Le soin des plastiques et des caoutchoucs

Julia Fenn et R. Scott Williams

Le soin des plastiques et des caoutchoucs fait partie de la ressource Web Lignes directrices relatives à la conservation préventive des collections. Cette section présente les principaux aspects dont il faut tenir compte pour prendre soin des objets en plastique et en caoutchouc présents dans les collections patrimoniales, en fonction des principes de la conservation préventive et de la gestion des risques.

Table des matières

- Comprendre la nature des plastiques et des caoutchoucs
  - Plastiques, caoutchoucs et élastomères
  - Thermoplastiques et plastiques thermodurcissables
  - Plastiques dangereux
  - Identification des plastiques
- Causes des dommages aux plastiques et aux caoutchoucs et stratégies de conservation préventive
  - Agents de détérioration constituant un risque général pour les plastiques
    - Dissociation
    - Vol et vandalisme
    - Ravageurs
    - Eau
      - Recommandations
    - Incendie
      - L'inflammabilité du nitrate de cellulose
      - Recommandations
  - Agents de détérioration constituant un risque particulier pour les plastiques
    - Forces physiques
      - Recommandations
    - Polluants
      - Recommandations
    - Lumière et ultraviolet
      - Recommandations
    - Température inadéquate
      - Effets d'une augmentation de la température
      - Température et propriétés physiques
      - Effets d'une réduction de la température
      - Conditions relatives à l'entreposage des objets dans un milieu frais (à 4 ºC, dans un réfrigérateur) ou dans un milieu froid (à -18 ºC, dans un congélateur horizontal)
      - Variations de la température
      - Recommandations

            - Humidité relative inadéquate
                - Conditions humides : humidité relative supérieure à 65 %
                - Humidité relative supérieure à 0 %
                - Hydrolyse
                - Gonflement
                - Plastification causée par l'humidité
                - Déliquescence des accrétions
                - Variations de l'humidité relative
                - Vitesse d'absorption de l'humidité dans le cas de variations de l'humidité relative
                - Recommandations
        - Stratégies de réduction des risques pour les collections mixtes contenant des plastiques dangereux
            - Stratégies de base pour la réduction des risques
            - Stratégies optimales pour la réduction des risques
            - Cinq étapes de réduction des risques associés aux plastiques dangereux présents dans les collections mixtes
                - Étape 1 : Retirer de la collection les plastiques qui sont visiblement dangereux
                - Étape 2 : Vérifier l'état des plastiques non détériorés afin de déterminer s'ils libèrent des produits acides
                - Étape 3 : Identifier les plastiques potentiellement dangereux
                - Étape 4 : Prendre les mesures nécessaires relatives aux plastiques corrosifs
                - Entreposage dans des conditions fraîches (4 °C) et froides (-18 °C)
                - Sorbants
                - Aire d'entreposage désignée comportant des dispositifs spéciaux de ventilation et de filtration
                - Étape 5 : Nettoyer
                - Risques de dommages causés par le nettoyage des objets
        - Utilisation et préparation du rouge de crésol et du vert de bromocrésol modifié comme indicateurs
            - Rouge de crésol (surveillance de la présence de nitrate de cellulose)
            - Vert de bromocrésol (surveillance de la présence d'acétate de cellulose)
- Exemples de pratiques de conservation préventive
    - Séparation des objets en plastique dangereux des autres objets de la collection
        - Corrosion des composants métalliques causée par des objets en NC en réserve
    - Isolement des composants en plastique incompatible du reste de l'objet
        - Exsudation d'additifs et formation de dépôts à la surface de plastiques
    - Remplacement des plastiques dangereux par des matériaux inertes
        - Les produits de dégradation du NC endommagent les matériaux adjacents
    - Choix de conditions d'entreposage permettant de réduire au minimum la dégradation des matériaux les moins stables dans les objets composites
        - Dégradation du NC et dommages causés par les produits de dégradation
- Bibliographie et lectures recommandées
    - Références bibliographiques
    - Lectures recommandées
- Liste des abréviations

Liste des abréviations et des symboles

Abréviations
ABC
acétobutyrate de cellulose
ABS
acrylonitrile-butadiène-styrène
AC
acétate de cellulose
APL
acide polylactique
AU
polyuréthane de type polyester
CAB
caoutchouc acrylonitrile-butadiène
CB
caoutchouc polybutadiène
CC
caoutchouc polychloroprène
CCO
copolymère de cyclo-oléfine
CDH
coefficient de dilatation hygroscopique
CDT
coefficient de dilatation thermique
CEC
craquelure sous l'effet de contraintes
CEPD
caoutchouc éthylène-propylène-diène
CF
caséine-formaldéhyde
CI
caoutchouc polyisoprène synthétique
CII
caoutchouc isobutylène-isoprène
CN
polyisoprène, caoutchouc naturel
CSB
caoutchouc butadiène-styrène
DAC
diacétate de cellulose
EAV
éthylène-acétate de vinyle
ECTFE

éthylène-chlorotrifluoroéthylène
EP
époxy
EPF
éthylène-propylène fluoré
ETFE
éthylène-tétrafluoroéthylène
EU
polyuréthane de type polyéther
EVOH
éthylène-alcool de vinyle
FSI
fluorosilicone
HR
humidité relative
ICC
Institut canadien de conservation
MF
mélamine-formaldéhyde
NC
nitrate de cellulose
PA
polyamide
PACV
poly(acétate de vinyle)
PALV
poly(alcool de vinyle)
PAN
polyacrylonitrile
PB
polybutylène
PBV
poly(butyral de vinyle)
PC
polycarbonate
PCTFE
polychlorotrifluoroéthylène
PCV
poly(chlorure de vinyle)
PCVC
poly(chlorure de vinyle) chloré
PCVD
poly(chlorure de vinylidène)
PDF

format de document portable
PE
polyéthylène
PEBD
polyéthylène basse densité
PEBDL
polyéthylène basse densité linéaire
PEHD
polyéthylène haute densité
PEMD
polyéthylène moyenne densité
PEPMTE
polyéthylène de poids moléculaire très élevé
PER
polyéthylène réticulé
PF
phénol-formaldéhyde
PFA
perfluoroalkoxy
PFV
poly(fluorure de vinyle)
PFVD
poly(fluorure de vinylidène)
PI
polyimide
PMAM
poly(méthacrylate de méthyle)
PMP
polyméthylpentène
PNS
polyester non saturé
POM
polyoxyméthylène (« acétal »)
PP
polypropylène
PrC
propionate de cellulose
PS
polystyrène
PSC
polystyrène choc
PTB
poly(téréphtalate de butylène)
PTE

poly(téréphtalate d’éthylène)
PTFE
polytétrafluoroéthylène
PUR
polyuréthane
PUT
polyuréthane thermoplastique
SAN
styrène-acrylonitrile
SI
silicone
SIR
spectroscopie infrarouge
TAC
triacétate de cellulose
TFC
température de fléchissement sous charge
UF
urée-formaldéhyde
UV
ultraviolet

Symboles
°C
celsius
T_{fr}
température de fragilité
T_v
température de transition vitreuse

Comprendre la nature des plastiques et des caoutchoucs
La préservation des objets en plastique présents dans les collections présente un défi de taille. Les plastiques constituent une nouvelle catégorie de matériau dont les faiblesses sont peu connues et souvent inattendues. Les méthodes classiques d'exposition et de mise en réserve peuvent facilement accélérer leur dégradation, et les dommages qui en résultent, tant sur le plan chimique que physique, peuvent être très peu esthétiques, extrêmement corrosifs, irréversibles et en grande partie impossibles à traiter. En raison de leur nature très diverse et de leur polyvalence, les plastiques ont été utilisés dans une vaste gamme d'objets courants depuis leur apparition au XIXe siècle. Malheureusement, puisque leurs propriétés à long terme n'étaient pas bien comprises au début, les anciens objets en plastique peuvent subir une détérioration plus rapide et plus variée que ceux composés de matériaux classiques. Les plastiques de fabrication récente peuvent eux aussi se détériorer rapidement en raison de facteurs d'obsolescence planifiée comme la biodégradabilité.

Plastiques, caoutchoucs et élastomères
Les plastiques ont invariablement une composition chimique complexe. Ils sont constitués d'un polymère de base, qui

donne son nom à la matière plastique en question, comme le polyéthylène, le polystyrène, le poly(chlorure de vinyle) ou le phénol-formaldéhyde, ainsi que d'additifs qui modifient les propriétés inhérentes du polymère de base, afin que le plastique final possède des propriétés adéquates. C'est ainsi que différents plastiques élaborés à partir du même type de polymère peuvent posséder des propriétés différentes qui dépendent de variantes propres au polymère. Ces variantes comprennent, entre autres, la taille (par exemple, le poids moléculaire ou le degré de polymérisation) et la forme des molécules (par exemple, linéaire, ramifiée ou réticulée). Les propriétés de ces plastiques dépendent aussi des types d'additifs présents (par exemple, des plastifiants, des agents glissants, des colorants, des absorbeurs de rayonnement ultraviolet (UV), des stabilisants thermiques, des antioxydants ou des matières de charge minérales et organiques).
Les caoutchoucs font également partie de la famille des matières plastiques dans la mesure où ils possèdent eux aussi une composition chimique complexe caractérisée par un polymère de base et des additifs. Ils constituent en fait une sous-catégorie des matières plastiques en raison de leur élasticité, c'est-à-dire leur capacité de reprendre leur taille et leur forme initiales après avoir subi une déformation. Les caoutchoucs comprennent le caoutchouc naturel (qui contient du polyisoprène produit naturellement à partir de la sève de certains végétaux) et les caoutchoucs synthétiques, tels que le polyisoprène synthétique, le polybutadiène, le polychloroprène et la silicone (SI). Les plastiques élastiques et caoutchouteux sont également appelés « élastomères ».
Dans le présent document, les termes « plastique » et « matière plastique » servent à désigner la catégorie générale des matières plastiques, y compris tous les caoutchoucs et élastomères. Lorsqu'il est question du produit élastomère caoutchouteux élaboré à partir de la sève de certains végétaux, le terme « caoutchouc naturel » est utilisé.
Le tableau 1 comprend une liste de certains plastiques (y compris les sigles et les noms commerciaux et communs correspondants) et des exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections.

Tableau 1 : Sigles, noms commerciaux et communs, et exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections

Plastique	Sigle	Exemples de noms commerciaux et communs	Exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections
Thermoplastiques (polymères fusibles)			
Nitrate de cellulose	NC	celluloïd ivoire d'imitation Pyralin Pyroxylin Xylonite	Répliques de matériaux naturels pour des accessoires de costumes en plastique solide (par exemple, des boutons et des bijoux), articles de toilette, renforts et supports, éventails
Esters de cellulose		Bexoid Tenite	Répliques de matériaux naturels pour des accessoires de costumes en plastique solide, articles de toilette, renforts et supports, éventails, boîtiers d'électroménagers, fibres
Acétate de cellulose	AC		
Acétobutyrate de cellulose	ABC		
Propionate de cellulose	PrC		

Tableau 1 : Sigles, noms commerciaux et communs, et exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections

Plastique	Sigle	Exemples de noms commerciaux et communs	Exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections
Polyéthylène	PE	Ethafoam Tupperware	Plastiques translucides, contenants, jouets, ainsi que feuilles, pellicules et mousses d'emballage
PE basse densité	PEBD		
PE basse densité linéaire	PEBDL		
PE haute densité	PEHD		
PE de poids moléculaire très élevé	PEPMTE		
PE réticulé	PER		
Polypropylène	PP	Coroplast	Plastiques translucides, contenants, jouets, feuilles et pellicules
Polystyrène	PS	Styrofoam Lustrex	Accessoires en plastique dur et souvent transparent (par exemple, agrafes et fermoirs, poignées et manches, bijoux et boutons), contenants, mousses d'emballage et mousses isolantes, boîtiers d'électroménagers, jouets et modèles réduits de voitures, de trains et d'aéronefs
Acrylonitrile-butadiène-styrène	ABS		
Styrène-acrylonitrile	SAN		
Poly(méthacrylate de méthyle)	PMAM	acrylique Plexiglas Lucite Perspex	Plastique dur, souvent transparent, parfois coloré, sous forme de feuilles et de profilés extrudés, accessoires de costume, vitrage et panneaux d'affichage
Polycarbonate	PC	Lexan Tuffak Cyrolon Makrolon	Plastique dur, souvent transparent, parfois coloré, sous forme de feuilles, panneaux, contenants, profilés extrudés, vitrage
Poly(acétate de vinyle)	PACV	Carpenter's Glue	Adhésifs en émulsion et thermofusibles, revêtements plastifiés sous forme de feuilles et de pellicules

Tableau 1 : Sigles, noms commerciaux et communs, et exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections

Plastique	Sigle	Exemples de noms commerciaux et communs	Exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections
Poly(alcool de vinyle)	PALV		Pellicules d'emballage stratifiées (par exemple, emballages de viandes et de fruits et légumes frais), adhésifs
Poly(chlorure de vinyle)	PCV	Tygon Sintra	Accessoires de costumes souples, par exemple, des ceintures, des articles en cuir artificiel; accessoires rigides, poignées et manches, agrafes et fermoirs, bijoux; feuilles et pellicules; profilés et tuyaux extrudés; jouets
Polyamide PA 4 PA 6 PA 4.6 PA 6.6 PA 11 PA 12 PA 6.10 (les chiffres désignent respectivement le nombre d'atomes de carbone dans les groupes amine et acide)	PA	nylon Zytel	Articles de toilette (peignes, brosses à dents), composants mécaniques (engrenages, roues, boîtiers), fibres et tissus
Polyoxyméthylène	POM	Acetal	Composants mécaniques
Poly(téréphtalate d'éthylène)	PTE	Hostaphan Melinex Mylar Dacron Térylène polyester	Feuilles et pellicules, bouteilles, plateaux, fibres, textiles, vêtements
Polymère fluoré			Applications pour fini antiadhésif et pièces permettant de réduire le frottement, par exemple, revêtements d'ustensiles, paliers et engrenages
Polytétrafluoroéthylène	PTFE	téflon	
Éthylène-propylène fluoré	EPF	téflon	

Tableau 1 : Sigles, noms commerciaux et communs, et exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections			
Plastique	**Sigle**	**Exemples de noms commerciaux et communs**	**Exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections**
Éthylène-tétrafluoroéthylène	ETFE	Tefzel	
Éthylène-chlorotrifluoroéthylène	ECTFE	Halar	
Poly(fluorure de vinylidène)	PFVD	Kynar	
Perfluoroalkoxy	PFA	téflon	
Plastiques thermodurcissables (polymères qui carbonisent)			
Caséine-formaldéhyde	CF	Ameroid Erinoid Galalith Lactoid	Accessoires de costumes et articles de toilette en plastique opaque (boutons, perles, boucles, peignes), aiguilles à tricoter, stylos
Mélamine-formaldéhyde	MF	Arborite Formica Melmac Perstorp	Vaisselle, stratifié haute pression (MF sur PF)
Phénol-formaldéhyde	PF	bakélite Catalin Durez Marblette	Anciennes pièces en plastique moulé, particulièrement dans des appareils électriques en raison des propriétés isolantes; pièces coulées utilisées comme bijoux de fantaisie et accessoires de costumes
Urée-formaldéhyde	UF	Bandalasta Plaskon	Vaisselle, bijoux de fantaisie
Époxy	EP	Araldite	Adhésif, certains objets coulés ou moulés
Polyuréthane	PUR	de nombreuses mousses	Revêtements de tissus permettant d'obtenir un aspect luisant et d'imperméabiliser, répliques de cuir et de suède; matelassage en mousse dans les bandes intérieures de chapeau, les épaulettes, les coussinets; mousses

Tableau 1 : Sigles, noms commerciaux et communs, et exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections			
Plastique	**Sigle**	**Exemples de noms commerciaux et communs**	**Exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections**
			d'emballage et mousses isolantes
Silicone (polysiloxane, polydiméthylsiloxane)	SI	RTV Silastic	Matériaux de calfeutrage, garnitures et joints d'étanchéité, moules
Polyester non saturé	PNS	résine de fibre de verre plastique renforcé aux fibres de verre (PRFV)	Bateaux, sculptures, chars d'assaut, boîtiers de machines
Caoutchouc durci	CN	ébonite vulcanite	Bijoux, instruments de musique à vent, isolateurs électriques, réservoirs de produits chimiques
Caoutchoucs (matières élastiques, qui rebondissent)			
Polyisoprène, caoutchouc naturel	CN	SMR crêpe pâle feuille fumée	Revêtements imperméables, vêtements en caoutchouc, vêtements élastiques, tissus et fils élastiques, bonnets de bain, chaussures, poupées, jouets et isolateurs électriques
Polyisoprène, caoutchouc synthétique	CI	Ameripol SN Natsyn	Garnitures, joints d'étanchéité, pare-chocs, isolateurs de vibrations, composants élastiques, objets qui rebondissent, mousses
Polybutadiène	CB	Buna CB	
Acrylonitrile butadiène	CAB	Perbunan N BunaN	
Butadiène-styrène	CSB	SBR Plioflex	
Isobutylène-isoprène	CII	Butyl	
Éthylène-propylène-diène-monomère	CEPD	Vistalon	

Tableau 1 : Sigles, noms commerciaux et communs, et exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections			
Plastique	**Sigle**	**Exemples de noms commerciaux et communs**	**Exemples d'objets en plastique se retrouvant couramment dans des collections**
Polychloroprène	CC	néoprène	
Silicone	SI	Silastic, Elastosil,	
Fluorosilicone	FSI	FSE Silastic Sylon	
Polyuréthane de type polyester	AU	adiPRENE	
Polyuréthane de type polyéther	EU	PUR	
Pour obtenir une liste d'abréviations plus complète, consulter Plastics Abbreviations and Acronyms ou Plastic - Wikipedia (les deux pages sont en anglais seulement).			

Thermoplastiques et plastiques thermodurcissables

Selon leurs propriétés thermiques, les plastiques appartiennent à la catégorie des thermoplastiques ou à celle des plastiques thermodurcissables. Les thermoplastiques fondent, tandis que les plastiques se carbonisent. Les élastomères peuvent appartenir à l'une ou l'autre des deux catégories. Cette classification est utile lorsqu'il faut prévoir certaines propriétés comme le fluage, la déformation rémanente après compression, la solubilité, l'exsudation, la fusion et la résistance. Le tableau 2 présente une comparaison des propriétés des thermoplastiques et des plastiques thermodurcissables.

