

Congrès international

# Prévention 2000

La prévention des  
sinistres dans les aires de  
stockage du patrimoine

*Prevention of disasters  
in cultural heritage  
storage areas*



Jacques Rebière  
William Mourey

Draguignan - Figanières  
du 7 au 10 novembre 2000



**Congrès international**

# **Prévention 2000**

**La prévention des sinistres dans  
les aires de stockage du patrimoine**

***Prevention of disasters in  
cultural heritage storage areas***

**Sous le parrainage de l'UNESCO  
du secrétariat d'Etat au patrimoine et à la décentralisation culturelle  
et du Comité International du Bouclier Bleu**

**Draguignan - Figanières  
7-10 Novembre 2000**

# L'emploi de caisses en polypropylène alvéolaire pour un stockage prolongé du patrimoine, un mode de prévention de certains sinistres ?

Jacques Rebière  
Conservateur-restaurateur

Laboratoire de Conservation, Restauration et Recherches,  
Centre Archéologique du Var  
CEPAM-CNRS  
19, rue Frédéric Mireur,  
F-83 300 Draguignan

Jacques Lemaire, Dominique Fromageot et Nicolas Pichon  
Centre National d'Évaluation de Photoprotection

BP 30 234, Ensemble universitaire des Cézeaux,  
Université Blaise Pascal  
(Clermont-Ferrand II),  
F-63 174 Aubière

## Résumé :

Cet article traite de la comparaison de boîtes en carton ondulé avec un autre type de boîtes de caractéristiques identiques, en polypropylène alvéolaire, employées à stocker des biens patrimoniaux. Nous avons réalisé des essais physiques (résistance à la compression verticale en milieu sec et humide, comportement au feu...) après avoir sélectionné un polypropylène alvéolaire en fonction de sa résistance à un rayonnement UV. Il en découle que l'emploi de tels conteneurs en plastique, très utile en prévision d'un dégât des eaux ou d'inondation, ne paraît pas augmenter les risques d'incendie dans un dépôt ou des réserves.

## Abstract:

*Various boxes dedicated to the storage of cultural heritage artefacts have been compared. Some were made of cardboard, whilst others of the same size were constructed of corrugated polypropylene. After having selected a corrugated polypropylene because of its resistance to ultraviolet light, physical testing (vertical compression in dry and wet environments, resistance to fire...) was carried out. The results show that the use of such plastic containers does not seem to increase risks of fire in storage or archaeological deposits. On the other hand, they have proven to be very useful in the event of a flood.*

## Mots-clés / Keywords:

Polypropylène, carton, feu, inondation, rayons UV, essais normalisés / polypropylene, cardboard, fire, flood, ultraviolet light, standardised tests

Trop souvent, les modes de stockage du patrimoine satisfont des besoins immédiats et provisoires... qui durent. De fait, leurs propriétés, parfois très variables dans le temps posent des problèmes pour la conservation à long terme des objets qu'ils contiennent.

Par manque de moyens financiers, les conservateurs ne sont que très rarement considérés comme des clients suffisamment importants pour constituer un «marché». Il est ainsi fort rare qu'ils obtiennent le respect d'un cahier des charges par les industriels qu'ils sollicitent. Des contre-exemples pourront sans doute être avancés ; ils concernent la plupart du temps des collections prestigieuses destinées à être exposées mais non l'immense majorité des objets accumulés dans des réserves inadaptées. Face à leurs responsabilités, beaucoup de conservateurs ou d'archéologues stockent les collections dans des emballages disparates dont la seule qualité est d'être adaptés aux dimensions de leurs objets. D'autres essaient de préserver leurs collections dans des conteneurs choisis parmi les moins inadéquats... ou qui leur paraissent comme tels. Ainsi, certains gestionnaires de dépôts emploient des bacs superposables et parfois hermétiques en polymères.

