

CANADIAN
CONSERVATION
INSTITUTE



INSTITUT
CANADIEN DE
CONSERVATION

**Polluants dans les
musées et les archives :
évaluation des risques, stratégies
de contrôle et gestion de la préservation**

JEAN TÉTREAU



Patrimoine
canadien

Canadian
Heritage

Canada

CANADIAN
CONSERVATION
INSTITUTE



INSTITUT
CANADIEN DE
CONSERVATION

**Polluants dans les
musées et les archives :
évaluation des risques,
stratégies de contrôle et
gestion de la préservation**

PAR JEAN TÉTREAU



Canadian
Heritage

Patrimoine
canadien

Canada

Tous droits réservés. La reproduction d'un extrait quelconque de ce livre, par quelque procédé que ce soit, tant électronique que mécanique, ou par photocopie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, sans l'autorisation écrite de l'éditeur est interdite.

IMPRIMÉ AU CANADA

Vendu par :

Institut canadien de conservation
1030, chemin Innes
Ottawa ON K1A 0M5
Canada

Données de catalogage avant publication de la Bibliothèque
nationale du Canada

Tétreault, Jean, 1963-

Polluants dans les musées et les archives : évaluation des risques,
stratégies de contrôle et gestion de la préservation

Publ. aussi en anglais sous le titre : Airborne pollutants in museums,
galleries and archives.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-662-88907-X

No de cat. NM95-59/9-2003F

1. Musées – Méthodes de conservation – Canada.

2. Air – Pollution intérieure.

3. Air – Qualité – Gestion.

I. Institut canadien de conservation.

II. Titre.

AM145.T47 2004 069'.53 C2004-980055-8

RENONCIATION

L'information présentée ici est basée sur la connaissance scientifique et technique actuelle des questions abordées. Le fait de suivre les conseils fournis dans ces pages ne constitue nullement une garantie de protection intégrale dans toutes les situations, ni contre tous les effets nuisibles pouvant être causés par des polluants aéroportés.

COUVERTURE

Intérieur imaginaire par Giovanni Battista Piranesi (env. 1750 - 1759).

Plume et encre brune avec lavis sur sanguine sur papier vergé.

Musée des beaux-arts du Canada, Ottawa.

**Polluants dans les
musées et les archives :
évaluation des risques,
stratégies de contrôle et
gestion de la préservation**

PAR JEAN TÉTREAU

REMERCIEMENTS

L'auteur est reconnaissant aux personnes suivantes qui ont relu l'ébauche de ce document et lui ont fourni de précieux commentaires.

- Carole Dignard, Cliff McCawley, Stefan Michalski, Lyndsie Selwyn et Scott Williams (ICC)
- Jonathan Ashley-Smith (Victoria and Albert Museum, Londres, Royaume-Uni)
- Agnes Brokerhof et Frank Ligterink (Institut néerlandais du patrimoine culturel, Amsterdam, Pays-Bas)
- Andrew Calver (Museum of London, Londres, Royaume-Uni)
- William Esposito (Ambient Group, Inc., Glen Cove, New York, États-Unis)
- Jost Kames (McLeod Russel Filter AG, Uster, Suisse)
- Gemma Kerr (InAir Environmental Ltd., Gatineau, Canada)
- Bertrand Lavédrine (Centre de recherches sur la conservation des documents graphiques, Paris, France)
- Morten Ryhl-Svendsen (Musée national du Danemark, Brede, Danemark)
- Rob Waller (Musée canadien de la nature, Gatineau, Canada)
- Steven Weintraub (Art Preservation Services, New York, États-Unis)

L'auteur remercie également Dianne Perrier et Barbara Patterson, qui ont assuré la révision de la version anglaise du document, Françoise Guyot des Services T&A inc. qui s'est chargée de la traduction de l'anglais au français, Linda Leclerc, qui a révisé la version française, Jeremy Powell, qui a pris certaines des photographies, Joe Iraci, Paul Bégin et Fiona Jones qui ont fourni des exemples d'objets endommagés, Scott Williams, qui a fourni des exemples d'objets endommagés et identifié certains composés cellulotiques, Bill Conly qui a retravaillé certaines des illustrations, Carl Bigras, qui a numérisé les images et les a modifiées, Sophie Georgiev qui a assuré la conception graphique et la mise en forme du document et Lucie Forgues, qui a si rapidement commandé les documents de référence.

TABLE DES MATIÈRES

Préface	1
Liste des encadrés	3
Liste des tableaux	3
Liste des figures	4
Acronymes et abréviations	6
1. Principaux polluants aéroportés	7
Acide acétique	10
Sulfure d'hydrogène	11
Dioxyde d'azote	11
Ozone	13
Particules fines	14
Dioxyde de soufre	16
Vapeur d'eau	17
Autres polluants aéroportés	18
Ammoniac	19
Dioxyde de carbone	19
Formaldéhyde	19
Oxygène	20
Composés organiques volatils (COV)	20
2. Quantification du rapport exposition-effet	21
Calcul de la CSENO et de la DMENO	21
Facteurs influençant la CSENO et la DMENO	27
Humidité relative	27
Température	27
Rayonnements	28
Saleté sur les objets	29
Mélanges de polluants	29
État des matériaux	29
Matériaux-barrières et liants	30
3. Évaluation des risques	31
Micro-évaluation des risques	31
Macro-évaluation des risques	33
4. Stratégies de contrôle	37
Principes généraux et lignes directrices	37
Gradient spatial et concentrations d'équilibre	37
Règle des « 100, 10, 1 » pour la concentration de polluants externes	37
Durée utile des produits	41
Effets nuisibles des contacts	41
Conséquences négatives des stratégies de contrôle	42
Comparaison du macro et micro-contrôle du milieu	42
Contrôle dans le bâtiment ou les salles	43
Éviter	43
Bloquer, diluer, filtrer et sorber	43
Atténuer les réactions	50
Écourter la durée d'exposition	50

Contrôle dans les enceintes	50
Étanchéité à l'air	51
Éviter	53
Bloquer	54
Diluer, filtrer ou sorber	56
Atténuer les réactions	64
Écourter la durée d'exposition	65
Réagir	65
Stratégie de contrôle dans le cas des objets hypersensibles	68
5. Gestion de la préservation	69
Évaluation des objectifs de préservation et environnementaux	69
Objectifs de préservation	69
Objectifs environnementaux	72
Objectifs mixtes	74
Analyse des coûts et avantages	74
Définition du problème ou du contexte	74
Définition et pondération des critères	75
Formulation des options et évaluation par rapport aux critères pondérés	77
Évaluation du mérite de chaque option et prise d'une décision provisoire	77
Évaluation des conséquences négatives de l'option provisoirement retenue	78
Atténuation des conséquences négatives possibles de la décision finale	78
Surveillance et réévaluation	78
Évaluation des impondérables	78
Gestion de la préservation des collections	78
6. Surveillance	81
Méthode d'enquête	81
Techniques de surveillance	81
Enquête générale	82
Enquête spécifique	84
7. Lectures complémentaires	91
8. Sites Web recommandés	93
Photographies couleur	95
Annexes : Tableaux de données	101
1. Sources et concentrations de divers polluants	103
2. Dommages causés par des polluants présents dans les milieux intérieurs	110
3. Effets des mélanges de polluants sur la détérioration	133
4. Réduction des concentrations de polluants	135
5. Coefficients de perméabilité de divers produits à des gaz précis	139
6. Vitesse de dépôt de divers polluants sur différentes surfaces	140
7. Méthodes de mesure des fuites d'air	141
8. Directives sur l'éclairage	142
Glossaire	143
Renvois	151
Index	169

Note : des renseignements supplémentaires sur le sujet abordé dans cet ouvrage sont affichés au site Web suivant : <www.cci-icc.gc.ca/links/polluants/index_f.shtml>

PRÉFACE

Depuis quelques décennies, dans les musées et les laboratoires, on a effectué de nombreuses observations de l'effet des polluants aéroportés sur divers matériaux et celles-ci ont permis de mieux comprendre les interactions possibles et leur cinétique. Parallèlement, de nouvelles méthodes d'évaluation des risques ont été mises au point. Le mariage de ces deux sciences a engendré des outils intéressants d'évaluation aux fins de préservation ainsi que des stratégies et des politiques concrètes pour lutter contre la pollution dans les musées et les services d'archives. Ces outils sont à la disposition des directeurs de musées, des gestionnaires immobiliers et gestionnaires de collections, des professionnels de la conservation, des spécialistes en matériaux, des concepteurs d'expositions, des spécialistes des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC), des experts-conseils en qualité de l'air intérieur et des architectes pour éclairer leurs décisions en matière de préservation des collections.

Cet ouvrage vise les objectifs suivants :

- énumérer et définir les principaux polluants aéroportés présents dans les musées;
- présenter des outils basés sur le rapport entre l'exposition et les effets pour évaluer les risques que courent les collections exposées à des polluants;
- établir des directives en ce qui concerne les stratégies de contrôle qui aboutissent à des solutions à la fois souples et pratiques;
- proposer des directives pour évaluer le niveau de protection des collections;
- fournir un outil élémentaire d'analyse des coûts et des avantages qui est conforme aux principes d'exploitation et aux politiques adoptés par chaque musée;
- proposer une méthode d'enquête permettant d'évaluer le degré de préservation des collections nécessaire compte tenu des polluants et d'identifier les causes des dommages.

L'effet des polluants sur certains matériaux reste méconnu, de même que l'efficacité réelle de certaines stratégies de contrôle. Néanmoins, cet ouvrage constitue une base permettant de juger d'une situation et de prendre des décisions avisées en ce qui a trait aux coûts et aux avantages.

Cet ouvrage n'aborde pas la question des effets des polluants sur la santé humaine ou sur les biens culturels situés à l'extérieur, ni les effets des polluants non aéroportés (par exemple les polluants qui migrent d'un matériau à un autre par contact direct), ni la détérioration des objets causée par les matériaux polluants qui les composent.

Jean Tétreault

LISTE DES ENCADRÉS

Encadré 1. Unités de concentration	7
Encadré 2. Dépôt acides	12
Encadré 3. La détérioration est un procédé complexe	21
Encadré 4. Perte de valeur	22
Encadré 5. Vulnérabilité	25
Encadré 6. Principes de la préservation	75
Encadré 7. Indice de priorité des mesures de préservation	80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Sources de polluants aéroportés	8
Tableau 2. Effets nuisibles des polluants	9
Tableau 3. Effets nuisibles quantifiés des polluants sur divers matériaux	26
Tableau 4. Concentrations de polluants aéroportés	32
Tableau 5. Objectifs de qualité de l'air pour les collections de musée, de bibliothèques et les collections d'archives	33
Tableau 6. Objectifs de préservation possibles pour la plupart des collections	34
Tableau 7. Stratégies de contrôle des effets nuisibles des polluants aéroportés	38
Tableau 8. Emplacements possibles des objets	39
Tableau 9. Paramètres à considérer en ce qui concerne les systèmes de CVC servant à la lutte contre les polluants	44
Tableau 10. Spécifications visant les éléments de filtration des systèmes de CVC	47
Tableau 11. Capacité de sorption gazeuse des filtres	48
Tableau 12. Étanchéité des enceintes	52
Tableau 13. Directives sur le choix et l'emploi des revêtements	57
Tableau 14. Capacité tampon	62
Tableau 15. Stratégies de contrôle des objets hypersensibles	67
Tableau 16. Catégories d'environnements ISA	73
Tableau 17. Catégories d'environnements de Purafil	73
Tableau 18. Analyse des décisions	76
Tableau 19. Analyse des coûts et avantages	76
Tableau 20. Analyse des conséquences négatives possibles	79
Tableau 21. Protocole d'enquête sur la qualité de l'air	85
Tableau 22. Techniques de surveillance de la qualité de l'air selon la durée d'échantillonnage	86
Tableau 23. Techniques d'échantillonnage et de détection des polluants	87
Tableau 24. Méthodes de surveillance semi-quantitatives	88
Tableau 25. Problèmes courants en ce qui a trait aux polluants	89
Tableau 26. Essai à l'acétate de plomb	90

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Médailles de plomb corrodées dans une vitrine en chêne	10, 95*
Figure 2. Porte-clés en cuivre plaqué argent terni	11, 95*
Figure 3. Évolution des émissions de polluants aux États-Unis, en Europe et au Canada	11
Figure 4. Principales origines anthropiques des dépôts de SO _x et de NO _x	12
Figure 5. Tendances quotidiennes du smog	13
Figure 6. Concentrations d'ozone comparées à la température à New York	14
Figure 7. Distribution de la poussière	15
Figure 8. Sculpture inuite en ivoire présentant des fissures incrustées de suie	15, 96*
Figure 9. Coiffure autochtone nord-américaine en plumes	15
Figure 10. Brunissement des bords de la page d'un livre français imprimé en 1929	16, 96*
Figure 11. Négatif en acétate de cellulose dont la détérioration est avancée	17, 97*
Figure 12. Feuilles de nitrate de cellulose dont la détérioration est avancée	17, 97*
Figure 13. Peigne en nitrate de cellulose très fragile, fabriqué dans les années 1960	18
Figure 14. Temps nécessaire à la croissance de moisissures visibles	18
Figure 15. Lunettes à monture en nitrate de cellulose	19
Figure 16. Gain de poids (avec le temps) d'une pièce de plomb non ternie exposée à différentes concentrations d'acide acétique à une HR de 54 %	23
Figure 17. Gain de poids (avec le temps) d'une pièce de zinc non ternie exposée à différentes concentrations d'acide acétique à une HR de 54 %	23
Figure 18. Calcul de la DMENO de dioxyde de soufre pour la fuchsine basique	23
Figure 19. Décoloration de la fuchsine basique selon différentes doses de SO ₂ , à une HR de 50 %	24
Figure 20. Nombre estimatif d'années écoulées avant d'observer des salissures causées par la poussière du sol et le dépôt de carbone élémentaire	24
Figure 21. Nombre estimatif d'années écoulées avant d'observer des effets nuisibles sur des objets à des niveaux d'humidité relative variables, à 21 °C	25
Figure 22. Effet de l'humidité relative sur la DMENO	27
Figure 23. Effet de la température sur le temps qui doit s'écouler pour observer des effets nuisibles sur les pellicules en acétate de cellulose et sur les matières colorantes de photographies lorsque l'HR est à 30 et 50 %	28
Figure 24. Prédiction des effets nuisibles observables sur les matériaux sensibles à l'hydrolise selon différentes HR et températures	28
Figure 25. Efflorescence sur des coquillages	29, 98*
Figure 26. Taux d'accumulation des effets nuisibles selon les objectifs de préservation de 1, 10 et 100 ans	33
Figure 27. Représentation schématique du transfert massif de polluants aéroportés dans un musée	40
Figure 28. Vie utile des produits	41
Figure 29. Œuvre d'art sur papier tachée par le contact pendant de nombreuses années avec un passe-partout acide	42, 98*
Figure 30. Système de CVC typique	45
Figure 31. Efficacité des filtres selon la taille des particules, d'après la méthode des taches de poussière	46
Figure 32. Filtre à lit fixe	49
Figure 33. Joint comprimé entre deux éléments amovibles d'une vitrine	53

Figure 34. Rapport intérieur-extérieur par rapport au taux de renouvellement d'air dans l'enceinte (à diverses vitesses de dépôt)	54
Figure 35. Les textiles enveloppés dans du coton ou du papier non acide sont bien protégés contre les polluants	55
Figure 36. Un avion et des fusées enveloppés dans du plastique pendant des rénovations	56
Figure 37. Pose de papier d'aluminium et de feuilles de polyéthylène sur un panneau de bois	56
Figure 38. Réduction de la concentration d'un polluant dégagé dans une enceinte à différents taux de renouvellement d'air	58
Figure 39. Conception des assemblages de filtres pour les enceintes	59
Figure 40. Détail microscopique du Pacific Silvercloth	61
Figure 41. Quantité de gel de silice nécessaire pour maintenir une HR stable durant une année	62
Figure 42. Quantité de gel de silice nécessaire pour maintenir une HR précise durant diverses périodes de temps	63
Figure 43. Les sachets Ageless (sorbant d'oxygène) contiennent une fine poudre de fer couverte de sel de mer et d'une zéolite naturelle imprégnée de chlorure de sodium	64
Figure 44. Objet préservé dans un milieu anoxique	64
Figure 45. Possibilités d'atténuation des matériaux émissifs	65
Figure 46. Une bande VHS dont la couche de liant en polyuréthane est dégradée	68
Figure 47. Un livre à reliure en cuir de tannage végétal présente une altération importante dite « pourriture rouge »	70, 99*
Figure 48. Autre exemple de « pourriture rouge »	70, 99*
Figure 49. Règles à calcul de la durée de vie utile	71
Figure 50. Principes de la préservation	75
Figure 51. Gestion de la préservation des collections	79
Figure 52. Analyses quantitatives	81
Figure 53. Analyses semi-quantitatives	82
Figure 54. Schéma de l'essai à l'acétate de plomb	90

*Les numéros de pages en **gras** renvoient à des photographies couleur.

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

ACCR	Association canadienne pour la conservation et la restauration des biens culturels	I/E	Rapport intérieur-extérieur
ACRP	Association canadienne des restaurateurs professionnels	ICC	Institut canadien de conservation
ACS	American Chemical Society	ISA	Instrument Society of America
AEE	Agence européenne pour l'environnement	ISO	Organisation internationale de normalisation
Ag	Argent	KCO ₃	Carbonate de potassium
AIC	American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works	kg	Kilogramme
AINC	Australian Network for Information on Cellulose Acetate	KMnO ₄	Permanganate de potassium
Al	Aluminium	KOH	Hydroxyde de potassium
APT	Association for Preservation Technology International	MEO	Ministère de l'Environnement de l'Ontario
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers	MEPS	Micro-extraction en phase solide
ASTM	American Society for Testing and Materials	MERV	Valeur confirmée minimale d'efficacité
CaCO ₃	Carbonate de calcium	MHM	Méthode de hiérarchie multicritère
CEN	Comité européen de normalisation	Moy.	Moyenne
CG-DIF	Couplage chromatographie en phase gazeuse-détecteur à ionisation de flamme	N	Taux de renouvellement d'air
CG-SM	Couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse	N ₂ O	Oxyde nitreux
CH ₂ O	Formaldéhyde	NaHCO ₃	Bicarbonate de soude
CH ₃ COOH	Acide acétique	NFPA	National Fire Protection Association
CIE	Commission internationale d'éclairage	NH ₃	Ammoniac
Cl ₂	Chlore	nm	Nanomètre
CLHP	Chromatographie liquide à haute performance	NO	Monoxyde d'azote
CMENO	Concentration minimale avec effets nuisibles observables	NO ₂	Dioxyde d'azote
CO ₂	Dioxyde de carbone	NO _x	Oxydes d'azote
COS	Sulfure de carbone	O ₂	Oxygène
COV	Composé organique volatil	O ₃	Ozone
COVT	Composés organiques volatils totaux	ODA	Octadécylamine
CSENO	Concentration sans effets nuisibles observables	PAN	Nitrate de peroxyacétyle
Cu	Cuivre	Pb	Plomb
CVC	Chauffage, ventilation et climatisation	PGD	Pompe (à air) à grand débit
DAV	Débit d'air variable	PM _{2,5}	Particules en suspension dont le diamètre est de 2,5 µm ou moins
DEAE	Diéthylaminoéthanol	PM ₁₀	Particules en suspension dont le diamètre est de 10 µm ou moins
DMENO	Dose minimale avec effets nuisibles observables	ppb ou ppbv	Particules par milliard (volume/volume) (x 10 ⁻⁹)
EC	Environnement Canada	ppm ou ppmv	Particules par million (volume/volume) (x 10 ⁻⁶)
EPA	Environmental Protection Agency (États-Unis)	PVAC	Poly(acétate de vinyle)
ÉT	Écart type	PVC	Poly(chlorure de vinyle)
FS	Fiche signalétique (sur la sécurité des produits)	RA/h	Renouvellement d'air par heure
h	Heure	s.d.	Sans date
H ₂ O	Eau	SC	Santé Canada
H ₂ S	Sulfure d'hydrogène	SO ₂	Dioxyde de soufre
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique	SO _x	Oxydes de soufre
HCOOH	Acide formique	Système de CVC	Système de chauffage, ventilation et climatisation
HEPA	Haute efficacité contre les particules	UK-IIC	International Institute of Conservation of Historic and Artistic Works du Royaume-Uni
HNO ₃	Acide nitrique	UV	Ultraviolet
HR	Humidité relative	VN	Ventilation naturelle
		VTP	Vulcanisation à la température de la pièce
		WRI	Institut des ressources mondiales
		µg m ⁻³	Microgrammes par mètre cube
		µg m ⁻³ an	Microgrammes par mètre cube multipliés par le nombre d'années (dose)
		µm	Micromètre

PRINCIPAUX POLLUANTS AÉROPORTÉS

Maints polluants aéroportés^{*}, à l'intérieur, ont des effets nuisibles^{*} sur les collections^{*}. Ces polluants^{*} sont classés en huit groupes chimiques distincts; les particules (poussières) constituent un neuvième groupe. Les sources de ces différents polluants et leurs effets sur les objets^{*} sont présentés dans le tableau 1. Les sources de polluants se trouvent tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. À l'intérieur, ils émanent typiquement des produits^{*}, des activités qui se déroulent dans le bâtiment (comme le nettoyage), des visiteurs et même des objets qui font partie des collections. À l'extérieur, les polluants sont surtout associés aux activités humaines comme les procédés industriels et la circulation routière. Les effets des polluants sur les objets à l'intérieur ou dans des conditions expérimentales sont présentés dans le tableau 2. Différents objets sont susceptibles à différents polluants et s'abîment à des taux différents, selon les paramètres en cause. Dans certains cas, les dommages^{*} sont causés par plus d'un polluant. Ainsi, l'analyse des composés de la corrosion que présente un métal confirme souvent la présence de plus d'un polluant.

D'un point de vue de gestion, il est rarement possible de contrôler et de surveiller individuellement les polluants aéroportés (dont la majorité sont énumérés dans le tableau 1). En effet, une telle approche exigerait beaucoup trop de temps et de ressources. Il est donc possible de réduire le nombre de polluants à contrôler en appliquant la règle des 80-20 (loi de Pareto^{*}), règle qui pose qu'il est possible, dans un musée^{*}, de contrôler 80 % des polluants en contrôlant les 20 % de polluants que l'on sait être les plus importants. D'après cette loi, sept polluants ont donc été désignés comme principaux polluants^{*} dans les musées. Les autres polluants aéroportés n'exigent pas un contrôle aussi étroit parce que leurs sources, leur réactivité et leurs concentrations admissibles sont égales ou inférieures à celles des principaux polluants faisant partie du même groupe chimique. De surcroît, la prise en compte d'un nombre réduit de polluants simplifie l'évaluation des risques^{*} d'effets nuisibles que posent les polluants pour la collection. Les sept

ENCADRÉ 1. UNITÉS DE CONCENTRATION

Les termes « niveau » et « concentration » sont utilisés comme synonymes dans le présent document, quoique « niveau » ait un sens plus large, par exemple dans les expressions niveau de protection ou niveau de risque. En matière d'évaluation des risques, le niveau est normalisé et prend le sens de concentration.

Deux unités servent à quantifier les concentrations de la plupart des polluants aéroportés :

- parties par milliard (ppb ou ppbv) - une mesure de volume fractionnaire des polluants dans l'air ambiant; 1 ppb signifie qu'une molécule de polluant est présente dans 1 milliard de molécules d'air (soit 1×10^{-9})
- microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g m}^{-3}$) - la quantité d'un polluant par unité de volume.

Les deux unités sont converties ainsi (à 21 °C, avec une pression atmosphérique de 101,3 KPa) :

$$\text{ppb} = \mu\text{g m}^{-3} \times 24,04 \div (\text{poids moléculaire})$$

Par exemple, pour convertir $2,5 \mu\text{g m}^{-3}$ d'acide acétique en ppb, il faut multiplier 2,5 par 24,04 (volume molaire d'un gaz parfait) et diviser par 60,05 g/mol (poids moléculaire de l'acide acétique). On obtient 1 ppb (ou 0,0000001 %).

En règle générale pour la plupart des polluants, on compte $2 \mu\text{g m}^{-3}$ pour 1 ppb. Les conversions exactes pour les principaux polluants suivent.

Principaux polluants	Facteur de conversion
Acide acétique	1 ppb = $2,50 \mu\text{g m}^{-3}$
Dioxyde d'azote	1 ppb = $1,91 \mu\text{g m}^{-3}$
Dioxyde de soufre	1 ppb = $2,67 \mu\text{g m}^{-3}$
Ozone	1 ppb = $2,00 \mu\text{g m}^{-3}$
Particules ^a PM _{2.5}	
Sulfure d'hydrogène	1 ppb = $1,42 \mu\text{g m}^{-3}$
Vapeur d'eau ^b	1 ppb = $0,75 \mu\text{g m}^{-3}$

Notes :

- a : la concentration de particules ne peut facilement être convertie en ppb à cause du poids moléculaire variable des particules fines.
b : la concentration en eau est habituellement exprimée par l'HR, sous forme de pourcentage.

Un logiciel de conversion des unités est offert sur l'Internet à http://iaq.dk/papers/conc_calc.htm (Ryhl-Svendsen, 2001).