Tableau 2 : Comparaison des propriétés des thermoplastiques et des plastiques thermodurcissables	
Thermoplastiques	**Plastiques thermodurcissables**
Fondent (ou ramollissent)	Fondent difficilement, se carbonisent plutôt
Mis en forme par moulage ou extrusion	Mis en forme par polymérisation dans des moules ou par usinage de blocs durcis
Dotés d'une structure moléculaire linéaire, ne sont pas réticulés	Polymères habituellement réticulés

Tableau 2 : Comparaison des propriétés des thermoplastiques et des plastiques thermodurcissables	
Thermoplastiques	**Plastiques thermodurcissables**
Subissent le fluage et la déformation sous contrainte	Fluage minime
Solubles	Insolubles

Plastiques dangereux

Comme les plastiques sont composés de nombreux matériaux différents, les types de détérioration dont ils peuvent faire l'objet sont tout aussi variés, et parfois inattendus. Selon les résultats d'études sur la conservation des collections muséales, la détérioration chimique des objets en plastique n'affecte qu'un nombre restreint de types de plastiques, notamment :

- le NC;
- l'AC;
- le PCV;
- le PUR, particulièrement la mousse de PUR;
- les caoutchoucs, particulièrement les caoutchoucs naturels durcis fortement vulcanisés (par exemple, ébonite et vulcanite).

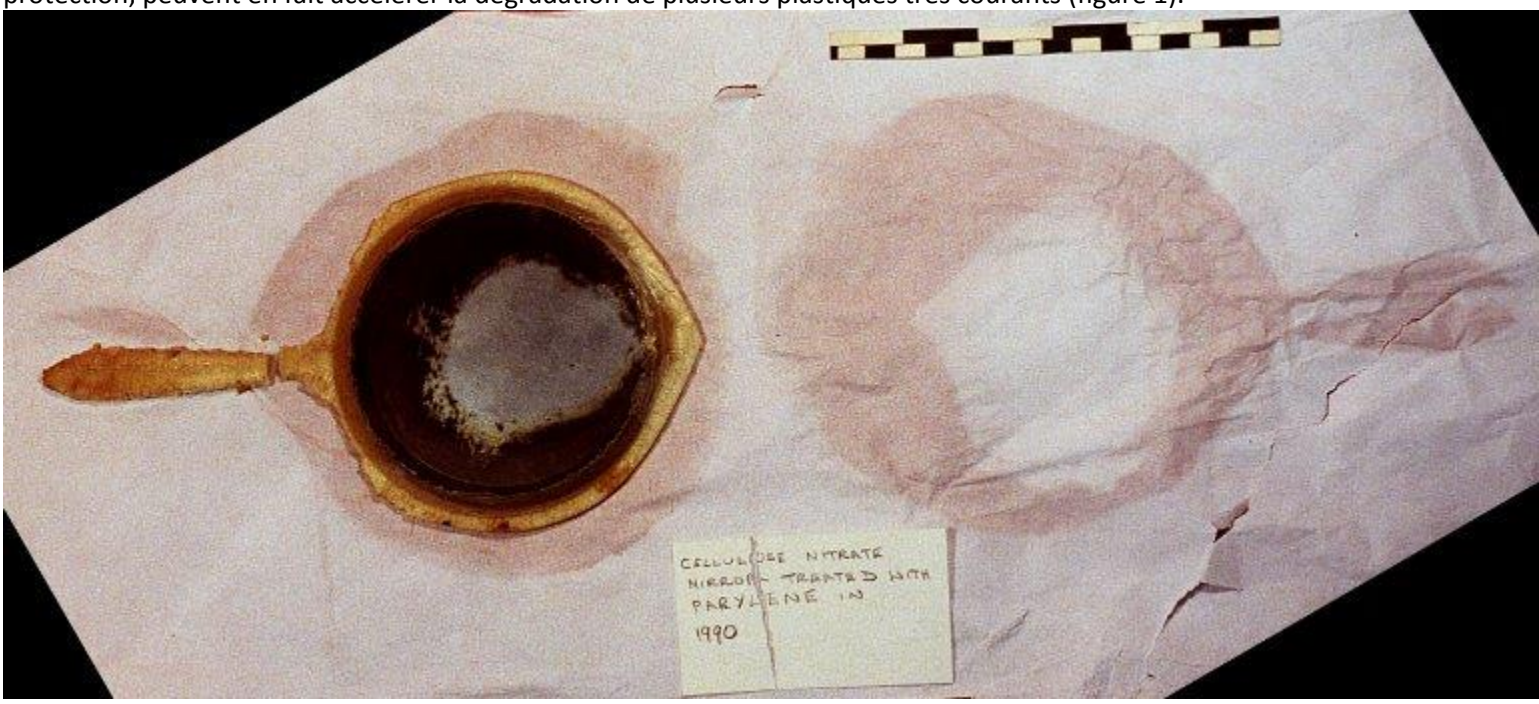
Ces plastiques, tout comme l'UF qui est aujourd'hui couramment présente dans les adhésifs et les liants utilisés dans les bois d'ingénierie, sont les plus sensibles à la détérioration chimique, outre le fait qu'ils dégagent des produits de dégradation nocifs qui peuvent endommager d'autres objets de la collection. Ils deviennent de plus en plus nocifs à mesure qu'ils se dégradent, entraînant la corrosion et la contamination des objets et des matériaux d'entreposage se trouvant à proximité.

Les plastiques qui causent des dommages aux matériaux adjacents sont appelés « plastiques dangereux ». Les dommages peuvent se produire par transfert de substances corrosives (par exemple, de l'acide sulfurique, dans le cas de l'ébonite), par contact direct avec le plastique dangereux ou par la dispersion des gaz nocifs que dégage le plastique (par exemple, les oxydes d'azote libérés par le NC et les oxydes de soufre libérés par le caoutchouc vulcanisé), lesquels peuvent atteindre des objets éloignés de la collection. Même les plastiques relativement inertes comme les acryliques peuvent absorber des polluants, être contaminés et devenir corrosifs. Le caractère dangereux de ces plastiques exige que toute stratégie de conservation cible d'abord ces matériaux.

Bien que tous les plastiques se dégradent au fil du temps, comme, à vrai dire, tous les matériaux organiques, les dommages subis se limitent surtout à une détérioration du plastique comme tel, et non des objets situés à proximité. Ces plastiques, appelés« plastiques inoffensifs », sont sans danger pour les objets de la collection, à moins qu'ils n'aient absorbé des composés volatils nocifs qui seront par la suite désorbés.

Il est souvent difficile d'identifier les plastiques potentiellement dangereux. Une coiffeuse fabriquée à partir d'un plastique relativement inoffensif comme celui à base de CF peut grandement ressembler à une autre fabriquée à partir de NC. Dès la fin du XIXe siècle, les plastiques étaient employés avec succès pour imiter toute une gamme de matériaux tels que les pierres précieuses, l'ivoire, l'écaille de tortue et le corail. Et depuis les années 1960, ils servent couramment à imiter le bois, le cuir, la soie et les matériaux de construction. Il est donc possible que des plastiques dangereux soient dissimulés au sein des collections de spécimens d'histoire naturelle, d'objets ethnographiques ou de tissus, sans que leur nature réelle soit connue. Ils peuvent aussi passer inaperçus dans des salles d'époque ou des maisons historiques, où ils sont utilisés à des fins de simulation ou de restauration. C'est pourquoi la section Causes des dommages aux plastiques

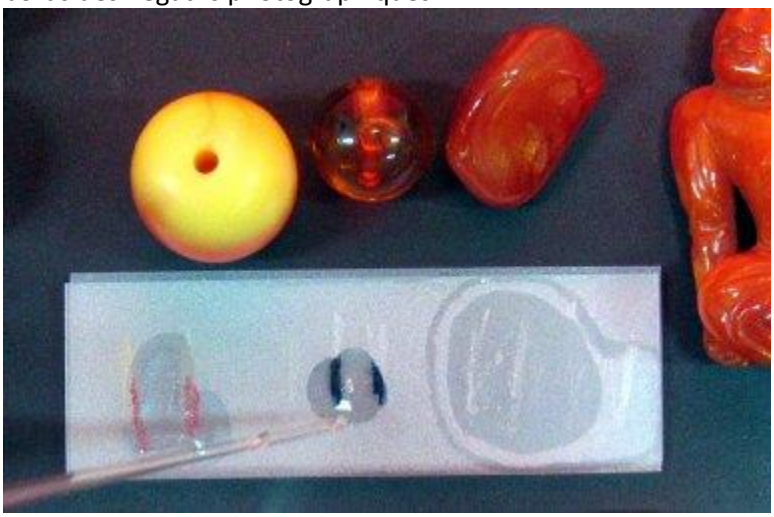
et aux caoutchoucs et stratégies de conservation préventive de la présente ressource compte une sous-section, intitulée Stratégies de réduction des risques pour les collections mixtes contenant des plastiques dangereux, qui traite des stratégies de réduction des risques et des essais permettant d'identifier les plastiques dangereux.
La préservation des objets en plastique ou en caoutchouc exige une nouvelle évaluation des matériaux et des méthodes habituellement recommandés pour assurer la préservation des collections. Certaines pratiques de conservation qui peuvent parfois sembler excellentes, notamment l'emballage d'objets dans du papier de soie tamponné en guise de protection, peuvent en fait accélérer la dégradation de plusieurs plastiques très courants (figure 1).



© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0088
Figure 1. Le papier de soie tamponné aggrave la détérioration du NC. La détérioration de la partie en NC du miroir a été accélérée par son emballage dans du papier de soie tamponné à réserve alcaline. Des oxydes d'azote dégagés par le miroir en NC ont réagi avec le carbonate de calcium, présent dans le papier de soie comme tampon alcalin, et ont formé du nitrate de calcium, un produit déliquescent qui est clairement visible sous forme de taches humides dans le papier de soie. Des dommages irréversibles ont été causés par la réaction des sels présents dans les taches humides avec la surface du miroir.

Identification des plastiques
En raison de la nature variée des plastiques, et du fait qu'ils ont chacun leur propre degré de vulnérabilité et de nocivité, il est essentiel d'identifier les plastiques présents dans une collection afin d'en assurer la conservation.
Il existe deux approches en matière d'identification des plastiques, soit l'exécution d'essais chimiques ponctuels et l'analyse instrumentale, la spectroscopie infrarouge (SIR) en particulier. Il est bien connu que les résultats des essais ponctuels sont ambigus, ce qui explique la préférence pour la SIR. De plus, les spectromètres infrarouges portatifs permettent maintenant d'effectuer une analyse par SIR sur place, c'est-à-dire dans les musées et, dans certains cas, sans même avoir à prélever d'échantillon.
Il existe néanmoins certains essais ponctuels fiables qui donnent des résultats relativement clairs pour ce qui est de détecter la présence des six plastiques les plus dangereux (Rémillard, 2007). Comme la plupart des réactifs d'essai sont

nocifs pour le plastique, l'essai doit toujours être exécuté sur un petit échantillon prélevé sur l'objet. À titre d'exemple, il est possible de prélever un échantillon non apparent en égratignant la base de l'objet à l'aide d'une lame en verre dépoli. La bande de plastique ainsi prélevée, qui se retrouve sur la lame, permet habituellement d'exécuter plusieurs essais ponctuels (figure 2 et tableau 3). Cette méthode est couramment utilisée pour prélever des échantillons sur les bords des négatifs photographiques.



© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0106

Figure 2. Résultats de l'essai ponctuel à la diphénylamine réalisé sur diverses perles en ambre naturel ou artificiel provenant d'une même collection; les échantillons ont été prélevés en égratignant la surface de l'ambre à l'aide d'une lame en verre dépoli. La coloration rouge permet d'identifier une perle comme étant composée de PF, tandis que la coloration bleue identifie une perle en NC; l'échantillon prélevé sur une perle en ambre naturel ne présente aucun changement de couleur.

Tableau 3 : Essais ponctuels de détection des plastiques dangereux

Plastique	Essai ponctuel	Résultat de l'essai	Référence
NC	Réactif à base de diphénylamine et d'acide sulfurique	Virage au bleu	ICC, 1994; Williams et coll., 1998
AC	Hydroxylamine alcaline et chlorure ferrique acidifié	Virage au rouge bourgogne	Coxon, 1993
PCV	Essai de Beilstein - fil de cuivre chauffé à la flamme de chalumeau	Virage au vert de la flamme incolore	ICC, 1993; Williams et coll., 1998
Caoutchouc vulcanisé au soufre (ébonite, vulcanite)	Réactif à base d'iode et d'azoture de sodium	Formation de bulles dans le réactif	Daniels et Ward, 1982
PUR	Diméthylamino-benzaldéhyde dans	Virage au jaune serin	Roff et coll., 1971

Tableau 3 : Essais ponctuels de détection des plastiques dangereux			
Plastique	**Essai ponctuel**	**Résultat de l'essai**	**Référence**
	l'acide acétique glacial		

Causes des dommages aux plastiques et aux caoutchoucs et stratégies de conservation préventive
La présente section décrit les causes des dommages et les types de dommages aux plastiques et aux caoutchoucs ainsi que les stratégies de conservation préventive qui permettent de réduire les risques de détérioration.

Agents de détérioration constituant un risque général pour les plastiques
Les plastiques peuvent être endommagés par les dix agents de détérioration. La dissociation, le vol et le vandalisme, les ravageurs, l'eau et les incendies (sauf dans le cas du NC) constituent des agents de détérioration généraux des plastiques. Les stratégies de conservation préventive à adopter sont les mêmes que celles associées à la plupart des autres types d'objets de musée.

Dissociation
La dissociation entraîne la perte des objets ou des données relatives aux objets (y compris les documents pertinents) ou encore la perte de la capacité d'associer les données relatives à un objet particulier ou de récupérer de telles données. On divise les risques de dissociation en deux types : les actions et les omissions. Un exemple d'action serait le rangement d'un objet au mauvais endroit, alors qu'un exemple d'omission serait la non-documentation d'un prêt d'objet. Les sinistres peuvent provoquer la dissociation. Les objets en plastique conservés et exposés dans les musées doivent être protégés contre la dissociation au moyen de stratégies de conservation préventive adéquates. Pour plus d'information sur la prévention de la dissociation, consulter Agent de détérioration : dissociation.

Vol et vandalisme
Les objets en plastique et ceux qui ont des composants en plastique, comme les bijoux et les articles de toilette en ivoire d'imitation ancien, en bakélite et en Lucite, sont souvent de petite taille et ils constituent des pièces de collection d'intérêt pour les voleurs. Les œuvres d'art en plastique sont parfois sujettes à controverse et peuvent faire l'objet de vandalisme. Les objets en plastique conservés et exposés dans les musées doivent être protégés contre le vol et le vandalisme au moyen de stratégies de conservation préventive adéquates. L'utilisation d'enceintes antivols étanches peut se révéler dangereuse pour de nombreux plastiques, à moins que des dispositifs efficaces à base de sorbants ou des systèmes de ventilation à air filtré ne soient intégrés aux vitrines d'exposition. Les sculptures d'art moderne de grande taille doivent être exposées hors de portée, derrière des barrières, et protégées par des dispositifs de surveillance et des avertisseurs. Pour en savoir davantage sur la protection des collections contre le vol et le vandalisme, consulter Agent de détérioration : vol et vandalisme.

Ravageurs
Très peu de plastiques constituent des sources de nourriture pour les ravageurs et en général, les plastiques ne présentent que peu d'intérêt pour eux. Toutefois, certains plastiques, comme la CF, sont des matières préparées à partir de produits naturels ou ont des composants à base de produits naturels, comme les plastifiants à base d'huile de soja ou les mousses de PUR à base d'adipates, lesquels favorisent la prolifération microbienne. Les ravageurs peuvent ronger les objets en plastique afin d'atteindre les produits naturels ou composants qu'ils contiennent. Les objets en plastique peuvent en outre servir de nids aux ravageurs ou de matériaux pour construire des nids. Les biocides (particulièrement

les fumigants et les biocides volatils) posent des risques beaucoup plus graves pour les plastiques que les ravageurs. Pour en savoir davantage sur les stratégies de conservation préventive pour lutter contre les ravageurs, consulter Agent de détérioration : ravageurs.

Eau

La plupart des plastiques ne sont pas très perméables à l'eau, ce qui signifie qu'une brève immersion ne devrait pas causer de dommages structuraux tels que la dissolution, la distorsion, la désagrégation ou la migration des constituants. Les plastiques les plus sensibles à l'eau sont ceux qui sont dégradés. Les plastiques non dégradés, dont les AC, NC, PA, PC, PTE, PE, PP, PMAM, PS et PCV, ne devraient pas être altérés après une immersion dans l'eau de moins d'une journée, suivie d'un séchage à l'air. Les plastiques sensibles à l'eau, comme la CF, le PF contenant des charges organiques et certains PA, qui absorbent l'eau rapidement lorsqu'ils y sont plongés et se mettent à gonfler, peuvent gauchir, surtout si des pièces sont immobilisées afin de les empêcher de bouger. Des périodes prolongées d'humidité peuvent entraîner l'hydrolyse du NC et de l'AC, de certains PA, du PUR et de l'UF. Le phénomène de l'hydrolyse est traité dans la section Humidité relative inadéquate. Pour ce qui est des dommages causés par l'eau, le facteur clé est la durée d'immersion de l'objet.

L'aspect d'un objet en plastique dépend de l'état d'une mince couche à sa surface. Une exposition à l'eau, même de courte durée, peut endommager cette couche et altérer considérablement l'aspect de l'objet, notamment par la formation de taches ou de marbrures. La surface de la CF, du PF et du caoutchouc durci (vulcanite, ébonite) peut être endommagée par l'eau. Bien que la surface d'un objet puisse être altérée, son intégrité structurale ne devrait pas être touchée. Les plastiques mouillés peuvent présenter une surface plus molle que ne laisse croire leur simple aspect, d'où le besoin de prendre les précautions nécessaires au moment de manipuler ces objets ou de les sécher par essuyage. Certaines sources proposent d'employer la lyophilisation comme méthode de traitement d'objets qui ont été exposés à l'eau. Cette solution n'est toutefois pas nécessaire pour la plupart des objets en plastique et elle peut même avoir des effets nuisibles. Le traitement à des températures inférieures au point de congélation accroît la fragilité des plastiques, et par conséquent, la dilatation de l'eau gelée dans les craquelures et les fissures de pièces de plastique fragilisé peut aggraver les dommages de fracture. Une des principales raisons qui justifient l'emploi de la lyophilisation est la prévention de la formation de moisissures. Comme les plastiques ne constituent que rarement des milieux propices à ce phénomène, il n'est pas nécessaire de recourir à cette méthode. Le simple séchage à l'air des pièces en plastique, dès leur retrait du milieu aqueux, empêche la formation des moisissures.

Le traitement privilégié pour les plastiques mouillés est leur rinçage rapide avec de l'eau propre, suivi de leur séchage à l'air, de préférence au moyen de dispositifs de ventilation forcée comme des ventilateurs. Il faut éviter d'employer la lyophilisation comme solution.

Recommandations

- Ne pas ranger les objets ou les contenants à même le sol.
- Utiliser des couvercles de protection imperméables dans les aires de mise en réserve et d'exposition, en présumant que tous les tuyaux pourraient fuir et que tous les extincteurs automatiques pourraient être déclenchés.
- Utiliser des contenants étanches pour la mise en réserve, par exemple des sacs en PE et des boîtes en PE et en PP (sauf dans le cas des plastiques dangereux).
- Éviter de congeler les plastiques mouillés (ne pas lyophiliser).

