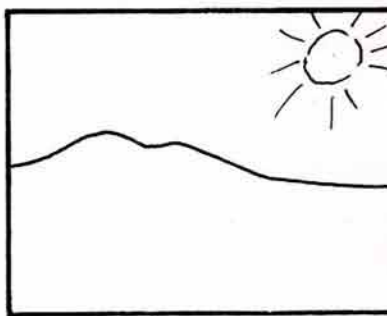
SE TRANSFORME EN UNE...



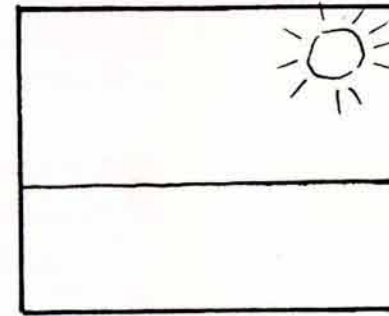
CENTAINES D'ANNÉES



UNE MONTAGNE ...

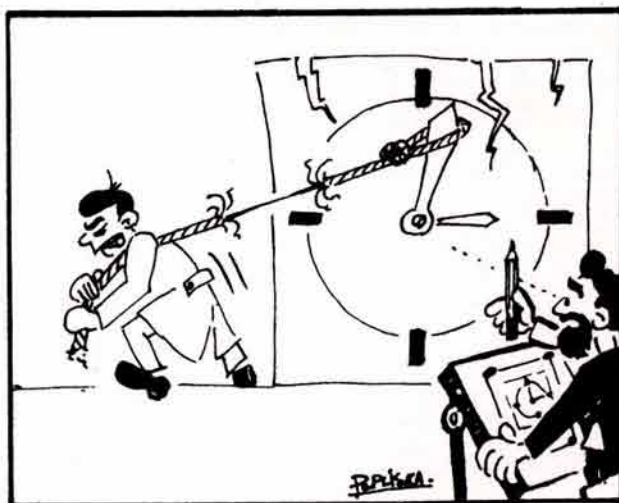


SE TRANSFORME EN ...



QUELQUES MILLIONS D'ANNÉES

LE PARADOXE DU RESTAURATEUR



Dessin reproduit avec l'aimable autorisation de son auteur : Patrick PLISKA - CREAM - Vierre

(avec leur contenu) parce que celle du dessous, humidifiée par une petite inondation, a perdu sa solidité ? Sans généraliser cet exemple caricatural, l'évolution des matériaux souvent moins visible peut entraîner des dégâts importants. Hormis les processus d'altérations des objets imputables directement au climat ou aux manipulations, la principale source de dégradation provient d'une pollution de l'environnement par les emballages.

1.1. Pollution par les composés soufrés.

Une grande partie de ces composés a une origine naturelle (éruptions volcaniques, sources thermales...) ou humaine liée à l'activité industrielle ou au chauffage avec des énergies fossiles.

Si ces facteurs de pollution paraissent peu modifiables au niveau d'un dépôt, certaines matières servant à exposer ou à conserver des objets dans un milieu clos peuvent constituer une source non négligeable de pollution - la laine, le cachemire, l'alpaga, la vicuna et le mohair émettent en se dégradant des dérivés sulfureux. Sous l'influence des rayons UV ou de la chaleur (dès 50°C), la laine émet du sulfure de carbone et des traces de sulfure de carbone. Dans d'autres conditions de lumière ou de température, elle émet de l'hydrogène sulfuré. Le cuir ou le parchemin dégagent de l'hydrogène sulfureux tandis que d'autres substances sulfurées proviennent de la colle traditionnelle des ébénistes réalisée à par-

tir de kératine (corne, peau de poisson...). Enfin, des quantités importantes de soufre entrent dans la composition du caoutchouc naturel vulcanisé ou synthétique, des joints néoprènes ou dans certains colorants utilisés pour teindre les tissus ou dans les peintures.