Quelques études ont mis en évidence les qualités de ces emballages (1), mais le prix élevé de ces caisses et leur volume occupé même vides, explique qu'elles sont délaissées au profit de boîtes pliables en carton ondulé. Bien conçues et de tailles différentes, celles proposées durant la décennie 1970 sous l'impulsion de la Sous-Direction de l'Archéologie, répondent à la plupart des usages courants (depuis la mise à l'abri de petits objets fragiles jusqu'à la conservation de squelettes humains). La taille des différents modèles est calculée de telle sorte qu'il s'agisse de multiples, pour permettre leur emboîtement systématique. Enfin, stockées à plat elles peuvent être mises en forme par pliage au moment de leur emploi (2). La mise en évidence des effets néfastes de l'altération du carton et des matériaux cellulosiques sur le patrimoine métallique (3), la perte de collections entières du fait de la diminution des propriétés mécaniques des boîtes en carton ondulé en milieu humide, nous ont incités à remplacer le carton ondulé par du polypropylène alvéolaire, tout en conservant la forme de ces boîtes.

Cette étude compare le comportement au feu et à l'humidité de boîtes en carton ondulé et en polypropylène alvéolaire en prévision d'un stockage prolongé en milieu humide et en tenant compte des incidences sur la prévention des incendies.

## **1. Description des matériaux constitutifs**

### **1.1 *Le carton ondulé.***

Le carton ondulé est un produit de formes, de conceptions et de propriétés très variées. Sa classification s'appuie sur son épaisseur et sur le type de ses cannelures. L'épaisseur du carton ondulé est un facteur important qui influe sur la résistance à la compression des emballages et sur la protection aux chocs. Le carton employé pour le stockage du patrimoine du type «double face» présente une seule cannelure (micro cannelure) et son épaisseur est inférieure à 2mm. L'industrie attribue le symbole «E» à ce type de cannelures... à notre connaissance les moins épaisses du marché. On n'observe aucune trace d'enduction superficielle ou de complexage avec un film plastique protégeant le carton contre l'hygroscopie (4). Très simples dans leur conception, il n'y a très probablement pas de joints de colle hydrophobe garantissant une résistance du collage, même au-delà de 85% HR.

De toutes ces observations, on déduit que la matière employée pour mettre en forme ces boîtes se situe parmi les moins résistantes dans la gamme des cartons ondulés.

### **1.2 *Le polypropylène alvéolaire.***

De la famille des polyoléfines, le polypropylène est considéré comme une matière «compatible» avec le stockage prolongé du patrimoine (5). Il compose nombre de bacs plastiques employés dans les dépôts de fouilles. Sa mise en œuvre permet de fabriquer des plaques, des films ou des cannelures parallèles disposées de telle sorte que sa conception rappelle celle du carton ondulé. L'épaisseur et la densité exprimées en grammes/m<sup>2</sup> influencent la résistance du polypropylène alvéolaire. Il possède une bonne inertie chimique et aucun solvant ne le dissout à une température de 20°C. Très résistant aux produits minéraux et organiques, il n'est pas attaqué par les solutions aqueuses de sels minéraux, ni par les bases et acides minéraux à des températures inférieures à 60°C, excepté les acides très forts (chlorosulfanique et nitrique fumant, oléum). Il est altéré par les solvants chlorés ou benzéniques mais n'absorbe l'eau que très faiblement (0,03% en 24 H à température ambiante) (6).

Le polypropylène n'est pas considéré comme dangereux pour l'environnement ou pour la santé. A température ambiante, il n'y a pas d'émission de fumée dangereuse et sa manipulation ne conduit à aucun risque particulier. Outre la densité, diverses couleurs ou traitements peuvent être obtenus. Nous avons cherché à observer les différences de vieillissement en tenant compte de certains de ces paramètres. Pour cela, treize échantillons représentatifs des polypropylènes alvéolaires produits par le principal producteur français

(Kaysersberg Packaging) ont été confiés au CNEP (Centre National d'Evaluation de Photoprotection).

L'objectif de l'étude était de prévoir, à partir d'un photovieillissement artificiel accéléré, le comportement à long terme de polypropylènes alvéolaires destinés à élaborer des boîtes de conservation d'objets archéologiques utilisables sur chantiers de fouilles (donc usage extérieur) ou dans des réserves en conditions normales (usage intérieur).

#### **1.2.1 Essais en conditions représentatives du vieillissement extérieur.**

Les échantillons ont été exposés en enceinte SEPAP 12.24 :

- la lumière émise par un arc de mercure moyenne pression est filtrée pour ne contenir que des radiations de longueurs d'ondes supérieures 300nm ( $\lambda > 300\text{nm}$ ) ;
  - la température de surface d'un échantillon de référence est contrôlée et maintenue constante à 60°C.
- Les deux échantillons translucides, les échantillons colorés en rouge, orange, bleu et les échantillons noirs et gris, ont été respectivement exposés dans trois enceintes différentes, précédemment calibrées. Pour éviter toute aspersion par de l'eau, les enceintes SEPAP 12.24 ont fonctionné en conditions «anhydres» (la seule eau présente étant celle apparue au cours de la photo oxydation).