Pour en savoir davantage sur l'atténuation des risques associés à l'eau, consulter Agent de détérioration : eau.

Incendie

Tous les plastiques subissent des dommages lorsqu'ils sont exposés à une chaleur excessive ou à une flamme. La chaleur dégagée par le feu peut ramollir les plastiques, les faire fondre, les carboniser ou les déformer. Lorsqu'ils sont exposés à une flamme, les plastiques s'enflamment et brûlent (avec ou sans flamme); ils peuvent se carboniser et dégager de la fumée et des gaz toxiques. Les plastiques sont tous combustibles et peuvent brûler si la température est assez élevée, mais celle-ci varie en fonction de la nature de chaque plastique. Pour la plupart d'entre eux, les risques de dommages causés par le feu sont équivalents ou inférieurs à ceux associés aux matériaux organiques comme le papier et le bois. Les fumées dégagées au cours d'un incendie peuvent endommager des objets de la collection qui se trouvent à d'autres endroits du bâtiment, notamment en raison des particules de suie et de fumée qui se déposent à leur surface et en provoquent le maculage, mais aussi en raison de la corrosion et de la formation d'odeurs. Sauf dans le cas du NC, la plupart des plastiques qui brûlent peuvent être éteints en utilisant les méthodes qui sont reconnues comme adéquates dans le cas d'incendies de classe A.

Les thermoplastiques subissent des dommages à des températures inférieures à celles qui altèrent les plastiques thermodurcissables. Les thermoplastiques, dont AC, ABC, PA, PC, PTE, PE, PP, PMAM, PS et PCV, fondent et peuvent former des gouttelettes en combustion, lesquelles favorisent la propagation des flammes. La présence d'additifs ignifuges dans les plastiques ne les empêche pas de fondre et, éventuellement, de s'égoutter, sous forme de plastique fondu, sur d'autres matériaux. Les plastiques thermodurcissables résistants à la chaleur, par exemple CF, PF, UF, PUR, le caoutchouc durci (vulcanite, ébonite), SI et PTFE, se carbonisent et se fissurent, sans aucun espoir de restauration, s'ils sont la proie des flammes, mais par contre, ils ne fondent pas et peuvent échapper à la dégradation s'ils sont simplement exposés à la fumée et aux gaz chauds. La propagation des flammes est généralement beaucoup plus faible dans le cas des plastiques thermodurcissables que dans le cas des thermoplastiques.

Pour en savoir davantage sur les stratégies de conservation préventive pour lutter contre l'incendie, consulter Agent de détérioration : incendie.

L'inflammabilité du nitrate de cellulose

Le NC constitue un sujet de préoccupation particulier, car en plus d'être le plastique le plus inflammable, sa combustion dégage des gaz oxydants, ce qui rend impossible l'extinction du feu par élimination d'oxygène. Les résultats de diverses études indiquent que les systèmes d'extinction d'incendies à gicleurs et à nébulisateurs, les dispositifs à buses d'éjection de mousse, ainsi que les systèmes à décharge rapide remplis de dioxyde de carbone et de produits de remplacement du fréon, sont tous inefficaces dans le cas d'incendies causés par des pellicules cinématographiques à base de NC. L'extinction d'incendies qui s'étaient déclarés dans des archives de films a déjà été réalisée en employant d'importants volumes d'eau; l'eau aurait refroidi le NC en combustion jusqu'à une température inférieure à sa température d'inflammation, ce qui aurait permis d'éteindre l'incendie (Vitale, 2009).

Le NC est obtenu par réaction de la cellulose et de l'acide nitrique, de sorte que certains groupements hydroxyle de la cellulose sont remplacés par des groupements nitrate. L'importance du remplacement (le degré de substitution) est mesurée par la teneur en azote du produit final. Les produits ayant des teneurs en azote différentes sont employés à diverses fins; ainsi, la teneur en azote des plastiques et de certains vernis-laques varie de 10,5 à 11,5 %, celle d'autres vernis-laques, des pellicules et des pellicules en feuille varie de 11,5 à 12,3 %, et celle des explosifs et des poudres noires se situe entre 12,4 et 13,5 %. Plus la teneur en azote est élevée, plus les risques d'incendie sont importants. La teneur en azote des pellicules cinématographiques est supérieure à celle des pellicules photographiques en feuille qui, à leur tour, ont une teneur en azote supérieure à celle des plastiques et des vernis-laques.

De graves incendies attribuables à la combustion spontanée de pellicules dégradées se sont déjà déclarés dans des archives de pellicules cinématographiques. Aucun incendie n'a toutefois été attribué à la combustion spontanée de pellicules en feuille conservées dans des pochettes de papier ou d'objets en plastique. Les risques d'incendie associés

aux objets en NC sont comparables à ceux liés à d'autres matières inflammables comme l'essence et les solvants.
Les objets en CN doivent être entreposés dans des réserves spéciales où les conditions ambiantes sont régulées, de préférence à de basses températures dans des réfrigérateurs ou des congélateurs. Cette mesure de ségrégation, qui permet de réduire les risques d'incendies causés par la combustion du NC, réduit aussi l'exposition des autres objets de la collection à des produits de dégradation volatils nocifs acides et oxydants.
Les objets en CN ne doivent pas être conservés dans des contenants étanches non ventilés, comme des sacs ou des armoires de rangement, car dans de telles conditions, les gaz provenant de la dégradation s'accumulent autour du plastique dans l'enceinte et accroissent la vitesse de dégradation de l'objet, ce qui entraîne une réduction de la température d'inflammation du plastique et augmente les risques d'incendie. S'il est absolument nécessaire d'utiliser un contenant étanche comme un sac pour contrôler l'humidité relative (HR), il faut aussi y placer des sorbants de manière à diminuer la concentration des gaz provenant de la dégradation dans le sac.

Recommandations

- Pour la plupart des plastiques (sauf le NC), considérer les risques de dommages causés par le feu comme équivalents ou inférieurs à ceux associés aux matériaux organiques naturels comme le papier, les fibres naturelles et le bois (classe A).
- Éteindre les feux résultant de la combustion de plastiques (sauf le NC) en utilisant les méthodes reconnues comme adéquates dans le cas d'incendies de classe A.
- Isoler les objets en NC des objets de la collection générale.
- Mettre en réserve les objets en CN dans des enceintes froides adéquates, soit des congélateurs (petites collections) ou des chambres froides (grandes collections), afin d'assurer la préservation des objets et de réduire leur dégradation et les risques d'incendie.
- Conserver de préférence les grandes collections d'objets en NC dans des réserves séparées, munies d'équipement spécialisé et construites conformément aux exigences des codes pertinents.

Pour en savoir davantage sur l'exposition et la mise en réserve des objets de musée contenant du NC, consulter la Note de l'ICC 15/3 *Exposition et mise en réserve des objets de musée contenant du nitrate de cellulose*.

Agents de détérioration constituant un risque particulier pour les plastiques

Les principaux agents de détérioration des plastiques qui endommagent leur structure et modifient leur composition chimique sont les contraintes et autres forces physiques directes, les polluants (y compris l'oxygène), la lumière et le rayonnement UV, ainsi que la température et l'HR inadéquates. Les objets en plastique devraient idéalement être entreposés sur des supports matelassés solides, dans un endroit bien ventilé, sombre, froid, sec et exempt d'oxygène.
Les plastiques ne sont pas tous vulnérables aux mêmes agents de détérioration, et ils ne le sont pas tous au même degré. Les différents plastiques offrent une résistance variable à l'oxydation thermique, à la photo-oxydation et à l'hydrolyse, qui constituent les principales réactions de dégradation causées par ces agents de détérioration. Par exemple, le PE présente une piètre résistance à l'oxydation thermique et à la photo-oxydation, mais une excellente résistance à l'hydrolyse, tandis que le NC résiste très mal à ces trois processus de dégradation. Les effets globaux sur la collection dépendent de la vulnérabilité particulière de chaque type de plastique présent dans la collection et de la proportion qu'il représente par rapport à l'ensemble des objets de la collection. La conservation de ces types d'objets passe avant tout par un contrôle adéquat de leur détérioration chimique.
Comme certains plastiques sont plus sensibles à des agents précis, il est plus avantageux de concentrer les efforts sur la réduction des risques posés par un agent particulier pour un plastique donné. Il est crucial de bien connaître les propriétés d'un matériau afin de choisir des stratégies de conservation préventive adéquates.

Forces physiques

Les plastiques dégradés peuvent être étonnamment cassants, surtout dans des conditions froides. L'AC, le NC, la CF, certains PF, le PMAM et le PS peuvent se casser facilement sous l'effet d'un choc. Il ne faut pas supposer que les objets en caoutchouc et en PCV, qui peuvent être souples, ne nécessitent aucun support durant leur transport, leur mise en réserve ou leur exposition. Les contraintes, comme celles que subissent les caoutchoucs lorsqu'ils sont étirés, peuvent accroître leur vitesse de dégradation chimique (par oxydation). De plus, des craquelures ont tendance à se former perpendiculairement à la direction d'application des contraintes, par exemple le long des plis. Puisque les objets présentant des craquelures sont plus susceptibles de subir un bris que les objets non endommagés, ils requièrent un support plus solide. Les pellicules d'emballage comme la cellophane, l'AC et le PTE, se déchirent facilement si elles ont été rayées ou entaillées. Les objets dont les conditions d'entreposage imposent des contraintes particulières peuvent durcir et conserver la déformation imposée par ces contraintes. Exposer des plastiques déjà soumis à des contraintes à certains polluants peut provoquer la craquelure sous l'effet de contraintes (CEC), notamment dans le cas des PC, PE, PP, PMAM et PS, qui sont particulièrement sensibles à ces conditions. Des réactions de vieillissement, comme la réticulation, l'oxydation et le réarrangement moléculaire (le vieillissement physique), ont pour effet de « figer » les macromolécules du plastique dans un état déformé (sous contraintes).

Les plastiques souples, dont les PE, PP, PA et le PCV souple, peuvent subir, s'ils sont soumis à une certaine pression, une déformation permanente causée par le fluage, comme le fléchissement des petits éléments secondaires et l'aplatissement des surfaces de contact.

La mise en réserve, l'exposition et la manipulation de ces objets exigent l'utilisation de boîtes, de plateaux et de supports bien matelassés. L'emploi de supports adéquats pour les exposer et les mettre en réserve dans leur forme d'origine permet d'éviter l'application de contraintes et de prévenir leur durcissement dans un état déformé. Ainsi, le support de chaussures en caoutchouc peut être assuré au moyen de pièces moulées rigides amovibles, par exemple en mousse de PE, glissées à l'intérieur de celles-ci. Toutefois, si le caoutchouc est poisseux, les matériaux de support doivent être revêtus d'une matière antiadhésive comme des feuilles en Mylar, en téflon ou en Gore-Tex ou du tissu antiadhésif à base de silicone.

Les supports doivent, dans la mesure du possible, comporter des fentes ou des ouvertures qui permettent aux gaz de s'échapper. La « toile » à tapisserie en PP, entre autres, constitue un support intérieur adéquat pour les bottes en caoutchouc. Dans le cas de tous les objets contenant des plastiques dangereux, le délicat équilibre entre l'emploi d'un matériau de support satisfaisant et l'adoption de mesures permettant de piéger les émissions gazeuses est à prendre en compte.

La plupart des plastiques ne sont que peu résistants aux rayures (présentant des valeurs de 2 [ongle, ambre, ivoire] à 3 [sou en cuivre] sur l'échelle de dureté de Mohs) et ils sont mous, ce qui favorise la formation d'éraflures et de dépressions à leur surface ainsi que leur abrasion et leur ébrèchement, à la suite du contact mécanique de l'objet avec d'autres matériaux.

Recommandations

- Traiter les plastiques comme des objets plus fragiles qu'ils ne le paraissent.
- Éviter la manipulation directe des objets.
    - Utiliser des plateaux et des contenants.
- Toujours soutenir les objets par-dessous.
    - Ne jamais manipuler les objets en saisissant les petits éléments secondaires ou les autres éléments en saillie.
- Utiliser des supports matelassés rigides ayant une forme adéquate.
- Éviter de soumettre les objets à des forces de flexion et à des vibrations.

- Vérifier la présence de craquelures et de signes de faïençage, particulièrement aux joints collés, dans les zones peintes et au-dessous ou autour des étiquettes adhésives; assurer, au besoin, un support adéquat.
- Se méfier des possibilités de fluage dans les objets et les matériaux d'entreposage.
- Éviter tout contact avec les solvants et les vapeurs de solvant qui favorisent la CEC.
- Éviter l'emploi de nettoyants abrasifs et de nettoyants à base de produits chimiques.
- Ne pas fixer d'étiquettes adhésives sur les objets.

Pour en savoir davantage sur les stratégies de conservation préventive visant à réduire les forces physique, consulter Agent de détérioration : forces physiques.

Polluants

Les particules et les poussières se fixent aux surfaces dégradées poisseuses, entraînant ainsi des dommages chimiques et des modifications qui altèrent l'aspect esthétique de l'objet, ces dernières n'étant pas facilement réversibles. Les particules de saleté abrasives peuvent érafler les plastiques et causer une fragilisation importante de tout plastique sensible à la formation d'entailles. Tous les plastiques peuvent subir ce type d'altération, en particulier ceux dont la surface devient poisseuse en raison de la migration d'additifs comme les plastifiants (AC, NC, PCV, PUR, caoutchouc). Le nettoyage visant à éliminer les particules et les poussières est difficile, voire impossible à réaliser sans endommager encore plus le plastique.

Les polluants atmosphériques acides comme le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote peuvent accélérer la dégradation des plastiques et avoir des effets nocifs, particulièrement dans des conditions humides. Les polluants acides catalysent l'hydrolyse de l'AC, du NC, du PA et du PCV. L'ozone, qui peut être produit par un rayonnement UV ou par des sources électrostatiques à haute tension comme les purificateurs d'air électrostatiques et les photocopieurs, peut causer une dégradation par oxydation très rapide. L'ozone provient principalement de l'air extérieur pollué qui pénètre dans les bâtiments. Les fumigants et les biocides volatils, qui étaient couramment utilisés dans les musées jusque vers les années 1990, endommagent les plastiques. Les résidus de pesticide et de biocide présents dans les objets traités à cette époque posent toujours de sérieux risques pour les objets en plastique situés à proximité.

D'autres polluants proviennent de la dégradation des objets et des matériaux présents dans les musées, par exemple, les oxydes d'azote dégagés par le NC, l'acide acétique libéré par l'AC, de nombreuses essences de bois et les peintures fraîchement appliquées, le formaldéhyde issu des liants des panneaux de particules, ainsi que les sulfures et les oxydes de soufre provenant de nombreux caoutchoucs vulcanisés. Il est essentiel d'assurer une ventilation adéquate des lieux afin de prévenir l'accumulation de vapeurs nocives autour des objets qui se dégradent ou des objets vulnérables.

Les matériaux d'entreposage et d'exposition qui sont réutilisés peuvent constituer une autre source, souvent inattendue, de polluants. Des matériaux dits « sans danger », comme les acryliques, peuvent absorber des gaz nocifs lorsqu'ils sont utilisés à une fin particulière, pour ensuite les libérer lorsqu'ils sont utilisés à une autre fin. Le phénomène semble être lié à la solubilité ou à la polarité des composés. Ainsi, le PE, qui est un plastique non polaire, absorbe facilement les hydrocarbures non polaires, qui ne sont pas des produits corrosifs, mais il n'absorbe pas l'acide formique, qui est corrosif. Dans ces deux cas, le PE conserve ses propriétés non corrosives. Les plastiques polaires comme le PC, le PMAM, le PS et les SI absorbent l'acide acétique et l'acide formique, qui sont partiellement solubles dans les plastiques, mais non l'acide nitrique. Dans ces cas particuliers, les plastiques polaires peuvent devenir plus nocifs après avoir absorbé des acides, selon leur exposition antérieure à des milieux acides.

Il arrive souvent que les dommages que subissent les plastiques exposés à des solvants organiques et à leurs vapeurs ne soient pas immédiatement visibles. La situation peut se révéler encore plus complexe, car des plastiques particuliers possèdent souvent des vulnérabilités particulières; ainsi, certains objets en PMMA qui ont été exposés à l'éthanol présentent des craquelures et des signes de faïençage. La CEC causée par des vapeurs est aggravée par les contraintes mécaniques subies par le plastique, une situation fréquente lorsque l'objet en plastique est fixé en place. Une rupture

attribuable à la CEC dépend de nombreux facteurs, dont la nature du matériau, les conditions ambiantes ainsi que la nature et l'importance des contraintes imposées. Il est donc difficile d'anticiper la CEC, qui peut provoquer une défaillance prématurée, sous des contraintes inférieures aux contraintes de rupture normales. Les plastiques sensibles à la CEC peuvent se craqueler, s'écailler ou finir par se rompre. La CEC ne se produit que dans le cas des plastiques amorphes ou des parties amorphes de plastiques semi-cristallins (par exemple, le PE, le PP, le PMAM et le PS). En plus de provoquer la CEC, l'application directe de surfactants et de solvants organiques à la surface de plastiques (comme durant leur nettoyage) entraîne la dissolution des AC, CCN, PA, PMA et PS ou l'extraction d'additifs tels que des plastifiants et des stabilisants présents dans le PCV et le caoutchouc. Pour plus d'information sur les méthodes de nettoyage, consulter la section Cinq étapes de réduction des risques associés aux plastiques dangereux présents dans les collections mixtes – Étape 5 : Nettoyer.

Il faut éviter d'effectuer des traitements qui libèrent des gaz nocifs sur des plastiques ou à proximité de ces plastiques. Si l'utilisation de solvants est prévue, notamment dans le cadre de travaux de peinture ou de vernissage effectués dans les réserves ou les galeries, il faut en retirer temporairement tous les plastiques afin de les protéger contre toute exposition aux solvants.

Il est recommandé d'utiliser des sorbants dans les endroits où il est impossible d'assurer une ventilation adéquate. L'emploi combiné de sorbants et d'indicateurs (par exemple, le rouge de crésol, qui permet de détecter la présence d'oxydes d'azote produits par la dégradation du CN) (consulter Utilisation et préparation du rouge de crésol et du vert de bromocrésol modifié comme indicateurs) constitue une méthode efficace pour réduire la vitesse de détérioration et pour détecter la présence de vapeurs nocives, en cas de dégradation du matériau. Lorsque l'indicateur indique la présence de telles vapeurs, il est temps de remplacer les sorbants.