Le danger lié à ces émissions sera vite compris si l'on rappelle qu'une masse de 50 ug de dioxyde de soufre combinée avec l'humidité produit 0.04 microlitres d'acide sulfurique. On citera pour mémoire qu'en Europe du Nord-Ouest, les concentrations en dioxyde de soufre sont d'environ 50 à 100 ug/m³ dans les zones urbaines ... où se trouve la plupart des musées et des monuments. Ainsi, pour une salle d'exposition de 100 m³ où l'on aurait un changement d'air moyen par heure, 3 ml d'acide sulfurique concentré seraient produits en 1 mois. Cet acide est nocif pour la plupart des matériaux.

1.2. Pollution par l'effet de l'acidité et des bases.

Les connaissances sur le degré de détérioration des œuvres d'art par les acides organiques demeurent limitées. En effet, il faudrait connaître le seuil de détérioration de chaque type d'objet dans des conditions ambiantes spécifiques pour pouvoir délimiter correctement le pH.

Différents auteurs proposent donc des «zones de potentiel de détérioration» en fonction du pH mesuré (avec équivalence approximative en ppm -partie par

million - d'acide acétique en phase vapeur).

Ainsi, on suggère:

- **une zone de potentiel de détérioration faible** : pH entre 7 et 5 (<ppm)

Les risques sont minimales dans des endroits ventilés mais augmentent dans des espaces clos où les objets les plus sensibles aux acides (œuvres sur papier, plomb et ses alliages...) peuvent être affectés si la valeur du pH qui est mesuré est plus acide.

- **une zone de détérioration moyenne** :

pH entre 5 et 3.5 (1 à 10 ppm). Dans un espace de grande dimension ou muni d'un système de ventilation, les gaz acides peuvent être éliminés. Cependant, même à court terme, ces gaz peuvent détériorer les œuvres sensibles aux acides (coquillages, papiers, métaux, coton ...). L'utilisation d'un matériau libérant ce niveau d'acidité n'est pas recommandée dans un espace clos. Comme moyens palliatifs, une diminution de l'humidité relative du milieu peut être envisagée, dans la mesure du possible, de même que l'emploi de produits absorbants (charbon actif).

- **Une zone de potentiel de détérioration élevée** : pH inférieur à 3 (> 10 ppm).

Cet environnement acide affecte gravement plusieurs objets de musée; en plus de ceux déjà nommés, les matériaux protéiques peuvent être endommagés. Dans un espace clos, l'emploi de produits absorbants n'est plus suffi-

sant, l'utilisation du matériau libérant ce niveau d'acidité est à proscrire.

Étant donné les incertitudes et les risques potentiels, il paraît utile de connaître à l'avance les matières dont la dégradation provoque une telle pollution acide.

Parmi les principales matières incriminées, on citera les composés cellulosiques : bois naturels, bois modifiés et papiers cartons. En effet, les bois sont connus pour libérer notamment des aldéhydes et des acides organiques de bas poids moléculaires. Ainsi, les bois durs (chêne, châtaignier) favorisent par leurs émissions, la formation d'acides acétique, formique et butyrique en quantité variable selon leur période de coupe ou leur humidité interne et selon que les planches proviennent de l'aubier ou du bois de sève.

À titre indicatif, la photo suivante montre deux statuettes identiques fondues dans un alliage plomb-étain. L'une sert de témoin tandis que l'autre a été soumise durant un mois à des vapeurs d'acides acétique et formique dans un milieu clos. Bien que cet essai ait été empirique, on a reproduit (en les aggravant) les conditions de stockage (et de destruction) d'objets en plomb conservés dans une caisse en bois en milieu humide. Les concrétions superficielles illustrent la dégradation qui se produit.

Le phénomène est amplifié avec des bois modifiés : bois contre-plaqué, bois agglom-



Corrosion d'une statuette en plomb-étain soumise à des vapeurs acides (à gauche l'éprouvette, à droite l'échantillon témoin)

méré... L'utilisation d'une grande quantité d'adhésif dans le panneau réduit son coût et il est courant d'avoir de tels panneaux en fibres contenant plus d'adhésif que de bois... L'adhésif le plus utilisé est à base de formaldéhyde : un produit considéré comme dangereux pour les collections muséales depuis quelques années. Si on peut minimiser les problèmes en choisissant des panneaux contenant un adhésif à base de polyurée ou une résine phénolée, leurs effets à long terme sont mal connus... et il reste toujours le bois augmenté en adjuvants dont on ignore bien souvent la nature.