1. La définition des termes suivis d'un astérisque est fournie dans le glossaire.

TABLEAU 1. SOURCES DE POLLUANTS AÉROPORTÉS

Polluants	Sources ^a internes et externes
Aldéhydes (RCOH) et acides carboxyliques (RCOOH)	Aldéhydes : acétaldéhyde (CH₃HCO) : certains adhésifs polyvinyliques (à base d'acétate de polyvinyle), produits en bois. Formaldéhyde (CH₂O) : apprêts pour tapis, agents fongicides ajoutés aux peintures émulsion, apprêts pour textiles, cuisinières et brûleurs au gaz, collections de spécimens d'histoire naturelle gorgés d'eau, épurateur d'air ozonateur, adhésifs à base d'urée formaldéhyde, fumée de tabac, émissions de véhicules et autres produits de combustion. Acides carboxyliques : acide acétique (CH₃COOH) : bouche-fentes acides, dégradation de matières organiques (en général) et de certains objets, par exemple ceux à base d'acétate de cellulose (syndrome du vinaigre) et ceux en bois, nombreuses peintures émulsion, adhésifs pour les revêtements de sol, métabolisme humain, linoléum, contamination microbiologique des filtres des climatiseurs, peintures à l'huile, produits de développement photographique, certaines solutions de nettoyage « écologiques ». Acide formique (HCOOH) : dégradation de matières organiques (en général), peintures à l'huile, produits en bois. Acides gras* (RCOOH) : combustion de chandelles, émanations de cuisine, adhésifs pour les revêtements de sol, métabolisme humain, linoléum, lubrifiant présent dans un système de CVC, action microbiologique dans le système de CVC ou présente sur les objets, objets comportant des parties d'origine animale (dont peaux, fourrures, spécimens de taxidermie, collection d'insectes), peintures à l'huile, papiers, peaux, produits de papier et de bois, émissions de véhicules.
Amines (RNR)^b	Ammoniac (NH₃) : bouche-fentes à la silicone alcalins, béton, peintures et adhésifs émulsion, produits de nettoyage pour la maison, visiteurs, excréments d'origine animale, engrais et procédés industriels inorganiques, action bactérienne souterraine. Cyclohexylamine (CHA), diéthylaminoéthanol (DEAE) et octadécylamine (ODA) : inhibiteur de corrosion présent dans les installations d'humidification, certains inhibiteurs de corrosion volatils. Amines aliphatiques : adhésifs époxydes.
Gaz sulfureux oxydés* (SO_x ou S⁺)	Dioxyde de soufre (SO₂) : dégradation des matériaux et objets qui contiennent du soufre, comme les fibres protéiniques, pyrite pure ou spécimens minéraux qui contiennent des matières colorantes à base de soufre pyritique, caoutchoucs vulcanisés au soufre, raffineries de pétrole, usines de pâtes et papiers, combustibles fossiles qui dégagent du soufre en brûlant. Acide sulfurique (H₂SO₄) : oxydation du SO₂ dans l'atmosphère ou à la surface d'une substance.
Gaz sulfureux réduits* (S⁻)	Bisulfure de carbone (CS₂) : mastic à base de polysulfure, croissance de moisissures, matières organiques en état de décomposition dans les océans, le sol et les marais. Sulfure de carbonyle (COS) : dégradation de la laine, combustion du charbon, littoral océanique, sol et terres humides, oxydation du bisulfure de carbonyle. Sulfure d'hydrogène (H₂S) : soudage à l'arc, spécimens minéraux contenant de la pyrite, bactéries sulfatoréductrices présentes dans les objets imprégnés provenant d'endroits gorgés d'eau, visiteurs, combustion de carburant et de charbon, marais, océans, industries du pétrole et des pâtes (fabrication de papier Kraft), émissions de véhicules, volcans.
Oxydes d'azote (NO_x)	Monxyde d'azote (NO) : engrais agricoles, produits de combustion de l'essence dégagés par les échappements des véhicules et les centrales d'énergie thermique, dispositifs de chauffage au gaz, éclair, smog photochimique. Dioxyde d'azote (NO₂) : dégradation du nitrate de cellulose et mêmes sources que le monoxyde d'azote, mais principalement attribuable à l'oxydation des NO dans l'atmosphère. Acide nitrique (HNO₃) et acide nitreux (HNO₂) : oxydation du NO₂ dans l'atmosphère ou à la surface d'une substance ou éventuellement dégradation du nitrate de cellulose.
Oxygène (O₂) et ozone (O₃)	Oxygène : 21 % dans l'atmosphère. Ozone : arcs électroniques, épurateur d'air électronique, système à électrofiltre, dispositif électrique pour tuer les insectes, imprimantes au laser, photocopieurs, sources de rayons ultraviolets, éclair, smog photochimique.
Particules (fines et grossières)	En général : humidificateurs en aérosol, combustion de chandelles, béton, émanations de cuisine, imprimantes au laser, rénovations, aérosols, fibres provenant de vêtements, de tapis, de cartons d'emballage, etc. (à cause de frottements, de vibrations ou de l'usure), activités industrielles, construction à l'extérieur, épurateur d'air produisant de l'ozone, sol. Sels d'ammonium : sulfate et nitrate d'ammonium : réaction de l'ammoniac avec du SO₂ ou du NO₂ à l'intérieur ou à l'extérieur ou sur des surfaces solides. Composés biologiques et organiques : micro-organismes, dégradation des substances et des objets, phanères des visiteurs et des animaux, activités de construction. Chlorures : sel marin en aérosol, combustion de combustibles fossiles. Suie (carbone organique) : combustion de chandelles, feux, combustion de charbon, émissions de véhicules.
Peroxydes (ROOR)	Peroxyde d'hydrogène (HOOH) : dégradation de matériaux organiques comme les tuiles de plancher en caoutchouc, produits en bois, activité des micro-organismes, peintures à l'huile. Nitrate de peroxyacétyle (PAN) : émissions de véhicules, particulièrement ceux brûlant un carburant à base d'alcool, smog photochimique.
Vapeur d'eau (H₂O)	Visiteurs, peintures et colles à l'eau, nettoyage avec produits liquides, milieu extérieur.

Notes :

a : Données chiffrées et renvois fournis à l'annexe 1.

b : Le symbole chimique ou l'abréviation commune est fourni entre parenthèses. R correspond soit à une liaison hydrogène (H), soit à un radical CH₃(CH₂)_x (voire à une liaison plus complexe).

TABLEAU 2. EFFETS NUISIBLES DES POLLUANTS

Polluants	Effets sur les matériaux ^a
Aldéhydes et acides carboxyliques	Acétaldéhyde et formaldéhyde : possibilité d'oxydation de l'aldéhyde aux acides carboxyliques lorsque l'HR est élevée ou en présence d'oxydants puissants, ou les deux. Acide acétique et formique : corrosion des alliages de cuivre, du cadmium, du plomb, du magnésium et du zinc, efflorescence sur les matières calcaires comme les coquillages marins, les coraux, les calcaires, les fossiles riches en calcium, efflorescence sur les objets en verre riches en soude, abaissement du degré de polymérisation de la cellulose. Acides gras : taches sur les peintures, corrosion du bronze, du cadmium et du plomb, dédoublement de l'image sur le verre, jaunissement des documents sur papier et photographiques.
Amines	Ammoniac : taches sur l'ébonite, corrosion du métal par un sel d'ammonium, efflorescence sur le nitrate de cellulose. S'il est mêlé avec des composés de sulfate ou de nitrate, un dépôt blanc peut se former à la surface des objets. Autres amines : susceptibles de tacher les peintures et de provoquer la corrosion du bronze, du cuivre et de l'argent.
Gaz sulfureux oxydés*	Acidification du papier, corrosion du cuivre, altération de certaines matières colorantes et fragilisation du cuir.
Gaz sulfureux réduits*	Corrosion du bronze, du cuivre et de l'argent; noircissement du blanc de plomb, décoloration des images photographiques argentiques.
Oxydes d'azote	Corrosion de l'argent à forte teneur en cuivre, détérioration du cuir et du papier, altération de certaines matières colorantes.
Oxygène et ozone	Oxygène et rayons (ultraviolets, visibles) : fragilisation et fissuration des objets organiques, altération des matières colorantes. Ozone : altération de certaines matières colorantes utilisées par les artistes, oxydation des objets organiques présentant des liaisons doubles conjuguées comme le caoutchouc, oxydation des composés volatils en aldéhydes et en acides carboxyliques.
Particules	En général : abrasion des surfaces (très grave dans le cas des support magnétiques), décoloration des objets (particulièrement ceux présentant des interstices où la poussière s'accumule, par exemple porosités, fissures ou, souvent, des irrégularités microscopiques), peut causer ou accélérer la corrosion en raison de la nature hygroscopique des particules ou peut amorcer une catalyse qui dégage des gaz réactifs. Sels d'ammonium : corrosion du cuivre, du nickel, de l'argent et du zinc; taches sur les résines naturelles que présente le mobilier vernis ou sur l'ébonite. Composés chlorés : accélération du taux de corrosion des métaux. Suie : décoloration des surfaces poreuses (peintures, fresques, statues, livres, textiles, etc.), accélération du taux de corrosion des métaux.
Peroxydes	Décoloration des photographies; altération de certaines matières colorantes, oxydation des objets organiques et émission de gaz polluants.
Vapeur d'eau	Hydrolyse des objets organiques comme ceux à base d'acétate et de nitrate de cellulose, de certaines matières colorantes photographiques, des bandes magnétiques à base de polyuréthane ou de mousse de polyuréthane, de la gélatine pour émulsion photographique, de nombreux types de papier, des vernis naturels, des PVC souples (plastifiés). De plus, la vapeur d'eau accélère le taux de détérioration, notamment la corrosion des métaux, l'efflorescence sur les matériaux à base de calcaire et la photo-oxydation des matières colorantes.

Note :

a : Données chiffrées et renvois fournis à l'annexe 2.

principaux polluants aéroportés — l'acide acétique, le sulfure d'hydrogène, le dioxyde d'azote, l'ozone, les particules fines, le dioxyde de soufre et la vapeur d'eau — sont décrits ci-dessous.

Dans cet ouvrage, le niveau ou la concentration des polluants est exprimé en $\mu\text{g m}^{-3}$. Des précisions sur la conversion des unités de concentration sont fournies à l'encadré 1.

ACIDE ACÉTIQUE

L'acide acétique sous forme de vapeur est un polluant d'origine intérieure commun et réactif qui est souvent classé dans le groupe chimique des carbonyles*. Il peut émaner de divers produits, dont les peintures, les vernis, les adhésifs à base de poly(acétate de vinyle), la silicone acide, les produits en bois (particulièrement le chêne et le cèdre) et certains produits de nettoyage. L'acide acétique (CH_3COOH) peut même émaner de certains objets organiques*. Maints objets en plomb sont endommagés lorsqu'ils sont exposés ou entreposés dans une enceinte* où se trouvent aussi des produits qui dégagent de l'acide acétique, comme les produits en bois et les peintures. Ces objets, exposés dans une vitrine faite de produits qui dégagent de

l'acide acétique, peuvent présenter des traces de corrosion dès un à trois mois. Un exemple est fourni à la figure 1. Le dépôt poudreux blanc que présente la pièce de monnaie de plomb a été causé par l'acide acétique dégagé par une vitrine en chêne. Dans certains cas extrêmes, quelques années suffisent pour détruire complètement les objets en plomb : il ne reste alors qu'un dépôt poudreux blanc. Le plomb est souvent présent dans les sceaux apposés sur les documents historiques, dans des petites figurines, des médailles, des pièces de monnaie, des balles, des sculptures modernes, des parties d'objets composites, dans la soudure d'objets métalliques et dans les alliages. Parfois, les objets en bronze sont aussi endommagés par l'acide acétique (Tennent et Baird, 1992). Lorsque les objets ne sont pas conservés dans une petite enceinte, mais plutôt dans une salle ouverte (exception faite des salles où se trouvent des surfaces très grandes de produits acides émissifs et qui sont mal ventilées), très peu de problèmes causés par l'acide acétique ont été signalés. Principalement, deux stratégies sont indiquées pour protéger les objets sensibles à l'acide acétique : choisir, pour l'enceinte, des produits qui dégagent peu ou pas de vapeurs acides et éviter de placer des objets sensibles à l'acide dans la même enceinte que des objets qui dégagent des vapeurs acides.



Figure 1. Médailles de plomb corrodées dans une vitrine en chêne. Avec la gracieuse permission du Musée du séminaire de Sherbrooke. Voir la planche en couleurs p. 95.

Il vaut ici de s'attarder au « syndrome du vinaigre ». Le problème est caractéristique de l'émission de polluants à l'intérieur par un objet; l'acide acétique est dégagé par les pellicules en acétate de cellulose (négatifs ou longs métrages) ou par les objets tridimensionnels en acétate de cellulose, particulièrement en phase critique de détérioration* par hydrolyse* (Reilly, 1993).

L'acide formique et le formaldéhyde sont deux autres polluants intérieurs communs qui sont considérés comme nuisibles par les professionnels de la conservation. En revanche, ils ne s'assortissent pas de la vaste gamme de réactivités qui caractérise l'acide acétique. Il y a moyen d'atténuer les effets nuisibles de ces deux composés en évitant leurs principales sources, par exemple les peintures à l'huile et les peintures alkydes de même que les produits en bois nu à base de colle d'urée formaldéhyde. Les peintures formées par polymérisation oxydative—comme les peintures à l'huile, les alkydes et les uréthanes modifiés à l'huile—dégagent des vapeurs de formaldéhyde et de peroxyde en séchant. Une certaine quantité de formaldéhyde peut être oxydée par le peroxyde dans les jours qui suivent l'application de la peinture. Le formaldéhyde est abordé plus loin, à la section « Autres polluants aéroportés ».



Figure 2. Porte-clés en cuivre plaqué argent terni. Le nettoyage répété de la ternissure causera l'élimination de la mince couche d'argent. Voir la planche en couleurs p. 95.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Le sulfure d'hydrogène (H_2S), un composé de soufre réduit* que l'on reconnaît à son odeur « d'œuf pourri », est considéré comme un polluant principal parce qu'il est fortement capable de ternir l'argent et le cuivre en moins d'une année, même dans les endroits reculés et à une concentration si faible que l'odorat humain est incapable de le détecter ($1-10 \mu g m^{-3}$). Le ternissement typiquement causé par le H_2S est illustré à la figure 2. De plus, il arrive parfois que le H_2S noircisse le blanc de plomb sur certains tableaux. L'industrie des pâtes et papiers et celle du pétrole sont les principales sources anthropiques* de H_2S . En dehors des villes, le H_2S est dégagé par les océans, l'activité volcanique et géothermique, les marais et la végétation (Watts, 2000). À l'intérieur des bâtiments, les concentrations de H_2S sont plus fortes là où il y a beaucoup de gens. Ainsi, on a constaté qu'une personne dans une salle de classe dégage environ $100 \mu g$ de H_2S à l'heure (Wang, 1975). Les objets en argent peuvent ternir rapidement s'ils sont exposés avec des objets archéologiques gorgés d'eau contaminés par des bactéries sulfatoréductrices (Little *et al.*, 1998; Green, 1992). Le sulfure de carbone (COS), un autre composé de soufre réduit commun, est dégagé principalement dans les campagnes. Il réagit moins avec les métaux que le H_2S .

Bien des gens pensent que la laine a des effets nuisibles sur l'argent et on a signalé un ternissement rapide d'objets en argent exposés dans une pièce où le sol était recouvert d'un tapis en laine. En revanche,

des médailles en argent exposées dans des vitrines avec des uniformes militaires en laine sont très peu ternies même au bout de nombreuses années. La même constatation a été faite à l'Institut canadien de conservation (ICC) où des plaquettes d'argent n'ont pas terni dans une chambre d'essai où elles avaient été placées avec un coupon de laine, à un taux d'humidité relative* (HR) d'environ 50 %, pendant plus de huit ans. En fait, la laine ne dégage pas de concentrations importantes de composés de soufre réduit à température ambiante. Au contraire, elle est plutôt efficace pour adsorber les composés de soufre (Crawshaw, 1978), ce qui explique le faible taux de ternissement de l'argent placé avec de la laine dans des enceintes étanches à l'air. Par contre, la situation change lorsqu'il s'agit d'un tapis en laine parce que la laine a tendance à dégager des composés de soufre réduit lorsqu'elle est brillamment illuminée (Brimblecombe *et al.*, 1992). Ces composés, combinés avec la poussière et les sels qui peuvent être présents dans le tapis ainsi qu'avec les composés de soufre réduit véhiculés par l'air extérieur et par les visiteurs, peuvent accélérer le ternissement d'une collection d'objets en argent placée dans une pièce directement illuminée par le soleil et dont le sol est recouvert d'un tapis en laine.

DIOXYDE D'AZOTE

Le dioxyde d'azote (NO_2) est le plus commun des composés atmosphériques classés dans le groupe des oxydes d'azote (NO_x). Il cause la coloration rouge brunâtre que l'on observe en suspension au-dessus

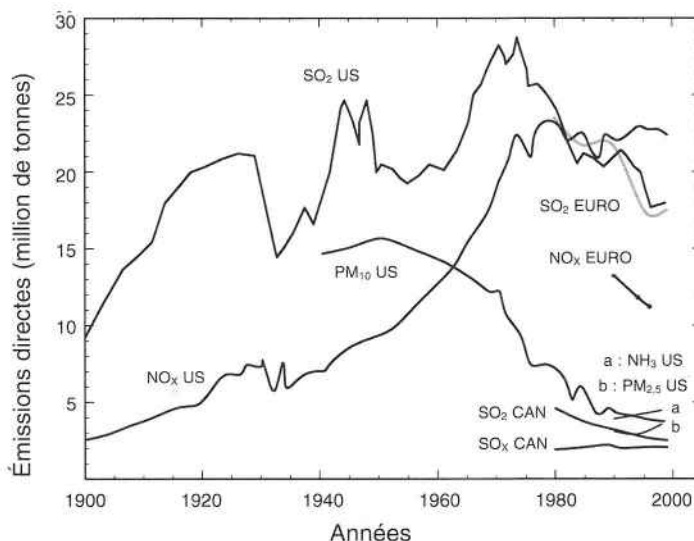


Figure 3. Évolution des émissions de polluants aux États-Unis, en Europe et au Canada (EPA, 2000, 2001c, 1996; EMEP, s.d.).

ENCADRÉ 2. DÉPÔTS ACIDES

Le terme « pluies acides » a été retenu à l'origine pour désigner l'acidité anormale relevée dans les précipitations. Avec le temps et une meilleure appréciation du problème des chutes de composés acides provenant de l'atmosphère, le terme « dépôts acides » s'est avéré plus précis.

Ces composés sont principalement issus du dioxyde de soufre (SO_2) et du monoxyde d'azote (NO) sous forme gazeuse dégagés par la combustion du charbon et des combustibles fossiles ainsi que par les activités des fonderies. Ces gaz peuvent réagir avec l'eau, l'oxygène et d'autres produits chimiques présents dans l'atmosphère pour former des gaz et des aérosols* (acides, sels et radicaux) à base des composés de SO_x et de NO_x , comme l'illustre la figure 4. De plus, ils sont souvent adsorbés par d'autres particules. Certaines réactions sont dominantes en cas de rayonnements solaires ou en présence de gouttelettes d'eau (nuages, brouillard) (Harrison, 1996). D'autres réactions se produisent plus fréquemment la nuit, avec l'oxydation du NO_2 par l'ozone.

Lorsque les aérosols de sulfate et de nitrate sont en suspension dans l'air, ils réduisent la visibilité autant

dans les villes qu'à la campagne. Après un certain temps, ils retombent sur terre sous forme de dépôts secs ou liquides. Environ la moitié des composés présents dans l'atmosphère retombent au sol sous forme de dépôts secs de gaz ou de particules dans les zones fortement polluées situées à proximité des sources d'émission. C'est dans cet état que la plupart des polluants aéroportés s'infiltrent dans les ouvertures ou dans les systèmes de ventilation des musées. Le reste retombe sous forme de dépôts humides, c'est-à-dire de pluies acides, de brouillard ou de chutes de neige. Selon les conditions météorologiques dominantes, ces composés peuvent être transportés sur des centaines de kilomètres avant de retomber au sol sous forme de précipitations. Lorsqu'il pleut, les dépôts secs sont lavés des arbres et autres surfaces. Le cas échéant, les eaux de ruissellement mêlent les acides déposés aux pluies acides, ce qui signifie que le produit final est plus acide que la pluie seule.

D'autres composés peuvent exacerber l'acidité atmosphérique, notamment l'ammoniac, les acides carboxyliques, le sulfure d'hydrogène, le chlorure d'hydrogène et le fluorure d'hydrogène. Ceux-ci sont de source anthropique ou naturelle et leur rôle est secondaire.

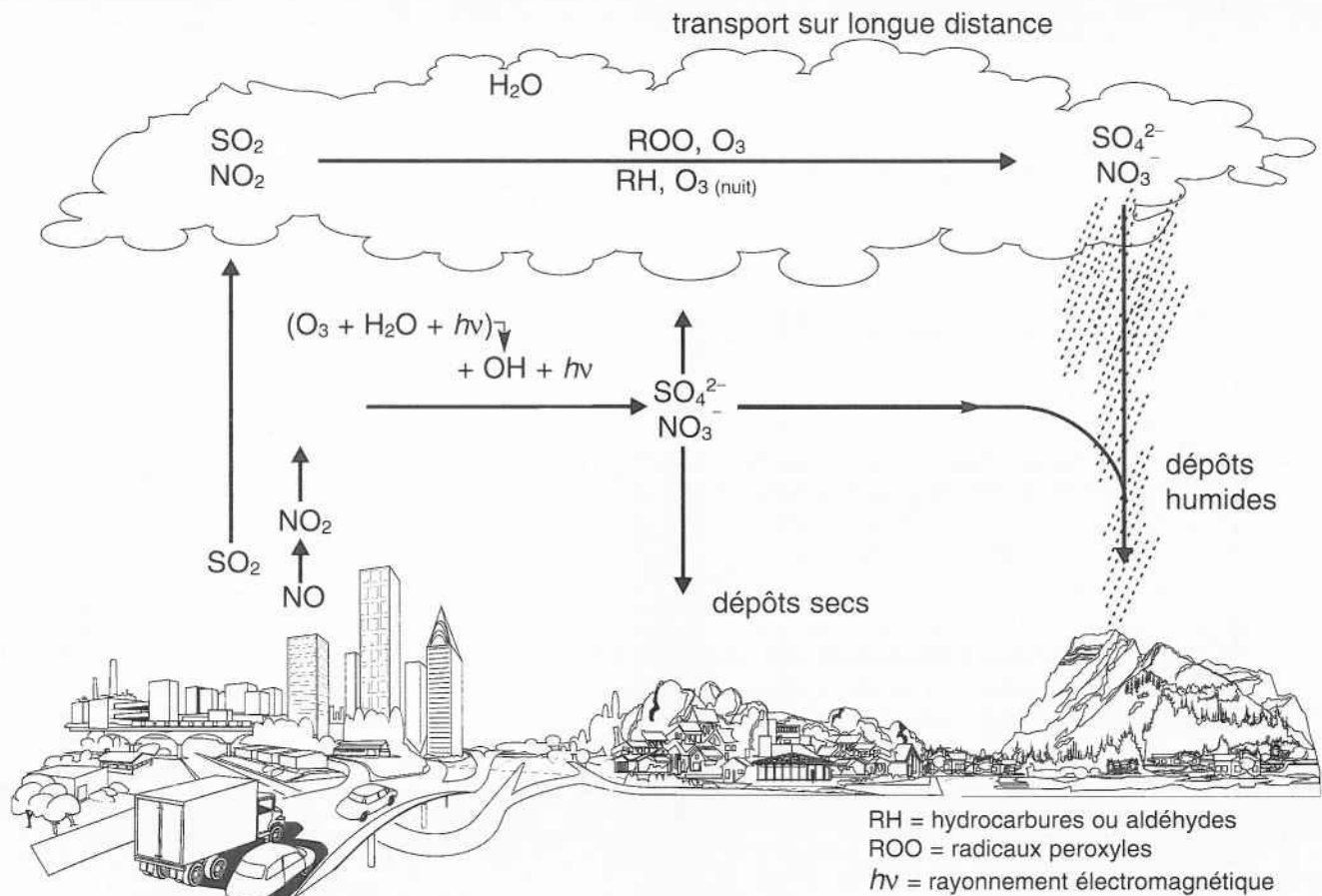


Figure 4. Principales origines anthropiques des dépôts de SO_x et de NO_x .

des villes, particulièrement en période de smog* photochimique. Il est également un important précurseur de l'ozone. Le NO_2 se forme rapidement dans l'atmosphère par action de l'ozone sur le monoxyde d'azote (NO). Le monoxyde d'azote est le principal NO_x présent dans les gaz d'échappement des véhicules (environ 50 % des émissions totales) et dégagé par les centrales d'énergie et les activités industrielles. L'émission directe de NO_2 dans l'atmosphère ne représente qu'une petite fraction des émissions totales de NO_x . Depuis les débuts de l'industrialisation, les émissions de NO_x ont fortement augmenté. La tendance nationale des émissions de NO_x aux États-Unis au XX^e siècle est présentée à la figure 3, qui rend compte également des tendances à long terme pour d'autres polluants aux États-Unis et de quelques tendances à court terme des concentrations de polluants au Canada et en Europe. Par contre, aux États-Unis et en Europe, on remarque depuis quelques années un léger déclin des émissions de NO_x . Habituellement, les émissions et les concentrations de polluants extérieurs évoluent de façon comparable à un endroit donné. Cette hypothèse a été prouvée dans certaines villes américaines et canadiennes où des programmes exhaustifs de surveillance mis en place dans les années 1980 révèlent un léger déclin des concentrations de NO_2 . Il est important de connaître les concentrations et les tendances associées aux polluants extérieurs parce que ceux-ci s'infiltrant dans les musées à une fraction de leurs concentrations en plein air.

Par le passé, le NO_x était considéré comme deuxième au classement des principaux polluants après le dioxyde de soufre (SO_2), tenu comme origine des pluies acides ou, plus exactement, des dépôts acides. Vu la réduction progressive des concentrations de SO_2 en Amérique du Nord et dans certains pays d'Europe, le NO_x pourrait éventuellement devenir le principal précurseur des pluies acides (voir l'encadré 2).

Dans l'atmosphère, une fraction de NO_2 est susceptible d'oxydation* supplémentaire pour aboutir ainsi à sa forme acide, soit l'acide nitrique (HNO_3). Le HNO_3 et le NO_2 font tous deux pâlir les matières colorantes utilisées par les artistes et peuvent accélérer la détérioration du papier et du cuir de tannage végétal. On suppose que le NO_2 absorbé par les objets s'oxyde pour devenir de l'acide nitrique et que cet acide est à l'origine de la majorité des dommages qui s'ensuivent. L'oxyde nitreux (N_2O) et le NO ne sont pas nuisibles en eux-mêmes pour les collections. La détérioration des pellicules (négatifs ou longs métrages) ou des objets tridimensionnels (p. ex. peignes, barrettes, simili-écaille de tortue) à

base de nitrate de cellulose est un effet bien connu du NO_2 , à titre de polluant interne, la pellicule même étant la source de NO_2 et d'autres NO_x sous forme gazeuse (Selwitz, 1988).