Dans le cas des plastiques qui se dégradent par oxydation, toute mesure qui vise à éliminer l'oxygène du milieu ambiant des objets est avantageuse. Des enceintes anoxiques peuvent être obtenues en utilisant des contenants rigides, comme des cloches en verre remplies de gaz inertes ou des sacs faits de pellicules barrières en plastique souple remplis de matériaux absorbeurs d'oxygène et de gaz inerte (figures 5 à 8). Si des pellicules barrières transparentes sont employées, l'objet est toujours visible et son état peut être surveillé, bien que son examen minutieux demeure difficile étant donné qu'il est encapsulé. Les plastiques sensibles à l'oxydation et dont la conservation dans des enceintes anoxiques pourrait être le plus avantageuse comprennent les caoutchoucs durs (vulcanite, ébonite) et les mousses de PUR (particulièrement celles de type polyéther). Le PA, le polyester non saturé, le PE, le PP, le PS et le PCV souple sont aussi sensibles à l'oxydation, mais habituellement, leur dégradation exige également une exposition à la lumière ou au rayonnement UV (photo-oxydation); dans leur cas, la réduction de l'intensité lumineuse de l'éclairage et l'élimination des sources de rayonnement UV constituent des mesures de protection plus efficaces.

Recommandations

- Adopter des méthodes d'élimination des poussières efficaces.
- Vérifier l'état des produits en plastique réutilisés afin de déterminer la présence de polluants absorbés, particulièrement les composés acides.
- Identifier les plastiques dangereux et surveiller s'ils produisent des émissions nocives.
- Mettre en réserve les objets à la température la plus basse possible afin de ralentir les réactions de dégradation.
- Empêcher l'oxydation des objets qui y sont sensibles, notamment le caoutchouc et le PUR, en assurant des conditions d'entreposage anoxiques et en utilisant des sacs en pellicules plastiques souples imperméables à l'oxygène, des atmosphères de gaz inertes et des absorbeurs d'oxygène. L'entreposage dans un milieu anoxique ne convient qu'aux objets sensibles à la dégradation par oxydation.
- Ne pas éliminer les saletés ou les accrétions superficielles, à moins que l'exposition de l'objet ne soit prévue ou qu'il ait été clairement établi que les accrétions causent sa dégradation.

- Au besoin, nettoyer soigneusement les objets sans utiliser de liquides, en les brossant avec un pinceau, en utilisant un aspirateur ou en les essuyant à sec, en prenant soin d'éviter les éraflures causées par les particules abrasives et les effets des solvants.
    - Ne jamais utiliser de solvants, d'agents de blanchiment, de détergents, de cire ou de gommes en vinyle ou en caoutchouc.
    - S'il faut utiliser de l'eau, n'utiliser qu'un chiffon légèrement humecté.
- Insérer des feuilles intercalaires et des barrières antiadhésives, sous forme de feuilles non fibreuses et non alvéolaires, par exemple en PTFE, en PTE ou en SI, entre les surfaces poisseuses et les objets, afin de prévenir la formation de taches par contact avec des surfaces présentant des traces d'exsudation de plastifiants ou d'autres additifs;
- Surveiller si les objets en exposition et en réserve émettent des produits acides au moyen de papiers et rubans imprégnés d'indicateur (rouge de crésol, dans le cas de l'acide nitrique dégagé par le NC, et vert de bromocrésol, dans le cas de l'acide acétique dégagé par l'AC) (consulter la section Utilisation et préparation du rouge de crésol et du vert de bromocrésol modifié comme indicateurs).

Pour savoir davantage sur les effets et l'atténuation de polluants, consulter Agent de détérioration : polluants.

Lumière et ultraviolet

La lumière et le rayonnement UV causent des dommages à la fois à la structure du polymère qui compose l'objet et à ses composants non polymères tels que les colorants, les revêtements et les additifs stabilisants (par exemple, les inhibiteurs UV). Les signes des dommages causés par la lumière et le rayonnement UV comprennent le changement de couleur (particulièrement le jaunissement, dans le cas des plastiques non colorés), le farinage, la perte de la résistance aux chocs et de la résistance à la traction, la fragilisation et la formation de craquelures. Chacun de ces effets peut être causé par des processus chimiques différents, lesquels surviennent probablement à des vitesses de réaction distinctes. Certains dommages, comme le jaunissement, sont de nature esthétique, mais n'influent pas sur la résistance mécanique (bien qu'ils puissent indiquer une grave réaction de dégradation), tandis que d'autres, comme la fragilisation, qui ont des incidences directes sur l'intégrité structurale de l'objet, provoquent des fractures et rendent la surface plus friable. Le tableau 4 contient une liste des niveaux de sensibilité à la lumière du soleil de différents plastiques.

Tableau 4 : Sensibilité des plastiques au rayonnement UV et à la lumière du soleil

Niveau de sensibilité (durée de vie maximale, pour une exposition quotidienne)	Plastiques sensibles à la lumière du soleil	Plastiques sensibles au rayonnement UV
Faible sensibilité Changement de couleur ou fragilisation négligeable ou nulle	Certains EP, polymères fluorés (EPF, PCTFE, PTFE), PMAM, PACV, PFVD, PALV, caoutchouc de silicone, PNS	Polymères fluorés (ECTFE, ETFE, EPF, PCTFE, PTFE, PFVD), PMAM
Sensibilité	ABS, esters de cellulose (AC, ABC, PrC), cellophane, CF,	EAV, PA (PA 11, PA 1.2, PA 4.6,

Tableau 4 : Sensibilité des plastiques au rayonnement UV et à la lumière du soleil		
Niveau de sensibilité (durée de vie maximale, pour une exposition quotidienne)	**Plastiques sensibles à la lumière du soleil**	**Plastiques sensibles au rayonnement UV**
moyenne Léger changement de couleur, légère fragilisation	éthylcellulose, EAV, MF, PA(PA 11, PA 6, PA 6.6), PC, PTE, PF, POM, PS, PSC, PACV, PALV, PUR, PBV, polyformal de vinyle, PCV (rigide, plastifié), PCVD, SAN, CSB, UF, PNS, PER	PA 6, PA 6.6, PA 6.10), PTE, PTB, PC, PFA, PCV (rigide, plastifié), PCVD, PER
Sensibilité élevée Changement de couleur, fragilisation, désintégration	NC, polyoléfines (PEHD, PEBD, PEBDL, PER, PEPMTE, PP, PMP, PB), mousse de PUR (caoutchouc, naturel, durci), CSB/Buna-N, gomme-laque et résines naturelles	ABS, PSC, polyoléfines (PEBD, PEBDL, PEHD, PEPMTE, PMP, PP), POM, PS, SAN

Les dommages subis s'aggravent avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement incident et de la durée d'exposition de l'objet. Leur gravité augmente à mesure que diminue la longueur d'onde du rayonnement incident (c'est-à-dire à mesure que son énergie s'accroît). L'exposition à la lumière visible peut provoquer un changement de couleur de certains plastiques et leur faire subir d'autres types de détérioration, mais de manière générale, l'exposition au rayonnement de courtes longueurs d'onde de la région des UV a des effets plus dommageables que l'exposition au rayonnement de grandes longueurs d'onde de la région de la lumière visible. Il faut éliminer tout rayonnement UV en utilisant des lampes qui n'émettent pas d'UV ou en installant des filtres anti UV sur celles déjà en place.
La plupart des dommages causés par le rayonnement comportent un processus d'oxydation, et la vitesse de cette réaction est plus grande lorsque l'HR et la température sont plus élevées. En plus de la réduction de l'intensité lumineuse et de la durée de l'éclairage, les stratégies de réduction des risques doivent permettre la réduction de la température et de l'HR ainsi que le ralentissement des processus d'oxydation (notamment en intégrant des antioxydants et en s'assurant que les conditions du milieu ambiant sont anoxiques).

Recommandations

- Traiter les risques de dommages causés aux plastiques par leur exposition à la lumière visible et au rayonnement UV d'une façon similaire aux risques associés aux matériaux organiques naturels comme le papier, le bois, les fibres naturelles et le cuir.
- Éviter toute exposition au rayonnement UV et à la lumière du soleil.
- Utiliser une intensité lumineuse minimale pendant l'exposition des objets.
- Mettre les objets en réserve dans un endroit sombre.

Pour en savoir davantage sur les dommages causés par la lumière, les rayonnements UV et infrarouge, ainsi que sur les stratégies de régulation des conditions pour prévenir de tels dommages, consulter Agent de détérioration : lumière, ultraviolet et infrarouge.

Température inadéquate

Effets d'une augmentation de la température
La dégradation chimique des plastiques est en grande partie attribuable à l'oxydation (réaction causée par l'oxygène atmosphérique) et à l'hydrolyse (réaction causée par l'eau que contient le plastique). Les données du tableau 5 illustrent le fait que les plastiques possèdent différents niveaux de sensibilité à l'oxydation à la température ambiante. L'augmentation de la température entraîne l'accroissement de la vitesse des réactions d'oxydation et d'hydrolyse et, conséquemment, l'augmentation de la vitesse de détérioration chimique. Le comportement des plastiques est à peu près le même que celui de matériaux organiques naturels comme le bois et le cuir. La vitesse de détérioration des matières plastiques augmente ou diminue d'un facteur de 2 lorsque la température augmente ou diminue de 5 °C. L'abaissement de la température est une stratégie efficace pour contrôler ces réactions de dégradation et, de fait, elle constitue actuellement la pratique recommandée dans le cas de la mise en réserve des objets en NC et des pellicules photographiques en NC et en AC (Bigelow, 2004). Les plastiques du tableau 5 qui sont les plus sensibles à l'oxydation subiront les plus graves dommages à la suite d'une augmentation de la température de la réserve et, inversement, ce sont ceux qui profiteront le plus d'une mise en réserve à des températures plus basses.

Tableau 5 : Sensibilité des plastiques à l'oxydation thermique, à la température ambiante

Niveau de sensibilité à l'oxydation thermique, à la température ambiante, soit environ 20 °C	Plastiques pouvant subir une oxydation thermique à la température ambiante
Faible sensibilité (quelques siècles, environ 300 ans)	PC, PTE, PF, PMAM, polymères fluorés (PTFE), SI
Sensibilité moyenne (une vie humaine, environ 100 ans)	AC, CF, certains EP, MF, PA (PA 6, PA 6.6), PNS, PS, mousse de PUR de type polyester, PCV, PCVD, UF
Sensibilité élevée (une génération chez les humains, environ 30 ans)	PAN, polyoléfines (PE, PP), POM, mousse de PUR de type polyéther, PCV, caoutchouc (naturel, durci)

Température et propriétés physiques
Les variations de la température ont des incidences directes sur certaines propriétés physiques et structurales des matériaux, notamment leur dureté, leur souplesse, leur résistance et leur capacité de fluage. Les thermoplastiques amorphes sont particulièrement sensibles à la température; ils ont plus tendance à se déformer lorsqu'ils sont soumis à des contraintes à haute température. Cette tendance est amplifiée en présence de solvants organiques.
Voici deux paramètres de mesure qui permettent de déterminer la sensibilité d'un plastique à une augmentation de la température :

- sa température de transition vitreuse (T_v), soit la température à laquelle le plastique passe d'un état vitreux rigide (température inférieure à T_v) à un état caoutchouteux souple (température supérieure à T_v);
- sa température de fléchissement sous charge (TFC), soit la température à laquelle une barre de plastique de 127 mm (5 po) de longueur, de 13 mm (1/2 po) de profondeur et de 3 à 13 mm (1/8 à 1/2 po) de largeur, dont le support est assuré en des points séparés de 101,6 mm (4 po), devient assez souple pour fléchir (plier) de 0,25 mm (0,01 po), son point central étant soumis à une charge de 1,82 MPa (264 lb/po^2).

Plus la valeur de la T_v ou de la TFC d'un plastique est élevée, plus les probabilités que celui-ci se déforme lorsque la température augmente sont faibles.

Voici une liste des plages de températures d'intérêt, en ce qui a trait aux effets des augmentations de température sur les propriétés physiques des plastiques :

- de 15 à 30 °C, dans une pièce occupée;
- de 30 à 45 °C, dans une réserve inoccupée, sans système de chauffage, de ventilation ou de climatisation;
- températures supérieures à 45 °C au cours de traitements thermiques.

Le tableau 6 contient des données sur la sensibilité des propriétés physiques des plastiques à une augmentation de la température, en fonction de la T_v et de la TFC.

Tableau 6 : Sensibilité des propriétés physiques des plastiques (par exemple, leur rigidité et leur résistance) à une augmentation de la température

Niveau de sensibilité des propriétés physiques à une augmentation de la température	**Plastiques dont la T_v se trouve dans la plage d'augmentation de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_v du plastique*.**	**Plastiques dont la TFC se trouve dans la plage d'augmentation de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la TFC du plastique*.**
Sensibilité élevée La déformation peut se produire dans la plage de températures de 15 à 30 °C (des fluctuations « normales » en été dans une pièce sans système de chauffage, de ventilation ou de climatisation). Comme ces plastiques ont une T_v et une TFC légèrement supérieures à la température de la pièce, une légère augmentation de la température peut leur faire perdre leur rigidité et provoquer leur déformation par fléchissement ou fluage.	T_v située entre 15 °C et 30 °C PMP (25) PACV (29)	TFC située entre 15 °C et 30 °C EAV (23)
Sensibilité moyenne La déformation peut se produire dans la plage de températures de 30 à 45 °C (conditions possibles dans une pièce présentant des sources de chaleur, mais sans système de chauffage, de ventilation ou de climatisation). Comme ces plastiques ont une T_v et une TFC situées dans cette plage particulière, ils peuvent perdre leur rigidité et subir une déformation par fléchissement ou fluage si la température dépasse 30 °C.	T_v située entre 30 °C et 45 °C PA (PA 11, PA 1.2, PA 6.10) (40) EVOH (43) PCTFE (45)	TFC située entre 30 °C et 45 °C PEBD (35) PMP (40) PCV plastifié (42) PEPMTE (42) PEMD (43) PA 11 (45)
Faible sensibilité Aucune déformation jusqu'à ce que la température dépasse 45 °C (conditions peu probables dans une pièce, mais possibles au cours de traitements thermiques).	T_v située entre 45 °C et 100 °C AC (49) PA (PA 6, PA 6.6) (50 à 60)	TFC située entre 45 ºC et 100 ºC PEHD (46) PTFE (48)

Tableau 6 : Sensibilité des propriétés physiques des plastiques (par exemple, leur rigidité et leur résistance) à une augmentation de la température

Niveau de sensibilité des propriétés physiques à une augmentation de la température	**Plastiques dont la T_v se trouve dans la plage d'augmentation de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_v du plastique*.**	**Plastiques dont la TFC se trouve dans la plage d'augmentation de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la TFC du plastique*.**
Comme ces plastiques ont une T_v et une TFC supérieures à 45 °C, ils ne perdent jamais leur rigidité, et leur déformation se produit par fléchissement ou fluage.	APL (57) PTB (60 à 75) PCV, rigide (80 à 90) PALV (85) PSC (90) PFA (90) PS (90 à 100) ABS (96 à 108) ABC (100) PrC (100) PMAM (100)	PA 1.2 (48) PFA (49) PER (52) EPF (54) PP (55) PCVD (60) PTB (60) PCV rigide (65) ECTFE (65) NC (66) AC (67) PAN (69) ABC (70) ETFE (70) PA 6 (70) PTE (73) PrC (77) PF (77) PSC (78) PS (80) PFV (80) PA 6.10 (83) PA 6.6 (85) PMAM (85) PFVD (88) ABS (89) SAN (95) PCVC (98)
Aucune sensibilité à des températures inférieures à 100 °C Ces plastiques sont souvent désignés sous le nom de « plastiques industriels ».	T_v supérieure à 100 °C PCVC (105) SAN (107,5)	TFC supérieure à 100 ºC POM (123) PC (133)

Tableau 6 : Sensibilité des propriétés physiques des plastiques (par exemple, leur rigidité et leur résistance) à une augmentation de la température		
Niveau de sensibilité des propriétés physiques à une augmentation de la température	**Plastiques dont la T_v se trouve dans la plage d'augmentation de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_v du plastique*.**	**Plastiques dont la TFC se trouve dans la plage d'augmentation de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la TFC du plastique*.**
	PTFE (115 à 130) PAN (117) DAC (120) PMAM (125) PUT (140) PC (150 à 175) CCO (158) PI (295) aramide (375)	CCO (134) PA 4.6 (153) PI (300)
*Les valeurs de T_v et de TFC sont des moyennes pour tous les plastiques de cette catégorie. Chaque type de plastique peut en fait comporter une vaste gamme de valeurs distinctes.		

Effets d'une réduction de la température

À mesure que la température baisse, certains plastiques qui sont souples et résistants deviennent plus rigides et plus fragiles, particulièrement si la température est inférieure à leur T_v. Les plastiques rétrécissent pendant leur refroidissement. Les objets en plastique sous tension ne se briseront pas spontanément en éclats pendant leur refroidissement; ils sont néanmoins plus fragiles, d'où le besoin de les manipuler avec soin, de ne pas les exposer à des chocs ou à des vibrations et d'utiliser des supports adéquats. Le rétrécissement (ou contraction) des objets en plastique sous tension ou, dans les objets composites, des composants en plastique sous tension, peut provoquer leur rupture.
Les paramètres de mesure qui permettent de déterminer la sensibilité d'un plastique à une réduction de la température sont la T_v et la température de fragilité (T_{fr}), soit la température de fragilité, celle où se produit une défaillance du plastique soumis à un impact dans des conditions particulières. À des températures inférieures à la T_{fr}, le plastique subit une rupture, ce qui n'est pas le cas à des températures supérieures à la T_{fr}.
Voici une liste des plages de températures d'intérêt, en ce qui a trait aux effets des diminutions de température sur les propriétés physiques des plastiques :

- de 15 à 4 °C, pour des objets qui passent de la température ambiante à un milieu présentant des conditions d'entreposage fraîches, comme dans des réfrigérateurs;
- de 4 à -20 °C, pour des objets qui passent d'un milieu de conditions d'entreposage fraîches à un milieu de conditions d'entreposage froides, comme dans des congélateurs;
- températures inférieures à -20 °C, pour des objets entreposés à l'extérieur ou à l'intérieur de pièces d'entreposage non chauffées, soit à des températures inférieures à celles des congélateurs.

Le tableau 7 contient des données sur la sensibilité des propriétés physiques des plastiques à une diminution de la température, en fonction de la T_v et de la T_{fr}.