#### **1.2.2 Essais en conditions représentatives du vieillissement intérieur.**

Les échantillons ont été également exposés en enceinte SEPAP 12.24. Dans ce cas, la lumière incidente a été filtrée pour ne contenir que des radiations de longueurs d'ondes supérieures à 340 nm ( $\lambda > 340\text{nm}$ ). Enfin, les échantillons de polypropylène ont été exposés :

- sous forme de films d'environ 100  $\mu\text{m}$  obtenus par pressage dans des conditions douces (température de 160°C pendant 2 minutes) ;
- sous forme de systèmes alvéolaires.

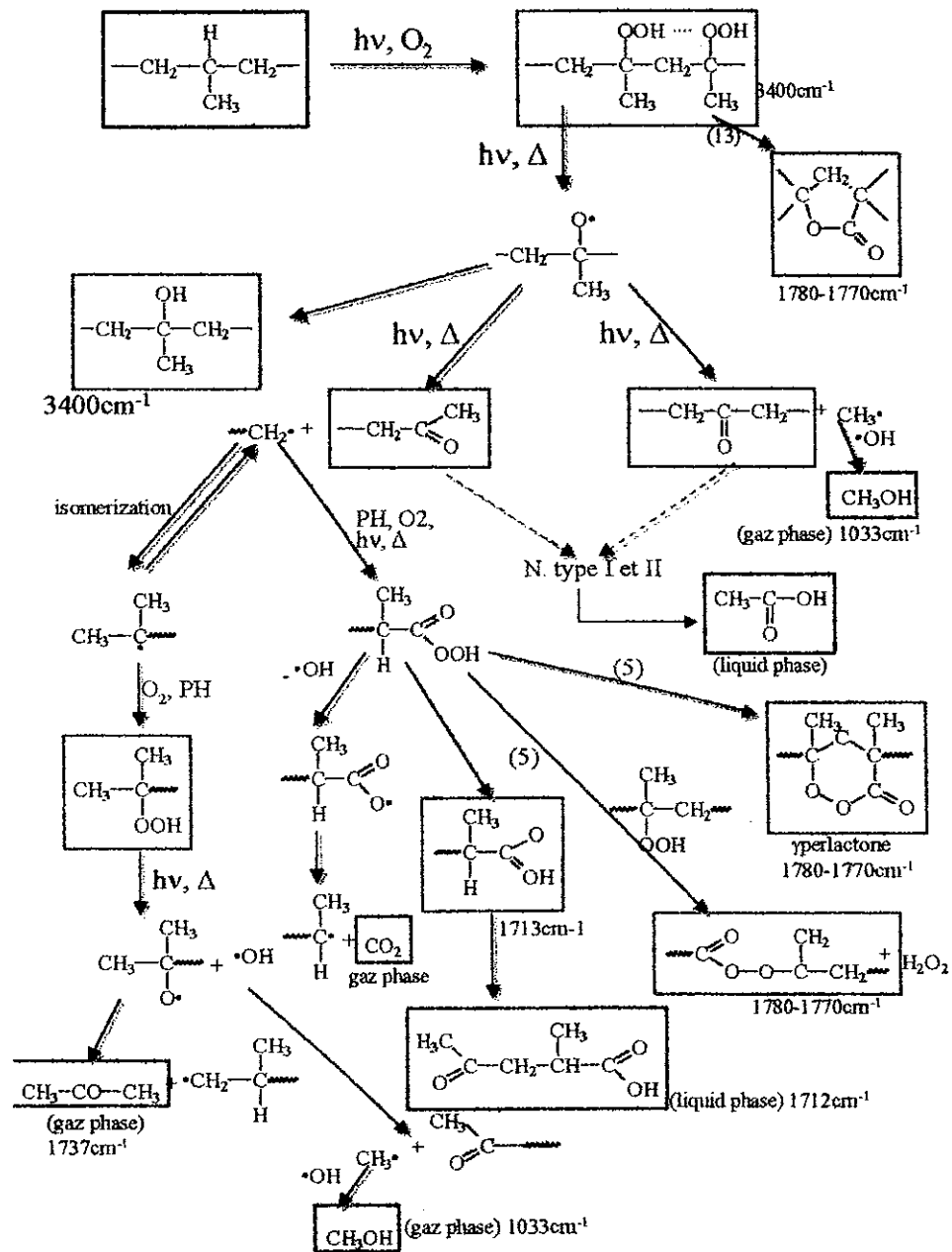
### **1.3 Résultats.**

#### **1.3.1 Polypropylène alvéolaire non photostabilisé.**

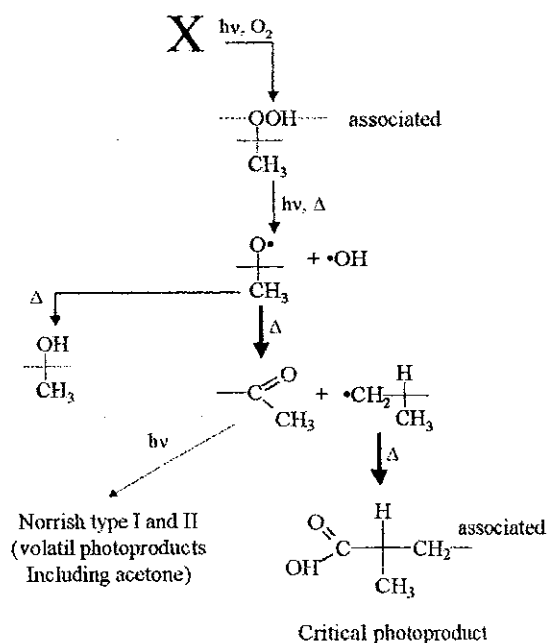
Dans un premier temps 8 échantillons provenant d'une matière n'ayant subi aucune préparation particulière ont été testés.

**Le mécanisme de photo oxydation du polypropylène est présenté ci-après.**

Sur ce schéma figurent tous les groupes oxydés des chaînes macromoléculaires et tous les produits de bas poids moléculaire qui ont été identifiés par diverses techniques analytiques. Ce schéma très complexe est simplifié en déterminant le chemin réactionnel préférentiel (source CNEP).



## The main photo-oxidation route of PP



L'accumulation des groupements acides (alpha)-méthyléniques  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{---CH---COOH} \end{array}$