Il est pratique, aux fins de surveillance, de cibler le NO_2 à titre de composé clé de la famille des NO_x . Maintes méthodes détectent indifféremment le NO_2 et le NO . Elles causent l'oxydation* du NO en NO_2 sur un sorbant* ou encore elles exigent l'oxydation du NO par l'ozone pour analyse chimiluminescente.

OZONE

L'ozone (O_3) est un oxydant* puissant normalement présent dans la stratosphère qui protège la planète des rayons ultraviolets intenses et néfastes. Au niveau du sol (ou à quelques centaines de mètres d'altitude), il se forme en présence de smog photochimique. Le smog photochimique résulte de réactions chimiques multiples entre les oxydes d'azote et les hydrocarbures et leurs dérivés oxygénés, lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil, comme le montre la figure 5. La concentration d'ozone augmente après l'heure de pointe du matin (émissions des véhicules) et constitue une source de composés précurseurs d'ozone. À mesure que l'ensoleillement gagne en intensité, la concentration d'ozone culmine l'après-midi. Pendant la réaction photochimique, d'autres polluants nuisibles, comme les acides et les particules fines, se forment. Parallèlement à la présence des précurseurs, les conditions météorologiques (c.-à-d. rayonnement solaire, pluies, vitesse et direction des vents) influencent grandement la formation d'ozone au niveau du sol. Les températures élevées en surface, dues

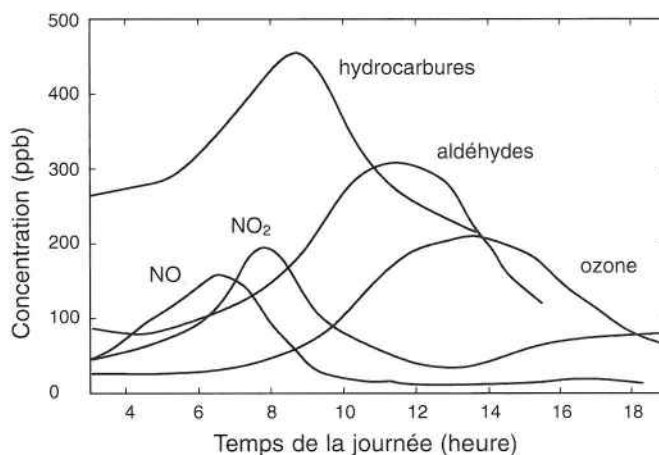


Figure 5. Tendances quotidiennes du smog.
D'après Manahan (1994).

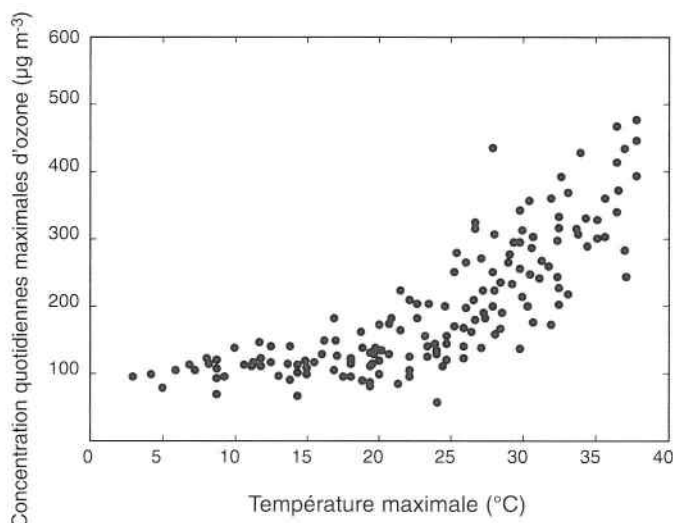


Figure 6. Concentrations d'ozone comparées à la température à New York. Il s'agit du rapport entre les concentrations maximales quotidiennes d'ozone et la température maximale quotidienne à New York de mai 1988 à octobre 1990 (NAST, 2001).

à un rayonnement solaire intense, ont une incidence supérieure sur la concentration maximale d'ozone que les changements de concentration des précurseurs. La figure 6 illustre la corrélation entre les concentrations d'ozone et la température à New York. Au Canada, aux États-Unis et en Europe centrale, les périodes de smog sont fréquentes en été tandis que dans les pays du littoral européen, comme l'Angleterre et les Pays-Bas, les concentrations maximales d'ozone se produisent au printemps (EC, 1999; Hjellbrekke, 2000). Au Canada, c'est dans le corridor Windsor-Québec que l'on relève les concentrations maximales d'ozone, ce qui est attribuable à la forte densité de population et à l'industrialisation dans cette région ainsi qu'aux vents dominants du sud-ouest qui portent les précurseurs d'ozone, particulièrement depuis la région immédiatement au sud des Grands Lacs. Le transport des précurseurs d'ozone dans l'atmosphère est à l'origine des fortes concentrations d'ozone dans des régions reculées où l'activité humaine est pourtant limitée. Au cours des 10 dernières années, les tendances associées à la concentration d'ozone au niveau du sol ont été relativement stables aux États-Unis et en Europe, mais semblent avoir légèrement augmenté au Canada, en dépit des efforts que déploient les gouvernements américain et canadien pour réduire les émissions des deux principaux précurseurs de l'ozone, soit les hydrocarbures et le NO₂ (EPA, 2001; EC, 1999; Hjellbrekke, 2000).

Dans les bâtiments, les principales sources d'ozone sont les dépoussiéreurs électriques* intégrés aux

systèmes de chauffage, ventilation et climatisation* (CVC), les épurateurs d'air électroniques (ozoneurs) et les photocopieurs. Théoriquement, l'ozone peut attaquer les matériaux* parce qu'il brise les liaisons doubles entre les atomes de carbone. La détérioration du caoutchouc naturel vulcanisé tendu et l'altération des matières colorantes utilisées par les artistes sont les effets les plus souvent étudiés. Même si les matériaux organiques sont très susceptibles de détérioration, il existe peu de données quantitatives pour affirmer l'hypothèse répandue qu'ils sont considérablement endommagés par l'ozone dans des conditions normales.

PARTICULES FINES

Il est courant de caractériser les particules (poussières) en fonction de leur diamètre. Cette caractéristique est importante parce qu'elle détermine à la fois le comportement des particules et les stratégies de contrôle*. Les particules sont classées en groupes selon leur diamètre aérodynamique*. En matière de contrôle des polluants, la particule fine (PM_{2,5} : particule en suspension dont le diamètre aérodynamique est égal ou inférieur à 2,5 µm) et la particule grossière (PM₁₀ : diamètre aérodynamique de 2,5 à 10 µm) sont les indicateurs les plus souvent utilisés. La taille et la distribution de masse, les procédés de formation et la vitesse de dépôt* de différentes particules sont fournis à la figure 7. Les composés sulfurés et nitreux, le carbone organique, le matériau crustal* et les sels sont les principaux composés nuisibles associés aux particules fines (PM_{2,5}) de source extérieure (EPA, 2001). Ils sont soit dégagés directement dans l'atmosphère, soit formés dans l'atmosphère à l'issue de réactions secondaires. Au Canada et aux États-Unis, les concentrations ont baissé au cours des 15 à 20 dernières années (EPA, 2000; EC, 1999). Parce que les particules plus petites peuvent se loger dans les interstices superficiels d'un objet, les PM_{2,5} (plus petites) sont les plus nuisibles et leur contrôle se trouve également à réduire considérablement les concentrations de polluants gazeux qui sont généralement regroupés par nucléation* ou adsorbés par les particules. Comme le montre la figure 7, les particules fines dont le diamètre varie de 0,05 à 2 µm ont tendance à s'accumuler dans le milieu parce que leur vitesse de dépôt est faible. Elles peuvent aussi demeurer en suspension dans l'air ambiant* pendant quelques jours. Et, comme elles sont petites, elles sont aussi les plus difficiles à filtrer. Tout effort visant à contrôler la concentration de PM_{2,5} doit d'abord prendre en considération le contrôle des concentrations de PM₁₀ et des particules très grossières (>10 µm) qui peuvent éventuellement

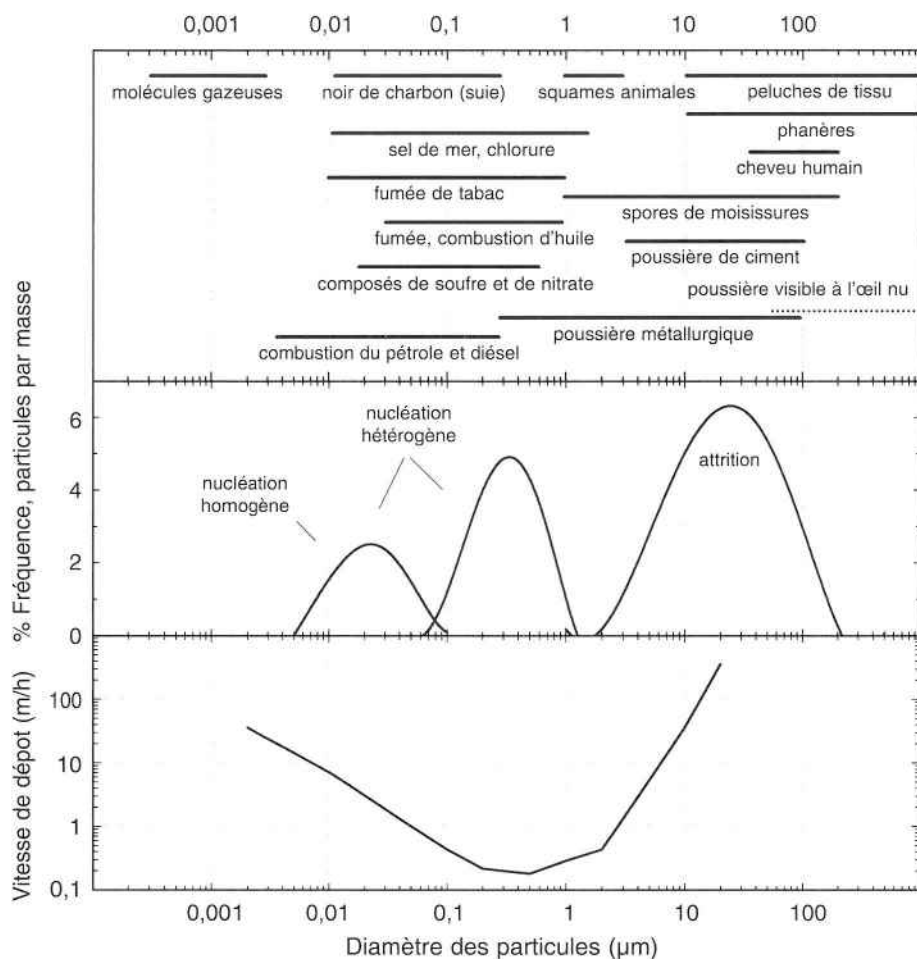


Figure 7. Distribution de la poussière. Le diamètre des particules provient de différentes sources. Le diamètre d'un cheveu humain est fourni uniquement à titre de référence. La vitesse de dépôt est adaptée de Slinn et al. (1978).

contenir des composés réactifs, par exemple des résidus de combustion, des phanères d'origine humaine et des organismes microbiologiques. Comparativement aux particules fines, le temps de séjour* des particules dont le diamètre excède 10 μg est court. Ces particules se retrouvent à proximité de

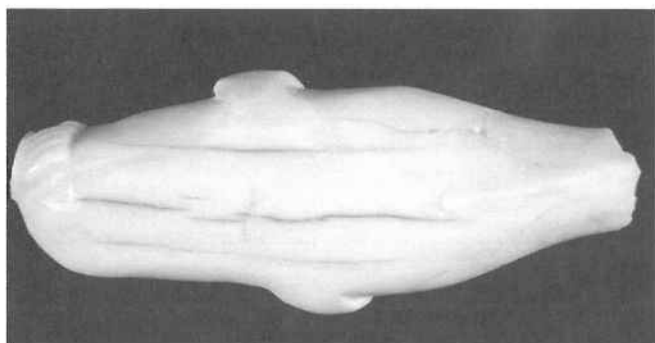


Figure 8. Sculpture inuite en ivoire présentant des fissures incrustées de suie. Voir la planche en couleurs p. 96.

leurs sources, à moins d'être portées par des vents forts. Les particules fines sont particulièrement nuisibles parce qu'elles risquent de décolorer ou de salir les surfaces et ces salissures changent la perception visuelle des objets. Plus les surfaces sont fragiles, poreuses ou altérées, plus elles sont difficiles à nettoyer. Toute stratégie de contrôle qui vise à minimiser les concentrations de particules est désirable justement parce qu'il est difficile de nettoyer les objets fragiles ou poreux. Le nettoyage des objets est une opération délicate, qui exige beaucoup de temps et l'intervention de restaurateurs qualifiés. La sculpture en ivoire et la coiffure autochtone en plumes illustrées aux figures 8 et 9 sont de bons exemples d'objets dont le nettoyage est loin d'être simple, ce qui serait aussi le cas des spécimens minéraux filamenteux qui sont vraisemblablement impossibles à nettoyer en ayant recours aux méthodes conventionnelles.

Le dépôt de particules hygroscopiques, grasses ou métalliques sur une surface peut amorcer ou accélérer la détérioration de l'objet ainsi que la formation de composés nuisibles, comme les acides. À l'exception des particules résultant de la préparation

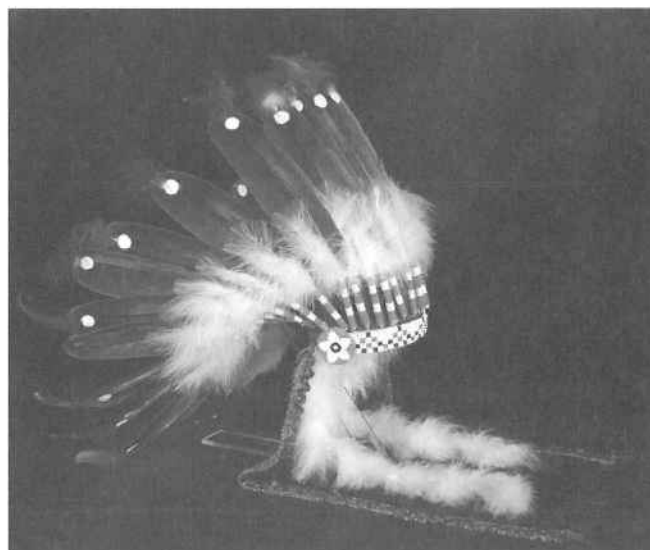


Figure 9. Coiffure autochtone nord-américaine en plumes. En raison de la fragilité des matériaux, cet objet est très difficile à nettoyer.

de mets dans la cafétéria d'un musée ou de la consommation de combustibles (bougies), la plupart des particules de source interne sont formées de terre, de poussière et de fibres provenant des tapis et des vêtements. En général, on ne considère pas que les fibres ont des effets nuisibles directs sur une collection, sauf dans le cas des supports magnétiques, comme les bandes sonores et les bandes vidéo, pour lesquels les poussières abrasives présentent un risque pendant la manipulation et l'écoute. Enfin, les accumulations de poussières forment un milieu attrayant pour les insectes et les moisissures. De même, au chapitre des conséquences négatives, il ne faut pas négliger la perspective plus vaste qu'est l'incidence sur la perception des visiteurs, y compris des donneurs éventuels qui pourraient voir dans les dépôts de poussière l'évidence d'un manque de soins élémentaires pour la collection.

La filtration des particules fines de source extérieure devrait compter parmi les plus importantes des stratégies de contrôle. En revanche, il n'est pas possible d'assurer un contrôle égal des particules de différentes tailles. Les plus denses et grossières des particules de source interne (dont le diamètre aérodynamique dépasse probablement 50 μm) ne parviennent pas aisément aux assemblages de filtres des systèmes de CVC. Leur temps de séjour (quelques secondes) est trop bref pour qu'elles soient captées par les filtres et elles choient sous l'effet de la gravité. Ces particules peuvent éventuellement retourner en suspension si elles sont dérangées par les déplacements d'air causés par l'activité humaine. Les vibrations et les changements de dimensions des objets causés par les variations d'HR peuvent aussi déloger la poussière des objets et des produits. Il faut effectuer régulièrement un nettoyage avec un aspirateur muni d'un filtre à haute efficacité. De même, les enceintes étanches à l'air et celles munies d'un système en surpression constituent des moyens efficaces d'empêcher la poussière de s'accumuler sur les objets.

DIOXYDE DE SOUFRE

Depuis 1900, les industries, les transports et les systèmes de chauffage de l'Amérique du Nord sont principalement alimentés par la combustion de carburants ou de charbon. L'augmentation et la baisse des concentrations de dioxyde de soufre (SO_2) aux États-Unis sont présentées à la figure 3. Le SO_2 est le principal composé à l'origine des dépôts acides (voir l'encadré 2). Aux endroits où les concentrations de SO_2 sont fortes, les précipitations acides ont des incidences négatives graves sur les bâtiments,

les monuments situés à l'extérieur et l'écosystème dans son ensemble. Bon nombre de livres reliés en cuir entreposés depuis les débuts de l'industrialisation dans des services d'archives urbains ont été gravement endommagés (figure 10). Il faut aussi prévoir qu'en présence d'ions métalliques ou de sels, le SO_2 passe à sa forme acide (H_2SO_4) par oxydation. Heureusement, les règlements visant les émissions de SO_2 dans les années 1970 en ont nettement abaissé la concentration atmosphérique. Aujourd'hui, les centrales d'énergie qui consomment du charbon et de l'huile aux États-Unis et en Europe sont les principales sources de SO_2 , suivies par les procédés industriels et les transports (EPA, 2000; Clean Air, 2000; AEE, 2001). Seulement une faible proportion des émissions de SO_2 est attribuable aux gaz d'échappement des véhicules alimentés à l'essence. Au Canada, ce sont les activités industrielles, et plus précisément les fonderies, qui sont la

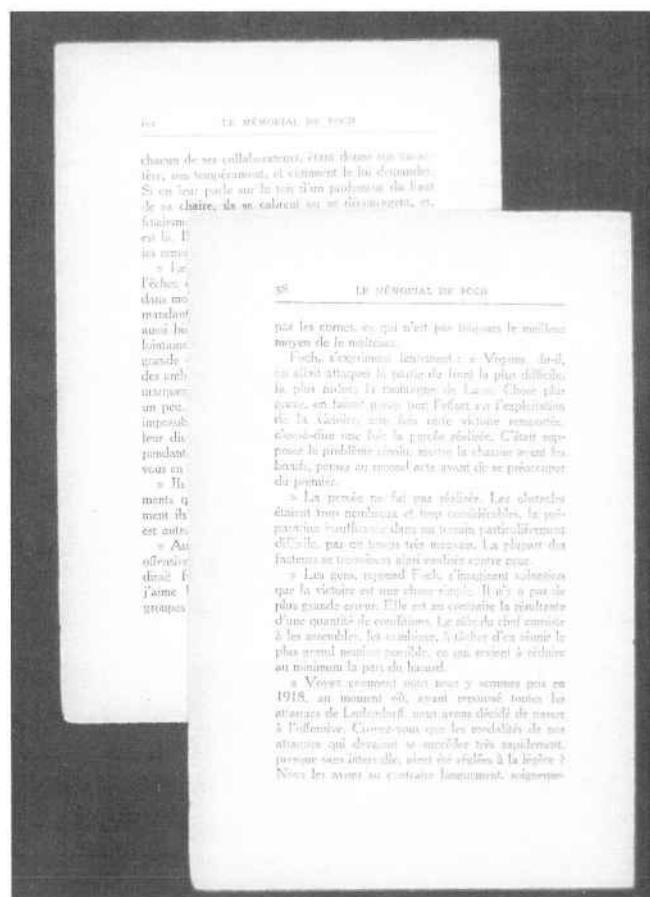


Figure 10. Brunissement des bords de la page d'un livre français imprimé en 1929. Les polluants (principalement le SO_2) sont adsorbés par le bord des pages et s'étalent lentement vers le milieu. Le pH des parties plus foncées est d'environ 3,5 tandis qu'au milieu, il est de 6,2. Voir la planche en couleurs p. 96.

principale source de SO₂ (Stadler-Salt et Bertram, 2000; MEO, 1999). Selon le World Resource Institute, les émissions de SO₂ devraient rester stables au cours des prochaines décennies au Canada, aux États-Unis et en Europe à moins d'un renversement des politiques sur l'environnement. Malheureusement, on prévoit une forte hausse des émissions de SO₂ dans les pays asiatiques, où le développement économique s'accélère sans être assorti d'une réglementation stricte sur les émissions de polluants (WRI, s.d.).

Les matériaux présents dans les enceintes (c.-à-d. matières protéiniques, caoutchoucs vulcanisés au soufre et composés sulfurés oxydants présents dans les spécimens géologiques et dans certaines teintures) sont sources de composés sulfureux. Quoiqu'on ait attribué à ces matériaux l'origine des dommages subis par les objets, les composés sulfurés gazeux que dégagent ces objets et produits dans les enceintes n'ont pas fait l'objet d'une surveillance étroite.

VAPEUR D'EAU

L'eau (H₂O) est comprise dans les principaux polluants aéroportés, en dépit du fait qu'il existe des lignes directrices claires pour les musées quant aux taux d'HR qui doivent être maintenus pour éviter les dommages matériels causés par un taux d'HR incorrect (milieu trop sec ou trop humide) ou par des fluctuations excessives du taux d'HR. L'action de l'eau engendre des dommages tant physiques que chimiques. Ainsi, la vapeur d'eau peut endommager directement, par hydrolyse, les objets à base de cellulose* qui habituellement forment une partie importante des collections. L'acétate et le nitrate de cellulose (figures 11, 12 et 13), particulièrement sous forme de feuilles minces ou de pellicules enroulées, de papiers et de bandes magnétiques à base de polyuréthane, comptent parmi les matériaux sensibles à l'effet d'hydrolyse de la vapeur d'eau. La vapeur d'eau a aussi une forte incidence sur la détérioration causée par d'autres polluants



Figure 11. Négatifs en acétate de cellulose dont la détérioration est avancée. La couche d'émulsion et la couche de gélatine dorsale ont jauni, sont rainurées à 10 % et cloquées à 100 %. Le support est jauni et très friable. L'acétate de cellulose est complètement détériorée et s'est transformée d'ester en cellulose (c.-à-d. cellulose régénérée). Voir la planche en couleurs p. 97.



Figure 12. Feuilles de nitrate de cellulose dont la détérioration est avancée. La couleur des feuilles a viré à un brun jaunâtre. Voir la planche en couleurs p. 97.

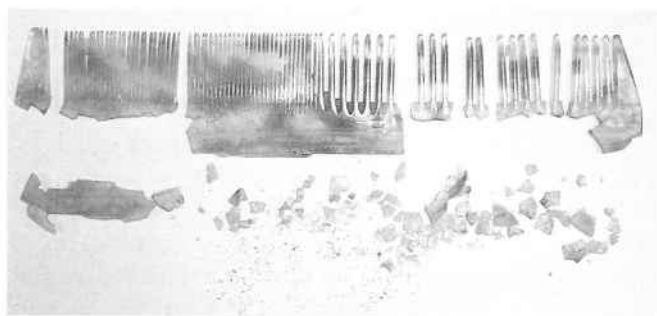


Figure 13. Peigne en nitrate de cellulose très fragile, fabriqué dans les années 1960.

(voir la section intitulée « Facteurs influençant la CSENO et la DMENO »). D'après la règle des 80-20 et la forte incidence de la vapeur d'eau sur les collections, il est inévitable que celle-ci compte parmi les principaux polluants.

Une augmentation du nombre de visiteurs dans une salle mal ventilée peut causer une augmentation de la concentration de vapeur d'eau à l'intérieur des bâtiments. Dans une enceinte, les produits liquides* nouvellement appliqués (comme les peintures à l'eau ou les adhésifs) peuvent aussi hausser le taux d'humidité. Il n'est pas toujours facile de contrôler la concentration de vapeur d'eau dans une salle ou une enceinte. Néanmoins, un milieu sec (taux d'HR aussi bas que 20 %) est préférable à un milieu humide du point de vue de la préservation de maints objets dont les métaux, les coquillages, les objets à base de papier et de nombreux plastiques. Souvent, le taux cible doit tenir compte non seulement du taux d'HR qu'exige une collection d'objets divers ou un objet composite, mais aussi des taux d'HR moyens passés dans le bâtiment. Par exemple, des meubles anciens qui ont été exposés pendant longtemps dans une maison historique humide ne peuvent aisément être déménagés dans un milieu plus sec sans risques. Des changements dimensionnels importants des meubles sont sûrs de se produire pendant la période d'acclimatation au nouveau milieu.

Les taux d'HR élevés sont aussi assortis du risque de croissance de moisissures. La figure 14 indique le nombre de jours qui s'écoulent avant que des moisissures ne se présentent, à température ambiante et à des taux d'HR variables. Le taux d'humidité le plus faible, qui s'assortit d'une croissance très lente de moisissures, se chiffre à 60 %. À un taux d'HR de 70 %, les moisissures prolifèrent en quelques mois.

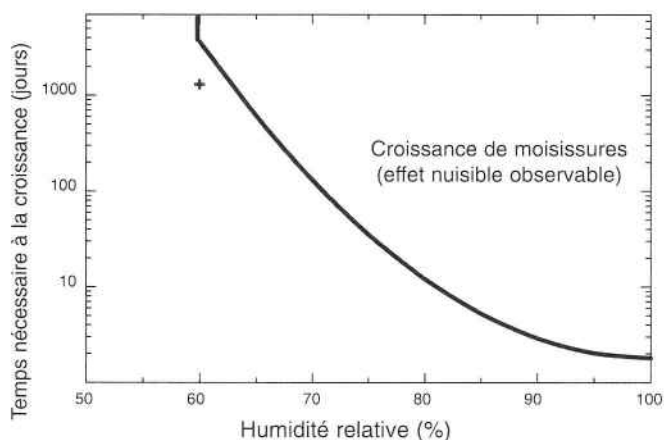


Figure 14. Temps nécessaire à la croissance de moisissures visibles, en supposant un matériau hautement susceptible à environ 25 °C et que l'HR a augmenté (et non chuté) pour atteindre ces valeurs. La croix correspond à une absence de croissance en 1300 jours, avec un taux d'HR de 60 % (Michalski, 2000).