Tableau 7 : Sensibilité des propriétés physiques des plastiques (par exemple, leur rigidité et leur résistance) à une diminution de la température

Niveau de sensibilité des propriétés physiques à une diminution de la température	**Plastiques dont la T_v se trouve dans la plage de diminution de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_v du plastique*.**	**Plastiques dont la T_{fr} se trouve dans la plage de diminution de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_{fr} du plastique*.**
Sensibilité élevée La déformation peut se produire dans la plage de températures de 20 à 15 °C (des fluctuations « normales » en été dans une pièce sans système de chauffage, de ventilation ou de climatisation). Comme ces plastiques ont une T_v et une T_{fr} légèrement inférieures à la température ambiante, une légère diminution de la température peut faire augmenter leur rigidité, leur fragilité et leur sensibilité à la rupture.	Température proche de la température ambiante T_v située entre 15 °C et 20 °C Aucun plastique n'est caractérisé par une $T_v$comprise dans cette plage de températures.	Température proche de la température ambiante T_{fr} située entre 15 °C et 20 °C PMP (20) PS (20) PSC (20) PMAM (20) SAN (20)
Sensibilité moyenne La déformation peut se produire dans la plage de températures de 15 à 4 °C (passage de la température ambiante à des conditions d'entreposage fraîches). Comme ces plastiques présentent une T_v et une T_{fr} situées entre la température ambiante et la température caractéristique des conditions fraîches (réfrigérateur) et froides (congélateur), il y a augmentation de leur rigidité, de leur fragilité et de leur sensibilité à la rupture, et ils peuvent être endommagés s'ils sont déplacés dans des conditions d'entreposage fraîches ou froides.	Entreposage dans des conditions fraîches (réfrigérateur) T_v située entre 4 °C et 15 °C Aucun plastique n'est caractérisé par une $T_v$comprise dans cette plage de températures. Entreposage dans des conditions froides (congélateur) T_v située entre -20 °C et 4 °C (comprend les plastiques sensibles à l'entreposage dans des conditions fraîches	Entreposage dans des conditions fraîches (réfrigérateur) T_{fr} située entre 4 °C et 15 °C Aucun plastique n'est caractérisé par une T_{fr}comprise dans cette plage de températures. Entreposage dans des conditions froides (congélateur)

Tableau 7 : Sensibilité des propriétés physiques des plastiques (par exemple, leur rigidité et leur résistance) à une diminution de la température

Niveau de sensibilité des propriétés physiques à une diminution de la température	Plastiques dont la T_v se trouve dans la plage de diminution de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_v du plastique*.	Plastiques dont la T_{fr} se trouve dans la plage de diminution de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_{fr} du plastique*.
	comme celles d'un réfrigérateur) POM (-15) PCVD (-15) PE (-20) PP (-10 à -20) PFV (-20)	T_{fr} située entre -20 °C et 4 °C PA (0) ABS (0) PP (0 à -18)
Faible sensibilité T_v < -20 ºC (T_v inférieure à la température d'un congélateur) (le plastique est alors toujours à l'état caoutchouteux) Les plastiques dont la T_v est inférieure à la température d'un congélateur sont toujours à l'état caoutchouteux à toute température supérieure à celle d'un congélateur, et ils ne subissent donc pas une transition vitreuse lors du passage de la température ambiante à des conditions d'entreposage fraîches ou froides.	T_v inférieure à -20 ºC PCV plastifié (-27,5) PFVD (-33,5) CC (-45,5) EAV (-48) PUR élastomères (-48) POM (-55) CB (-68) CN (-70,5) CI (-80,5) CB (-90) SI (-98) PE (PEBDL, PEBD, PEHD) (-110)	T_{fr} inférieure à -20 ºC PCV (-30) PTE (-40) PUR élastomères (-51) CAB (-54) POM (-55) CSB (-62) caoutchouc naturel (-62) CEPD (-68) SI (-68) PUR (-70) PA (-80) PE (PE, PEHD, PEBD, PER) (-100 à -120) PC (-135) Polymères fluorés (ECTFE, ETFE, PTFE, PFA, EPF) (-75 à -

Tableau 7 : Sensibilité des propriétés physiques des plastiques (par exemple, leur rigidité et leur résistance) à une diminution de la température		
Niveau de sensibilité des propriétés physiques à une diminution de la température	**Plastiques dont la T_v se trouve dans la plage de diminution de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_v du plastique*.**	**Plastiques dont la T_{fr} se trouve dans la plage de diminution de la température indiquée Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de la T_{fr} du plastique*.**
		270)
*Les valeurs de T_v et de T_{fr} sont des moyennes pour tous les plastiques de cette catégorie. Chaque type de plastique peut en fait comporter une vaste gamme de valeurs distinctes.		

Conditions relatives à l'entreposage des objets dans un milieu frais (à 4 ºC, dans un réfrigérateur) ou dans un milieu froid (à -18 ºC, dans un congélateur horizontal)

L'entreposage des objets dans un milieu frais ou froid ne doit être utilisé que dans le cas des plastiques pour lesquels les avantages liés à la réduction de la vitesse des réactions d'oxydation et d'hydrolyse l'emportent sur les risques de dommages physiques causés par la perte de souplesse et les contraintes produites par le rétrécissement du matériau; ces plastiques comprennent les esters de cellulose, la mousse de PUR, le caoutchouc naturel et, peut-être, les polyoléfines. Afin d'éviter que ces objets ne fléchissent, il faut toujours les soutenir avec des supports matelassés faits de matériaux inertes.

Avant de les mettre en réserve dans des conditions fraîches ou froides, les objets doivent être placés dans des sacs, de préférence avec un matériau servant de tampon contre les variations de l'humidité (par exemple, un carton); il faut ensuite évacuer le plus d'air possible des sacs afin de réduire au minimum le volume d'air libre restant. L'emploi de sacs et de matériaux tampons contre les variations de l'humidité prévient les dommages causés par la condensation lorsque les objets passent d'un milieu froid à un milieu chaud. Les méthodes de mise en œuvre de l'entreposage des objets dans des conditions fraîches et froides sont traitées dans la section Stratégies de réduction des risques pour les collections mixtes contenant des plastiques dangereux.

Il faut abaisser la température et le taux d'HR du milieu pour obtenir une réduction du processus d'hydrolyse. Comme l'entreposage à des températures fraîches (réfrigérateur) ou froides (congélateur) exige un équipement coûteux, tant à l'achat qu'à l'entretien, il peut être plus avantageux et plus rentable d'effectuer l'entreposage des objets dans un milieu sec, où l'HR est inférieure à 10 %, sans dispositif de réfrigération. Une solution simple et peu coûteuse consiste à mettre les objets dans des sacs doubles, avec des matériaux desséchants et des bandes indicatrices du taux d'HR afin d'assurer une surveillance efficace de l'HR. Selon Michalski (2000), l'entreposage à 20 ºC et à un taux d'HR de 8 % accroît d'un facteur de dix la durée de vie des objets de faible stabilité, la faisant passer de 30 à 100 ans (à 20 ºC et à un taux d'HR de 50 %) à 300 à 1 000 ans. L'accroissement de la durée de vie est encore plus important si la température est abaissée à des valeurs inférieures.

Les résultats des études de Shashoua (2004) indiquent que l'abaissement de la température réduit la perte de composés volatils comme certains plastifiants, de sorte que les plastiques fortement plastifiés comme le PCV souple bénéficient de conditions d'entreposage à une température fraîche ou froide.

Variations de la température

Les coefficients de dilatation thermique (CDT) des plastiques sont environ dix fois supérieurs à ceux des métaux et du bois et cent fois supérieurs à ceux des céramiques. Les variations de la température imposent des contraintes physiques aux objets en plastique sous tension en raison de ces CDT élevés. Des variations abruptes, d'aussi peu que 5 ºC, peuvent produire des contraintes autour des dispositifs de fixation ou des joints d'assemblage avec d'autres matériaux. Le gel peut avoir des conséquences catastrophiques pour un tel plastique soumis à toute tension. Lorsqu'un objet provient d'un milieu aux conditions d'entreposage froides ou qu'il y est placé, sa vitesse de refroidissement ou de réchauffement devrait être régulée de sorte que la différence de température maximale entre les composants de l'objet (par exemple, la surface et le centre de l'objet) est inférieure à une plage de 6 à 10 °C, et ce, afin de prévenir la condensation (Padfield, 2002). L'importance d'assurer de faibles taux de variation de la température est encore plus cruciale dans le cas d'objets plus épais, car plus de temps est nécessaire pour atteindre un équilibre thermique dans toute l'épaisseur de l'objet. Shashoua (2005) n'a observé aucun signe de dommage physique important ou de condensation dans le cas d'objets à paroi mince (épaisseur < 1 cm [0,4 po]) qui ont été refroidis de la température ambiante à celle d'un congélateur à une vitesse de refroidissement non régulée. Des signes de condensation ont toutefois été observés dans le cas d'objets à paroi épaisse (épaisseur > 1 cm [0,4 po]) lorsque la différence de température entre le centre et la surface de l'objet était supérieure à 10 °C. Il faut prendre les mesures nécessaires pour garantir des variations lentes et régulées de la température en assurant une variation graduelle de la température externe.

Recommandations

- Traiter les réactions possibles des plastiques à la température de façon similaire aux réactions des matériaux organiques naturels.
    - Éviter les lampes qui dégagent de la chaleur (par exemple, les lampes à réflecteurs utilisées pour la photographie et les expositions).
    - Éviter de placer les objets près de sources de chaleur intense (par exemple, les radiateurs et les conduits d'air chaud).
    - Éviter l'emploi de pratiques d'entreposage ou d'exposition qui favorisent le réchauffement des objets.
- Abaisser la température afin de réduire la vitesse des réactions de dégradation, la vitesse de libération de composants volatils, comme des plastifiants, et l'importance du fluage et de la distorsion.
    - Éviter de soumettre à une flexion les plastiques qui deviennent plus fragiles à la suite d'une baisse de la température.
    - Utiliser des supports matelassés rigides de forme adéquate pour des objets froids.
- Éviter les fluctuations de la température afin de réduire les risques de dommages causés par la fissuration sous contrainte des composants de plastique sous tension.

Humidité relative inadéquate

Le taux d'absorption d'eau des plastiques est faible et se situe entre 0 et 10 % en cas d'immersion. L'absorption d'eau par échange avec l'HR ambiante est encore plus faible; pour la plupart des plastiques, le taux d'humidité d'équilibre avec un milieu dont l'HR est de 50 % varie de 0 à moins de 5 %. Toute augmentation de l'HR entraîne un accroissement de la teneur en eau des plastiques; ceux-ci gonflent, deviennent plus souples (c'est-à-dire que leur valeur de T_v diminue) et leur résistance diminue; de plus, la vitesse des réactions chimiques comme l'hydrolyse augmente. Les conditions

humides favorisent la formation de moisissures. Le taux d'humidité des plastiques diminue avec l'accroissement de la température, c'est-à-dire qu'ils s'assèchent lorsqu'ils sont chauffés. L'importance de ces changements varie selon la nature des plastiques.

Conditions humides : humidité relative supérieure à 65 %

Un milieu présentant des conditions humides est caractérisé par une HR élevée, mais les objets qui s'y trouvent ne sont pas mouillés (autrement dit, leur surface n'est pas recouverte d'une couche liquide d'eau). Les conditions humides favorisent la formation de moisissures si des substances nutritives adéquates sont présentes, par exemple des protéines solubles, des amidons ou des sucres. Le tableau 1 sur la page Web Agent de détérioration : humidité relative inadéquate contient une liste des niveaux de sensibilité aux moisissures de différents types d'objets de musée. Comme les polymères synthétiques ne constituent pas une substance nutritive, la formation de moisissures se produira exclusivement si, d'une part, des saletés nutritives comme des huiles se trouvent à la surface de l'objet ou si le plastique contient des substances nutritives telles qu'un bouche-pores ou des plastifiants comme le sébacate de diéthyle, et, d'autre part, si le taux d'humidité est assez élevé : si ces deux conditions sont réunies, le plastique affichera une sensibilité supérieure à la moyenne quant à la formation de moisissures. La plupart des plastiques ont une sensibilité inférieure à la moyenne.

Les dommages causés par les moisissures se limitent généralement aux changements d'aspect inesthétiques de l'objet, notamment la formation de taches, qui peut être accompagnée de légères piqûres sur une mince couche superficielle, attribuables aux hyphes qui y pénètrent. Pour plus d'information sur les méthodes permettant de régler les problèmes de moisissures, consulter Apparition de moisissures – Mesures d'intervention rapide. Il est possible de prévenir la formation de moisissures en maintenant le taux d'HR à moins de 65 %. L'entreposage des objets à une HR supérieure à 65 % ne présente aucun avantage, tandis que leur entreposage à une HR inférieure ne présente que peu de risques; il est donc préférable de toujours maintenir le taux d'HR à moins de 65 %.

Humidité relative supérieure à 0 %

Hydrolyse

Certains plastiques, particulièrement ceux à base d'esters (NC, AC, PAVC), d'amides (protéines, PA) et d'uréthanes (PUR), subissent une dégradation par hydrolyse, une réaction avec l'eau présente dans le plastique. Le processus d'hydrolyse est accéléré dans des conditions acides comme celles résultant de la pollution. La vitesse d'hydrolyse peut être réduite en diminuant le taux d'HR. Selon une règle empirique, la vitesse d'hydrolyse peut être réduite de plus de la moitié chaque fois que l'HR est réduite de moitié. Elle est réduite d'un facteur bien supérieur à deux chaque fois que le taux d'HR est réduit de moitié lorsque l'HR est inférieure à 25 %. De plus, la réduction du taux d'HR devient de plus en plus efficace pour abaisser la teneur en eau lorsque le taux d'HR est inférieur à environ 10 %. À force de réduire la teneur en eau, la quantité d'eau disponible est si faible que la réaction d'hydrolyse ne se produit pas.

Le PTE, par exemple, subit l'hydrolyse à certaines températures de transformation s'il n'est pas sec. Selon les recommandations du fabricant de la pellicule de PTE Mylar de DuPont Teijin, lors de la transformation du produit, sa teneur en eau doit être inférieure à 0,1 %, ce qui correspond à des conditions où le taux d'HR est d'environ 10 %. Le fabricant indique que la quantité d'eau présente dans le produit doit être supérieure à cette valeur avant que la pellicule ne soit fragilisée par hydrolyse (DuPont, 2003). Un taux d'HR de 10 % peut donc être considéré comme une valeur maximale critique au-dessous de laquelle l'hydrolyse ne se produira pas.

Le tableau 8 contient des données sur la sensibilité des plastiques à l'hydrolyse, à la température ambiante.

Tableau 8 : Sensibilité des plastiques à l'hydrolyse, à la température ambiante	
Niveau de sensibilité à l'hydrolyse, à la température ambiante	**Plastiques sensibles à l'hydrolyse**
Sensibilité élevée	AC, ABC, NC, UF
Sensibilité moyenne	PA 6, PA 6.6, POM, mousse de PUR (de type polyéther), mousse de PUR (de type polyester), caoutchouc (naturel, durci), CF, MF
Faible sensibilité	EP, PAN, PC, PE, PTE, PF, PMAM, polyester (non saturé), PP, PS, PTFE, PCV, SI

La teneur en eau des plastiques diminue à mesure que le taux d'HR est réduit; les plastiques deviennent alors plus cassants, plus fragiles et plus sensibles à la rupture. La fragilité accrue de ces objets en plastique à de faibles taux d'HR exige d'adopter les mesures couramment utilisées pour les objets fragiles, en les manipulant avec grand soin et en leur assurant un support supplémentaire. Les avantages liés à la réduction de la vitesse des réactions de dégradation en réduisant le taux d'HR l'emportent sur les risques associés à la fragilité accrue de l'objet, laquelle peut être maîtrisée en adoptant des pratiques de manipulation pertinentes et en utilisant des supports adéquats. Pour plus d'information sur les supports pour objets de musée, consulter le document intitulé *Supports pour objets de musée : de la conception à la fabrication* (Barclay et coll., 1998).

Gonflement

Le gonflement d'un objet attribuable à son absorption d'humidité est quantifié à l'aide du coefficient de dilatation hygroscopique (CDH), qui est aussi appelé « coefficient de gonflement ». Il s'agit du rapport entre le gonflement et la variation de l'HR, calculé d'après les unités de gonflement (cm) par les unités de la longueur initiale (cm) par le pourcentage d'HR (ou simplement en calculant un rapport de microdéformation/% d'HR, où la [déformation] = [variation de longueur]/[longueur initiale]). Le tableau 9 contient des données sur la sensibilité des plastiques à la dilatation hygroscopique (ou gonflement).

Les plastiques gonflent uniquement s'ils absorbent de l'humidité. L'une des méthodes couramment utilisées pour mesurer l'absorption d'humidité consiste à déterminer la variation du poids d'un objet qui a été immergé dans l'eau pendant 24 heures. Ces données peuvent donc être utiles pour établir la sensibilité des plastiques aux dommages causés par une inondation. Les données sur l'absorption d'eau par les plastiques se trouvent dans le tableau 9.

Tableau 9 : Sensibilité des plastiques à la dilatation à l'humidité et absorption d'eau, après une période d'immersion de 24 heures		
Niveau de sensibilité à la dilatation à l'humidité et à l'absorption d'eau	**Plastiques qui gonflent** **Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de CDH du plastique, sous forme de rapport microdéformation/% d'HR*.**	**Absorption d'eau par les plastiques (en %), après une période d'immersion de 24 h** **Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur de l'augmentation du poids (en %) du plastique, après une immersion de 24 h*.**
Faible	PS (0 à 2)	PEHD (0,0075)

Tableau 9 : Sensibilité des plastiques à la dilatation à l'humidité et absorption d'eau, après une période d'immersion de 24 heures

Niveau de sensibilité à la dilatation à l'humidité et à l'absorption d'eau	Plastiques qui gonflent Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de CDH du plastique, sous forme de rapport microdéformation/% d'HR*.	Absorption d'eau par les plastiques (en %), après une période d'immersion de 24 h Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur de l'augmentation du poids (en %) du plastique, après une immersion de 24 h*.
	polymères fluorés (0,6) PC (0,8) PCV-PACV (6) PTE (6) PF, moulé, laminé (8 à 9) UF (11) PMAM (16) PBV (20)	PEBDL (0,0075) PEPMTE (0,0075) PTFE (0,0075) PER (0,0075) CCO (0,01) EPF (0,01) PEBD (0,01) PMP (0,01) PFA (0,02) caoutchouc, durci (0,02) PS (0,025) ETFE (0,03) PCTFE (0,03) PFVD (0,04) PP (0,055) EAV (0,068) PCVC (0,085) ECTFE (0,1) PSC (0,1) PCVD (0,1)
Moyen	POM (23) PF, moulé (30 à 40) éthylcellulose (32 à 48) ABC (35) NC (40 à 42) TAC (42) PMAM (42) UF, moulée (70)	PTB (0,15) PC (0,15) PTE (0,15) PCV rigide (0,22) SAN (0,225) PMAM (0,25) PAN (0,3) POM (0,325) MF (0,4) PF (0,4) PA 6.10 (0,5) PCV plastifié (0,6)

Tableau 9 : Sensibilité des plastiques à la dilatation à l'humidité et absorption d'eau, après une période d'immersion de 24 heures

Niveau de sensibilité à la dilatation à l'humidité et à l'absorption d'eau	Plastiques qui gonflent Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur particulière de CDH du plastique, sous forme de rapport microdéformation/% d'HR*.	Absorption d'eau par les plastiques (en %), après une période d'immersion de 24 h Les nombres entre parenthèses indiquent la valeur de l'augmentation du poids (en %) du plastique, après une immersion de 24 h*.
		PUR (0,8) ABS (0,93)
Élevé	AC (120) CF (1100)	PA 1.2 rigide (1,15) PA 11 souple (1,2) PI (1,39) PA 11 rigide (1,4) PA 1.2 souple (1,4) UF (1,5) ABC (1,55) PA 6 (1,75) PA 6.6 (2) PACV (2) NC (2) PrC (2,1) DAC (2,15) PA 4.6 (2,5) AC (4,45) EVOH (8) CF (8) CSB (13)

*Les valeurs de CDH et d'absorption d'eau sont des moyennes pour tous les plastiques de cette catégorie. Chaque type de plastique peut en fait comporter une vaste gamme de valeurs distinctes.