En résumé, les panneaux à particules de tous les types ne sont pas recommandés en raison de leur haute quantité de résine et de leur acidité inhérente, indépendante des adhésifs employés.

Il faut également bien connaître les propriétés des papiers et cartons

employés pour le stockage. Ceux de qualité inférieure sont aujourd'hui fabriqués pour la plupart à partir de pulpe de bois et risquent de se décomposer rapidement en dégageant des substances acides.

Enfin, d'autres acides proviennent de certaines peintures (peintures à l'huile de lin ou peintures glycérophtaliques) de même que des vernis à base d'uréthanes.

Quelques polymères sont également à éviter, ceux à base de polyuréthane dont la dégradation permet la formation d'amines, puis d'urée et enfin d'ammoniac. Ce gaz en solution dans l'eau forme de l'ammoniac aux capacités très corrosives. Parmi les autres polymères dont la dégradation s'accompagne d'une libération d'acide, on citera les chlorures de polyvinyle (PVC) qui favorisent, en milieu humi-

de, la production d'acide chlorhydrique.

D'autres sources de pollution gazeuse comme les fongicides ou certains adhésifs pourraient être incriminées, mais elles servent moins à la fabrication d'emballages. On demeure pourtant frappé par la diversité et le nombre de matières à proscrire, soit parce qu'on en connaît la nocivité à court terme, soit parce qu'on les soupçonne de générer des problèmes à moyen et long terme. En fait, en l'état actuel des recherches en conservation, la notion de «seuil» acceptable de pollution(s) en fonction de l'humidité et de la température est très rarement prise en compte. Le «principe de précaution» semble donc devoir reposer sur l'élimination pure et simple de certaines matières et sur la recherche de produits «compatibles» avec une conservation prolongée du patrimoine. Je définis ainsi la notion de «compatibilité» : une matière est réputée «compatible» si l'évolution chimique ou physique de ses composants ne compromet pas la pérennité des objets situés à proximité. En choisissant une matière «compatible», on ne disposera pas plus d'un emballage éternel que dans une quelconque autre matière, mais l'évolution de ses propriétés n'aura pas pour conséquence une pollution préjudiciable à la conservation du patrimoine. De même, une matière «compatible» pourra avoir un usage limité à un type de patrimoine ; un conteneur en bois propre et sain

pourra être compatible avec le stockage d'objets en bois, même si son usage est déconseillé pour conserver du métal.

Un autre exemple concerne l'évolution d'une matière comme le cellophane. Sa destruction est sans danger pour les objets en métal. Toutefois, son entreposage avec des objets métalliques dans un milieu sec la rend rapidement cassante et lui fait perdre son utilité de pochette, de même, quand le milieu est humide, elle gonfle.

2. Quelques matières compatibles.

L'inventaire des matériaux non compatibles (ci-contre une liste concernant les objets métalliques) limite principalement le choix à certains polymères, pour la plupart issus de la famille des polyoléfines. Fort heureusement, ceux qui sont réputés compatibles sont très répandus au point qu'ils composent la plupart des emballages «en plastique». Ainsi, les sachets à fermetures à glissière commercialisés sous les noms «Rajagrip®» ou «Minigrip®» sont en polyéthylène. Le polypropylène est le composant de caisses gerbables, rigides ou pliables vendues souvent par la marque "Allibert®". La plupart des boîtes hermétiques a un corps en polypropylène et un couvercle en polyéthylène. Les boîtes à rabats «Gigarch®» sont en polypropylène alvéolaire....

Ces produits sont généralement proposés à des prix accessibles et sont totalement insensibles à l'humidité, aux acides et aux bases. Ils peuvent être traités pour







résister aux rayons UV et être antistatiques. Leur transparence (ou leur apparence translucide) permet de voir le contenu et surtout est la garantie d'une absence de mélange entre des polymères différents issus d'une même famille mais aux pré-traitements variables.

Toutes ces qualités font que ces contenants sont souvent recommandés pour un stockage prolongé.