La question des taux d'HR est abordée sommairement dans le présent ouvrage parce qu'elle fait déjà l'objet d'une littérature abondante (Michalski, 2000; ASHRAE, 2003; Erhardt et Mecklemburg, 1994).

AUTRES POLLUANTS AÉROPORTÉS

Outre les sept principaux polluants aéroportés décrits ci-dessus, il peut être nécessaire d'effectuer une enquête sur d'autres polluants et leur suivi si ceux-ci présentent une concentration anormalement forte ou si le musée abrite une collection particulièrement sensible à ces autres polluants. À titre d'évaluation préliminaire des risques dans ces cas particuliers, on peut consulter les tableaux 1 et 2. Il faut aussi songer que l'ajout de polluants à la liste de ceux déjà couverts dans les objectifs environnementaux* fait augmenter le coût et les ressources associés aux programmes de surveillance à long terme. Il peut donc être inutile d'assurer une surveillance étroite d'un certain polluant lorsqu'un polluant « principal » du même groupe chimique fait déjà l'objet de mesures de contrôle : autrement dit, le contrôle d'un ou de deux principaux polluants aéroportés se trouve souvent à englober le contrôle du polluant qui pose problème. Néanmoins, l'identification des polluants que peuvent contenir les nouveaux produits ou objets demeure une tâche importante. En effet, le repérage des produits qui ne conviennent pas permet d'adapter les stratégies de contrôle de façon à prévenir ou à minimiser la détérioration de la collection. De plus, les effets de certains gaz ou de certaines vapeurs sur les collections restent à préciser ou sont

débat par les chercheurs sur le terrain. La raison de l'exclusion de l'ammoniac, du dioxyde de carbone, du formaldéhyde, de l'oxygène et des composés organiques volatils à titre de principaux polluants est exposée ci-dessous.

AMMONIAC

Les principales sources d'ammoniac (NH_3) à l'extérieur sont le bétail d'élevage et les engrais agricoles (EPA, 2000). À l'intérieur, une forte concentration d'ammoniac peut résulter d'une fréquentation importante (Dahlin *et al.*, 1997). Des concentrations maximales périodiques peuvent se produire si les produits de nettoyage utilisés dans l'établissement contiennent de l'ammoniaque (p. ex. liquides pour laver les vitres). À l'intérieur, les dommages causés par l'ammoniac sont associés aux sels d'ammonium qui provoquent la corrosion des objets ou la formation d'un dépôt blanchâtre à leur surface. Ces sels sont formés par la nucléation de l'ammoniac avec d'autres composés, comme les composés de soufre ou d'azote. En assurant le contrôle des concentrations de SO_2 , de NO_2 et des particules fines et du taux d'HR, il y a moyen de minimiser les effets nuisibles de l'ammoniac. Cependant, dans certains cas, l'ammoniac réagit directement avec un composant d'un objet et forme un sel — c'est le cas des objets en nitrate de cellulose présentés à la figure 15.

DIOXYDE DE CARBONE

Le dioxyde de carbone (CO_2) est un gaz dont la surveillance est effectuée plus par souci pour son incidence sur la santé humaine que pour des raisons liées à la préservation des collections. La surveillance des concentrations de CO_2 dans un bâtiment où fonctionne un système de CVC sert à déterminer le niveau idéal pour le confort des gens, moyennant un taux minimal de ventilation. Il a été prouvé que le CO_2 à l'état gazeux a très peu d'effets nuisibles considérables sur une collection à l'intérieur, même en présence de fortes concentrations, à condition que le taux d'HR soit inférieur à 75 %. Bien des recherches sur les phénomènes atmosphériques montrent que l'augmentation de la quantité de CO_2 est une importante conséquence des changements climatiques. Les sites Web suivants contiennent des renseignements supplémentaires à ce sujet : le *Bulletin des tendances et des variations climatiques* d'Environnement Canada (EC, s.d.), *Climate Change* du NewScientist (s.d.) et *Global Warming* de la Cooler Heads Coalition (s.d.).

FORMALDÉHYDE

On a beaucoup parlé, peut-être à tort, des dommages que cause cet aldéhyde aux objets de musée. Depuis les années 1970, avec le recours accru aux panneaux

de bois et à la mousse isolante en urée formaldéhyde, les effets néfastes du formaldéhyde (CH_2O) sur la santé humaine sont devenus évidents. Dans les musées, certaines personnes ont constaté la corrosion des objets en plomb dans des enceintes (Leveque, 1986) comportant des produits en bois à base d'urée formaldéhyde. Curieusement, le phénomène est difficile à reproduire en laboratoire à moins de créer des conditions extrêmes (Tétreault *et al.*, 2003; Thickett, 1997). Exception faite du plomb, peu d'études prouvent le risque que pose le formaldéhyde pour les collections dans un musée. Comparativement, l'acide acétique semble être un composé organique interne plus agressif à l'égard d'une gamme plus vaste d'objets, mais il ne s'assortit pas d'effets néfastes graves pour les êtres humains. Le formaldéhyde joue souvent un rôle mineur dans la corrosion des métaux (Tétreault *et al.*, 2003;

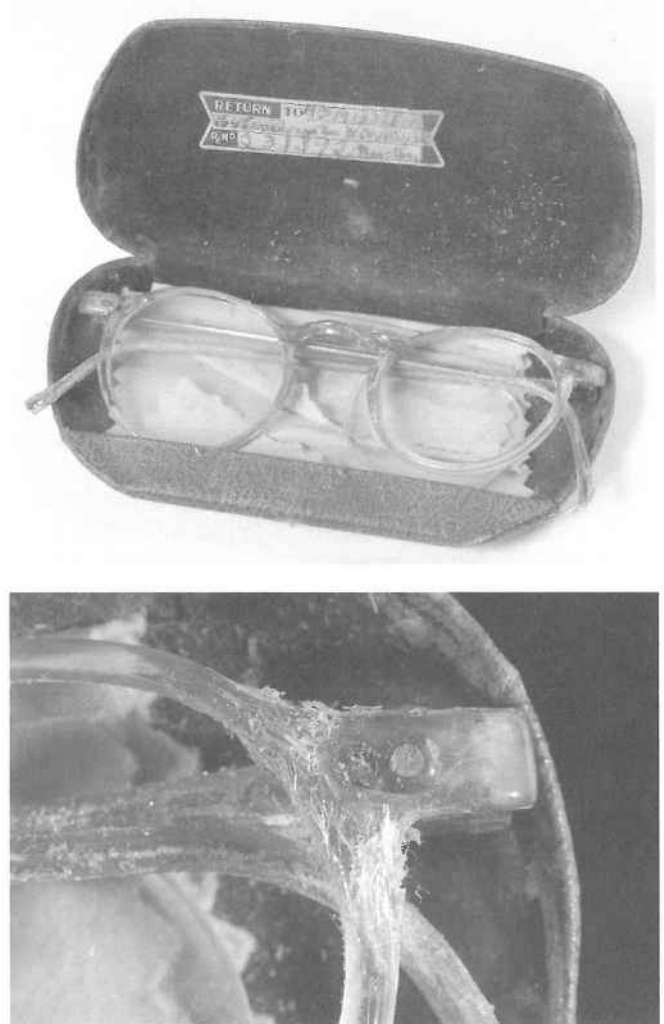


Figure 15. Lunettes à monture en nitrate de cellulose. (En haut) les lunettes dans leur étui de cuir, (en bas) détail de la monture montrant la présence de filaments de nitrate d'ammonium.

Thickett *et al.*, 1998) et le même rôle négligeable est attendu dans le cas de l'efflorescence des objets à base de carbonate de calcium, comme les œufs ou les coquillages. L'oxydation du formaldéhyde en acide formique (HCOOH) est négligeable dans l'atmosphère à moins de la présence anormale d'oxydants. Toutefois, une certaine oxydation du formaldéhyde en acide formique peut se produire à la surface d'un matériau, phénomène qui peut être accéléré par la présence de dépôts sur l'objet ou la morphologie de sa surface et qui peut aboutir à la formation de composés de formate et de carbonate. Cette possibilité reste à démontrer clairement. En Amérique du Nord, vu les règlements en vigueur sur la teneur de formaldéhyde dans les produits, les stratégies de contrôle des concentrations d'acide acétique dans l'air ambiant suffisent généralement à contrôler les concentrations de formaldéhyde.

OXYGÈNE

L'oxygène (O₂) est naturellement présent dans l'atmosphère. Sans nécessairement les initier, l'oxygène intervient néanmoins dans maints procédés de détérioration des matières organiques, dont certaines matières colorantes, polymères, objets à base de cellulose et peaux. La détérioration est causée par l'oxydation d'un composé après photo-excitation par les rayons UV ou visibles. L'oxydation provoque des altérations physiques comme la fragilisation et l'apparition de fissures, ainsi que des altérations chimiques comme le jaunissement et la décoloration des couleurs. Dans un milieu humide, les métaux comme le fer rouillent. Manifestement, la création d'un milieu dépourvu d'oxygène présente de nombreux avantages. Jusqu'à présent, les milieux anaérobies ou à faible concentration d'oxygène ont été employés principalement pour la lutte contre les insectes et pour la mise en réserve

à long terme d'objets individuels dans des sacs étanches à l'air. Il existe peu d'études sur l'emploi de milieux appauvris en oxygène dans les enceintes de grande taille, ce qui est notamment attribuable aux problèmes associés à l'étanchéité à l'air, aux coûts d'entretien et à l'accès. En raison de l'utilisation limitée des milieux à faible oxygène et du besoin superflu d'inclure l'oxygène dans les stratégies de surveillance élémentaires, celui-ci n'est pas classé parmi les principaux polluants.

COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS

Les composés organiques volatils (COV)* renvoient à une classe de mélanges de composés chimiques qui contiennent au moins un atome de carbone et qui sont sujets à évaporation à la température ambiante. Ce sont les solvants dégagés par des produits comme les produits de nettoyage, les peintures et les produits en bois. Les gens ont tendance à penser que les polluants qui ont des effets néfastes sur la santé humaine sont forcément nuisibles pour les objets. Or, même une forte concentration de COV n'engendre pas forcément un risque important pour les collections. En fait, individuellement, la majorité des COV sont sans danger pour les objets, exception faite des aldéhydes et des acides carboxyliques dont il est question dans le tableau 2. Cependant, dans une enceinte, même une faible concentration de COV peut être dangereuse en présence d'une proportion élevée de polluants nuisibles. Il demeure important de minimiser les COV dégagés par différents produits de consommation et par les procédés industriels et la combustion parce que certains COV, comme les hydrocarbures, exacerbent la formation d'ozone à l'extérieur au niveau du sol. Depuis les années 1970, des efforts sont déployés aux États-Unis pour réduire les émissions de COV et les résultats obtenus à cet égard sont encourageants (*voir la figure 3*).

Pour formuler des lignes directrices sur l'exposition qui soient justifiables, il faut d'abord cerner le rapport quantitatif entre un polluant donné et son effet sur les matériaux. Deux approches ont donc été retenues pour quantifier le rapport exposition-effet : d'une part, la concentration sans effets nuisibles observables et la concentration minimale avec effets nuisibles observables (CSENO* et CMENO) d'un polluant aéroporté entourant un objet et, d'autre part, les doses* (concentration x durée d'exposition). Ces méthodes constituent le fondement des méthodes quantitatives actuelles d'évaluation des risques (ACS, 1998). Il faut, dans le contexte de ces concentrations et doses, préciser la notion de détérioration des objets. Primo, la détérioration est un procédé complexe qui fait intervenir de nombreux paramètres liés au milieu. Heureusement, dans les milieux intérieurs, maints paramètres peuvent être considérés comme pseudo-constants. Ce principe simplifie la caractérisation de l'effet d'un paramètre unique avec le temps, par exemple le principal polluant aéroporté. Secundo, il faut considérer lesquelles des propriétés chimiques et physiques des objets constituent l'expression la plus éloquente d'un effet nuisible ou d'une perte de valeur*. Il s'agit là d'une notion subjective qui dépend du système polluant-objet*. Les caractéristiques et la méthode retenues doivent être celles qui sont les plus fiables et les plus éclairantes pour les décideurs dans chaque musée. Pour effectuer une évaluation complète d'un système polluant-objet précis, il peut être nécessaire de surveiller plus d'une caractéristique. Les encadrés 3 et 4 contiennent des précisions sur ces deux sujets. Dans le présent chapitre, il est question des méthodes basées sur la concentration ou la dose de polluants lorsque les effets nuisibles observables sont absents ou minimes, de même que des facteurs qui influencent ces valeurs. Dans le chapitre suivant, ces méthodes deviennent les outils qui permettent d'évaluer le risque que pose la présence de polluants pour une collection.

CALCUL DE LA CSENO ET DE LA DMENO

La concentration sans effets nuisibles observables (CSENO) peut être définie comme la concentration maximale d'un polluant qui ne provoque pas d'effet nuisible observable sur une propriété chimique ou physique particulière d'un matériau dans un milieu expérimental précis (méthode d'analyse, durée d'exposition, température, HR, etc.). Pour calculer

ENCADRÉ 3. LA DÉTÉRIORATION EST UN PROCÉDÉ COMPLEXE

Un polluant aéroporté particulier peut réagir avec un matériau faisant partie d'un objet et en causer la détérioration à une vitesse donnée. En fait, le taux de détérioration peut être exprimé par la somme de nombreux paramètres chimiques et physiques.

Le taux de détérioration dépend de la nature de l'objet (y compris l'état de ses composants et la morphologie superficielle), la concentration du polluant aéroporté en cause, la concentration des autres polluants présents, comme les oxydants, l'eau sorbée et les dépôts de particules (sels, composés huileux et métalliques), la température, le rayonnement et le mouvement de l'air.

Pour évaluer le risque que les polluants aéroportés aient des effets nuisibles sur les matériaux, il faut d'abord poser certaines hypothèses pour simplifier le procédé complexe qu'est la détérioration. La prévision des effets nuisibles peut aussi être facilitée en réduisant le nombre de variables, c'est-à-dire en considérant certaines variables comme « pseudo » constantes. Ainsi, les rayons visibles et ultraviolets peuvent être considérés comme faibles et la température peut être estimée entre 20 °C et 30 °C. Heureusement, les musées évitent déjà les conditions ambiantes extrêmes comme l'exposition directe à la lumière du soleil, les fluctuations marquées de l'HR et les fortes températures. Idéalement, l'évaluation des risques devrait être simplifiée au point où les variables sont limitées à la concentration du polluant principal affectant un matériau précis et à l'exposition.

L'incidence des paramètres liés au milieu sur les collections souligne le bien-fondé des stratégies de préservation globales et équilibrées. Il serait fautif d'affirmer qu'un plan de préservation à long terme d'une collection se fonde uniquement sur le contrôle poussé de deux ou trois paramètres du milieu. De même, il faut reconnaître que le feu, l'eau (p. ex. dommages causés par un bris de canalisations), le vol ou la manipulation maladroite sont intermittents, mais qu'ils peuvent en peu de temps causer une perte de valeur énorme par rapport aux polluants aéroportés.

ENCADRÉ 4. PERTE DE VALEUR

La notion de perte de valeur ou de dommages est subjective et varie non seulement selon chaque personne, mais aussi avec le temps. Par exemple, une œuvre d'art sur papier qui a jauni peut sembler d'apparence normale ou être acceptable pour certaines personnes puisque l'information ne semble pas altérée. En revanche, d'autres seront dérangées par le jaunissement et y verront un signe évident de perte de propriétés initiales. Pour les scientifiques, même avant que le jaunissement du papier ne soit visible, la perte mesurable de propriétés chimiques et physiques peut fournir de l'information sur le comportement à long terme du papier.

Certains termes méritent d'être précisés. La détérioration ou la dégradation d'un objet peut être définie comme l'altération de son état physique. En revanche, la perte de valeur ou les dommages correspondent à la perte consécutive de la valeur attribuée de l'objet, que celle-ci soit esthétique, scientifique, historique, symbolique, monétaire ou autre. Le terme « effet nuisible » est souvent employé en analyse des risques dans les domaines de la santé, de la sécurité et de l'environnement. En conservation, on emploie ce terme pour désigner un effet anormal ou indésirable sur les objets; il désigne habituellement l'altération d'une propriété chimique ou physique particulière du matériau à l'étude.

Il n'est pas toujours facile de quantifier les effets nuisibles à cause du manque de protocoles normalisés, du manque de documentation ou d'une compréhension insuffisante ou non définitive de la relation exposition-effet. Cependant, les décideurs doivent se baser sur certains chiffres pour prendre leurs décisions. L'altération de la couleur d'un document sur papier est parfois plus simple que la considération des diverses propriétés chimiques et physiques qui sert à caractériser les papiers endommagés, comme le pH, le degré de polymérisation, la résistance au pliage et la résistance à la rupture. Le calcul de la CSENO et de la DMENO conviennent très bien à la quantification de l'altération des propriétés chimiques ou physiques des objets, mais ne se prête pas forcément aussi bien à l'évaluation générale de la perte de valeur. Ainsi, un textile peut être complètement décoloré parce que celui-ci a été exposé à des polluants et à la lumière. Strictement en ce qui a trait aux couleurs du textile, on

peut considérer qu'il s'agit d'une perte totale, mais l'objet même demeure. Le cas échéant, la stratégie de contrôle adoptée devrait miser sur le maintien des propriétés physiques du textile et sur sa propreté.

L'incidence d'un effet nuisible sur la valeur d'un objet varie selon l'état de l'objet et son rôle. Dans certains cas, la perte de valeur dépend de la facilité à récupérer l'objet. Par exemple, il est plus facile de redonner belle apparence à un gobelet en argent terni plutôt dénué d'ornements qu'à une minuscule décoration d'argent terni sur un costume ancien.

Parfois, la détérioration correspond à une altération de l'état physique original d'un objet. Certaines personnes ne considèrent pas qu'il s'agit là d'effets nuisibles et, dans certains cas, on considère même que la détérioration rehausse la valeur de l'objet. L'illustration la plus éloquente de ce cas est celle de la patine qui se forme naturellement sur les sculptures de bronze. Généralement, la patine n'est pas créée par l'artiste, même si celui-ci en prévoit probablement la formation éventuelle. Du point de vue du public, la patine est synonyme de valeur historique. Pour les scientifiques en conservation, la patine est une altération ou une corrosion qui fait généralement obstacle à une corrosion plus poussée lorsque la couche corrodée initiale est formée de composés à faible solubilité. À titre de second exemple, les musées militaires exposent souvent des petites balles de plomb blanchâtre ou grisâtre. Dans certains cas, la corrosion s'est produite sur le terrain, mais dans la plupart des cas, elle s'est produite une fois les balles placées dans une vitrine ou dans une armoire de rangement en bois. Certains conservateurs sont tellement habitués à l'apparence de ces objets qu'ils ne la remarquent même plus.

Comme pour l'instant il n'existe pas de méthode de calcul de la perte de valeur, le présent document met plutôt l'accent sur la perte des propriétés physiques ou chimiques des matériaux. Il reste encore beaucoup à faire pour parvenir à un consensus sur la définition de la plupart des effets nuisibles critiques dans le cas de divers matériaux.

Pour en savoir plus sur la valeur et les dommages, il est conseillé de consulter les deux ouvrages suivants : Ashley-Smith (1999, p. 81-119) et Michalski (1994c).

la CSENO la plus fiable, les matériaux à l'étude doivent être exposés à différentes concentrations de polluants. La CSENO est la concentration qui se situe immédiatement sous la concentration à laquelle un effet nuisible ou une perte définie à l'avance est observé. Des exemples du calcul de la CSENO d'acide acétique pour les métaux (respectivement le plomb et le zinc) sont fournis aux figures 16 et 17 respectivement. Dans ces cas, des plaquettes des deux métaux ont été exposées à différentes concentrations d'acide

acétique sous forme de vapeur et leur gain de poids a fait l'objet d'une surveillance mensuelle. Au bout de quelques mois d'exposition à l'acide, il a été possible de calculer une CSENO pour chacun des deux métaux. Comme on s'y attendait, le plomb a présenté une vulnérabilité supérieure à l'acide acétique que le zinc, avec des CSENO respectives de 400 et de 22 000 $\mu\text{g m}^{-3}$. La méthode de la CSENO est fondée sur les limites thermodynamiques (Brimblecombe, 1994). En revanche, la CSENO

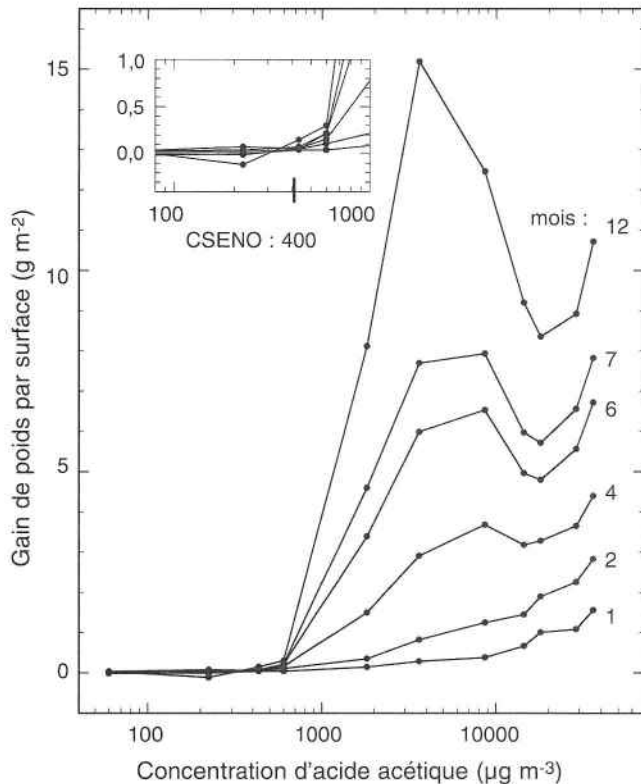


Figure 16. Gain de poids (avec le temps) d'une pièce de plomb non ternie exposée à différentes concentrations d'acide acétique, à une HR de 54 %. L'encadré montre la concentration d'acide acétique à laquelle un effet nuisible est observé (Tétreault et al., 1998).

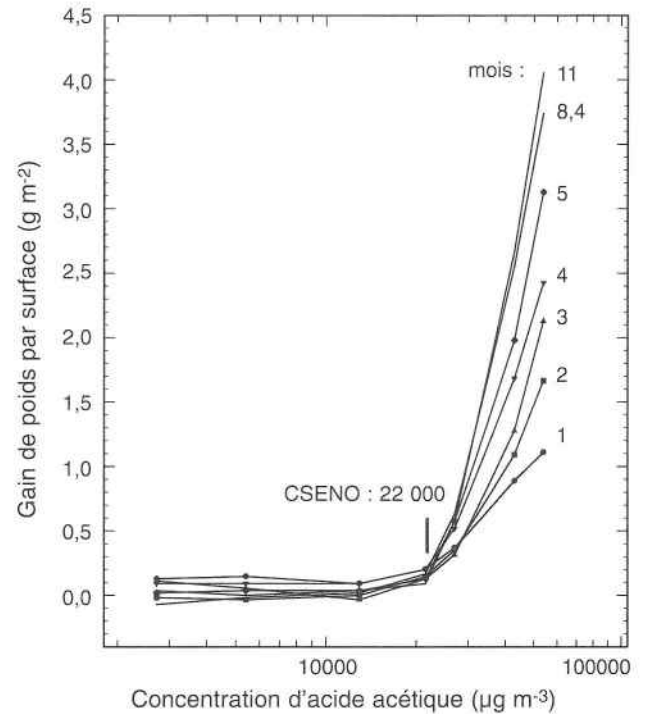


Figure 17. Gain de poids (avec le temps) d'une pièce de zinc non ternie exposée à différentes concentrations d'acide acétique, à une HR de 54 % (Tétreault, 1992a). La corrosion se produit dans les mêmes conditions que celles illustrées à la figure 16.

obtenue au moyen d'expériences peut s'avérer très différente du résultat des calculs théoriques. Jusqu'à présent, peu de CSENO ont été signalées pour les systèmes polluant-objet, ce qui est éventuellement attribuable à la difficulté de surveiller les changements légers qui se produisent sur des périodes prolongées ou encore parce que la méthode de la CSENO n'est pas applicable à certains systèmes polluant-matériau*. Quand il est impossible de déterminer la CSENO avec certitude, la dose minimale de polluant avec effets nuisibles observables (DMENO) peut servir à quantifier le rapport exposition-effet.