Il convient de noter que la valeur typique de CDH des plastiques (inférieure à 200) est beaucoup moins élevée que celle des matières biologiques naturelles comme l'ivoire (205), la peinture à l'huile (248) et le bois (de 400 à 700). Les plastiques, à l'exception de la CF, sont beaucoup moins sensibles au gonflement que les matières biologiques naturelles.

Plastification causée par l'humidité

L'eau provoque la plastification des plastiques, c'est-à-dire que leur T_v diminue à mesure que le taux d'HR augmente; par conséquent, leur souplesse s'accroît et leur résistance diminue. Les variations de la résistance du matériau peuvent être soudaines si la T_v est abaissée jusqu'à la température ambiante. La perte de résistance causée par l'augmentation du taux d'HR peut provoquer des défaillances, notamment dans les cas de dispositifs porteurs comme des fils de nylon auxquels sont suspendus des objets dans une vitrine ou des entretoises en plastique ou encore des adhésifs dans les

supports. Les défaillances peuvent être graduelles, comme lorsque les fils s'allongent par l'entremise de mécanismes de fluage, ou catastrophiques, comme lorsque leur résistance devient inférieure à la résistance à la rupture. La formation de contraintes peut être attribuable au poids intrinsèque des objets et des composants.

Déliquescence des accrétions

Certains plastiques, en particulier le caoutchouc durci hautement vulcanisé (ébonite, vulcanite), le NC et le AC, subissent une dégradation par hydrolyse et produisent des produits de dégradation ioniques (sulfates, nitrates et acétates), lesquels peuvent à leur tour réagir avec des polluants atmosphériques ou des composés présents dans le plastique ou dans des matériaux environnants et produire des accrétions déliquescentes (par exemple, sulfate d'ammonium, nitrate d'ammonium, nitrate de calcium et acétate d'ammonium) (figure 3). Lorsque le taux d'HR est supérieur à une valeur particulière à chaque sel, les sels déliquescents forment des gouttelettes de solutions salines en se dissolvant dans l'humidité atmosphérique. Les gouttelettes de solutions salines présentes à la surface des plastiques peuvent endommager d'autres objets avec lesquels elles entrent en contact. Pour plus d'information sur le phénomène de déliquescence, consulter la sous-sectionsection « Les cas où l'HR est supérieure ou inférieure à une valeur critique particulière » de la section La détérioration causée par une humidité relative inadéquate et un survol des collections les plus sensibles dans Agent de détérioration : humidité relative inadéquate.

Les plastiques ne subissent pas eux-mêmes de déliquescence, ce qui signifie que les risques de cette nature existent exclusivement si des accrétions déliquescentes sont présentes sur l'objet en plastique.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0029

Figure 3. Le soufre présent dans le caoutchouc durci (ébonite, vulcanite) s'oxyde à l'air et libère des oxydes de soufre gazeux qui réagissent avec l'humidité atmosphérique et produisent des solutions acides à la surface du caoutchouc durci. Les acides qui entrent en contact avec des métaux réagissent et forment des dépôts ainsi que des accrétions de produits de corrosion. Ceux-ci sont souvent déliquescents et se dissolvent dans l'humidité absorbée, à des valeurs d'HR supérieures à la valeur critique d'HR de déliquescence, pour ensuite former des flaques qui se dispersent à la surface du métal. Lorsque la valeur d'HR diminue et se situe au-dessous de la valeur critique, les flaques s'assèchent et forment des accrétions solides de produits de corrosion.

Variations de l'humidité relative

Pour une discussion détaillée sur les effets des variations de l'HR, consulter la sous-section « Les variations de l'humidité relative » de la section La détérioration causée par une humidité relative inadéquate et un survol des collections les plus sensibles dans Agent de détérioration : humidité relative inadéquate.

Vitesse d'absorption de l'humidité dans le cas de variations de l'humidité relative
Les variations de l'HR causent des dommages structuraux à l'objet uniquement si l'absorption ou la désorption de l'eau par le plastique se fait assez rapidement pour qu'une variation importante de la teneur en eau survienne durant la période de variation de l'HR. Par exemple, le nylon est considéré comme un plastique sensible à l'humidité, avec une teneur en eau de 2,75 % à un taux d'HR de 50 %; la vitesse d'absorption de l'eau ou de variation de la teneur en eau est donc très faible durant la période de variation de l'HR. Des variations de l'HR qui se produisent en quelques heures ou sur une base quotidienne ou hebdomadaire, voire mensuelle, auront peu d'effets sur la teneur en eau du plastique, et ce, même si ces variations sont de l'ordre de 50 %.

Recommandations

- Éviter les taux d'HR élevés qui peuvent entraîner la formation de moisissures. Pour en savoir davantage, consulter Agent de détérioration : humidité relative inadéquate.
- Réduire le taux d'HR.
    - Une faible HR est préférable à une HR élevée dans le cas de tous les plastiques, car la vitesse des réactions d'hydrolyse est réduite dans ces conditions.
    - Considérer les plastiques secs comme des objets fragiles et, conséquemment, les manipuler avec soin, éviter de les soumettre à une flexion et utiliser des supports matelassés rigides ayant une forme adéquate.
    - Comme l'électricité statique est plus importante à faible HR, porter une attention particulière à l'accumulation de poussière ainsi qu'à l'altération des surfaces et des couches fibreuses et pulvérulentes.
- Éviter les grandes variations de l'HR.
    - Voilà une façon de prévenir la fissuration des plastiques qui réagissent à l'humidité.
    - Les variations de l'HR peuvent provoquer le faïençage de la surface des objets en UF.
    - Des valeurs élevées d'HR peuvent provoquer le gonflement et le gauchissement des objets en CF.

Stratégies de réduction des risques pour les collections mixtes contenant des plastiques dangereux
Inutile de paniquer s'il s'avère qu'une collection contient des objets en plastique, peu importe s'ils sont nombreux et que certains peuvent avoir un aspect repoussant! La plupart des plastiques ne sont pas dangereux et ceux qui le sont ne vont pas nécessairement avoir des effets immédiats sur les autres objets, même s'ils ont l'air souillés, jaunis ou craquelés. Il convient plutôt de suivre les directives suivantes :

- Identifier les plastiques qui sont réellement dangereux et les remiser dans une aire ventilée en attendant de pouvoir s'en occuper.
- Identifier les plastiques qui sont potentiellement dangereux et prendre les mesures nécessaires pour vérifier leur état à intervalles réguliers.
- Choisir une des solutions indiquées à l'étape 4, en tenant compte des besoins propres aux articles isolés.

Stratégies de base pour la réduction des risques

- Utiliser des pellicules barrières pour isoler les composants en plastique dangereux des autres composants d'un objet (par exemple, placer un morceau de feuille en PTE entre les boutons et le tissu de costumes ou encore entre un isolateur en ébonite et un conducteur en laiton d'un appareil télégraphique).
- Ne pas encapsuler ou mettre dans des sacs scellés des plastiques qui libèrent des produits de dégradation, car ces conditions catalysent la dégradation.
- Retirer les composants en plastique dangereux des objets et les remplacer par des répliques en plastique

inoffensif (par exemple, remplacer les renforts en NC présents dans les vêtements par des répliques en PTE).

Stratégies optimales pour la réduction des risques

- Empêcher les émissions de polluants issues d'objets en plastique de la collection en séparant les objets comportant des plastiques dangereux qui libèrent des produits nocifs, en assurant une ventilation adéquate et en utilisant des sorbants pour capter les gaz.
- Assurer la ventilation adéquate des réserves afin de prévenir l'accumulation d'émissions nocives qui peuvent catalyser les réactions de dégradation.
- Utiliser des papiers et des rubans indicateurs imprégnés de rouge de crésol ou de vert de bromocrésol pour identifier et surveiller les objets en NC ou en AC qui libèrent des produits nocifs dans les aires d'exposition et de réserve (pour plus d'information, consulter les méthodes décrites dans la section Utilisation et préparation du rouge de crésol et du vert de bromocrésol modifié comme indicateurs).
- Mettre en réserve et exposer les objets aux plus basses températures possibles, en évitant les fluctuations de la température.

Dans de nombreux cas, l'objet qui a été placé dans une enceinte adéquate peut alors être remis dans l'aire de réserve où il se trouvait. L'établissement d'un ordre des priorités permet de réduire les risques associés aux plastiques qui se dégradent, sans avoir recours à des espaces de rangement, à de la main-d'œuvre ou à du matériel supplémentaires. Les ressources allouées à l'entretien des collections sont généralement gaspillées lorsqu'elles sont investies dans la conservation de plastiques irrécupérables, c'est-à-dire ceux qui présentent des dommages irréversibles évidents. Il vaut mieux consacrer ces précieuses ressources aux objets en plastique qui peuvent être restaurés. Les directives ci-dessous, présentées en cinq étapes, peuvent s'avérer extrêmement utiles dans ce cas.

Cinq étapes de réduction des risques associés aux plastiques dangereux présents dans les collections mixtes

Étape 1 : Retirer de la collection les plastiques qui sont visiblement dangereux

- Si un plastique cause des dommages évidents aux objets voisins et aux matériaux d'entreposage, c'est-à-dire que ceux-ci subissent une corrosion ou une altération de leurs couleurs, sont poisseux ou fragilisés.

Ou

- Si le plastique en question dégage une odeur acide ou soufrée, ou qu'il suinte ou se désagrège ou présente des signes d'exsudation ou d'efflorescence :
    a. Retirer les objets en plastique de la collection et les isoler dans une aire ventilée où les conditions ambiantes sont fraîches (par exemple, dans une hotte de laboratoire ou un porche ombragé), en attendant de pouvoir s'en occuper (étapes 3 et 4). Les manipuler avec soin, car ils sont probablement fragiles et leur surface peut être très acide. Stabiliser tout composant en mousse qui se désagrège ou tout morceau de plastique friable montrant des signes de rupture, afin que la manipulation et le déplacement de l'objet ne les endommagent pas encore plus.
    b. Nettoyer la zone touchée, y appliquer une feuille en PTE et remplacer les matériaux d'entreposage contaminés.
    c. Exécuter tout traitement de conservation requis pour les objets endommagés qui ne sont pas en plastique.
- Si un plastique semble intact et ne dégage aucune odeur, et qu'il ne cause aucun dommage évident aux objets voisins, passer à l'étape 2.

Étape 2 : Vérifier l'état des plastiques non détériorés afin de déterminer s'ils libèrent des produits acides

Dans bien des cas, la détérioration est indétectable, car elle se trouve à un stade précoce. Vérifier l'état de chaque

plastique à l'aide d'indicateurs afin de pouvoir détecter et contrôler la libération de produits nocifs avant que ceux-ci ne puissent causer des dommages. Pour que les émissions puissent être détectées, il faut que les objets soient exposés à l'indicateur pendant au moins 24 heures.

- Les essais réalisés avec le rouge de crésol permettent de détecter la présence d'acides oxydants forts comme ceux que dégage le NC.
- Les essais réalisés avec du papier imprégné de vert de bromocrésol modifié (bandelettes « A-D ») permettent de détecter la présence d'acides organiques faibles et celle de l'acide sulfureux, de l'acide sulfurique et de l'acide chlorhydrique; de plus, les bandelettes réagissent en présence de plastiques contaminés par des émissions de produits acides dues à de piètres conditions d'entreposage. Ces essais doivent être effectués dans le noir, car les bandelettes A-D pâlissent facilement à la lumière et prennent une couleur verdâtre pâle qui peut, dans bien des cas, être incorrectement interprétée comme une lecture positive de présence d'acide. Le vert de bromocrésol, qui est rapidement blanchi par des agents oxydants, a donc des applications restreintes en matière de surveillance de l'état de plastiques à base de NC (pour plus d'information, consulter les méthodes décrites dans la section Utilisation et préparation du rouge de crésol et du vert de bromocrésol modifié comme indicateurs).
    - Si le rouge de crésol vire du jaune au rose, isoler l'objet en plastique en le plaçant dans un endroit frais, ventilé et à l'écart (voir ci-dessus) en attendant de pouvoir s'en occuper. Un tel résultat indique que l'objet constitue déjà un risque sérieux pour la collection. Passer à l'étape 4.
    - Si la bandelette A-D vire du bleu au vert, puis au jaune, isoler l'objet dans un endroit frais et bien ventilé et passer à l'étape 4.
    - Si aucun des indicateurs ne change de couleur, laisser les objets en plastique en réserve et passer à l'étape 3.

Étape 3 : Identifier les plastiques potentiellement dangereux

À ce stade, les objets qui présentent des signes évidents de détérioration et ceux qui sont composés de plastiques ayant des effets nocifs actifs auront déjà été retirés de la collection, et les plastiques qui restent seront considérés (pour le moment) comme des matériaux inactifs. Afin d'alléger la charge de travail à l'avenir, il serait utile d'identifier les plastiques potentiellement dangereux, plutôt que les plastiques inoffensifs, étant donné que ces derniers ne nécessiteront aucune mesure de surveillance particulière. Il faut d'abord concentrer les efforts sur l'identification de tous les objets contenant du NC, car ils sont les plus dangereux au sein des collections et qu'ils nécessitent un traitement particulier. Heureusement, ce plastique est aussi l'un des plus faciles à identifier au moyen d'essais ponctuels.

L'identification fiable de plastiques au moyen d'essais ponctuels exige de la pratique; en cas de doute, sauter l'étape 3 et faire, tous les six mois, une nouvelle mise à l'essai de tous les plastiques en utilisant les indicateurs, selon les indications de l'étape 2.

En effectuant des analyses ou en réalisant des essais ponctuels (consulter le tableau 3), déterminer quels objets sont composés de plastiques dangereux.

- Si le plastique est du NC, laisser l'objet en réserve, en plaçant un dispositif de surveillance basé sur le rouge de crésol (figure 4). Vérifier les résultats tous les six mois et remplacer le dispositif de surveillance tous les deux à trois ans.
- Si le plastique fait partie des cinq autres matériaux les plus dangereux, laisser l'objet en réserve et faire de nouvelles mises à l'essai, tous les six mois, en utilisant des indicateurs neufs. (Contrairement aux dispositifs basés sur le rouge de crésol, les bandelettes A-D ne peuvent pas être utilisées comme agents de surveillance de référence.)

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0087
Figure 4. Des cordelettes imprégnées de rouge de crésol servent de dispositif de surveillance de référence dans une enceinte d'entreposage. Cette méthode, qui consiste à tendre le dispositif de surveillance au-dessus des objets d'une collection mixte, constitue un outil inestimable dans les cas où la présence de NC n'a pas encore été clairement établie, mais où elle est très probable (par exemple, des collections d'éventails, de sacs à main, de chapeaux, de pierres semi-précieuses). L'accès aux objets est toujours possible, sans avoir à retirer les dispositifs de surveillance.

Étape 4 : Prendre les mesures nécessaires relatives aux plastiques corrosifs

Une fois que la surveillance des plastiques conservés en réserve a été assurée, il convient d'examiner de nouveau les objets qui ont été isolés de la collection. Il existe plusieurs approches de mise en réserve qui peuvent être adoptées, selon la nature, la taille et la résistance de l'objet en plastique. Comme les objets en caoutchouc et ceux fortement plastifiés peuvent se ramollir et devenir poisseux, il faut assurer à ces objets un support adéquat et, au besoin, utiliser des feuilles intercalaires en matériau antiadhésif comme la SI. Les précautions adéquates peuvent être sélectionnées à partir des options suivantes :

Entreposage dans des conditions fraîches (4 °C) et froides (-18 °C)

Les basses températures réduisent la vitesse des réactions chimiques et, de ce fait, la détérioration des matériaux et leurs émissions, ce qui constitue un milieu d'entreposage adéquat pour les esters de cellulose sensibles à l'hydrolyse et les plastiques sensibles à l'oxydation thermique. La diminution de la vitesse de dégradation chimique permet de réduire les contraintes physiques qui accompagnent la dépolymérisation des plastiques et leur perte de stabilisants; l'objet peut ainsi résister à l'altération et être exposé pendant de plus longues périodes.

La partie réfrigérateur d'un réfrigérateur sans givre et une chambre froide à basse HR offrent toutes deux des conditions d'entreposage fraîches (environ 4 °C), à l'abri de la lumière. L'entreposage d'un objet à 4 °C accroît sa durée de vie d'un facteur d'environ 10, comparativement à la température ambiante, mais il ne rend pas la vitesse de détérioration nulle, et il faut donc combiner cette approche à une méthode qui permet d'éliminer les émissions des matériaux.

L'entreposage dans des conditions froides, dans des congélateurs domestiques dont la température est habituellement maintenue au-dessous de -18 °C, permet de réduire la vitesse des réactions et d'augmenter d'environ 250 fois la durée de vie des objets.

L'entreposage des objets dans des conditions fraîches ou froides est utile dans le cas des objets de petite taille, composés d'un seul plastique non soumis à des tensions, par exemple des colliers en ébonite moulée, des ceintures en PCV et des marionnettes en caoutchouc mousse ou en PUR. Les objets composites dont les constituants sous tension présentent des CDT différents sont soumis à des risques de fracture, mais cela arrive rarement. Les avantages de l'entreposage à basse température l'emportent sur les risques de dommages thermiques. La méthode est souvent employée pour prévenir la dégradation des négatifs à base de nitrate, d'acétate ou de propionate, en attendant de

pouvoir les copier sur un support moins réactif. Pour de plus amples détails à ce sujet, consulter la section Température inadéquate.

Les objets conservés dans des conditions d'entreposage fraîches ou froides doivent être placés dans des contenants à l'épreuve de l'eau afin de réduire au minimum les variations de l'humidité à proximité des objets. Les contenants en verre étanches ou ceux en plastique à l'épreuve de l'eau, ainsi que les sacs doubles, comme les sacs de congélation en PE ou en PTE, constituent tous des contenants adéquats. Les plastiques étant plus fragiles à froid, il faut aussi employer des boîtes et des plateaux bien matelassés. Les absorbants et les tampons, tels que le gel de silice sec servant de matériau indicateur ou le carton de qualité archives, doivent occuper environ le tiers du volume libre restant dans le contenant.