2.1. Identification simple.

Il arrive cependant qu'il soit difficile de connaître le composant majeur d'une matière plastique. Quelques moyens simples permettent d'aider à identifier le polymère constitutif. Une méthode simple repose sur l'observation de «logos» imprimés sur les plastiques. Sous forme de triangles pourvus de numéros, ils sont destinés à identifier le polymère en vue de son recyclage. On trouvera ci-après la liste des 6 identifiants. Au vu de cette signalétique, seul le triangle n°3 accompagné des initiales «PVC» est à proscrire. On ajoutera que bien qu'encore officielle, cette distinction entre polymères est la seule qui puisse être acceptée. En effet, trop souvent le logo «plastique pour emballage alimentaire» est interprété comme désignant des polymères compatibles. Or la loi prévoit dans cette catégorie des emballages en PVC, certainement admissibles pour la consommation de frites... mais à rejeter pour nos usages.

Une autre propriété des polyéthylènes et polypropylènes est leur capacité à

	Polyéthylène téréphtalate : aspect cristal, utilisable en congélation.
	Polyéthylène haute densité : aspect translucide.
	Polychlorure de vinyle : aspect cristal.
	Polyéthylène basse densité : aspect transparent.
	Polypropylène : aspect translucide, passe au micro-ondes.
	Polystyrène cristal : aspect transparent.

Normes DIN d'identification des polymères

flotter dans l'eau. Leur densité par rapport à l'eau étant respectivement de 0,92 à 0,96 et de 0,9 à 0,91, si des échantillons de plastique plein flottent dans l'eau, on est sûr qu'ils appartiennent à des polymères «compatibles».

Enfin, un autre test simple permet de détecter la présence d'éléments chlorés dans un polymère. Ce test appelé «test de Beilstein», est fondé sur la réaction du chlore en présence de composés de cuivre à des températures élevées comme celles que produit la flamme des brûleurs. Cette réaction a pour effet de produire des atomes ou des ions de cuivre excités, de couleur verte, qui confèrent à la flamme normalement incolore (ou à peine bleutée) une coloration vert brillant (ou parfois bleu

vert). Le test exige l'emploi d'un fil de cuivre, une pince (en bois de préférence), l'échantillon et un brûleur (bec Bunsen ou flamme de gazinière). Sa mise en œuvre est la suivante : chauffer au rouge le fil de cuivre puis toucher immédiatement avec celui-ci un fragment du produit soumis à l'essai. Remettre ensuite le fil dans la flamme. Si la flamme se teinte en vert, c'est que le produit testé contient du chlore.

2.2. Comportement en cas d'incendie.

Comme la plupart des dérivés du pétrole, les polyéthylènes et les polypropylènes sont combustibles. Leur capacité à fondre et à propager des gouttelettes enflammées explique qu'ils soient classés au feu parmi les matériaux «M4». Cette échelle va de «MO» à «M4» et distingue les produits incombustibles de ceux considérés comme de plus en plus combustibles. Leur combustion aboutit à d'épaisses fumées blanches, auto-inflammables, à l'odeur de bougie (polyéthylène) ou à l'odeur piquante (polypropylène). La combustion totale de ces polymères dégage de la vapeur d'eau, du gaz carbonique et du monoxyde de carbone. D'autres composés, présents à l'état de traces, sont émis lorsque la combustion n'est pas complète.

Toutes ces données étant fournies, on comprend mieux quelques réactions négatives enregistrées ici où là allant à l'encontre de l'emploi de tels matériaux de stockage. Elles aboutissent à ce

dilemme : doit-on conserver dans des matériaux «incompatibles» parfois mieux admis par les pompiers ou dans des conteneurs «compatibles» avec quelques craintes en cas d'incendie ?

Quelques éléments complémentaires devraient pondérer cette crainte. Tout d'abord, les assureurs d'œuvres d'art ont surtout à dédommager leurs clients à la suite de dégâts des eaux. Aussi, le risque lié à l'incendie est-il à relativiser par rapport à l'altération des œuvres (et de leurs emballages) après une inondation.

Si les cartons perdent en général leurs propriétés en milieu humide, ce n'est pas le cas des polymères compatibles.

Par ailleurs, l'occasion nous a été fournie de comparer le comportement au feu des boîtes en carton ondulé et de boîtes identiques en polypropylène alvéolaire. Notons que le carton ondulé, comme le polymère, est classé parmi les matériaux «M4». Ces essais ont été réalisés au Laboratoire National d'Essais.