La DMENO* correspond à la dose cumulative (CMENO x période de temps) à laquelle les premiers signes d'effets nuisibles sont observés. Moyennant une concentration unique, la CMENO est alors prise comme valeur par défaut. Une explication de la méthode de calcul de la DMENO est fournie à la figure 18 avec l'exemple du pâlissement de la fuchsine basique (un pigment vert) après exposition à une concentration de $450 \mu\text{g m}^{-3}$ (CMENO) de dioxyde de soufre. La durée d'exposition critique

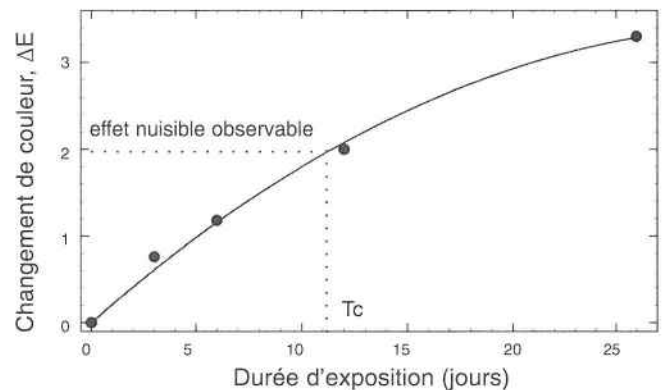


Figure 18. Calcul de la DMENO de dioxyde de soufre pour la fuchsine basique. L'effet nuisible est mesuré selon l'altération de la couleur d'après le système chromatique CIE $L^* a^* b^*$. La matière colorante est exposée à $450 \mu\text{g m}^{-3}$ de SO_2 , à une HR de 50 % et une température de 21°C . T_c : temps critique pour parvenir à un effet nuisible observable. $DMENO$: concentration de $\text{SO}_2 \times T_c = 450 \mu\text{g m}^{-3} \times 11 \text{ jours} \times (1 \text{ an}/365 \text{ jours}) = 14 \mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$.

correspond à la période de temps qui s'écoule avant d'observer l'effet nuisible. Cette période se trouve au croisement de la courbe correspondant au pâlissement avec la perte marquée et est exprimée par $\Delta E = 2$. Les altérations de couleur de ΔE qui sont

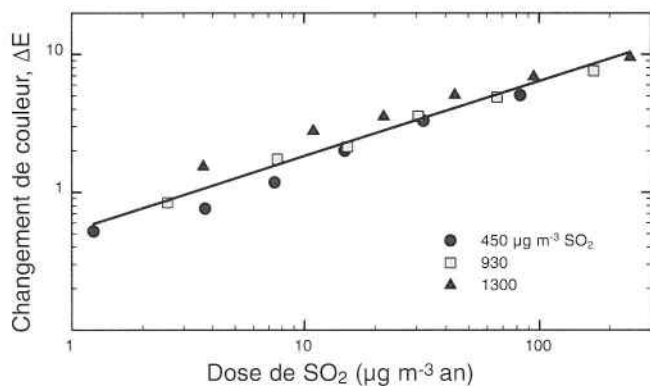


Figure 19. Décoloration de la fuchsine basique selon différentes doses de SO_2 , à une HR de 50 %, une température de 21 à 23 °C et dans l'obscurité. Doses relevées pour trois différentes concentrations et des durées d'exposition allant de 1 à 67 jours. Mesure des couleurs effectuées avec un chromamètre CR200 Minolta en se basant sur le système chromatique CIE $L^* a^* b^*$. ΔE compare la couleur de l'échantillon avec la couleur originale (Tétreault et Lai, 2001).

supérieures à 2 sont communément considérées comme des effets nuisibles pour les matières colorantes. La DMENO se chiffre à $450 \mu\text{g m}^{-3} \times 11$ jours.

Après normalisation, on obtient une dose de $14 \mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$. Dans le cas d'autres types d'expériences, une altération de l'ordre de 5 % des propriétés chimiques et physiques initiales a souvent été retenue. Dans le cas d'une expérience faisant intervenir différentes concentrations de polluants, on retient, pour calculer la dose, la concentration minimale causant une détérioration perceptible. La CMENO qui sert à établir la DMENO peut constituer une estimation fiable dans la mesure où elle est habituellement calculée en fonction de la partie linéaire de l'évolution de la détérioration. La figure 19 illustre le pâlissement de la fuchsine basique causé par le SO_2 moyennant un étroit intervalle de concentrations ($450\text{--}1300 \mu\text{g m}^{-3}$) et une courte durée d'exposition (1–67 jours). L'altération de la couleur selon la dose est conforme au principe de réciprocité linéaire*. Le principe de réciprocité linéaire est aussi bien caractérisé pour la corrosion de l'argent et du cuivre sur deux ou trois ordres de grandeur* dans un milieu présentant du sulfure d'hydrogène et du sulfure de carbone (Graedel *et al.*, 1985). Ces exemples montrent que, dans une certaine mesure, le principe de réciprocité linéaire peut être appliqué au calcul de la DMENO.

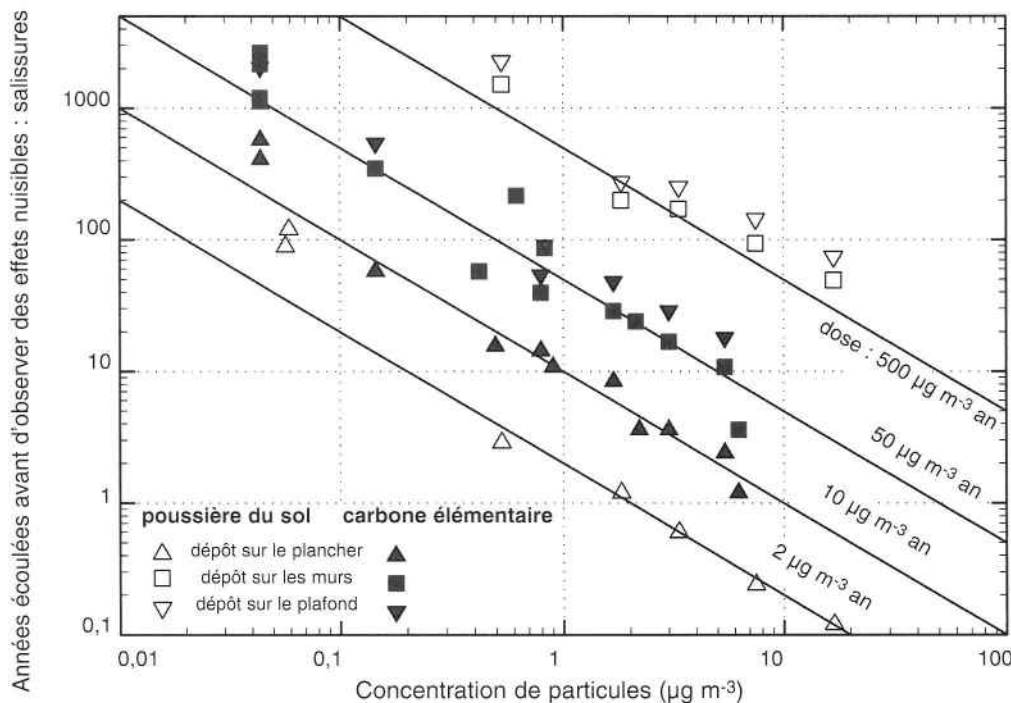


Figure 20. Nombre estimatif d'années écoulées avant d'observer des salissures causées par la poussière du sol et le dépôt de carbone élémentaire. D'après un modèle. Comme le carbone élémentaire est la plus importante des particules fines, les concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ provoquent un noircissement égal à celui causé par le carbone élémentaire seul (moins de 5 à 20 %). Le modèle suppose une distribution uniforme de l'air (Nazaroff *et al.*, 1993 et Bellan *et al.*, 2000).

Le principe de réciprocité linéaire permet d'estimer le temps qui s'écoule avant d'observer un effet nuisible sur un matériau à des concentrations inférieures de polluants. Par exemple, le cuivre présente une couche ternie marquée après avoir été exposé à une concentration moyenne de $1 \mu\text{g m}^{-3}$ de sulfure d'hydrogène pendant un an. Le principe de réciprocité permet de déduire qu'il faut environ 10 ans pour observer le même degré de détérioration si la concentration de polluant est de $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$. La figure 20 illustre bien, sur trois ordres de grandeur des concentrations de particules fines, la corrélation entre les salissures causées par des particules fines et le temps qui s'écoule avant que l'on en perçoive les

traces à l'œil nu. La méthode de la DMENO est prometteuse en ce qui a trait à l'évaluation des dépôts de particules et des effets nuisibles des polluants gazeux sur les matériaux.

Si certains systèmes polluant-matériau suivent un principe de réciprocité linéaire conformément à une expérience, cette réciprocité n'est habituellement pas linéaire en fonction d'une gamme étendue de doses. La détérioration, par rapport à la dose, peut suivre une évolution auto-retardatrice (c'est-à-dire lorsque

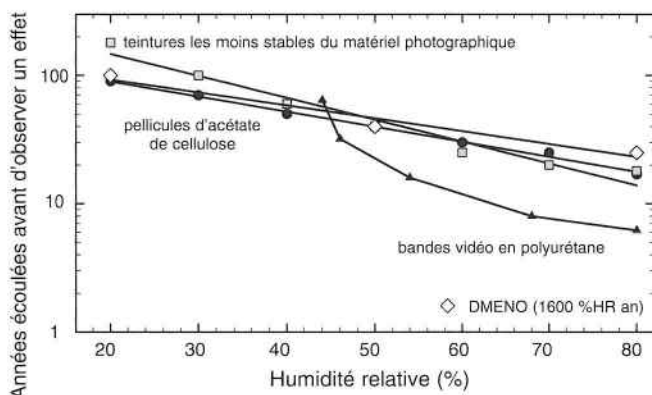


Figure 21. Nombre estimatif d'années écoulées avant d'observer des effets nuisibles sur des objets à des niveaux d'humidité relative variables, à 21 °C. Les effets nuisibles critiques retenus sont l'acidité libre à 0,5 pour les pellicules en acétate de cellulose, l'altération des matières colorantes les moins stables à 30 % (noircissement) pour les diapositives en couleurs, les négatifs et les clichés datant du début des années 1990 et l'hydrolyse à 12 % pour les bandes VHS en uréthane de haute qualité. La ligne qui traverse les losanges blancs illustre la linéarité de la DMENO de vapeur d'eau pour l'acétate de cellulose (HR de 80 % $\times$ 20 ans = 20 % $\times$ 80 ans). Sous les différentes courbes, il n'y a pas d'effets nuisibles observables. Données obtenues par vieillissement accéléré (Reilly, 1993, 1998; Van Bogart, 1995).

l'on observe d'abord une détérioration rapide qui ralentit graduellement avec le temps). Ce type de réciprocité a aussi été observé dans le cas de l'altération par la lumière de certaines matières colorantes (Saunders et Kirby, 1996). La DMENO peut aussi être appliquée à d'autres agents de détérioration. Une application complète de la DMENO dans le cas de l'altération des couleurs par la lumière est fournie à l'annexe 8.

Il faut bien noter que la DMENO se prête uniquement à des estimations. Il faut faire preuve de prudence lorsque l'on applique le principe de réciprocité sur quelques ordres de grandeur de la durée d'exposition, car plus l'ordre augmente, moins les résultats sont précis. D'autres exemples de la réciprocité de

certains matériaux exposés à différentes concentrations de vapeur d'eau sont fournis à la figure 21. Les expériences de vieillissement accéléré* révèlent une linéarité acceptable de la dose dans le cas des matières colorantes les moins stables de photographies et des pellicules en acétate de cellulose avec un taux d'HR variant de 20 à 80 %. Par contre, on constate une faible corrélation pour les bandes vidéo en polyuréthane d'après la méthode des composés extractibles. Les essais physiques, comme l'essai de pelage, semblent se prêter davantage à l'estimation de la durée de vie des bandes en polyuréthane.

Pour un système polluant-matériau donné, il est possible de prévoir le taux d'observation des premiers signes d'un effet nuisible sur le matériau (c.-à-d. un effet nuisible tous les 1 ou 10 ans) si l'on connaît la concentration moyenne d'un polluant. Si la concentration moyenne de polluant change beaucoup,

ENCADRÉ 5. VULNÉRABILITÉ

Un objet peut contenir plus d'un matériau et, le cas échéant, la vulnérabilité ou la sensibilité de l'objet complet dépend de la vulnérabilité de chacun des matériaux qui le compose. Le risque d'effet nuisible est une question à part.

Un matériau endommagé par une faible CSENO ou DMENO d'un polluant en particulier est considéré comme vulnérable ou sensible. Or, un objet peut être vulnérable ou sensible sans nécessairement risquer de se détériorer car le risque dépend de la concentration de polluants ou de la probabilité de conséquences négatives.

Par exemple, la CSENO d'acide acétique pour le plomb est élevée (400 $\mu\text{g m}^{-3}$), c'est-à-dire que le plomb n'est pas vulnérable ou sensible à l'acide acétique. Habituellement, dans une salle où on se trouve bien en-deça de la CSENO, le plomb ne court pas de risque; en revanche, dans une enceinte contenant des matériaux qui dégagent de l'acide, il court un risque. C'est l'inverse dans le cas de l'argent qui réagit à une faible DMENO de sulfure d'hydrogène (0,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ an) (c'est-à-dire que l'argent y est très vulnérable) : dans une salle, les objets en argent ternissent facilement en 6 à 12 mois. Dans une enceinte, l'effet nuisible se manifeste beaucoup plus lentement. La différence entre ces deux cas est que le plomb peut rester intact à condition que la concentration d'acide acétique reste inférieure à la CSENO tandis que l'argent brillant va ternir : il s'agit uniquement d'une question de temps.

TABLEAU 3. EFFETS NUISIBLES QUANTIFIÉS DES POLLUANTS SUR DIVERS MATÉRIAUX ^a

Dose ($\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$)	0,1	1	10	100	1000	10 000
Acide acétique				plomb 400 $\mu\text{g m}^{-3}$ ^b cuivre 1000 papier de chiffon 4000 $\mu\text{g m}^{-3}$ mat. à base de calcium 10 000 $\mu\text{g m}^{-3}$	plomb terni 3000 $\mu\text{g m}^{-3}$ zinc 20 000 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Acide formique				plomb 200 $\mu\text{g m}^{-3}$	cuivre 8000 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Acide nitrique	0,1 matières colorantes sensibles					
Dioxyde d'azote	matières colorantes sensibles 1 matières colorantes sensibles décolorées à 50 % 10 papier de chiffon 10			100 matières colorantes pour pellicules micrographiques cuivre 50 50 papier journal	image argentique 2000	
Dioxyde de soufre		papier kraft blanchi 10 matières colorantes sensibles 10 papier de chiffon 10		40 cuir de tannage végétal 50 papier journal cuivre 50		
Formaldéhyde				cuivre 600	zinc 6000	
Ozone	matières colorantes sensibles 1 cramoisi d'alizarine (CA) 2 CA dans la couche de liant acrylique 8 CA dans la couche de liant acrylique recouverte d'une pellicule acrylique 60 <0,005 caoutchouc naturel vulcanisé tendu coton mouillé 3			300 matières colorantes pour pellicules micrographiques 50 CA recouvert d'une pellicule acrylique		
Particules (2,5 μm)		surfaces horizontales 10 surfaces verticales 50				
Peroxyde d'hydrogène	photo en noir et blanc 1					
Sulfure de carbone			cuivre 30	argent 500		
Sulfure d'hydrogène	0,1 argent	cuivre 1				
Vapeur d'eau				croissance de moisissures 60 % HR matières colorantes les plus sensibles 2000 % HR an	acétate de cellulose 2000 % HR an	

Concentrations maximales de polluants ($\mu\text{g m}^{-3}$) acceptables pour obtenir un faible risque de détérioration des matériaux selon différentes durées d'exposition (basés sur la DMENO) :

1 an :	0,1	1	10	100	1000	10 000
10 ans :	0,01	0,1	1	10	100	1000
100 ans :	0,001	0,01	0,1	1	10	100

Notes:

a : Les valeurs CSENO et DMENO approximatives sont dérivées des données les plus fiables de l'annexe 2 avec une HR de 50 à 60 %, une température de 20-30 °C, dans le cas d'une collection bien entretenue. Si ce ne sont pas les conditions présentes, les valeurs changeront. Par exemple, si l'humidité relative moyenne dépasse les 60 %, le temps de préservation cible peut être écourté proportionnellement.

b : La CSENO des polluants marqués en gras est exprimée en $\mu\text{g m}^{-3}$; dans les autres cas, il s'agit de la DMENO exprimée en $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$.

le temps qui s'écoule avant d'observer un effet nuisible change proportionnellement. Il est parfaitement inutile de réduire à un minimum les concentrations de polluants si les procédés comme l'oxydation, l'hydrolyse et l'altération thermique deviennent les facteurs de détérioration dominants. Ainsi, il est superflu de stipuler des concentrations très faibles de dioxyde de soufre ($<0,1 \mu\text{g m}^{-3}$) pour la préservation à long terme des papiers acides puisque la vapeur d'eau et la température sont les agents de détérioration* dominants. La détermination du taux de détérioration acceptable d'un matériau, en ce qui a trait à la préservation de l'objet, est en fait une décision complexe qui est abordée au chapitre 5.

Un examen critique des observations faites sur le terrain, en plus des études menées en laboratoire, a donné lieu à un riche fonds d'information quantitative sur les effets nuisibles des polluants sur les matériaux. Une longue liste des CSENO et des DMENO compilée en consultant les documents disponibles est fournie à l'annexe 2 et résumée dans le tableau 3. Une échelle de réciprocité est fournie à la fin du tableau qui extrapole la CMENO de la période d'exposition pour une DMENO donnée. Certains matériaux sont plus vulnérables que d'autres. Néanmoins, la possibilité d'observer un effet nuisible rapide dépend de la concentration du polluant en cause. La notion de vulnérabilité est détaillée dans l'encadré 5.

FACTEURS INFLUENÇANT LA CSENO ET LA DMENO

Certaines hypothèses sur la variabilité du milieu ont été formulées pour qu'il soit possible de calculer la CSENO et la DMENO (c.-à-d. la propreté de la collection et le contrôle du milieu, par exemple le maintien du taux d'HR à entre 50 et 60 % et de la température entre 20 et 30 °C). Si ces exigences ne sont pas satisfaites, il peut être nécessaire de réévaluer la CSENO et la DMENO. Il y a lieu d'évaluer les effets possibles sur la CSENO et la DMENO anormales ou inacceptables des principaux paramètres du milieu et des caractéristiques des matériaux.

HUMIDITÉ RELATIVE

La vapeur d'eau a été désignée comme polluant principal en raison de son incidence considérable.

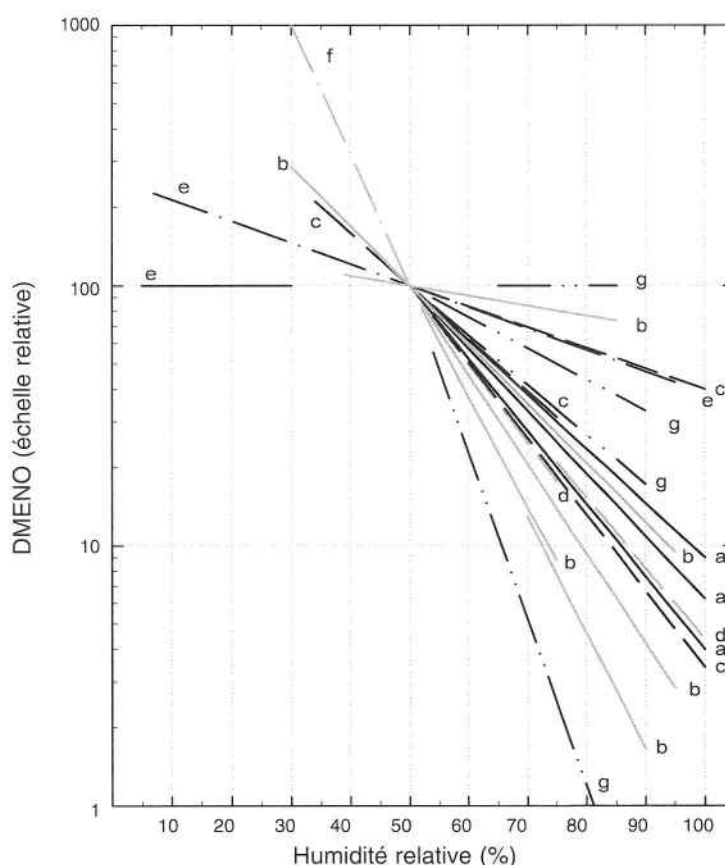


Figure 22. Effet de l'humidité relative sur la DMENO. (a) acide acétique ou acide formique sur du cuivre; (b) COS, H₂S ou SO₂ sur du cuivre; (c) acide acétique ou acide formique sur du plomb; (d) acide acétique sur du plomb terni; (e) COS ou H₂S sur de l'argent; (f) peroxyde d'hydrogène sur une image argentique; et (g) NO₂ sur des matières colorantes. Toutes les mesures ont été prises à 20-25 °C. Données tirées de l'annexe 2.

Même lorsque l'eau n'intervient pas directement dans la détérioration, elle exerce une influence énorme sur les effets nuisibles que causent d'autres polluants. La figure 22 est une compilation de la variation relative de la DMENO pour différents systèmes polluant-matériau à différents taux d'HR. L'effet du taux d'HR semble plutôt particulier à chaque système; le plus prononcé a été observé dans le cas du système NO₂-curcumène (pigment rouge) pour un taux d'HR excédant 50 % et dans celui d'un système peroxyde d'hydrogène-photographie en noir et blanc pour un taux d'HR inférieur à 50 %. Certains systèmes ne présentent pas de variation marquée. La DMENO d'environ la moitié des systèmes polluant-matériau a été réduite de moitié en augmentant le taux d'HR de 10 %.

TEMPÉRATURE

En 1889, Arrhenius a établi un rapport mathématique entre la vitesse de réaction et la température (Arrhenius, 1889). Ce rapport a souvent servi à

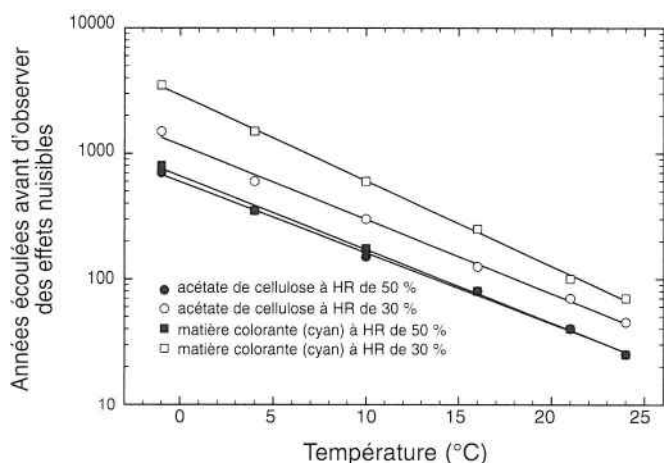


Figure 23. Effet de la température sur le temps qui doit s'écouler pour observer des effets nuisibles sur les pellicules en acétate de cellulose et sur les matières colorantes de photographies lorsque l'HR est à 30 et 50 %. Données du Image Permanence Institute, Rochester, New York. Les effets nuisibles critiques retenus sont l'acidité libre à 0,5 pour les pellicules en acétate de cellulose et l'altération de la couleur des matières colorantes les moins stables à 30 % (cyan) pour les diapositives en couleurs, les négatifs et les clichés datant du début des années 1990 (Reilly, 1993, 1998).

prévoir le comportement des matières organiques avec le temps. Suffisamment d'expériences sur l'altération thermique ont été faites pour confirmer le rapport d'Arrhenius dans le cas de la détérioration du papier par hydrolyse. Le taux de détérioration diminue d'environ 50 % pour chaque baisse de température de 5 °C, à un taux d'HR constant (Wilson, 1995). Certaines matières colorantes cyans et jaunes de photographies et de pellicules en acétate de cellulose présentent des tendances comparables, (voir la figure 23). À température ambiante, il faut quelques décennies avant d'observer des effets nuisibles, tandis qu'à 10 °C, il faut plus de 100 ans pour parvenir au même résultat.

Il est souvent plus pratique de combiner les paramètres HR et température lorsqu'on tente de prévoir la détérioration des matières organiques. La figure 24 montre combien de temps il faut pour que certaines matières organiques sensibles à l'hydrolyse (p. ex. bandes magnétiques pour enregistrement, photographies couleur et PVC souple) présentent des effets nuisibles observables à différents taux d'HR et à différentes températures (des précisions sur les matériaux sensibles à l'humidité sont fournies dans le tableau 2). La prévision des effets nuisibles

observables est basée sur les pellicules à base d'acétate de cellulose, qui sont sensibles à l'hydrolyse [énergie d'activation : 92 kJ/mol; les effets nuisibles sont perçus au bout de 44 ans à 20 °C et à un taux d'HR de 50 %, selon Reilly *et al.* (1995)]. La figure 24 peut être utile pour décider de la formule HR et température la plus économique et la plus favorable du point de vue de la préservation.

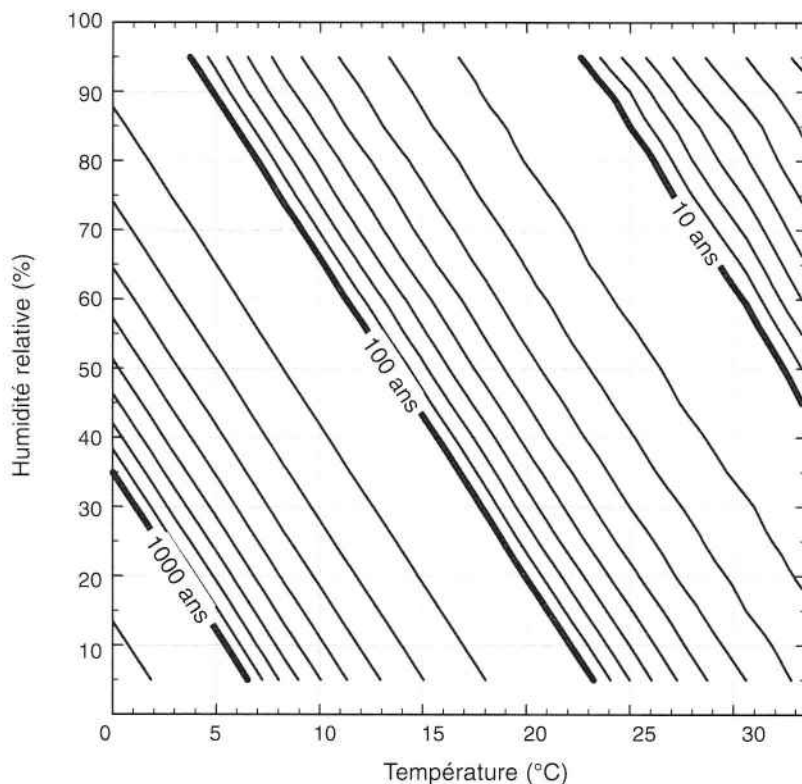
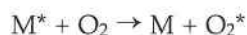
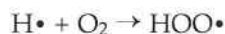
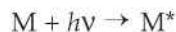


Figure 24. Prévision des effets nuisibles observables sur les matériaux sensibles à l'hydrolyse selon différentes HR et températures. Données basées sur le vieillissement accéléré d'une pellicule en acétate de cellulose.