Le gel de silice qui sert de matériau indicateur conserve sa couleur caractéristique de l'état sec tant que l'air du contenant est exempt d'humidité. Si le gel de silice vire à sa couleur caractéristique de l'état humide, il faut le remplacer et en préparer d'autre. Le gel qui a changé de couleur doit être éliminé et il ne faut pas essayer de le régénérer, car il est généralement contaminé par les produits volatils libérés par les plastiques, dont l'élimination entière est difficile. Une surveillance de l'état du gel de silice doit être effectuée au moins une fois l'an.

Les emballages comme ceux recommandés pour l'entreposage à froid des photographies constituent des solutions adéquates. Bigelow (2004) fournit une description des méthodes efficaces d'entreposage à froid et du matériel connexe. Il vaut mieux laisser les objets dans leur contenant avant de les manipuler ou de les exposer à l'air ambiant, afin que leurs matériaux atteignent graduellement la température ambiante et qu'ils ne soient pas endommagés par la condensation de l'humidité sur la surface trop fraîche. Afin de diminuer les contraintes thermiques lorsqu'on déplace un objet d'un milieu à un autre, il faut placer l'objet sous des couvertures thermiques ou le déposer dans une glaciaire en styromousse.

Sorbants

Certains plastiques libèrent des produits de dégradation volatils qui peuvent endommager les objets situés à proximité. Il est possible de contrôler les émissions et d'en réduire la concentration en employant des méthodes qui sont utilisées dans les installations où sont conservées les collections; pour une description des méthodes en question, consulter Agent de détérioration : polluants. Dans le cas d'objets qui libèrent d'importantes émissions ou pour maîtriser l'environnement immédiat de l'objet, il peut être nécessaire d'isoler l'objet et de le conserver dans un emballage étanche. Il faudra, le cas échéant, utiliser des sorbants qui élimineront les produits de dégradation volatils libérés par l'objet.

Les sorbants peuvent servir à éliminer les émissions, mais leur utilisation exige une bonne compréhension des limites de leurs capacités; sinon, ils peuvent se révéler tout à fait inutiles, voire causer des dommages supplémentaires. Cette approche présente des avantages majeurs : les objets dont les gaz libérés sont absorbés par un matériau dans une enceinte autonome peuvent être remis en réserve si des mesures ou des dispositifs de surveillance régulière sont mis en place.

i) Sorbants à adsorption physique (par exemple, gel de silice, charbon activé, argiles du groupe de la montmorillonite, zéolites)

Les divers sorbants piègent de manière préférentielle des composés particuliers. Pour être efficaces, ils doivent posséder une sélectivité pour des polluants donnés et une capacité d'adsorption qui leur permet de fixer de grandes quantités de ces produits. À titre d'exemple, la montmorillonite et les zéolites peuvent grandement réduire les émissions d'acide acétique et d'acide formique provenant respectivement de l'AC et de l'UF. Les sorbants à adsorption physique ont à la fois des capacités d'adsorption et de désorption, ce qui signifie que les molécules du polluant initialement adsorbées peuvent être ultérieurement libérées et remplacées par des molécules d'autres gaz, y compris celles de l'humidité ambiante; elles peuvent aussi être désorbées si la pression partielle du polluant chute et que la pression change.

Les sorbants à adsorption physique piègent aussi la vapeur d'eau. Il existe en fait une concurrence entre tous les gaz se

trouvant autour d'un sorbant à adsorption physique pour avoir accès aux sites réactifs. Dans une atmosphère composée de plusieurs constituants gazeux, la quantité adsorbée de chacun d'entre eux est à peu près proportionnelle à leurs concentrations respectives. À 50 % d'HR et à 25 °C, la concentration d'eau est d'environ 10 g/m3 (soit 10 000 mg/m3). Le seuil de perception de l'odeur de l'acide acétique correspond à une concentration de 0,04 mg/m3. Par conséquent, dans une armoire de rangement où une odeur de vinaigre est à peine perceptible, un sorbant à adsorption physique piégera surtout l'eau, et non l'acide acétique. Le corollaire de cette observation est que les sorbants à adsorption physique sont plus efficaces pour éliminer les polluants dans des conditions où les valeurs d'HR sont faibles.

Méthode

Une boîte faite d'un matériau transparent, dont la taille permet d'y insérer l'objet, ou un plateau qui sert de support à des sacs doubles en matériau étanche à la vapeur, comme le PTE, est rempli environ au tiers de son volume avec le sorbant. L'objet est placé au-dessus de ce dernier, et tout contact direct avec le sorbant est évité à l'aide d'une toile en PP enroulée sous forme de cylindre ou d'une boîte intérieure peu profonde. Un indicateur sensible au polluant est placé dans le volume libre situé au-dessus du sorbant et à proximité de l'objet, afin de surveiller la capacité de fonctionnement du sorbant et son efficacité. Le contenant extérieur est ensuite scellé.

ii) Sorbants à adsorption chimique (par exemple, produits de marque Ageless, carbonate de calcium ou métal en particules fines qui éliminent les contaminants en réagissant avec ceux-ci et qui produisent une substance de composition différente)

Le papier tamponné avec du carbonate de calcium est utilisé depuis de nombreuses années pour neutraliser les acides dégagés par les négatifs à base de NC et d'AC en les convertissant respectivement en nitrate de calcium et en acétate de calcium. Il est malheureusement peu efficace comme matériau tampon dans des conditions où les taux d'HR sont faibles, lesquels sont recommandés pour assurer la protection des plastiques; de plus, l'objet en plastique ne doit pas être en contact direct avec le tampon, car les sels de réaction sont déliquescents, c'est-à-dire qu'ils absorbent l'humidité de l'air et se liquéfient.

Les capteurs d'oxygène constituent des sorbants adéquats dans le cas des objets en PUR, des caoutchoucs et des plastiques sensibles à la photo-oxydation et à l'oxydation thermique. L'utilisation d'un matériau absorbeur d'oxygène, comme le produit Ageless, à l'intérieur d'enveloppes ou de produits d'emballage fabriqués à partir de pellicules souples en plastique imperméable à l'oxygène scellées à chaud (figures 5 à 8), est une solution simple et économique lorsqu'il faut assurer des conditions exemptes d'oxygène. L'un des inconvénients de ce produit est qu'il est difficile d'établir clairement le moment où le capteur doit être remplacé, l'indicateur Ageless Eye n'étant pas d'une très grande exactitude. Les capteurs d'oxygène ne sont pas utiles lorsque des objets en NC doivent être entreposés, car la dégradation de ce plastique produit elle-même des agents oxydants, et plus important encore, la dégradation du NC se fait en très grande partie par hydrolyse, et non pas par oxydation. La meilleure stratégie pour arrêter l'hydrolyse consiste donc à réduire l'HR du milieu ambiant.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 122641-0002
Figure 5. La première étape de la fabrication d'une enveloppe d'entreposage sans oxygène (conditions anoxiques) consiste à sceller à chaud trois des bords d'un morceau de pellicule imperméable à l'oxygène.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 122641-0001
Figure 6. Monter les objets dans un support et insérer l'ensemble dans l'enveloppe.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 122641-0005
Figure 7. Perforer un sachet d'indicateur Ageless Eye afin d'exposer le matériau à l'air ambiant et l'insérer immédiatement dans l'enveloppe qui contient les objets montés.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 122641-0006
Figure 8. Insérer un nombre déterminé de sachets de matériau absorbeur d'oxygène Ageless dans l'enveloppe, avec le sachet d'indicateur et les objets montés; sceller immédiatement à chaud le bord ouvert de l'enveloppe.

Des contenants rigides, comme des cloches en verre qui sont d'abord vidées de l'air qu'elles contiennent puis remplies de gaz inerte, peuvent être utilisés pour remplacer les emballages en plastique souple. Des vitrines hermétiques peuvent aussi être construites et remplies de gaz inerte, mais leur assemblage est complexe et il est difficile d'obtenir des joints parfaitement étanches qui empêchent toute fuite de gaz. Contacter l'ICC pour en savoir davantage sur les vitrines d'exposition étanches.

Il existe aussi des capteurs sous forme de particules métalliques, par exemple les produits de marque Corrosion Intercept, qui conviennent dans le cas des objets en UF, en PUR et en caoutchouc. De fines particules de cuivre métallique, qui sont intégrées dans une feuille de PE ou dans des sacs à fermeture par pression et glissière, servent à la fois de matériau barrière et de capteur; de cette façon, l'acide libéré par les objets conservés dans les sacs réagit avec les particules de cuivre, à mesure qu'il traverse le PE par perméation. Lorsque les particules actives de cuivre sont

épuisées, un changement de la couleur du matériau est clairement visible, celui-ci ne présentant plus la couleur typique du cuivre métallique, mais plutôt une teinte vert-noir terne, ce qui simplifie grandement la surveillance. Par contre, comme l'objet n'est pas visible, l'emballage des objets fragiles doit comporter un support adéquat, et les objets conservés dans un sac doivent de préférence être manipulés à l'aide de plateaux. Les études n'ont pas encore permis d'établir si la vitesse d'élimination de l'acide permet toujours de prévenir l'accumulation de gaz corrosifs à des concentrations nocives pour l'objet dans le sac. Si l'objet semble aussi dégager une très forte odeur, un matériau tampon additionnel peut être ajouté.

Les produits de marque Corrosion Intercept sont offerts sous forme de feuilles, ce qui permet de fabriquer sur mesure des contenants scellés à chaud pour les objets de forme inhabituelle. L'aspiration sous vide de l'air dans le contenant assure une protection accrue du plastique, mais des sorbants d'autres sortes peuvent aussi être intégrés au dispositif. Les produits Corrosion Intercept réagissent avec les composés soufrés volatils ainsi qu'avec les acides. Leur utilisation combinée avec les sachets de matériau Ageless constitue une méthode d'entreposage prometteuse dans le cas du caoutchouc et du PUR, car la présence des particules de cuivre fait du PE un matériau barrière efficace contre la lumière et l'humidité. Il faut toutefois s'assurer qu'il n'y a aucun contact direct avec les produits d'exsudation huileux comme ceux présents à la surface de certains objets en PUR et en PCV. Ces exsudats huileux provoquent le gonflement du PE et, dans certains cas, l'interaction du cuivre et des plastifiants du PCV entraîne la formation de taches sur les objets en PCV.

Aire d'entreposage désignée comportant des dispositifs spéciaux de ventilation et de filtration

Une aire de ce type constitue un endroit adéquat pour conserver tous les plastiques. Des dispositifs de ventilation assurent une dilution efficace des émissions, ce qui permet d'atteindre des concentrations sans danger dans le milieu ambiant de l'objet. Certains établissements préfèrent conserver tous leurs objets en plastique dans un seul endroit, dans des réserves ouvertes où la diffusion des émissions peut se faire librement. L'exposition à l'air rend toutefois les plastiques vulnérables aux dommages causés par la poussière et les polluants atmosphériques, particulièrement si leur surface est craquelée ou poisseuse. Afin d'assurer la conservation des plastiques, les systèmes de ventilation doivent garantir la qualité de l'air ambiant, ce qui peut seulement être accompli au moyen de dispositifs spéciaux munis de filtres à particules et de filtres à gaz. L'élimination des gaz nocifs était auparavant une solution très coûteuse, mais les progrès réalisés dans le domaine des filtres moléculaires et les modifications apportées aux dispositifs de filtration commerciaux, en matière de taille et de répartition des sorbants, en font aujourd'hui des systèmes à coût abordable qui sont beaucoup plus efficaces. Pour de plus amples détails sur la régulation de la ventilation et de la filtration, consulter Agent de détérioration : polluants.

La désignation d'une aire d'entreposage constitue la solution la plus coûteuse, mais elle requiert peu d'entretien. Cette solution devrait donc être envisagée dans le cas des collections de grand prix, par exemple celles qui comprennent de grandes sculptures en plastique, ou lorsqu'une collection contient un très grand nombre d'objets en plastiques dangereux.

Étape 5 : Nettoyer

Que les objets conservés dans des réserves soient composés de plastiques dangereux ou non, il arrive souvent qu'ils soient souillés et, dans certains cas, que leur surface présente des produits d'exsudation poisseux qui, au fil du temps, durcissent et changent de couleur. L'élimination des saletés et des produits d'efflorescence constitue un sujet de controverse. Selon l'état actuel des connaissances dans le domaine, il est mieux de ne pas entreprendre le nettoyage de l'objet, à moins que celui-ci ne doive être exposé et qu'il n'existe aucun substitut ou aucune réplique pouvant être utilisés.

Balcar et coll. (2012) ont récemment publié les résultats de travaux de recherche portant sur le nettoyage des plastiques au moyen de méthodes mécaniques en utilisant des matériaux secs, comme des chiffons, des éponges, des pinceaux et de petits tampons de coton, et en utilisant les mêmes matériaux humidifiés (et non pas détrempés) avec des agents

nettoyants aqueux contenant des agents dissous (par exemple, des surfactants et des agents chélatants) et des solvants organiques. La publication contient des renseignements détaillés sur les effets de ces matériaux et agents nettoyants sur les objets en AC, en PEHD, en polystyrène choc (PSC), en PMAM et en PCV plastifié.
Les principaux paramètres observés et évalués après le nettoyage sont la formation de rayures, la modification du brillant et la propreté.
Voici une liste des principaux résultats obtenus dans le cadre de l'étude :

1. Le frottage au moyen de matériaux nettoyants secs tend à produire, au minimum, dix fois plus de rayures que les mêmes matériaux humidifiés avec des agents nettoyants (pourvu que les agents ne causent pas eux-mêmes des dommages). Les résultats obtenus dans le deuxième cas sont attribuables à la présence des agents nettoyants qui assurent une lubrification accrue, mais l'assouplissement des matériaux nettoyants par les agents nettoyants pourrait aussi expliquer en partie ce phénomène.
2. Les petits tampons de coton et les chiffons en microfibre (un mélange de polyester et de nylon) sont généralement plus adéquats que les pinceaux et les éponges lorsqu'ils sont utilisés avec des agents nettoyants aqueux ou contenant des solvants organiques.
3. Les solvants très polaires, par exemple l'acétone, endommagent les plastiques et il ne faut en aucun cas les utiliser pour nettoyer les objets en plastique.
4. Les solvants organiques peu polaires comme l'essence minérale, l'éthanol, l'isopropanol et le xylène sont ceux qui causent le moins de dommages tout en étant efficaces.
5. Les solutions aqueuses contenant des surfactants et des agents chélatants éliminent plus efficacement les particules de saleté huileuses que ne le font les solvants organiques, tandis que ces derniers sont plus efficaces pour éliminer les particules de saleté cireuses.

La meilleure approche consiste à exécuter avec soin le nettoyage à sec des objets, notamment à l'aide de pinceaux ou d'un aspirateur. Les pinceaux en poil de martre, les petits tampons de coton, le papier pour lentille fabriqué à partir de cellulose pure et les chiffons en microfibre non imprégnés sont très efficaces pour essuyer les efflorescences et les saletés superficielles. Quant aux chiffons en microfibre traités pour absorber les huiles, ils conviennent parfaitement s'il faut éliminer des savons et des plastifiants huileux. Il ne faut cependant jamais utiliser un seul et même chiffon sur plus d'un type de plastique ou plus d'un objet, car cela pourrait entraîner une contamination croisée par des matériaux incompatibles. Le papier pour lentille et les petits tampons de coton doivent être jetés après usage et les chiffons en microfibre doivent être très bien lavés. Si les techniques simples ne donnent pas de bons résultats, les personnes en charge des collections devraient se tourner vers des restaurateurs pour obtenir des conseils d'experts.
De manière générale, la séquence recommandée pour le nettoyage est la suivante :

1. Éliminer la poussière en projetant de l'air propre à la surface de l'objet ou en employant un aspirateur, tout en utilisant un pinceau en poil de martre.
2. Éliminer les particules détachées à l'aide de chiffons (ceux en microfibre sont les plus efficaces) ou de petits tampons de coton, en effectuant un minimum de légers essuyages en usant d'une force minimale.
3. Essuyer la surface de l'objet à l'aide de chiffons ou de petits tampons de coton humidifiés (et non pas détrempés) avec de l'eau distillée.
4. Essuyer la surface de l'objet à l'aide de chiffons ou de petits tampons de coton humidifiés avec des solutions aqueuses de surfactants ou d'agents chélatants.
5. Essuyer la surface de l'objet à l'aide de chiffons ou de petits tampons de coton humidifiés avec de l'éthanol, de l'isopropanol ou de l'essence minérale.

Voici une liste des agents nettoyants qui ont été mis à l'essai et dont l'utilisation est recommandée :

- solution à 1 % (p/p) de détergent non ionique (par exemple, Dehypon LS45; détergent concentré Judith Hofenk de Graaff : 50 g de dodécylbenzènesulfonate de sodium, 50 g de citrate de triammonium et 5 g de

carboxyméthylcellulose dans 1 000 ml d'eau distillée);
- solution à 1 % (p/p) de détergent anionique (par exemple, Orvus WA Paste);
- solution à 2,5 % (p/p) de citrate de triammonium.

Il ne faut jamais utiliser d'huiles, d'agents de blanchiment, de cire ou de gommes à effacer en vinyle ou en caoutchouc; l'emploi de ces matériaux n'est plus recommandé, car ils peuvent accélérer le processus de détérioration des objets.

Risques de dommages causés par le nettoyage des objets

Les plastiques dégradés sont beaucoup plus sensibles aux dommages causés par les mouvements mécaniques, ainsi que par les solutions aqueuses et les solvants organiques. Il faut donc porter une attention particulière à leur état afin de détecter des dommages possibles. Les surfaces des objets ont tendance à devenir moins lisses et plus fragiles au fil du temps et elles sont donc plus sujettes aux accrocs causés par les matériaux nettoyants. Les propriétés mécaniques et structurales des plastiques se modifient par suite de leur dégradation; les plastiques peuvent avoir un comportement inattendu, comme une sensibilité plus grande à la CEC. L'application d'agents nettoyants humides peut entraîner l'absorption d'eau ou de solvant, lesquels peuvent causer des changements de dimension ou la fissuration de l'objet sous l'effet de contraintes. Le phénomène est exacerbé si le plastique a déjà subi une certaine dégradation qui a réduit sa résistance ou s'il contient des matières de charge hygroscopiques comme la farine de bois (couramment utilisée dans les anciens plastiques), dont la capacité de gonflement est bien supérieure à celle du plastique. Les microfissures résultant de la dégradation du plastique peuvent exposer de plus grandes quantités de matières de charge.

Les agents nettoyants doivent être éliminés de la surface de l'objet par rinçage. Les résidus de surfactants et d'agents chélatants sont hygroscopiques et ils accroissent la teneur en humidité à la surface du plastique. L'abaissement du taux d'HR peut faire sécher ces résidus, qui forment alors des accrétions superficielles.

Les solvants organiques sont plus susceptibles d'endommager une plus grande variété de plastiques que ne le feraient les solutions aqueuses. C'est pourquoi les traitements à l'aide de solutions aqueuses figurent en premier dans la séquence recommandée des mesures de nettoyage.