absorbant à 1713  $\text{cm}^{-1}$  permet de déterminer l'avancement de l'évolution chimique qui contrôle réellement la dégradation des propriétés mécaniques. En règle générale, quand un film de 100 $\mu\text{m}$  présente une oxydation qui se caractérise par une variation d'absorbance à 1713  $\text{cm}^{-1}$  voisine de 0,10, les propriétés mécaniques sont dégradées à 50%.

Ces observations appliquées aux huit échantillons de polypropylène alvéolaire non photostabilisé permettent de conclure que les durées de vie prévisibles en usage permanent en conditions extérieures et en usage permanent en conditions intérieures, en présence d'une lumière du jour pénétrant dans la pièce et dans un éclairage moyen, seraient, à +/- 30% près :

	Aspect et/ou teinte	Epaisseur	Masse par unité de surface $\text{g/m}^2$	Durée vie ext.	Durée vie int.
Polypropylène	Translucide	2 mm	350	3 mois	4 ans
Polypropylène	Orange	3 mm	450	7 mois	8 ans
Polypropylène	Rouge	3 mm	550	5,5 mois	5,7 ans
Polypropylène	bleu	3,5 mm	350	7 mois	8 ans
Polypropylène	bleu	5 mm	1050	7 mois	7 ans
Polypropylène	gris	3 mm	400	3 mois	4 ans
Polypropylène	noir	3 mm	550	7 mois	8 ans
Polypropylène	translucide	2 mm	350	4,5 mois	4 ans

*Durées de vies prévisibles pour des polypropylènes non photostabilisés (7)*

Les deux polypropylènes translucides aux caractéristiques identiques différaient lors des essais par leur aspect (feuille : échantillon n°1 et cannelures : échantillon n°8).