RAYONNEMENTS

Les rayonnements, particulièrement les rayons UV et visibles, peuvent amorcer et accélérer certains procédés de détérioration. La photo-oxydation* est un bon exemple de l'effet des rayonnements sur les matériaux. La photo-oxydation peut se produire en présence de lumière ($h\nu$) et de vapeur d'eau ou d'oxygène, ou des deux. Lorsqu'une molécule de matière (M) est photo-excitée (M^*), elle peut subir diverses réactions photochimiques, comme le montre le schéma simplifié plus loin. Elle peut réagir avec l'eau et le peroxyde d'hydrogène ($\text{HOO}\bullet$) formés en seconde étape par l'oxygène et le radical hydrogène ($\text{H}\bullet$) peut détruire la molécule. Elle peut aussi réagir avec l'oxygène pour produire de l'oxygène

singulet, c'est-à-dire une forme excitée de la molécule d'oxygène (O_2^*) qui est hautement réactive et qui peut également détruire la molécule, soit directement, soit indirectement.



SALETÉ SUR LES OBJETS

Même en l'absence de données probantes, on peut partir du principe que les dépôts de sels, de matières grasses, de particules métalliques et de résidus de produits d'entretien ont une incidence sur la CSENO et la DMENO. Dans bien des cas, la corrosion débute dès qu'une particule se dépose sur une surface métallique. Les sels sont hygroscopiques et interviennent dans les procédés de corrosion ou d'efflorescence. Les coquillages marins contaminés par des sels exposés à de l'acide acétique auront probablement une CSENO qui sera de 3 à 100 fois inférieure à ce qu'elle est dans le cas de coquillages « propres » (figure 25). La décontamination des coquillages et des céramiques cuites à basse température peut finir par devenir une exigence importante en ce qui a trait à leur préservation. Les résidus gras ont tendance à absorber les polluants aéroportés; les particules métalliques peuvent agir comme catalyseurs* de la détérioration.

MÉLANGES DE POLLUANTS

Il est fait mention, dans la littérature, des effets nuisibles possibles des mélanges gazeux sur la CSENO et la DMENO pour différents systèmes polluant aéroporté-objet. En dépit d'expériences qui ont souvent fait intervenir des concentrations anormalement fortes, les effets synergétiques* sur la DMENO n'ont pas été généralisés, sauf dans le cas de la vapeur d'eau (HR), tel qu'indiqué plus haut. En fait, un effet inverse a été observé au cours de quelques expériences. Par exemple, les taux de corrosion du plomb par l'acide acétique diminuent avec l'ajout d'acide formique (Tétreault *et al.*, 2003). On a observé aucun changement pour le plomb et le cuivre après l'ajout de formaldéhyde à un milieu riche en acide formique. Toutefois, une forte concentration de polluants peut influencer le taux de détérioration et, dans certains cas, la nature de la couche altérée à la surface de l'objet, sans qu'elle ait d'incidence marquée sur la CSENO et la DMENO.

Une compilation de l'influence des mélanges gazeux sur les premiers signes d'effets nuisibles présentés par les objets est fournie à l'annexe 3.

ÉTAT DES MATÉRIAUX

D'autres paramètres peuvent influencer la CSENO et la DMENO, y compris l'état des matériaux. Ainsi, les matières colorantes qui ont déjà pâli sont plus résistantes aux polluants (CSENO ou DMENO plus élevée) que les matières colorantes neuves. La DMENO pour une matière colorante à demi-décolorée augmente d'environ un ordre de grandeur, ce qui s'explique par une tendance auto-retardatrice, c'est-à-dire que la matière colorante pâlit plus rapidement au début qu'à la fin. Le même changement d'ordre de grandeur se produit pour les matières colorantes à demi-décolorées exposées à la lumière visible. Pareillement, l'argent se détériore plus

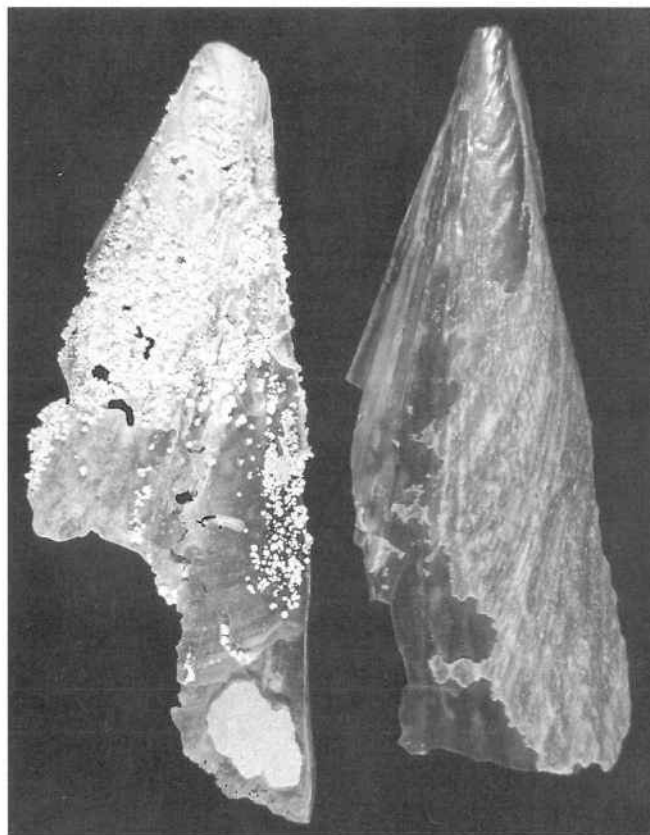


Figure 25. Efflorescence sur des coquillages. Le coquillage de gauche a été exposé à des vapeurs d'acide acétique et à une forte HR. L'échantillon de contrôle est à droite. Ce type de détérioration est parfois dit « maladie de Byne » en l'honneur de M. Loftus St. George Byne qui a été le premier à en fournir une description en 1899 (Byne, 1899). L'efflorescence ne se produit généralement pas moyennant le contrôle de l'HR, la propreté de l'échantillon et l'absence de matériaux émissifs très acides. Voir la planche en couleurs p. 98.

lentement (formation plus lente du sulfure d'argent) s'il est partiellement terni. Malheureusement, on a observé le phénomène inverse dans le cas d'autres objets qui se détériorent de façon autocatalytique (lorsque la formation de nouveaux composés accélère la détérioration). C'est notamment le cas des pellicules à base d'acétate et de nitrate de cellulose ainsi que des papiers acides placés dans des enceintes étanches à l'air.

La plupart des caractérisations de systèmes polluant-matériau signalées dans le tableau 3 sont basées sur des matériaux nouveaux. En réalité, les objets ont souvent été exposés à un milieu non régulé avant d'être acquis par un musée. Une fois qu'ils sont intégrés à la collection, le contrôle des conditions ambiantes effectué par le musée n'engendre pas nécessairement un contrôle adéquat des polluants ou autres agents de détérioration. Ainsi, dans le cas des livres, on doit tenir compte de l'exposition à des fortes concentrations de dioxyde de soufre avant qu'ils n'aient été ajoutés à la collection lorsqu'on extrapole leur état de préservation futur.

On a constaté une période d'induction pour certains systèmes polluant-matériau, c'est-à-dire que même en présence d'une quantité importante de polluants, aucun effet nuisible n'a été observé avant une période variant de quelques mois à quelques années. La plupart des cas d'induction documentés se rapportent à l'hydrolyse de matériaux organiques,

particulièrement des pellicules à base d'acétate et de nitrate de cellulose contenant des plastifiants, stabilisateurs (comme les antioxydants dans le polyéthylène) et autres additifs qui peuvent créer une protection provisoire. L'induction peut fausser le calcul de la CSENO ou de la DMENO.

Les contraintes ou forces qui s'exercent sur les objets peuvent en provoquer la détérioration à une CSENO ou DMENO moindre, phénomène couramment observé dans le cas du caoutchouc naturel vulcanisé tendu, comme les pneus de voiture gonflés.

MATÉRIAUX-BARRIÈRES ET LIANTS

Dans certains cas, un matériau vulnérable est protégé des polluants en le recouvrant d'un matériau-barrière (liant ou pellicule). Un pigment peut être mêlé à une résine (liant). Plus le liant est épais, plus il est difficile pour le polluant de s'y diffuser. Seule la couche de pigmentation supérieure pâlit tandis que les couches sous-jacentes sont nettement moins affectées. Pour cette raison, les aquarelles sont plus susceptibles de pâlir que les peintures à l'huile. Toute pellicule recouvrant la surface d'un pigment fait office de matériau-barrière contre les polluants et autres agents de détérioration. Il peut s'agir, par exemple, d'un vernis à l'huile ou à l'acrylique couvrant la surface d'une œuvre peinte ou d'un vernis-laque appliqué à l'argent. L'effet de la pellicule protectrice ou du liant a été quantifié dans le cas de l'altération du cramoisi d'alizarine causée par l'ozone (*voir le tableau 3*).

Pour évaluer le risque de détérioration d'un objet donné dans un milieu précis, il faut identifier la nature de chacun des matériaux présents dans l'objet ainsi que la concentration de chacun des polluants nuisibles qui pourraient être présents dans le milieu. Ce type d'évaluation, dite évaluation des risques à « micro-échelle » (à l'échelle de l'objet), ou micro-évaluation des risques, peut exiger pas mal de temps dans le cas d'une collection mixte. Même si quelques objets homogènes peuvent être caractérisés en détail, une collection hétérogène exige un travail considérable. Lorsque les connaissances scientifiques sont limitées ou que les types d'objets présents sont divers, il faut envisager une macro-évaluation des risques (à l'échelle de la collection ou de la salle). Un restaurateur peut être d'un précieux secours lorsqu'il s'agit d'effectuer autant une micro-évaluation qu'une macro-évaluation des risques.

MICRO-ÉVALUATION DES RISQUES

Le risque possible que court un objet donné peut être évalué en comparant la CSENO ou la DMENO des polluants aéroportés pour chaque composant pertinent de l'objet aux concentrations de polluants dans le milieu. Le tableau 4 contient une liste des concentrations typiques de polluants dégagés par différentes sources dans les enceintes ou dans les salles. Les concentrations à l'extérieur sont aussi fournies, à titre de référence. Ces concentrations correspondent à l'état actuel des connaissances.

Elles ne reflètent pas forcément la réalité dans un musée donné, mais elles peuvent servir de point de départ d'un programme de surveillance exhaustif. Une liste plus complète est fournie à l'annexe 1.

L'exemple qui suit explique comment effectuer l'évaluation des risques pour le plomb et le cuivre en présence d'acide acétique. La CSENO et la DMENO de l'acide acétique pour les deux métaux ont été juxtaposées avec les concentrations probables d'acide acétique dégagées par différentes sources. Comme le montre l'exemple, les concentrations d'acide acétique supérieures à $400 \mu\text{g m}^{-3}$ peuvent être nuisibles pour les objets en plomb. Autrement dit, il y a une forte probabilité de corrosion du plomb placé dans une enceinte en bois (qui dégage de l'acide acétique). Comparativement, la DMENO d'acide acétique pour le cuivre se chiffre à $1000 \mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$, ce qui signifie que seules les essences de bois les plus acides, la peinture fraîche, les bouche-fente à la silicone ou les pellicules en acétate de cellulose qui dégagent une forte odeur auront des effets nuisibles sur le cuivre, à court terme, dans une enceinte. En excluant ces produits, il y a peu de risque que le cuivre se détériore à court terme.

Lorsqu'un objet est composé de plus d'un matériau, l'évaluation des risques doit cibler le système polluant-matériau le plus sensible ou être basée sur un matériau de référence, par exemple un matériau moyennement sensible. Quand de nombreux objets

EXEMPLE 1. VULNÉRABILITÉ DU PLOMB ET DU CUIVRE DANS DIFFÉRENTS MILIEUX
(DONNÉES TIRÉES DES TABLEAUX 3 ET 4).

Niveau	0,1	1	10	100	1000	10 000	100 000
Acide acétique $\mu\text{g m}^{-3}$		0,3	30 emplacements extérieurs non pollués/pollués salles 40-100 chêne 300	7000			
			enceintes en bois 80	2000			
			peinture à l'huile séchée pendant 5 semaines	20 000		70 000 ->	
			peinture émulsion ou peinture époxy à deux constituants séchée pendant 5 semaines	3000	20 000		
			silicone acide ayant durci 7 à 29 jours	100	1000		
			collection de pellicules en acétate de cellulose dégageant une odeur désagréable	900			100 000->
Plomb					CSENO : 400 $\mu\text{g m}^{-3}$		
Cuivre		DMENO : 1000 $\mu\text{g m}^{-3}$ an :	10 $\mu\text{g m}^{-3}$ pour 100 ans	100 $\mu\text{g m}^{-3}$ pour 10 ans	1000 $\mu\text{g m}^{-3}$ pour 1 an		

TABLEAU 4. CONCENTRATIONS DE POLLUANTS^a AÉROPORTÉS

Conc. ($\mu\text{g m}^{-3}$)	0,1	1	10	100	1000	10 000
Acide acétique	0,3					
				30 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
				salles 40 — 100 chêne 300 — 7000		
				enceintes en bois 80 — 3000		
				peinture à l'huile séchée pendant 5 semaines 20 000 – 70 000 ->		
				peinture émulsion ou peinture époxy à deux constituants séchée pendant 5 semaines 3000 — 20 000		
				produits à la silicone acide ayant durci 7 à 29 jours 100 — 1000		
				collection de pellicules à l'acétate de cellulose dégageant une odeur de vinaigre 900 — 100 000->		
Acide formique	0,1			20 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
	0,1			30 salles		
				enceintes en bois 2 — 2000		
Acide nitrique	0,4			30 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
				salles 2 — 20		
Ammoniac	0,7			20 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
				salles 0,6 — 60		
				400 à 3000 visiteurs par jour dans un bâtiment 10 — 30		
Dioxyde d'azote				emplacements extérieurs 2 — 100		
				non pollués/pollués		
Dioxyde de soufre				salles 2 — 90		
				négatifs en nitrate de cellulose 4000		
	0,1			100 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
	salles 0,1			50		
Formaldéhyde	0,5			30 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
				salles 10 — 70		
				enceintes en bois 50 — 500		
				produits en bois contenant de l'urée-formaldéhyde 500 — 6000		
Ozone				2 — 400 emplacements ext. non pollués/pollués		
				salles 0,1 — 100		
				salles où se trouve un épurateur d'air 4 — 600		
				produisant de l'ozone ou des photocopies		
Particules fines (2,5 μm)				1 — 50 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
				salles 1 — 30		
Particules grossières (10 μm)				2 — 70 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
				salles 1 — 100		
Sulphure de carbone	0,03			0,7 — 1 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
				1 laine dans une salle (dans l'obscurité et à la lumière solaire)		
Sulphure d'hydrogène	<- 0,01			10 emplacements extérieurs non pollués/pollués		
	0,03			40 salles (y compris les visiteurs)		
	0,1	1	10	100	1000	10 000

Note:

a: Des précisions sur les sources et les conditions de surveillance sont fournies à l'annexe 1. En l'absence de précisions, les concentrations de polluants sont générées par des matériaux se trouvant dans des enceintes étanches à l'air.

doivent être évalués, la tâche peut être ardue. Dans certains cas, il peut être préférable d'effectuer une évaluation des risques à macro-échelle, ou macro-évaluation des risques, sujet abordé ci-dessous.

MACRO-ÉVALUATION DES RISQUES

Il est parfois possible de partir du principe qu'un groupe d'objets ou même une collection complète, à un emplacement donné, présente une vulnérabilité comparable aux polluants. Quoique pratique, cette approche doit cependant être employée avec prudence, considération qui est abordée dans le tableau 5 qui précise la concentration maximale admissible de chacun des principaux polluants aéroportés pour parvenir à un risque minimal d'effets nuisibles pour la plupart des matériaux, selon les durées d'exposition stipulées. Ces objectifs découlent de la DMENO de polluants pour la plupart des objets. Ces concentrations maximales de polluants ont été regroupées en trois objectifs de préservation* : 1, 10 et 100 ans. L'objectif de 100 ans correspond à la préservation maximale et signifie que la majorité des objets ne devraient pas présenter d'effets nuisibles pendant 100 ans lorsqu'ils sont exposés aux concentrations maximales de polluants admissibles, selon la colonne qui leur correspond. Comme on l'a déjà signalé, à l'exception de la vapeur d'eau, il est vraisemblablement peu réaliste et peu fiable de stipuler des

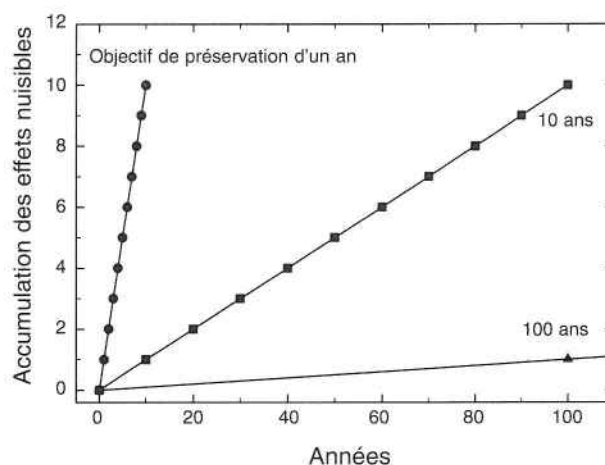


Figure 26. Taux d'accumulation des effets nuisibles selon les objectifs de préservation de 1, 10, 100 ans.

concentrations de polluants inférieures à celles admises par l'objectif de préservation de 100 ans. On peut aussi choisir d'autres objectifs (50 ans par exemple). Il est aussi possible de se représenter les objectifs de préservation en fonction du taux d'effets nuisibles observables (nombre d'effets nuisibles par unité de temps), comme le montre la figure 26. Un objectif de préservation d'un an correspond à un effet nuisible observé après un an. Ensuite, avec chaque année qui passe, d'autres effets nuisibles sont observés.

TABLEAU 5. OBJECTIFS DE QUALITÉ DE L'AIR POUR LES COLLECTIONS DE MUSÉE, LES BIBLIOTHÈQUES ET LES COLLECTIONS D'ARCHIVES

Principaux polluants	Concentration moyenne maximale permettant d'atteindre l'objectif de préservation indiqué ^a , $\mu\text{g m}^{-3}$ (ppb)			Échelle-repère de concentration moyenne, $\mu\text{g m}^{-3}$	
	1 an	10 ans	100 ans	Troposphère inférieure propre	Zone urbaine
Acide acétique	1000 (400)	100	100 ^b	0,3–5	0,5–20 ^c
Dioxyde d'azote	10 (5,2)	1	0,1	0,2–20	3–200
Dioxyde de soufre	10 (3,8)	1	0,1	0,1–30	6–100
Ozone	10 (5,0)	1	0,1	2–200	20–300
Particules fines ($\text{PM}_{2,5}$)	10	1	0,1	1–30	1–100
Sulfure d'hydrogène	1 (0,71)	0,1	0,01	0,01–1	0,02–1
Vapeur d'eau	maintenir l'HR ^d à moins de 60 %				

Notes

- a : L'objectif de préservation correspond au temps (en années) pendant lequel les objets peuvent être exposés à la concentration indiquée de polluant sans risque important de détérioration. Pour la plupart des objets, cet objectif est basé sur la DMENO; de plus, on suppose que l'humidité relative moyenne est maintenue entre 50 et 60 %, que la température se situe entre 20-30 °C et que la propreté de la collection est assurée (sinon, il faudra peut-être rajuster la concentration maximale des principaux polluants aéroportés pour chaque catégorie). Ces valeurs ne s'appliquent pas aux matériaux hypersensibles.
- b : Comme la plupart des objets ont une grande résistance à l'acide acétique, les concentrations inférieures à 100 $\mu\text{g m}^{-3}$ sont facultatives.
- c : Les concentrations d'acide acétique peuvent atteindre 10 000 $\mu\text{g m}^{-3}$ dans les enceintes fabriquées avec des produits déconseillés, par exemple des produits à la silicone acide fraîchement appliqués.
- d : Dans le cas des collections permanentes où l'HR est généralement différente de 50-60 %, maintenir l'HR moyenne annuelle qui est normalement observée.

Dans le cas d'un objectif de préservation de 10 ans, les effets nuisibles sont visibles au bout de 10 ans et sont cumulés sur chaque période de 10 ans subséquente.

Il est important d'insister sur le fait que les matériaux hypersensibles (p. ex. plomb, argent, caoutchouc naturel vulcanisé, bandes magnétiques en polyuréthane, objets à base d'acétate et de nitrate de cellulose et certaines matières colorantes) ont été exclus du tableau 5. Ces matériaux sont si sensibles qu'ils doivent être abordés individuellement, en adoptant les stratégies de contrôle qui s'imposent. Les détails de leur préservation sont abordés dans le tableau 15 (p. 67). En excluant les matériaux qui sont hypersensibles à chaque polluant principal, la DMENO d'un polluant, dans le cas d'une collection mixte, se trouve à augmenter d'un ordre de grandeur. Autrement dit, les objectifs de préservation sont alors basés sur des objets moyennement sensibles et non sur les plus sensibles. Cette règle ne s'applique pas dans le cas du dioxyde de soufre parce que ce sont les matériaux à base de papier qui sont les plus sensibles au SO₂ et qu'ils sont largement présents dans les musées. La DMENO de vapeur d'eau fait aussi exception. En effet, elle peut difficilement être appliquée à une collection mixte parce que, même si la réduction des taux d'humidité peut être dans l'intérêt des matériaux susceptibles d'hydrolyse, maints objets composites risquent d'être endommagés par le changement du taux d'HR.

Pour ces raisons, le taux d'HR a été arbitrairement fixé à un maximum de 60 %.

Les concentrations maximales des principaux polluants aéroportés présentées dans le tableau 5 pour les objectifs de préservation de 1 et de 10 ans devraient être considérées comme efficaces et pratiques aux fins de préservation. Bien des objets ne présenteront pas de signes initiaux de détérioration avant que ne soit écoulée la durée d'exposition stipulée. Les objectifs de 1 et de 10 ans sont utiles et pratiques pour bien des musées, en plus d'être les plus facilement réalisables dans la majorité des bâtiments historiques. L'atteinte des concentrations de polluants associées à un objectif de préservation d'un an dans une salle peut beaucoup faire pour améliorer la préservation dans une enceinte si celle-ci ne contient pas de sources importantes émettrices de polluants.

Il existe des techniques de surveillance qui permettent de mesurer les concentrations des principaux polluants à des concentrations aussi faibles que celles associées à l'objectif de préservation de 100 ans (des précisions sur les techniques de surveillance sont fournies au chapitre 6). Cependant, les techniques les plus sensibles font intervenir des appareils coûteux ou exigent la prise d'échantillons ensuite analysés en laboratoire. Tous les musées ne sont pas en mesure de justifier les coûts de la

TABLEAU 6. OBJECTIFS DE PRÉSERVATION POSSIBLES POUR LA PLUPART DES COLLECTIONS

		Objectif de préservation possible (en années) ^a			
		Dans les enceintes avec ME ^b		Dans les enceintes sans ME	
		sans SE ^c	avec SE	sans SE	avec SE
Contrôle de la qualité de l'air dans le bâtiment	Dans les salles				
Aération naturelle ou système de CVC muni d'un filtre à particules moyennement efficace, sans filtre à gaz.	1-10	≤1	10-100	10-100	≥100
Système de CVC muni de filtres ^d à particules et à gaz suffisamment efficaces, membranes du bâtiment assurant une bonne étanchéité aux gaz et mesures élémentaires pour limiter la fréquentation	10-100	≤10	10-100	≥100	≥100
Système de CVC muni de filtres ^b à particules et à gaz hautement efficaces, membranes du bâtiment assurant une étanchéité aux gaz allant de bonne à très bonne et limitation de l'accès	≥100	≤10	10-100	≥100	≥100

Notes

a : Excluant les effets nuisibles de la vapeur d'eau et les matériaux hypersensibles.

b : Matériaux émissifs (produits et objets).

c : Sorbants efficaces (basé sur un taux de renouvellement d'air d'une fois par jour dans les enceintes).

d : Basé sur le remplacement périodique des filtres.

surveillance. Heureusement, il est possible d'effectuer une estimation des objectifs de préservation en fonction de certaines hypothèses. Le tableau 6 présente des objectifs de préservation possibles pour la plupart des collections à différents emplacements dans un musée, y compris les salles et les enceintes. Divers paramètres, notamment l'accès par le public, les capacités de filtration et l'étanchéité du bâtiment et la présence de produits émissifs et de sorbants dans les enceintes, ont été pris en considération au moment de formuler ces objectifs possibles. On suppose que le musée se trouve dans une zone urbaine moyennement polluée. Les objectifs de préservation ont été estimés en comparant les concentrations maximales de polluants admissibles pour chaque objectif de préservation fourni dans le tableau 5 avec les données contenues dans l'annexe 4, qui résume les connaissances actuelles sur les concentrations possibles et les taux de réduction des concentrations de polluants

selon différentes caractéristiques des bâtiments et modèles d'enceintes. Ces objectifs proposés peuvent ne pas refléter la réalité dans un musée donné; par contre, ils peuvent constituer un point de départ pour les programmes de surveillance ainsi qu'une bonne base de référence pour les établissements qui n'ont pas les moyens d'instituer un programme de surveillance exhaustif. Si les moyens de l'établissement le lui permettent, la prise de quelques mesures de surveillance peut permettre de préciser l'estimation du potentiel de préservation.

Le calcul de la CSENO et la DMENO peut être utile dans l'élaboration de la politique de préservation* d'un établissement. En effet, ces données peuvent servir de bases à partir desquelles on peut prendre des décisions logiques. L'utilisation des micro- et macro-évaluations des risques est approfondie au chapitre 5.