Utilisation et préparation du rouge de crésol et du vert de bromocrésol modifié comme indicateurs

Le ou les indicateurs doivent être placés très près de la surface de l'objet, sans toutefois être en contact direct avec celle-ci. Il est plus facile et plus efficace d'utiliser des cordelettes ou une étamine pour surveiller l'état de grands objets ou de tiroirs remplis d'objets, plutôt que de suspendre de nombreux petits morceaux de papier indicateur (figures 9a et 9b).

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0089

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0086

Figures 9a et 9b. Méthode simple permettant de surveiller la présence de CN dans des objets entreposés, au moyen de mousseline imprégnée de rouge de crésol. Les effets des émissions sont clairement visibles lors du passage au rouge de la mousseline : un bouton en plastique de l'objet est maintenant dangereux et constitue un risque pour la collection si l'objet est entreposé, à moins qu'une ventilation adéquate de la pièce ne soit assurée. L'armure ajourée de la mousseline permet de bien voir l'objet et fait en sorte que les gaz nocifs puissent s'échapper; les dommages subis par le bouton ne sont pas aggravés, car les gaz ne s'accumulent pas autour de celui-ci.

Rouge de crésol (surveillance de la présence de nitrate de cellulose)

Le rouge de crésol ne doit être utilisé qu'avec des matériaux cellulosiques (par exemple, du papier buvard, du fil de coton bouilli, de la mousseline ou de l'étamine). D'autres matériaux peuvent être teints avec le rouge de crésol, mais son interaction avec les additifs présents dans les tissus synthétiques influe sur l'exactitude des résultats.

Dissoudre 0,4 g de rouge de crésol en poudre dans 100 ml d'eau (solution à 0,40 % p/v) ou dissoudre 0,005 g de rouge de crésol dans 100 ml d'éthanol (solution à 0,005 % p/v). La solution obtenue est de couleur rouge, mais tout matériau cellulosique vire au jaune lorsqu'il y est trempé. Secouer le papier ou tordre le fil de coton afin d'éliminer tout excès de liquide. Au cours de la période de séchage, retourner fréquemment le papier ou le fil afin d'éviter la formation de zones à forte concentration de colorant. Le matériau indicateur teint prendra un aspect marbré en séchant, à moins de pouvoir employer un séchoir à pellicules pour professionnels. Les papiers indicateurs marbrés donnent toutefois des résultats aussi fiables. Il n'est pas nécessaire de tremper de nouveau les papiers ou les fils dans la solution, mais si c'est le cas, ils prendront une couleur plus foncée (beaucoup plus perceptible).

Il faut habituellement au moins 48 heures pour qu'un objet en NC dont la dégradation en est aux premiers stades entraîne la réaction de l'indicateur. La détection d'émissions qui sont rapidement libérées par les plastiques plus dégradés se produit beaucoup plus vite, parfois en moins d'une heure. Étiqueter clairement les indicateurs placés dans les aires d'entreposage comme dispositifs de surveillance de référence, afin qu'ils ne soient pas jetés par erreur.

S'assurer que tous les employés et tous les bénévoles comprennent bien ce que signifie un changement de couleur et qu'il est essentiel de le signaler. Cette approche augmente les probabilités de détecter rapidement les objets en CN qui dégagent des produits de dégradation nocifs pour la collection, et ce, bien avant la vérification semestrielle.

Vert de bromocrésol (surveillance de la présence d'acétate de cellulose)
Cette méthode a été mise au point et perfectionnée dans les installations de l'Image Permanence Institute du Rochester Institute of Technology; le lecteur peut s'adresser à cette institution pour obtenir des bandelettes de papier indicateur de couleur bleue qui sont déjà imprégnées de vert de bromocrésol (des bandelettes « A-D »).
Pour préparer une solution de vert de bromocrésol, préparer d'abord une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium en dissolvant 4 g d'hydroxyde de sodium dans 1 000 ml d'eau. Prendre ensuite 160 ml de cette solution et y ajouter 4,0 g de vert de bromocrésol.
Comme le vert de bromocrésol est photosensible, l'essai doit être réalisé dans le noir. Si les plastiques mis à l'essai ne sont pas des objets de musée, comme des vitrines de Plexiglas qui ont peut-être été contaminées, une bandelette de papier indicateur peut être mise en contact direct avec l'objet en plastique et recouverte d'une feuille de Mylar; des résultats sont habituellement obtenus en moins de 24 heures.

Exemples de pratiques de conservation préventive

Séparation des objets en plastique dangereux des autres objets de la collection

Corrosion des composants métalliques causée par des objets en NC en réserve
Problème :
Parmi les objets entreposés dans un tiroir, certains composants métalliques, comme l'extrémité en fer du crochet à bouton, sont corrodés (figure 10). Un examen démontre que la plupart des objets en plastique conservés dans le tiroir sont en NC. La corrosion des métaux a été causée par la présence de gaz oxydants et d'acides libérés par la dégradation du NC (figure 11).

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0021
Figure 10. L'absence de ventilation dans un tiroir rempli d'objets en NC peut entraîner l'accumulation d'oxydes d'azote gazeux corrosifs.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0019

Figure 11. Les gaz corrosifs libérés par la dégradation du NC ont entièrement corrodé le composant métallique d'un crochet à bouton, dont il ne reste qu'un résidu de corrosion pulvérulent.

Solution :

Déterminer quels sont les objets en NC et les déplacer dans une réserve distincte. Les conditions dans la réserve doivent être, dans la mesure du possible, celles d'un milieu aussi sec et froid que possible, et la ventilation doit y être adéquate. De faibles valeurs d'HR retardent les réactions d'hydrolyse et les basses températures réduisent la vitesse des réactions de tout type. De telles conditions favorisent grandement la conservation des objets en NC. De plus, de faibles valeurs d'HR réduisent la vitesse de corrosion des métaux en présence de gaz acides et oxydants. Une ventilation adéquate des lieux permet d'éliminer les gaz acides et oxydants, ce qui réduit leur concentration dans l'aire d'entreposage et réduit, par le fait même, la vitesse des réactions de dégradation du plastique et de corrosion des métaux.

Isolement des composants en plastique incompatible du reste de l'objet

Exsudation d'additifs et formation de dépôts à la surface de plastiques

Problème :

Les additifs présents dans les plastiques subissent souvent une migration et forment des dépôts à la surface de ceux-ci (figure 12). Ce problème touche le plus souvent les plastiques conservés dans des contenants ou entreposés dans des armoires de rangement, des tiroirs ou des boîtes où la ventilation est inadéquate, voire inexistante.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0045

Figure 12. Les additifs présents dans les plastiques peuvent souvent subir une exsudation et former des dépôts à la surface de ceux-ci; dans le cas de cette poupée en PCV, la surface présente des dépôts de carboxylates métalliques produits par exsudation.

Solution :

Ce cas particulier de dégradation pose un dilemme. La formation des produits d'exsudation à la surface du plastique résulte d'un gradient de concentration; étant donné que la concentration de l'additif dans le plastique est supérieure à sa concentration à la surface, l'additif en question migre afin de rétablir un équilibre. Le produit d'exsudation peut être éliminé (ou rendu plus lisse afin de lui donner l'aspect d'une pellicule moins visible) en l'essuyant avec du papier. Toutefois, cette élimination ne pourrait constituer qu'une solution temporaire, car le gradient de concentration existe toujours, ce qui signifie que des dépôts peuvent encore se former sur le plastique. Il ne faut en aucun cas utiliser des solutions de surfactant ou des solvants organiques, car ceux-ci peuvent traverser la surface du plastique et entraîner d'autres problèmes.

La présence de dépôts sur la poupée crée un autre problème. Le produit d'exsudation peut probablement réagir avec les vêtements et tacher le tissu ou le fragiliser. Le phénomène d'exsudation se produit en effet autant dans des zones situées sous les vêtements que sur celles exposées comme le bras de la poupée. Il faut donc séparer les pièces en plastique et les vêtements, ce qui empêchera le tissu d'être endommagé par les produits d'exsudation.

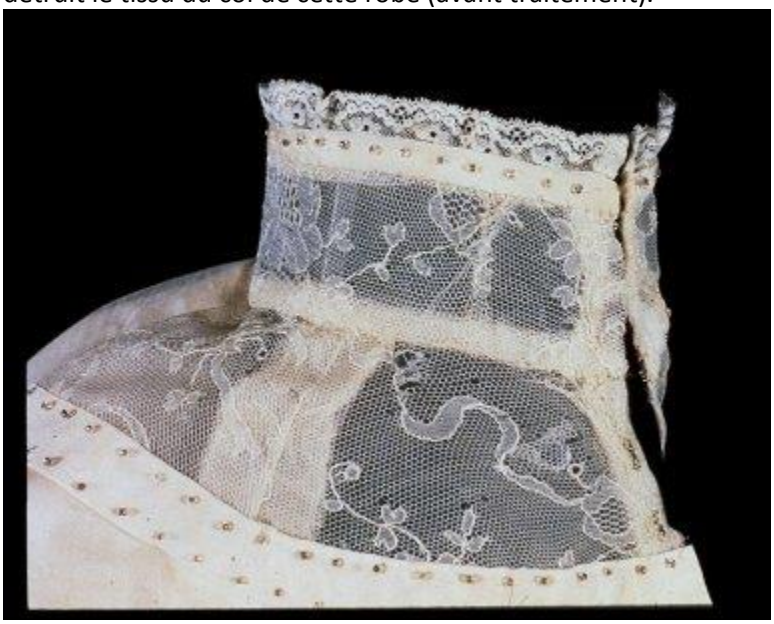
Remplacement des plastiques dangereux par des matériaux inertes

Les produits de dégradation du NC endommagent les matériaux adjacents

Problème :

Des produits de dégradation volatils, acides et oxydants, libérés par les supports de col en NC, ont attaqué et endommagé le tissu d'un col (figures 13 et 14).

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0101
Figure 13. Des produits de dégradation volatils, acides et oxydants, libérés par les supports de col en NC, ont attaqué et détruit le tissu du col de cette robe (avant traitement).



© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0102
Figure 14. Des supports de col ont été fabriqués à partir de feuilles de PTE et substitués aux supports de col d'origine en NC (après traitement).
Solution :
Les supports de col en NC dégradés ont été retirés et conservés séparément, dans des conditions adéquates pour les objets en NC. Des répliques de supports de col ont été fabriquées à partir de feuilles en PTE inerte et substituées aux supports de col d'origine en NC.

Choix de conditions d'entreposage permettant de réduire au minimum la dégradation des matériaux les moins stables dans les objets composites

Dégradation du NC et dommages causés par les produits de dégradation

Problème :

Le NC est un plastique intrinsèquement instable. Il constitue le plastique le moins stable parmi ceux pouvant se trouver dans une collection muséale. Sa dégradation entraîne la production de gaz acides et oxydants qui attaquent les autres objets, causant notamment la dégradation des matériaux organiques et la corrosion des métaux (figures 15a et 15b).

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0096

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation. ICC 120210-0094
Figures 15a et 15b. Poignée d'un sac à main qui montre des signes typiques de la dégradation du NC. De plus, l'objet comporte un rivet en laiton corrodé et sa doublure en tissu a été gravement endommagée par les gaz.
Solution :
La dégradation du NC est principalement attribuable à l'hydrolyse, c'est-à-dire la réaction de l'eau et du plastique à base de NC. Une diminution de la valeur d'HR permet de réduire la vitesse de la réaction. Les produits de dégradation acides et oxydants catalysent la réaction d'hydrolyse. Les aires et enceintes où sont conservés des objets en CN doivent donc être adéquatement ventilées ou contenir des sorbants à acide afin d'éliminer les produits de dégradation volatils et de prévenir ainsi la catalyse de la réaction de dégradation. La vitesse de dégradation du NC varie d'un objet à l'autre. La mise en place, à proximité des objets en CN, de bandelettes, de papiers et de rubans indicateurs, et leur surveillance subséquente, permettent de détecter les objets dont la détérioration est en cours, et, dans une certaine mesure, de déterminer leur vitesse de dégradation. Les indications fournies par ces outils permettent également au personnel de déterminer si les mesures préventives suffisent ou si les objets doivent être placés dans des conditions d'entreposage particulières.

Bibliographie et lectures recommandées
Références bibliographiques

- Balcar, N., G. Barabant, C. Bollard, S. Kuperholc, B. Keneghan, A. . Laganà, T. Van Oosten, K. Segel et Y. Shashoua. « Studies in Cleaning Plastics », dans *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (sous la direction de B. Lavédrine, A. Fournier et G. Martin), s. l., Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2012, p. 225-268.
- Barclay, R., A. Bergeron et C. Dignard. *Supports pour objets de musée : de la conception à la fabrication* (2e édition; illustrations de C. Schlichting), Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation,

1998.[1]
- Bigelow, S. *Entreposage à froid des photographies aux Archives de la Ville de Vancouver* (format PDF), s. l., Conseil canadien des archives, 2004.
- Coxon, H. C. « Practical Pitfalls in the Identification of Plastics », dans *Sauvegarder le XXe siècle : la conservation des matériaux modernes : Actes de Symposium 91* (sous la direction de D. W. Grattan), Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation, 1993, p. 395-406.
- Daniels, V. et S. Ward. « A Rapid Test for the Detection of Substances Which Will Tarnish Silver », *Studies in Conservation*, vol. 27 (1982), p. 58-60.
- Dupont Teijin Films. Product Information: Mylar Polyester Film (format PDF) (en anglais seulement), Hopewell (Virginie), DuPont Teijin Films, 2003.
- Institut canadien de conservation (ICC). *Le test Beilstein - Une méthode simple pour déceler la présence de chlore dans les matériaux organiques et polymériques et quelques exemples de matériaux testés*, Notes de l'ICC 17/1, Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation, 1993.
- Michalski, S. *Directives concernant l'humidité et la température dans les archives du Canada*, Bulletin technique 23, Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation, 2000.
- Padfield, T. « Condensation in Film Containers During Cooling and Warming » (format PDF) (en anglais seulement), dans *Postprints of Preserve, Then Show/cite>, Copenhague (Danemark), The Danish Film Institute, 2002.*
- Reilly, J. *Instructions for Using the Wheel, Graphs, and Table: Basic Strategy for Film Preservation* (format PDF) (en anglais seulement), IPI Storage Guide for Acetate Film, New York (New York), Image Permanence Institute, 1993.
- Rémillard, F. *Identification des plastiques et des élastomères : tests miniaturisés* (format PDF), Québec (Québec), Centre de conservation du Québec, 2007.
- Roff, W. J., J. R. Scott et J. Pacitti. *Handbook of Common Polymers*, Cleveland (Ohio), CRC Press, 1971, p. 452.
- Shashaoua, Y. R. « Modern Plastics: Do They Suffer From Cold? », dans *Modern Art, New Museums: International Institute for Conservation (IIC), Contributions to the Bilbao Congress, 13-17 September 2004* (sous la direction de A. Roy et P. Smith), Londres (Royaume-Uni), IIC, 2004, p. 91-95.
- Vitale, T. *History, Science, Preservation and Treatment of Cellulose Nitrate Still Film* (format PDF) (en anglais seulement), Emeryville (Californie), Digital Imaging & Facsimiles Preservation Associates, 2009.
- Williams, R. S. *Test ponctuel à la diphénylamine pour déceler la présence de nitrate de cellulose dans les objets de musée*, Notes de l'ICC 17/2 (édition révisée), Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation, 1994.
- Williams, R. S., A. T. Brooks, S. L. Wiliams et R. L. Hinrichs. « Guide to the Identification of Common Clear Plastic Films » (format PDF) (en anglais seulement), *Society of the Preservation of Natural History Collections Leaflets*, vol. 3 (automne 1998).

Lectures recommandées

- Albus, S., C. Bonten, K. Keßler, G. Rossi et T. Wessel. Plastic Art - A Precarious Success Story, Cologne (Allemagne), AXA Art Versicherung AG, 2006.
- Grattan, D. W. (directeur de publication). *Sauvegarder le XXe siècle : la conservation des matériaux modernes : Actes de Symposium 91*, Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation, 1993.
- Heuman, J. (directrice de publication). *From Marble to Chocolate: The Conservation of Modern Sculpture. Postprints of Tate Gallery Conference, September 18-20, 1995*, Londres (Royaume-Uni), Archetype Books, 1995.
- Horie, V. *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings* (2e édition), Amsterdam (Pays-Bas), Butterworth-Heinemann, 2010.

- Lavédrine, B., A. Fournier et G. Martin (directeurs de publication). *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*, Paris (France), Comité des travaux historiques et scientifiques, 2012.
- Loadman, J. *Everything You Ever Wanted to Know about Rubber* (en anglais seulement), s. d.
- Plastics Historical Society. Plastics Historical Society Website (en anglais seulement), 2011.
- Quye, A., et C. Williamson (directeurs de publication). *Plastics-Collecting and Conserving*, Édimbourg (Royaume-Uni), NMS Publishing Ltd, 1999.
- Shashoua, Y. *Inhibiting the Deterioration of Plasticized Poly(vinyl chloride)-A Museum Perspective* (format PDF) (en anglais seulement), Thèse de doctorat, Université technique du Danemark, 2001.
- Shashoua, Y. *Conservation of Plastics: Materials Science, Degradation and Preservation*, Oxford (Royaume-Uni), Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2008.
- Tétreault, J. *Polluants dans les musées et les archives : évaluation des risques, stratégies de contrôle et gestion de la préservation*, Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation, 2003.
- Van Oosten, T. *PUR Facts: Conservation of Polyurethane Foam in Art and Design*, Amsterdam (Pays-Bas), Amsterdam University Press, 2011.
- Van Oosten, T., Y. Shashoua et F. Waentig (directeurs de publication). *Plastics in Art: History, Technology, Preservation*, Munich (Allemagne), Siegl, 2002.
- Waentig, F. *Plastics in Art: A Study from the Conservation Point of View* (traduction anglaise de Michael Scuffil), Petersberg (Allemagne), Michael Imhof Verlag, 2008.
- Williams, R.S. *Exposition et mise en réserve des objets de musée contenant du nitrate de cellulose*, Notes de l'ICC 15/3, Ottawa (Ontario), Institut canadien de conservation, 1994.
- Williams, R.S. « Care of Plastics: Malignant Plastics » (en anglais seulement), *WAAC Newsletter*, vol. 24, n° 1 (janvier 2002), p. 10-15.
- Wright, M. M., et J. H. Townsend (directeurs de publication). *Resins-Ancient and Modern: Preprints of the Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR) 2nd Resins Conference, Aberdeen, September 13-14, 1995*, Édimbourg (Royaume-Uni), SSCR, 1995.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation, 2018
Publié par :
Institut canadien de conservation
Ministère du Patrimoine canadien
1030, chemin Innes
Ottawa (Ontario) K1B 4S7
Canada
N° de catalogue : CH57-4/6-13-2018F-PDF
ISBN 978-0-660-28020-2