### 1.3.2 Polypropylène alvéolaire photostabilisé.

Cinq échantillons sont concernés, qui apparaissent translucides, translucides colorés en vert ou noir. A l'issue des essais précédents, sur la base de la conservation des propriétés mécaniques et sur celle du blanchissement dû aux microfissurations superficielles, la durabilité des systèmes examinés a été estimée à :

	Aspect et/ou teinte	Durée vie extérieure	Durée vie intérieure
Polypropylène	Transparent	2 ans	40 ans
Polypropylène	Translucide vert	5 ans	60 ans
Polypropylène	Noir	10 ans	100 ans

*Durées de vies prévisibles pour des polypropylènes photostabilisés (8)*

L'ensemble des essais indique donc des qualités très variables parmi les polypropylènes. Nous avons choisi d'employer des polypropylènes photostabilisés transparents qui nous paraissent les moins susceptibles de renfermer des adjuvants potentiellement gênants et sur lesquels il est plus facile d'écrire avec un feutre indélébile. C'est avec cette matière première que les boîtes suivantes ont été élaborées.

## 2. Comportement physique.

### 2.1 Comparaison de propriétés sur des boîtes découpées à l'identique.

Une première série d'essais a comparé des boîtes rigoureusement identiques en carton ondulé et en polypropylène alvéolaire.

Cinq formats ont été considérés :

Format A : H x l x L	120 x 65 x 85 mm
Format B : H x l x L	160 x 130 x 90 mm
Format C : H x l x L	270 x 170 x 100 mm
Format D : H x l x L	285 x 175 x 210 mm
Format E : H x l x L	360 x 280 x 110 mm

Les cinq formats en carton possèdent tous la même densité. En polypropylène, les formats A et B ont une densité de 250 g/m<sup>2</sup>, le format C : 450 g/m<sup>2</sup> et les formats D et E : 650 g/m<sup>2</sup>.

Les emballages pouvant :

- être portés, les mains sous chaque côté vertical, la charge s'appliquant sur le fond. Nous avons comparé la résistance en flexion 3 points
- être stockés sur une pile. Nous avons fait une étude de compression verticale et sur champ
- subir des chocs. Nous avons comparé la résistance à la compression pour les chocs par enfoncement, et résistance à la perforation pour les chocs avec perforation.

A l'issue de ces essais, il apparaît que le polypropylène alvéolaire présente une résistance à la perforation supérieure à celle du carton qu'elles qu'en soient les densités. Le polypropylène est supérieur au carton en flexion 3 points, sauf pour les deux formats inférieurs pour lesquels les deux types sont comparables.

En compression verticale, les boîtes de format A et B présentent une résistance à la compression verticale suffisante dans des conditions d'utilisation normale, même si elle est moindre que celle du carton. Pour ce qui est de la compression sur champ, il paraît peu logique de disposer les boîtes dans cette position, ce qui fait que la supériorité du carton dans ce domaine présente finalement peu d'intérêt (9).

### 2.2 Comparaison de résistance avec des boîtes PP renforcées. Influence de l'humidité.

Après une première phase d'utilisation de boîtes en polypropylène alvéolaire identiques à celles en carton et avec une expérience pratique d'environ 1 an, nous avons amélioré la découpe des boîtes en cherchant à les renforcer. Une deuxième série d'essais, réalisés par le Laboratoire National d'Essais a permis de comparer les résistances à la compression en milieu humide.

On a donc notamment déterminé la résistance à la compression d'emballages vides selon la norme NF H 13001 (décembre 90) aux atmosphères de conditionnement suivant :

Atmosphère n°1	23° C	50% Humidité Relative
Atmosphère n° 2	20° C	90% Humidité Relative



La durée du préconditionnement puis du conditionnement avant essais a été de 48 H, suivant la norme NF EN 20187 (décembre 93). On a ajouté une autre série d'essais de résistance à la compression sur champ (NF EN ISO 3037 – juin 1996).

Il en ressort :

- une résistance à la compression sur champ toujours supérieure pour le polypropylène que pour le carton ondulé

- une résistance à la compression d'emballages vides moindre pour le polypropylène à 50% HR et 23°C, sauf pour la plus grande boîte. Ce grand format est le seul à employer une matière de haute densité 650 g/m<sup>2</sup>. Pour un affaissement identique, la force nécessaire est sensiblement plus élevée que pour le carton. On en déduit une plus grande solidité de cette boîte.