Une première expérience a indiqué : une température d'auto-inflammation du carton ondulé à 263°C et de 412°C pour le polypropylène alvéolaire.

D'autres essais visaient à comparer le comportement au feu de ce carton ondulé et de ce polypropylène alvéolaire en simulant :

- la conséquence d'un accident lié à la pose d'une cigarette, d'abord sur le couvercle, ensuite sur le côté des boîtes,
- les conséquences d'une flamme,

- les conséquences d'un court-circuit électrique (un fil incandescent a été porté à $750^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ puis mis en contact avec les spécimens pendant 30 ± 1 secondes).

Le polypropylène alvéolaire et le carton ondulé brûlent au contact d'une flamme ou d'une cigarette. Lors de la simulation d'un court circuit, le carton ondulé s'enflamme tandis qu'au point de contact entre le polypropylène alvéolaire et le fil incandescent, le plastique fond et ne s'enflamme pas.

Cet exemple prouve que l'emploi de polymères pour le stockage du patrimoine n'aggrave pas les risques d'incendie en comparaison avec d'autres matériaux d'usage plus courant. L'observation des règles -valables pour toutes les réserves quel qu'en soit le contenu- d'isolation par une porte coupe-feu et d'évacuation des fumées (voir article M. Bignand) autorise

encore plus l'emploi de ces conteneurs en polymères, compatibles et plus sûrs également en cas d'inondation.

La mise en place progressive des règles de la conservation préventive dans les musées est l'occasion d'un stockage de plus en plus rationnel du patrimoine. Encore bien souvent consigné dans des conteneurs de «récupération», celui-ci se trouve de plus en plus fréquemment rangé dans des emballages standardisés. La conception de nouvelles boîtes, caisses, sacs, etc... aboutit à la fois à de nouvelles habitudes de rangements dans de nouvelles matières.

Du légitime souci d'en connaître le comportement, même en cas de sinistre, il ne semble pas que les matériaux polymères proposés constituent intrinsèquement des sources de dangers supplémentaires, tout en protégeant plus durablement les collections.

Bibliographie

BRIMBLECOMBE, SHOOTER, KAUR : *Wool and reduced sulphur gases in museum air*, dans «Studies in Conservation», 1992, Vol. 37, p. 53-60. Ed IIC, Londres.

HATCHFIELD, CARPENTER : *The problems of Formaldehyde in museum collections*, dans «International Journal of Museum Management and Curatorship», 1986, Vol. 5, n° 2, p. 183-188.

HODGES H.W : *Les matériaux chimiquement instables*, 1982, dans «Museum», Vol. 34, n° 1.

INSTITUT ROYAL DU PATRIMOINE ARTISTIQUE : *Vade Mecum pour la conservation et l'entretien du patrimoine artistique*, 1987, Vol XXI. Bruxelles.

KRAHN A.H. : *Mauvais numérotage des pièces de musée*, 1982, dans «Museum» 34, n° 1. p. 58-60.

LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS : *Essais de comportement au feu de boîtes en carton ondulé et en polypropylène alvéolaire*. Novembre 2000. Dossier A 110047 / Cemat 1. Trappes.

LAVEDRINE B. : *Les collections photographiques. Guide de conservation préventive*. 2000. Ed Arsag. Paris.

MAC LEOD I. : *L'humidité relative dans les musées*, dans «Bulletin Technique» Vol. 1. Ed IIC. Ottawa.

MOUREY W. : *La Conservation des antiquités métalliques. De la fouille au musée*. 1987. Ed LCRRA. Draguignan.

PADFIELD ET ALL. : *SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE SERVICE OF CONSERVATION*. 3-9 Sept. 1982. Washington. *Trouble in store*, Ed. Brommielle N.S./Thomson G. IIC. Londres.

PLISKA P. : *CONSERVATION-RESTAURATION DU MOBILIER ARCHÉOLOGIQUE*, 13 juin 1987. St Denis. Ed. Ville de Saint-Denis, Unité d'Archéologie.

REBIERE J. : *Conservation préventive des vestiges métalliques : une approche comparative des boîtes de stockage hermétiques*, 1991, dans «Conservation-Restauration des biens culturels», n° 3, p. 10-13, Ed. ARAAFU. Paris.