Les stratégies de contrôle consistent en des mesures coordonnées qui visent à réduire ou à maintenir à un certain niveau un ou plusieurs agents de détérioration afin de limiter le risque que courent les objets qui y sont exposés ou leur taux de détérioration. Ces mesures peuvent découler de spécifications* (soit les descriptions exactes des exigences techniques en ce qui concerne les bâtiments, les éléments amovibles et les procédures). Les diverses stratégies de contrôle qui peuvent être employées pour prévenir les effets nuisibles des polluants aéroportés sont résumées au tableau 7, qui rend compte des possibilités de contrôle à différents stades. Éviter, bloquer, diluer et filtrer ou sorber* sont les stratégies qui permettent de réduire les concentrations de polluants dans l'air ambiant; l'atténuation des réactions minimise les effets nuisibles des polluants sur les objets tandis que le fait d'écourter la durée d'exposition limite la détérioration des objets en écourtant la période de temps pendant laquelle ils sont exposés à un milieu nuisible. Dans la mesure du possible, il est toujours préférable de supprimer les sources de polluants. Toutefois, peu de moyens permettent de supprimer les polluants extérieurs, ce qui signifie que le blocage est dès lors la stratégie la plus réaliste. Dans le cas des polluants de source interne, il faut opter pour l'évitement (c.-à-d. qu'il faut éviter d'exposer les objets aux polluants en choisissant des produits sans danger) dans les enceintes. Si ce recours n'est pas possible, il faut alors opter pour la dilution pour réduire partiellement les concentrations de polluants. La surveillance est un volet des stratégies de contrôle; le chapitre 6 est consacré à cet aspect de la question.

Il faut noter que les stratégies de contrôle n'ont pas à être uniformément appliquées à l'échelle du musée. En effet, il est possible de les adapter en fonction de la valeur et des exigences de préservation des objets de même qu'en fonction des différentes salles et enceintes. Le tableau 8 contient des exemples des nombreux différents emplacements auxquels peuvent se trouver les objets (par exemple, ils peuvent être exposés, en réserve, en cours d'utilisation, etc.). Les stratégies de contrôle ne visent pas à résoudre un problème particulier en raison du nombre élevé de variantes possibles. Le chapitre 5 propose des moyens de décider quelles stratégies de contrôle doivent être retenues pour satisfaire les objectifs environnementaux. Le présent chapitre expose des lignes directrices générales avant de mettre l'accent sur le contrôle du milieu dans les bâtiments, les salles et les enceintes.

Certaines stratégies de contrôle spécialement adaptées sont proposées aux fins de préservation des objets hypersensibles. Avant de passer à l'exposé des stratégies de contrôle possibles, des principes généraux et lignes directrices sont fournis dans le but d'expliquer la physique et la chimie générales des polluants dans les musées.

PRINCIPES GÉNÉRAUX ET LIGNES DIRECTRICES

GRADIENT SPATIAL ET CONCENTRATIONS D'ÉQUILIBRE

Les polluants aéroportés sont dégagés par certains produits et sorbés par d'autres. Autrement dit, certains produits captent les polluants tandis que d'autres sont plus susceptibles de les dégager. Le transfert de masse des polluants aéroportés dans l'air ambiant est expliqué par la figure 27 (p. 40), y compris l'infiltration et l'exfiltration par différentes enveloppes et l'émission et la sorption par divers produits. Tous ces paramètres engendrent des gradients spatiaux* de la concentration d'un polluant dans une salle et fournissent une concentration d'équilibre* dans une petite enceinte. Par souci de simplicité, l'influence du mouvement de l'air (gradients de tirage ou de pression) et les gradients thermiques sont exclus du modèle. Dans le cas des musées où il se produit une ventilation naturelle attribuable à l'ouverture périodique des portes ou des fenêtres, la concentration de polluants est réduite à mesure que ceux-ci pénètrent plus avant dans le bâtiment (Blades *et al.*, 2000). Les polluants sont sorbés en cours de route par la surface des murs, les planchers et le mobilier, de même que par la collection même. La même progression survient dans les enceintes. En effet, les polluants peuvent pénétrer dans les enceintes par des ouvertures ou par diffusion au travers de l'enveloppe de l'enceinte. Seule une faible proportion des polluants ambiants parviennent à s'infiltrer ainsi et ils sont sorbés par les surfaces intérieures des produits qui forment l'enceinte de même que par les objets. Seuls les polluants sorbés par les objets sont susceptibles de causer des effets nuisibles.

RÈGLE DES « 100, 10, 1 » POUR LA CONCENTRATION DE POLLUANTS EXTERNES

D'après un examen de la littérature et un modèle des concentrations de polluants relevées dans les enceintes et à l'extérieur de celles-ci, on peut se servir de la règle des « 100, 10, 1 » pour évaluer

TABLEAU 7. STRATÉGIES DE CONTRÔLE DES EFFETS NUISIBLES DES POLLUANTS AÉROPORTÉS

ÉVITER les sources externes

- Choisir l'emplacement d'un nouveau bâtiment en tenant compte des sources voisines, par exemple les industries polluantes et les vents dominants.
- Minimiser la production de polluants; paver les terrains de stationnement et limiter la circulation aux abords immédiats du bâtiment.
- Appuyer toute proposition visant à réduire la consommation d'énergie produite avec du charbon ainsi que les mesures antipollution.

ÉVITER les sources à l'intérieur des salles et du bâtiment

- Minimiser les activités qui produisent de la poussière et des gaz à proximité de la collection ou aux endroits qui partagent la même installation de ventilation.
- Limiter le nombre de visiteurs admis dans chaque salle en fonction de la capacité de l'installation de ventilation.
- Choisir judicieusement les produits en fonction de leurs composés chimiques et les utiliser comme il se doit.

ÉVITER les sources dans les enceintes

- Choisir judicieusement les produits en fonction de leurs composés chimiques et les utiliser comme il se doit.

BLOQUER la pénétration de polluants dans les salles et le bâtiment

- Songer à répartir judicieusement les collections dans le bâtiment, selon la qualité de l'air dans les différentes salles (ce qui inclut l'emploi d'enceintes s'il y a lieu).
- Améliorer l'étanchéité de tout le bâtiment ou de certaines salles.
- Prévoir des vestibules aux portes principales et ouvrir judicieusement les fenêtres.
- Choisir un emplacement approprié pour l'apport d'air frais du système de CVC, prévoir différentes zones en surpression avec un apport d'air frais minimal. Prévoir des filtres à particules et à gaz efficaces et les remplacer régulièrement.

BLOQUER la pénétration des polluants dans les enceintes

- Choisir des enceintes étanches ou munies de systèmes de ventilation en surpression. Remplacer régulièrement les filtres.
- Envelopper les objets dans des produits absorbants, par exemple du papier de soie non acide ou du coton.

BLOQUER les polluants dégagés par les produits dans les salles ou les enceintes

- Apposer un pare-vapeur à la surface des produits en bois qui dégagent des polluants.

BLOQUER le transfert (dépôt ou sorption) de polluants sur les objets

- Apposer un pare-vapeur à la surface des objets (solution pas toujours possible).

DILUER, FILTRER et SORBER les polluants dans les salles et le bâtiment

- Songer à effectuer une distribution judicieuse des collections dans les différents espaces du bâtiment, selon la qualité de l'air (y compris l'emploi possible d'enceintes).
- Éloigner les objets des sources de polluants ou des lieux où ils s'infiltreront.
- Installer un système d'évacuation aux endroits où se déroulent les activités les plus polluantes (cuisine, atelier, entrepôt de produits chimiques).
- Utiliser des ventilateurs portatifs pour évacuer l'air d'une salle ou du bâtiment (en cas d'émissions concentrées, mais provisoires, par exemple lorsque les murs ou le plancher viennent d'être peints).
- Filtrer l'air recirculé par le système de CVC ou utiliser un filtre portatif. Changer les filtres aussi souvent que le recommande le fabricant ou le spécialiste en filtration.

DILUER, FILTRER ou SORBER les polluants dans les enceintes

- Envisager de concevoir une enceinte à tirage si les conditions ambiantes de la salle sont bien contrôlées ou installer des systèmes de filtration d'air à surpression.
- Diluer l'air avec un gaz inerte comme l'argon, l'hélium ou l'azote.
- Employer des méthodes de sorption passives ou actives (des sorbants capteurs de polluants, de vapeur d'eau ou d'oxygène). Remplacer régulièrement les sorbants.

ATTÉNUER LES RÉACTIONS se produisant sur les objets

- Abaisser le niveau d'humidité relative, la température ou les rayons ultraviolets ainsi que les rayons infrarouges et visibles (quand il y a lieu).
- Neutraliser les polluants absorbés par les objets (par exemple, la présence de composés alcalins dans les papiers entrave la dégradation causée par les acides).

ÉCOURTER LA DURÉE D'EXPOSITION

- Limiter le temps que passent les objets dans un milieu qui ne leur convient pas.

SURVEILLER les collections

- Inspecter régulièrement les objets, les enceintes et le bâtiment pour repérer les signes de détérioration.

SURVEILLER les polluants dans les salles et les enceintes

- Assurer une surveillance appropriée des polluants, sur les lieux.

SURVEILLER l'efficacité des mesures de contrôle

- Vérifier régulièrement l'efficacité des filtres à particules et à gaz.
- Mesurer le taux de fuites du bâtiment et des enceintes.

RÉAGIR en présence de polluants ou d'objets endommagés

- Protéger les objets du milieu nuisible.
- Revoir les stratégies d'évitement, de blocage et de réduction (voir ci-dessus); envisager une analyse des coûts et avantages.
- Épousseter régulièrement les objets, le bâtiment et l'équipement (vitrines, étagères, etc.). Minimiser la resuspension des particules.

TRAITER les objets endommagés

- Nettoyer et traiter les objets, au besoin, pour limiter la progression des dommages.

TABLEAU 8. EMBLEMENTS POSSIBLES DES OBJETS

Fonction (durée ^a)	Salle	Enceinte et produits connexes typiques
Mise en réserve (long terme)	Salle réservée à une collection précise ou mixte (accès réservé au personnel et aux spécialistes) ^b Salle fraîche (10 °C) (accès restreint) Salle froide (-20 °C) (accès restreint) Salle sèche (<40 % HR) Grenier et cave de maisons historiques, remise	Armoires en bois ou en métal Caisses ou contenants en bois, en carton, en métal ou en plastique Sacs de plastique Enveloppes ou étuis en plastique, en papier ou en carton Caisses de transport en dérivés de bois Bocaux en verre hermétiques (collection humide : éthanol ou formaldéhyde) Plâtre (certains fossiles non traités)
Exposition (court à long terme)	Salle d'exposition (où peuvent se dérouler des réceptions) Salle de « mise en réserve et exposition » (ouverte au public) Espace public (métro, centre commercial) Bureaux à vocation politique ou diplomatique Domiciles privés, bâtiments religieux	Vitrines, cadres avec vitrage : Vitrage : verre ou plastique Base : métal, bois, plastique Cadre / panneaux : métal, bois, plastique, carton
En service (très court à court terme)	Cérémonies et prestations (religieuses, culturelles, etc.) Entretien	
Laboratoire de restauration (très court à long terme)	Présence courte ou prolongée d'un objet en cours de traitement ou d'analyse	Caisses en bois, en carton ou en plastique Enveloppe de plastique transparent ou de papier (encapsulation)
Consultation ou salle de préparation (très court terme)	Emploi ponctuel ou à court terme des objets	Caisses en bois, en carton ou en plastique Enveloppe de plastique transparent ou de papier (encapsulation)
En transit (court terme)	Quai de chargement Salle de quarantaine	Caisses de transport en métal, en bois ou en carton (intérieur : mousses souples et rigides, feuilles de plastique, papier...)
Activités non liées à la collection	Cafétéria, atelier, entrée principale (réception), auditorium et bureaux	
Activités liées à la construction (très court à long terme)	Nouveau bâtiment, nouvelle salle (principalement pour les expositions) ou rénovation	Divers produits y compris ceux qui libèrent des solvants
Extérieur (moyen à long terme)	Extérieur des établissements à vocation patrimoniale, espaces publics et privés (réserve ou exposition) Structure ouverte, construction à poteaux et à poutres avec toiture	Grandes vitrines (verres, plastique, métal, dérivés de bois)

Notes :

a : Explication de la durée : très court terme : moins d'une journée; court terme : d'un jour à quelques semaines; moyen terme : de quelques semaines à un an; long terme : plus d'un an.

b : Certaines collections, comme celles d'objets organiques ethnographiques, de taxidermie et de peaux types, certains minéraux, les collections humides (spécimens conservés dans un liquide) et les collections de pellicules à base d'acétate et de nitrate de cellulose ont tendance à dégager d'importantes quantités de polluants qui peuvent parfois affecter les objets de collection.

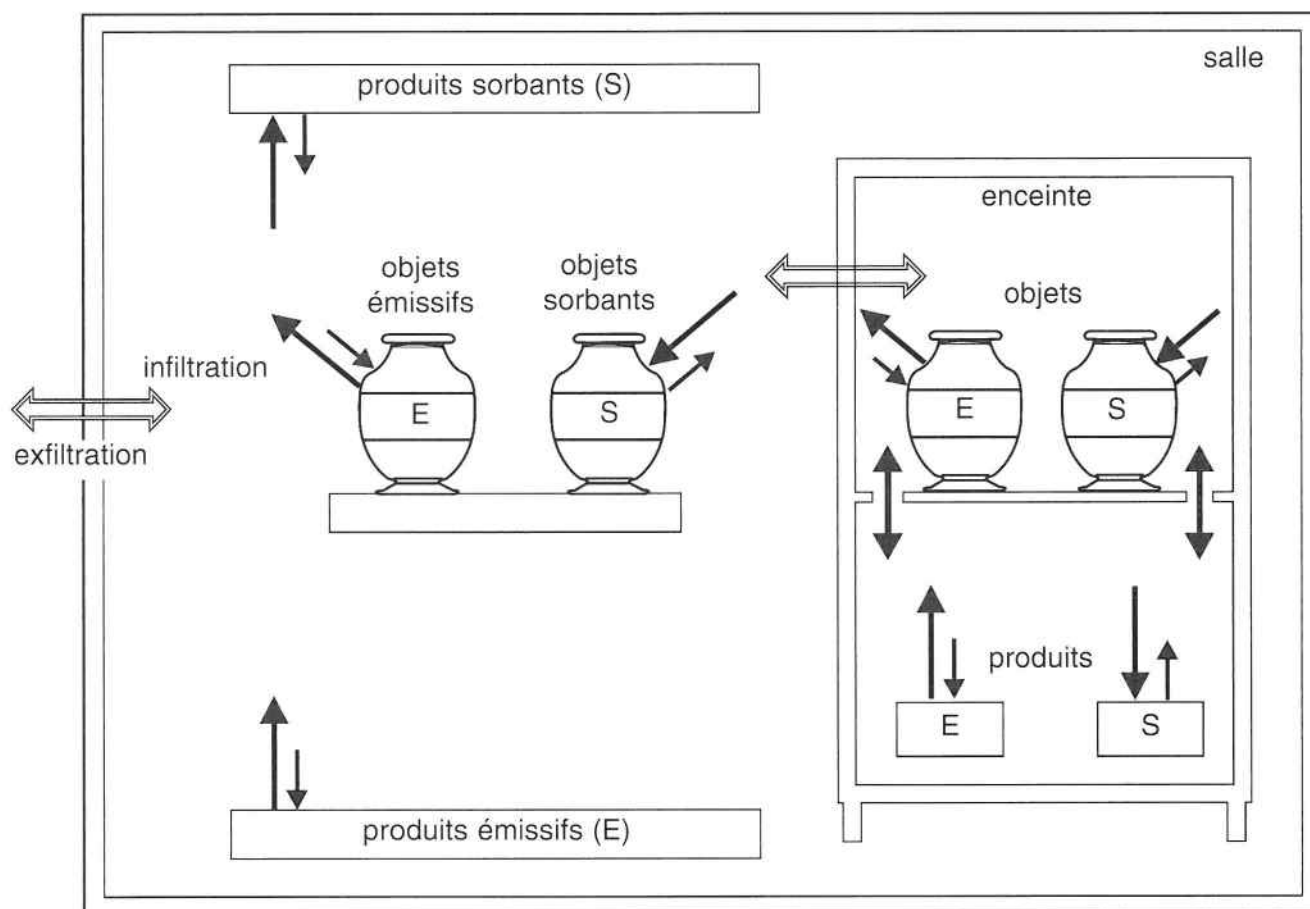


Figure 27. Représentation schématique du transfert massif de polluants aéroportés dans un musée. E : émissif, S : sorbant

approximativement les concentrations de polluants extérieurs qui pénètrent les enveloppes protectrices successives. D'une enveloppe à la suivante, les concentrations de polluants baissent d'un ordre de grandeur. Par exemple, si la concentration de dioxyde d'azote à l'extérieur se chiffre à $200 \mu\text{g m}^{-3}$, elle est de $20 \mu\text{g m}^{-3}$ dans une salle et de $2 \mu\text{g m}^{-3}$ dans une enceinte placée dans la même salle. Cette règle suppose l'absence de polluants d'origine interne; la présence de matériaux-barrières appropriés dans l'enveloppe du bâtiment; la présence d'objets dans les salles; et l'utilisation d'enceintes bien étanches à l'air. Si la salle possède des fenêtres qui sont ouvertes pendant quelques heures tous les jours, il n'y a pas de différence marquée entre les concentrations à l'intérieur et à l'extérieur. La règle des « 100, 10, 1 » appliquée aux polluants extérieurs est une généralisation qui peut sembler simpliste, mais il demeure qu'elle convient à bien des musées qui n'ont pas les moyens de mettre en œuvre des programmes de surveillance coûteux, mais qui ont néanmoins besoin d'une estimation des concentrations de polluants. Les ministères et services de l'environnement de divers

échelons administratifs peuvent diffuser (par le biais de leurs sites Web) les concentrations de polluants relevées dans les grandes villes, information qui peut servir à évaluer les concentrations intérieures en appliquant la règle des « 100, 10, 1 ». Le chapitre 6 contient des précisions à ce sujet.

Par contre, la règle des « 100, 10, 1 » ne peut être appliquée aux polluants d'origine interne comme l'acide acétique, qui peuvent atteindre des fortes concentrations d'équilibre dans les vitrines étanches ou les armoires de rangement fabriquées avec des matériaux émissifs. Les recherches sur le formaldéhyde menées dans les années 1970 et 1980 ont révélé des concentrations de l'ordre de 500 à $6000 \mu\text{g m}^{-3}$ dans les enceintes faites de produits en bois qui contiennent une colle à base d'urée-formaldéhyde. Les concentrations de formaldéhyde étaient 10 fois moindres dans les salles présentant un nombre élevé de panneaux en bois (Meyer et Hermanns, 1986; Newton *et al.*, 1986) et auraient été bien plus faibles si l'exfiltration de formaldéhyde d'une enceinte avait été l'unique source de formaldéhyde.

DURÉE UTILE DES PRODUITS

Certains produits, et particulièrement les produits d'origine organique, dégagent des polluants de façon caractéristique, selon leur nature, le mode de formation des produits en question et les procédés de détérioration qui entrent en jeu. Selon le taux d'émission de chaque produit à différents stades de son existence, l'utilisation des produits peut être admise dans certaines circonstances ou carrément interdite. Des modes d'émission possibles sont présentés à la figure 28 dans le cas de produits qui dégagent de l'acide acétique.

Les concentrations de polluants peuvent être très fortes aux stades initiaux, lorsque les produits sont en cours de fabrication ou d'application. C'est notamment le cas des produits liquides comme les solvants ou les peintures à l'eau et les adhésifs, les produits en bois collés et les produits chimiques fabriqués sur place comme les silicones vulcanisées à la température de la pièce (VTP) et les produits à deux constituants (uréthane et époxyde) qui prennent la forme de peintures, d'adhésifs ou de résines à modeler. Il faut compter trois à quatre semaines pour parvenir au taux minimal de dégagement gazeux (Tétreault, 1999a, 1992b). La majorité des dommages signalés dans la littérature causés par les émissions provenant de produits se rapportait à des objets rangés ou exposés dans des enceintes de fabrication récente. Les dommages ont été remarqués dans les trois mois.

Après la période initiale de durcissement ou d'évaporation, certains de ces produits ne dégagent plus qu'une concentration faible et constante de polluants en raison des procédés de détérioration continuels d'hydrolyse ou d'oxydation. Bien des produits, une fois en phase « stable », peuvent être utilisés sans danger dans les enceintes. La plupart des produits en bois et en plastique qui dégagent de l'acide acétique se retrouvent dans cette catégorie parce qu'ils ont tendance à créer des concentrations constantes de polluants qui sont parfois inférieures à la limite de détection. Par contre, le chêne et le cèdre dégagent des fortes quantités de vapeur d'acide acétique. Ces émissions sont les plus fortes lorsque le bois vient d'être coupé et elles baissent légèrement

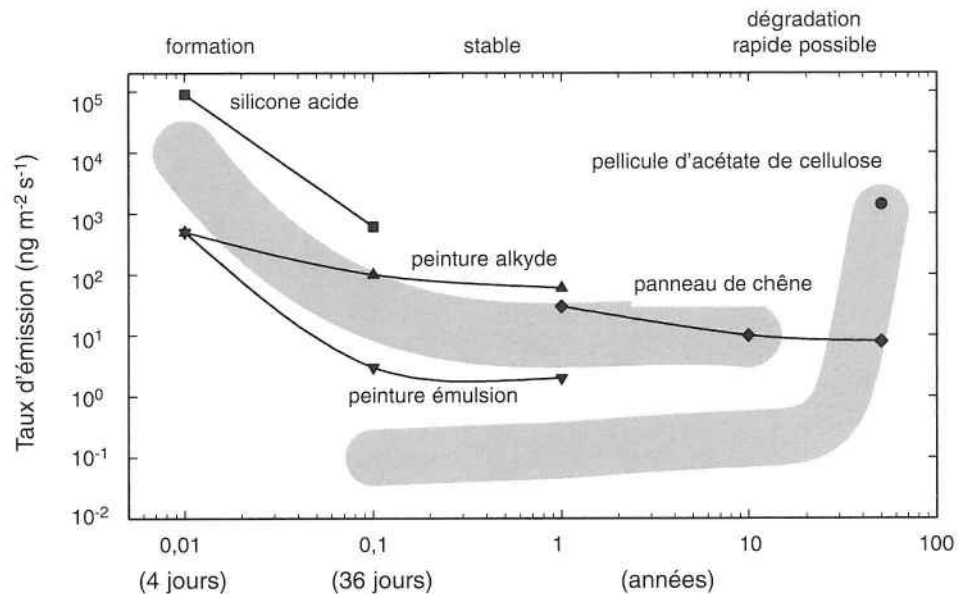


Figure 28. Vie utile des produits. Basée sur les taux d'acide acétique dégagés par certains produits (Tétreault, 1999a et Ryhl-Svendsen, 2000).

avec le temps en raison d'altérations superficielles (photo-oxydation, dépôt de poussières). Cependant, même ces taux d'émissions réduits sont élevés et un morceau de chêne âgé de 50 ans continue de dégager une odeur de vinaigre qui se remarque. Parce que le chêne et le cèdre, peu importe leur âge, dégagent de fortes concentrations d'acide acétique, il ne convient pas de les utiliser dans une enceinte qui contient des objets en plomb.

Si l'emploi de certains produits est déconseillé à ces stades initiaux, dans le cas d'autres, c'est l'inverse qui vaut. Ainsi, certains objets ou produits se détériorent après une période qui varie de quelques années à quelques décennies et cette détérioration provoque une augmentation du taux d'émission de polluants. Les papiers acides et les objets en nitrate et en acétate de cellulose, qui connaissent une détérioration qui va en s'accroissant sous l'effet de l'hydrolyse acide, se classent dans cette catégorie.

Il est important, lorsqu'on choisit des produits et particulièrement dans le cas des enceintes, de tenir compte de la durée utile. Il peut ainsi être possible de prévenir les effets nuisibles communs que causent divers produits ou objets émissifs à différents stades de leur vie.

EFFETS NUISIBLES DES CONTACTS

Lorsqu'il s'agit de choisir des produits, il faut aussi tenir compte des effets nuisibles qu'ils pourraient avoir s'ils entrent en contact avec les objets.



Figure 29. Œuvre d'art sur papier tachée par le contact pendant de nombreuses années avec un passe-partout acide. Voir la planche en couleurs p. 98.

Un problème qui peut survenir est l'apparition de taches sur l'objet, au point de contact, au bout d'un certain temps. Par conséquent, il est important de veiller à ce qu'aucun produit ne puisse transférer l'un ou l'autre de ses composants à un objet en cas de contact. Les produits qui sont les plus susceptibles de causer des taches sont ceux qui présentent des composants acides, notamment les papiers acides (figure 29), les peintures formées par polymérisation oxydative, les adhésifs de poly(acétate de vinyle) (PVAC), les matières colorantes non solides, les composés sulfureux et les produits à forte teneur en plastifiants comme le poly(chlorure de vinyle) (PVC) souple. De même, les mousses de polyuréthane finissent par tacher les objets avec lesquelles elles sont en contact. Elles peuvent conserver leurs propriétés initiales pendant quelques années, mais avec le temps, elles jaunissent et deviennent fragiles et collantes. À ce stade, elles tachent tout ce qu'elles touchent. Le contact entre deux objets, ou entre les composantes d'un même objet, peut aussi provoquer des dommages. Il faut aussi veiller à protéger les produits contre les objets conservés dans les musées.

En effet, les objets acides ou gras peuvent tacher les produits tels que les étiquettes ou leurs contenants, ce qui peut causer la perte de renseignements historiques précieux ou de renseignements qui permettent d'identifier les objets. Lorsqu'un morceau de métal est en contact avec un produit acide, comme un panneau en bois, la plupart des dommages se produisent sur le bord du métal plutôt qu'au point de contact. L'humidité présente dans l'air ambiant accélère ce genre de détérioration.

Un objet peut aussi dégrader l'enceinte ou le contenant qui le renferme, ce qui peut alors endommager d'autres objets en cas de réutilisation. Par exemple, les contenants peuvent être rouillés ou tachés par les huiles dégagées par un objet minéral, ethnographique ou industriel. Si un tel contenant est réutilisé pour d'autres objets, ceux-ci peuvent être endommagés par le contact avec le contenant ou par la désorption des polluants qui en émanent.

CONSÉQUENCES NÉGATIVES DES STRATÉGIES DE CONTRÔLE

En aucun cas une stratégie de contrôle ne devrait-elle privilégier la préservation d'un objet au détriment d'autres objets, pas plus qu'une stratégie de contrôle visant à réduire le risque de détérioration associé aux polluants ne devrait augmenter le risque de détérioration associé à d'autres agents. Ces deux principes supposent un monde parfait. Dans certaines circonstances, la stratégie de contrôle retenue est le moindre de deux maux. Bien entendu, dans tous les cas, la santé et la sécurité des personnes l'emportent sur les autres considérations.