- Un maintien (voire une légère amélioration) des propriétés du polypropylène à 20°C et 90% HR et une chute brutale de celles des boîtes en carton.

De là, on conclut que le nombre de dépôts mal isolés de l'humidité étant important et la durée d'emploi de ces boîtes étant normalement de plusieurs années, le risque d'une exposition à 90% d'humidité relative durant au moins 48 H est tout à fait possible. On déduit une conservation des propriétés mécaniques dans des conditions normales de température pour les boîtes en polypropylène, alors que celle-ci est incertaine pour les boîtes équivalentes élaborées dans ce carton ondulé. (10)

Nos recommandations en faveur des boîtes en polypropylène alvéolaire pour une conservation prolongée du patrimoine archéologique devaient être complétées par une étude de leur comportement au feu.

### 2.3 Comportement au feu.

Une première indication est fournie par le producteur :

- ramollissement Vicat : 145°C sous 10N ( norme ISO R 306)
- fusion : 160 – 165°C avec décomposition à partir de 300°C environ
- auto – inflammation : 350°C environ

Le polypropylène est composé de carbone et d'hydrogène, de ce fait sa combustion complète à l'air ne produit que du dioxyde de carbone et de l'eau. Ces mêmes sous-produits de décomposition sont également libérés lors de la combustion de matériaux tels que le bois ou la laine (6).

En cas de combustion incomplète, on observe dans les fumées du monoxyde de carbone ajouté à des traces de formaldéhyde.

Dans le but de compléter (et vérifier) ces informations, nous avons procédé à divers essais de comportement au feu en liaison avec le LNE.

#### 2.3.1 Températures d'auto-inflammation.

Une éprouvette en carton alvéolaire d'une épaisseur de 2 mm a été comparée avec une autre en polypropylène alvéolaire d'une épaisseur de 3,5 mm.

On observe une auto-inflammation du carton à 263°C après 490 secondes d'exposition tandis que celle du polypropylène alvéolaire est à 412°C à 318 secondes.

#### 2.3.2 Essais de comportement au feu vis à vis des sources du fumeur.

Les essais ont été réalisés après un conditionnement pendant au moins 16 heures des échantillons et de cigarettes, dans une atmosphère à 23°C +/- 2°C et 50+/-5% d'humidité relative.

Le principe de l'essai consiste à soumettre les échantillons à une cigarette incandescente et à une petite flamme simulant celle d'une allumette appliquée pendant 15 secondes. Deux types d'attaques du produit ont été étudiés : le premier concerne le cas où la source tombe sur le dessus de la boîte et le second concerne le cas où elle tombe le long d'une des parois de la boîte. La boîte en polypropylène alvéolaire qui a été testée avait une épaisseur de 3,5 mm et une masse de 650 g/m<sup>2</sup> ; le carton une épaisseur de 4 mm et une masse de 450 g/m<sup>2</sup>.

Dans le cas des boîtes en polypropylène alvéolaire, les essais réalisés en surface font fondre le matériau et le percent. Pour les essais pratiqués le long d'une paroi, la cigarette fait fondre le matériau tandis que la flamme provoque l'inflammation du matériau.

Dans le cas du carton, les essais en surface pratiqués avec une cigarette ou la petite flamme provoquent respectivement une carbonisation et une pyrolyse. Le long d'une paroi, le matériau carbonise avec la cigarette et s'enflamme avec la flamme.

### 2.3.3 Essai au fil incandescent.

Cet essai est destiné à simuler les contraintes thermiques qui peuvent être produites par des sources de chaleur ou d'inflammation telles que des éléments incandescents ou des résistances surchargées, sur de courtes durées, afin d'évaluer de façon simulée le risque de feu.

L'éprouvette est placée de telle sorte que sa surface plane soit verticale. L'extrémité du fil incandescent chauffé électriquement est appliquée contre la partie plane de l'éprouvette pendant environ 30 secondes. La température de l'extrémité du fil incandescent est de 750°C +/- 10°C.

Dans le cas du carton ondulé, après retrait du fil, dans le sens vertical des nervures, il y a échappement de la chaleur qui conduit à une combustion sans flammes, tandis que dans le sens horizontal des nervures, on observe une inflammation soutenue pendant une vingtaine de secondes suivie d'une incandescence.

Dans le cas du polypropylène alvéolaire, on n'observe pas d'allumage mais une rétraction du matériau dans une zone circulaire d'environ 2 cm de diamètre (11).

### Conclusion :

L'ensemble des essais met en évidence une conservation plus longue des propriétés mécaniques du polypropylène alvéolaire par rapport au carton ondulé employé ordinairement pour confectionner certaines boîtes de stockage. Ces observations valent en particulier pour les milieux humides. L'expérience prouve que les boîtes en polypropylène alvéolaire ont protégé des collections archéologiques même après l'inondation accidentelle d'un dépôt. Vis à vis du comportement au feu, rien ne permet d'affirmer que l'emploi de telles boîtes en polymères augmente significativement les risques ; dans certaines conditions, les risques d'inflammation paraissent plutôt diminués. Dans la vie quotidienne on préférera, dans la mesure du possible, le remplacement des anciens conteneurs en carton fragiles et incompatibles avec un stockage prolongé de certaines matières par d'autres en polypropylène alvéolaire en prenant soin de sélectionner ceux qui résistent le mieux aux rayonnements UV. Dans ces conditions, un demi-siècle environ (voire un siècle) de stockage peut être assuré.

### Bibliographie :

- (1) REBIERE J., 1991, Conservation préventive des vestiges métalliques : une approche comparative des boîtes de stockage hermétiques, dans Conservation - restauration des biens culturels, 3, Paris, p. 10-13.
- (2) PAPINOT J.-C., VERRON G., 1998, Décembre : La conservation du mobilier archéologique, dans Rapport à Monsieur le Directeur de l'Architecture et du Patrimoine p. 102-103
- (3) TETREAUULT J., 1992, Octobre : Matériaux de construction, matériaux de destruction dans Actes du Congrès de l'Association des Restaurateurs en Art et Archéologie de Formation Universitaire, Paris, 8,9 et 10 Octobre 1992, p. 163-176
- (4) Union syndicale Française du carton ondulé, 1992, Juillet : Fiches pratiques 6 et 7.
- (5) Je définis ainsi la notion de «compatibilité» : une matière est réputée «compatible» avec la conservation d'une collection, si l'évolution chimique ou physique de ses composants ne compromet pas la conservation des objets situés à proximité.
- (6) Kaysersberg Packaging, 1996 : Informations techniques polypropylènes.
- (7) Centre National d'Evaluation de Photoprotection, 2000, Janvier : Rapport d'étude 1. Etude de l'évolution chimique de 8 échantillons de polypropylènes alvéolaires au cours de photovieillement artificiel accéléré dans les conditions d'une enceinte SEPAP 12.24.
- (8) Centre National d'Evaluation de Photoprotection, 2000, Mars : Etude de l'évolution chimique des constituants de 5 échantillons de polypropylènes alvéolaires, au cours d'un photovieillement artificiel accéléré dans les conditions d'une enceinte SEPAP 12.24. Prévision de la durabilité en conditions d'usage extérieur et intérieur.
- (9) GENDRE L.; MOREL P.-X., 1998 : Matériaux 2. Etude du comportement mécanique de boîtes en polypropylène alvéolaire et en carton ondulé. La Garde. ISITV 97/98.
- (10) Laboratoire National d'Essais, 2000, Novembre : Essais sur carton ondulé/polypropylène. Dossier A050341 – Document CLE/1. par N. GRISI et C. ROYER.
- (11) Laboratoire National d'Essais, 2000, Novembre : Rapport d'essais : comportement au

feu d'une boîte de stockage. Dossier A110047. Document CEMAT/1. Normes EN 597 mai 1995, NF EN 60695-2-1 mai 1997, par L. CHEVALIER, A. SAINRAT et V. LELIEVRE.

**Abréviations :**

AFNOR : Agence Française de Normalisation  
CNEP : Centre National d'Evaluation de Photoprotection  
HR : Humidité relative  
ISITV : Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var  
LNE : laboratoire national d'Essais  
NF : Norme Française  
PP : Polypropylène  
SEPAP : Système d'Etudes du Photovieillissement Accéléré

**Remerciements :**

Nous remercions l'équipe du Centre Archéologique du Var et en particulier les membres du Laboratoire de Conservation, Restauration et Recherches de Draguignan, les collègues archéologues ou conservateurs qui ont participé à l'élaboration des divers prototypes et les responsables de l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var pour leur coopération.