COMPARAISON DU MACRO ET MICRO-CONTRÔLE DU MILIEU

La décision d'exercer une surveillance du milieu à l'échelle d'une salle en général ou uniquement de certaines enceintes est régie par plusieurs critères : les exigences de préservation des objets, la taille et le nombre des objets, les considérations d'ordre esthétique et les ressources disponibles. Dans bien des cas, une surveillance élémentaire à l'échelle de la salle peut suffire à satisfaire le mandat de l'établissement en matière de préservation et d'accessibilité. Dès lors, il est possible d'identifier les objets de grande valeur et de prévoir pour ceux-ci des mesures de surveillance supplémentaires, par exemple en les exposant dans des enceintes dont le milieu est plus étroitement contrôlé ou en limitant leur temps d'exposition. Les musées qui possèdent des collections volumineuses peuvent regrouper les objets en fonction du niveau de préservation souhaité, puis assurer un contrôle efficace à l'échelle des salles, conformément aux

objectifs de préservation visés. Une analyse des coûts et avantages* peut aussi permettre de décider plus facilement si le contrôle du milieu doit se faire à l'échelle de la salle ou à celle des enceintes. L'étanchéité à l'air des enceintes est une considération importante qui est abordée ci-dessous.

Les professionnels de la conservation peuvent aider à regrouper les objets de la collection en fonction de leur sensibilité ou des matériaux qu'ils ont en commun, puis à appliquer des mesures de contrôle adaptées. Avec le temps, il peut être nécessaire de déplacer les objets qui présentent une détérioration avancée pour éviter qu'ils n'aient des effets nuisibles sur d'autres objets. C'est notamment le cas des objets faits d'acétate de cellulose : il faut les isoler du reste de la collection lorsqu'ils atteignent une acidité critique, pour éviter de contaminer d'autres objets.

CONTRÔLE DANS LE BÂTIMENT OU LES SALLES

Au niveau des bâtiments, les principales considérations sont associées à l'infiltration de gaz et de particules provenant de l'extérieur ainsi qu'aux émanations dues aux produits, aux visiteurs et, dans certains cas, à la collection même. Les stratégies de contrôle communes ou importantes sont évoquées dans le tableau 7 et abordées ci-dessous.

ÉVITER

Habituellement, il n'y a pas grand-chose à faire pour contrôler les concentrations de polluants à l'extérieur des bâtiments. En revanche, certaines mesures peuvent être instaurées localement, notamment le pavage des terrains de stationnement et des voies d'accès pour éviter la resuspension des particules de poussière et la limitation de la circulation lourde aux abords du musée. Dans le cas des sources internes de polluants, les possibilités d'intervention sont nettement plus nombreuses.

Limitation de la fréquentation

Une importante quantité de polluants comme l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène, la poussière et la vapeur d'eau, peut être dégagée dans une salle d'exposition achalandée et insuffisamment ventilée; ces circonstances peuvent aussi causer une hausse de la température ambiante. Par souci autant pour le confort des visiteurs que pour la collection, on conseille de limiter la densité maximale de fréquentation de la salle. Dans le cas d'expositions qui attirent les foules, on peut par exemple n'admettre qu'un nombre fixe de visiteurs dans la salle toutes les demi-heures.

Choix et utilisation des produits

En raison de la forte capacité de dilution des salles (par ventilation naturelle ou forcée), les polluants dégagés par les produits ne présentent généralement pas de fortes concentrations dans les quelques semaines suivant l'installation ou l'application. Par contre, il existe trois produits qu'il faut s'abstenir d'utiliser en grande quantité : les peintures et les vernis à l'huile ou alkydes (*voir le tableau 13, p. 57*), les tapis en laine et les produits en bois sans revêtement comme les panneaux agglomérés et gaufrés qui contiennent une colle à base d'urée-formaldéhyde. Les odeurs qui se remarquent dans une salle émanent habituellement de la collection même, placée sur des étagères ouvertes, ou sont causés par des problèmes d'humidité. Si des objets en argent ou en cuivre sont placés dans la même salle que des tapisseries ou des tapis en laine, il faut veiller à les protéger. Il n'est habituellement pas nécessaire de remplacer les peintures à l'huile vieilles ou les panneaux en bois dépourvus d'un revêtement en l'absence d'odeurs prononcées. Cependant, à titre de précaution, il est bon de protéger les objets qui présentent des parties en plomb.

BLOQUER, DILUER, FILTRER ET SORBER

Contrôle au moyen d'un système de CVC²

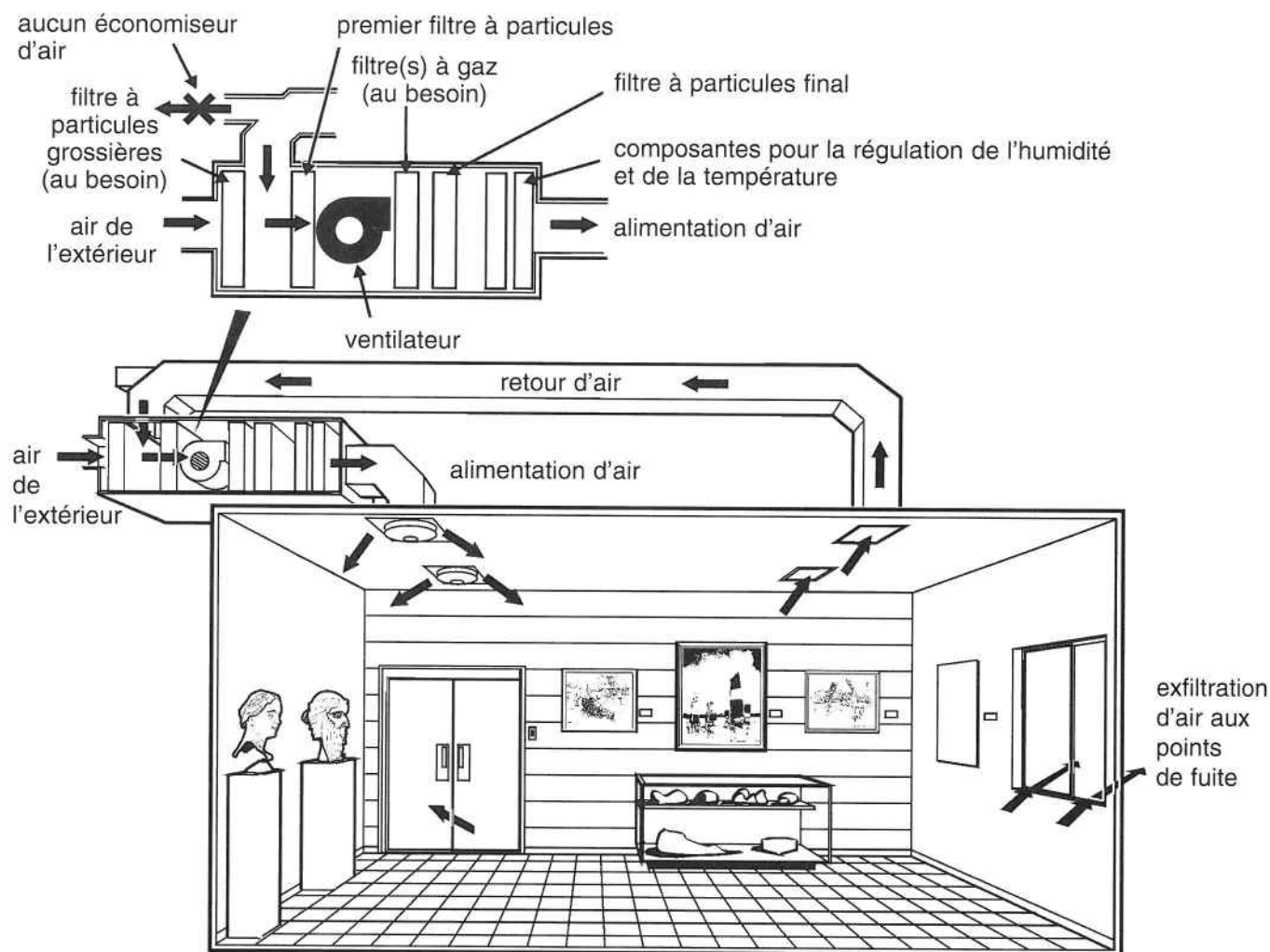
Dans les grands bâtiments neufs, le contrôle des concentrations de polluants s'effectue au moyen d'un système de CVC central conçu expressément à cette fin. Ces systèmes doivent satisfaire à des exigences liées à la santé humaine et à la préservation de la collection et ce, à un coût minimal. En général, les systèmes de CVC élémentaires privilégient la création d'un milieu stable et uniforme avec un contrôle modeste de la poussière. Dans les maisons historiques, le rendement en ce qui a trait au contrôle du milieu ne dépend pas uniquement du système de CVC, mais parfois davantage des capacités du bâtiment en ce qui a trait au blocage de l'infiltration des vapeurs et des gaz et à l'isolation thermique, sans oublier les activités humaines qui s'y déroulent. Le contrôle précis des polluants exige des évaluations effectuées par des experts pour cerner le rendement combiné du système de CVC et de l'enveloppe du bâtiment.

Maints paramètres du système de CVC interviennent dans le contrôle des polluants. Ils sont résumés au

2. Depuis 1999, le manuel de l'American Society of Heating, Refrigeration et Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) contient un chapitre consacré aux musées et aux bibliothèques. Ce chapitre porte principalement sur le taux d'HR et la température. L'édition 2003 inclut une section sur les polluants aéroportés.

**TABEAU 9. PARAMÈTRES À CONSIDÉRER EN CE QUI CONCERNE
LES SYSTÈMES DE CVC SERVANT À LA LUTTE CONTRE LES POLLUANTS**

Paramètres	Avantages	Limites
Apport d'air faible	• Devrait être réglé au minimum nécessaire pour les besoins de santé. • Éviter l'infiltration de polluants externes et maintenir l'HR et la température conditionnées. L'entrée d'air doit être positionnée loin de la rue, des sorties d'air, des sources de contamination (entrepôt de produits chimiques, poubelles) ou des quais de chargement des camions.	• Il faut éviter un taux de CO₂ élevé [$<1800 \text{ mg m}^{-3}$ ($<1000 \text{ ppm}$) (ASHRAE, 2001a)]; on recommande l'utilisation d'un détecteur de CO₂. Typiquement, la concentration naturelle de CO₂ se chiffre à environ 400 ppm, mais elle augmente. Il faut aussi éviter les fortes concentrations de polluants de source interne [total des COV (COVT) inférieures à 200 et 300 $\mu\text{g m}^{-3}$ en période d'occupation, tel que suggéré par Molhave (1990) et Seifert (1990)]. • Il faut de l'air frais en quantité suffisante pour créer une surpression et ainsi éviter un apport involontaire d'air non conditionné par les portes ouvertes et les points de fuite. Dans la mesure du possible, il faut obturer les fuites. • En présence de la collection, on déconseille l'apport important d'air frais pour supprimer les COV émanant de nouveaux produits.
Pas d'économiseur d'air (pas d'échappement)	• Élimine l'entrée de quantités importantes d'air frais non conditionné.	
Contrôle des conditions des différentes zones	• Contrôle les conditions selon les besoins de la collection. La surpression la plus élevée est généralement réservée à la salle la plus propre.	
Débit d'air variable (DAV)	• La circulation d'air peut être réglée en fonction des besoins, soit une augmentation lorsque la fréquentation est forte ou que des rénovations sont en cours, soit une baisse lorsque la fréquentation est faible. Il est aussi possible de choisir un débit constant. • Les débits suivants sont conseillés (Thomson, 1986) : Hauteur de plafond moins de 3 mètres : 8 renouvellements/heure 4 à 5 mètres : 6 renouvellements/heure 7 mètres : 4 renouvellements/heure En période de non-occupation, la circulation d'air peut être réduite de moitié.	• Il faut une circulation d'air minimale pour éviter les variations spatiales de température et d'humidité relative, pour contrôler les polluants de source interne et pour éviter les fortes concentrations de CO₂. • L'efficacité des sorbants à gaz diminue lorsque la circulation d'air augmente; le bruit augmente également. • L'ASHRAE s'inquiète des aspects efficacité et fiabilité du DAV et recommande un débit d'air constant (ASHRAE, 2003). De même, il est plus difficile de maintenir les rapports de pression entre espaces chauffés, ventilés et climatisés en présence d'un DAV, par rapport aux installations à débit constant.
Emploi de filtres à particules hautement efficaces	• Assure une filtration plus efficace des particules fines. Voir le tableau 10. • Réduit la fréquence de nettoyage des composantes du système de CVC.	• L'efficacité peut être inférieure aux prévisions si les filtres sont incorrectement posés. • Les particules denses de source interne ne sont pas captées par le système de CVC parce que leur période de suspension est courte. • Un ventilateur à pression plus puissant peut être nécessaire avec les filtres hautement efficaces (ce qui hausse la consommation d'énergie). • Ne pas utiliser un épurateur d'air électrostatique (qui dégage de l'ozone).
Emploi de sorbants pour capter les gaz ou les vapeurs	• Permet de filtrer les polluants sous forme de gaz ou de vapeurs (peut exiger une installation de filtration combinée avec sorbants pour capter les produits chimiques). Voir le tableau 11. Dans le cas d'une nouvelle construction, songer à prévoir de l'espace pour l'installation éventuelle d'un boîtier ou d'un sac pour les filtres à gaz, même si le client n'en fait pas la demande à l'origine.	• L'efficacité peut être inférieure aux prévisions si l'installation laisse à désirer. • L'évaluation de la durée de vie de certains filtres peut se faire par analyse d'échantillons. Si on ne connaît pas la durée de vie, il vaut mieux changer le filtre une fois l'an. Certaines émissions de particules sorbantes sont captées par le filtre fin en aval tandis qu'une quantité minime échappe à la filtration. Ces particules peuvent parfois oxyder la surface des objets. En général, les filtres à lit fixe ne dégagent pas de particules. • Certains filtres exigent un ventilateur à pression plus puissant (ce qui hausse la consommation). • Consomme plus d'énergie.
Filtration de l'air de reprise	• Outre la filtration des polluants de source externe, les polluants de source interne, comme le H₂S, l'ammoniac et les particules dégagées ou délestées par les visiteurs, peuvent être filtrés.	
Inspection et entretien routiniers	• L'inspection et l'entretien assurent le fonctionnement efficace du système et entravent la croissance d'organismes biologiques. Un système de CVC qui vient d'être posé doit faire l'objet d'un nettoyage avant d'être mis en marche. Souvent, le système de CVC est sali par les travaux de construction en cours dans un bâtiment. Le système de traitement de l'air doit faire l'objet d'une inspection visuelle chaque année tandis que les conduits d'entrée et de reprise devraient être inspectés tous les deux ans. Avant le début des travaux de nettoyage, les restaurateurs devraient être informés du protocole en vigueur. • Il ne faut pas se servir de solutions acides ou oxydantes pour nettoyer les serpentins de refroidissement et les conduits. • Éviter l'emploi de lubrifiants à base d'huile végétale et limiter les résidus huileux sur les composantes du système de CVC. • On sait que les filtres poussiéreux réduisent mieux l'infiltration de particules. Par contre, ils causent une chute de pression dans le système et la poussière accumulée sur le filtre peut être source de polluants et de moisissures.	



Salle en surpression

Figure 30. Système de CVC typique.

tableau 9 (p. 44) et représentés visuellement à la figure 30. Il existe des variantes de ce système schématique. L'entrée d'air doit être aussi faible que possible tout en suffisant à maintenir (par dilution) à un faible niveau les concentrations de CO_2 et de polluants d'origine intérieure et à pressuriser les différentes zones contrôlées du bâtiment. En raison des variations climatiques et des activités qui se déroulent dans le bâtiment ainsi que de l'augmentation du coût de l'énergie, les systèmes à flux d'air sur demande (systèmes à volume d'air variable) ont gagné en popularité. Quoique ceux-ci conviennent dans maintes circonstances, ce n'est pas forcément le cas dans les musées parce que les flux d'air faibles et changeants peuvent engendrer des gradients de température qui risquent alors de créer une HR incorrecte par temps froid ou par temps chaud; de plus, ils

peuvent être incapables de satisfaire les objectifs environnementaux (ASHRAE, 2003). Lorsqu'un système à volume d'air variable n'est pas la meilleure solution, les musées devraient envisager l'optimisation de différents espaces de contrôle des conditions ambiantes pour préserver différents types de collections et selon la fonction des différentes salles. L'ASHRAE fait mention de diverses méthodes de mesure du flux d'air dans les salles (ASHRAE, 2001b).

Les systèmes de filtration jouent un rôle important dans les stratégies de contrôle visant les bâtiments neufs ou remis à neuf. Un système de CVC muni d'un assemblage de filtration peut présenter différentes configurations de filtres, depuis un simple jet d'eau assorti d'un filtre à particules grossières à un assemblage complexe de filtres à gaz spécialisés

et de filtres à particules à haute efficacité. L'ASHRAE et le Comité européen de normalisation (CEN) ont formulé des nouvelles normes d'efficacité pour les filtres à poussière : la norme ANSI/ASHRAE 52.2 (ASHRAE, 1999a) et la norme EN 779 (CEN, 2002). Malheureusement, il n'existe pas d'équivalence directe de l'une à l'autre. L'ancienne norme basée sur la méthode des taches de poussière et l'ancienne norme EN 779 (ASHRAE, 2001d) sont basées sur la même méthode de mesure et peuvent servir à établir des corrélations approximatives entre les deux nouvelles normes. La figure 31 illustre l'efficacité typique des filtres selon des particules de différente taille d'après la méthode des taches de poussière. L'efficacité présentée est une approximation puisque l'efficacité réelle varie en fonction de paramètres physiques comme le flux d'air et la saturation du filtre. Par exemple, un filtre efficace à 80 % capte la moitié des particules de 0,3 μm de diamètre et plus de 95 % de celles de 2,5 μm de diamètre. Comme le montre la figure 7, il est important de bloquer l'infiltration des particules fines parce que les particules les plus nuisibles, dans le cas des musées, sont celles dont le diamètre aérodynamique varie de 0,01 à 1 μm , comme le noir de carbone, les sels et les composés de sulfate et de nitrate.

L'efficacité du système de filtration devrait être proportionnelle à la capacité du bâtiment et à la fonction de la salle. Même avec le plus efficace des systèmes de filtration, le dépôt de peluches provenant des textiles ou de phanères d'origine humaine pose

problème si l'activité ou la fréquentation de la salle est excessive. Le tableau 10 fournit cinq spécifications progressives en ce qui a trait à l'efficacité des systèmes de filtration. Lorsqu'un musée est doté d'un système de CVC centralisé, un filtre final ayant une efficacité d'au moins 70 à 75 % (selon la méthode des taches de poussière) devrait à tout le moins être utilisé. Ce niveau d'efficacité correspond à la catégorie D et est légèrement supérieur à l'efficacité escomptée dans le cas des immeubles à bureaux. Toutefois, à ce niveau, seulement environ 40 % des particules fines sont filtrées. Les classes suivantes présentent des niveaux d'efficacité plus progressifs et équilibrés. Dans la catégorie B, il faut envisager l'inclusion d'un filtre à gaz pour assurer un contrôle plus général des polluants. La catégorie A correspond au niveau supérieur : elle assure le meilleur contrôle des particules fines (une réduction de plus de 80 %, avec une baisse de pression acceptable). Différentes configurations de filtres sont possibles, en autant que les exigences minimales d'efficacité soient respectées.

Comme les filtres à haute efficacité coûtent cher, on les précède souvent d'un filtre moins performant afin de prolonger leur vie utile. Le filtre final doit être installé en aval du ventilateur pour obtenir une efficacité optimale en surpression. On peut aussi installer, en amont du filtre initial, un filtre préalable qui capte les particules très grossières comme le sable, les insectes et les feuilles mortes. Toutefois, il est plus commun d'utiliser des premiers filtres à efficacité moyenne, non seulement parce que ceux-ci sont

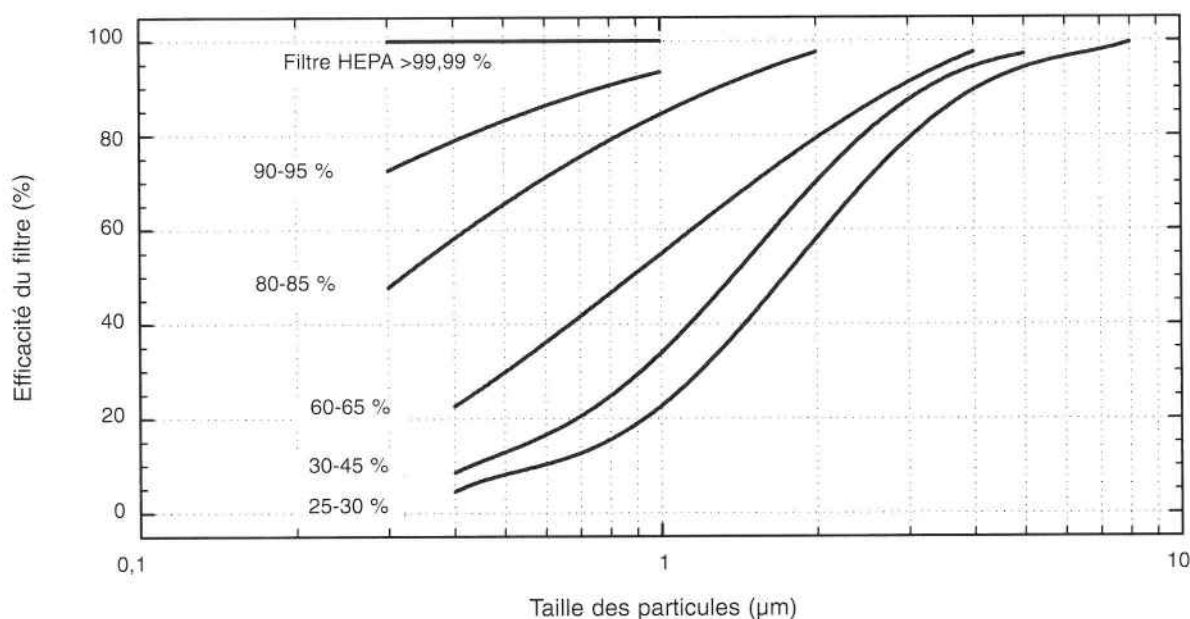


Figure 31. Efficacité des filtres selon la taille des particules, d'après la méthode des taches de poussière (ASHRAE, 2001d).

TABLEAU 10. SPÉCIFICATIONS VISANT LES ÉLÉMENTS DE FILTRATION DES SYSTÈMES DE CVC

Catégorie	Efficacité minimale d'un filtre à particules initial selon			Filtre à gaz ^d	Efficacité minimale d'un filtre à particules final selon			Air de reprise ^e
	ASHRAE 52.2 (MERV ^a)	Méthode des taches de poussière ^b	EN 779 ^c		ASHRAE 52.2 (MERV)	Méthode des taches de poussière	EN 779	
AA	≥12	≥70 %	≥F6	1 ou 2 étapes	≥16	>99 %	≥H10	filtré
A	11	60–65 %	F6	1 étape	15	>95 %	F9	filtré
B	10	50–55 %	F5	1 étape (préférable)	14	90–95 %	F8	filtré
C	9	40–45 %	F5	aucun	13	80–85 %	F7	filtré (préférable)
D	8	30–35 %	G4	aucun	12	70–75 %	F6	non filtré

Notes :

a : MERV : « minimum efficiency reporting value » (valeur de déclaration de l'efficacité minimale) d'après la norme ANSI/ASHRAE 52.2 (ASHRAE, 1999a).

b : Efficacité du filtre selon la méthode des taches de poussière de l'ASHRAE 52.1 (fourni en renvoi) (ASHRAE, 1992).

c : EN 779 du CEN (CEN, 2002).

d : Voir le tableau 11 pour le choix des filtres à gaz.

e : L'air de reprise est filtré lorsqu'il recircule dans le système de filtration.

désormais moins coûteux, mais aussi parce qu'il est avantageux à long terme de retarder le nettoyage de l'appareil de climatisation (p. ex. échangeur de chaleur ou serpentins refroidisseurs). Une consommation d'électricité raisonnable, la prolongation de la vie du filtre final et les mesures de réduction de la poussière, donnant lieu à des particules plus fines dont la masse est moindre, ont incité à l'utilisation des filtres à efficacité moyenne. De surcroît, les entrées d'air sont plus souvent placées à la hauteur du toit qu'à celle du sol, celui-ci étant plus poussiéreux. L'utilisation des filtres à efficacité moyenne comme filtres initiaux est bien documentée dans certaines normes techniques, notamment en Suisse (SWKI 96-4), en Allemagne (VDI 6022) et au Canada (Société Suisse, 1998; Verein, 1998; Nathanson *et al.*, 2002).

Vu l'inquiétude croissante que soulèvent les virus, les bactéries et les poussières métalliques toxiques, les filtres HEPA (filtre à particules à haute efficacité) ont gagné en popularité et sont désormais faciles à obtenir. Un filtre HEPA élimine 99,97 % de toutes les particules de 0,3 µm de diamètre tandis qu'un filtre de qualité quasi-HEPA est efficace à entre 90 et 99,97 %. En raison de la forte baisse de pression, les filtres HEPA consomment beaucoup d'énergie. Ils servent principalement dans l'industrie des produits pharmaceutiques ou des semi-conducteurs, industries

dans lesquelles les travailleurs doivent porter des vêtements et des masques spéciaux. Manifestement, ce n'est pas le cas dans les musées qui permettent au public de visiter leurs collections. Dans certains cas particuliers, les collections à accès restreint peuvent bénéficier de l'utilisation de filtres à très haute efficacité s'il n'est pas possible d'avoir recours à des enceintes fermées. Ce niveau d'efficacité correspond à la catégorie AA dans le tableau 10. Si un filtre à gaz libère des particules sorbantes, il est recommandé d'installer un filtre à particules en amont du filtre final, en raison du coût élevé de ce dernier.

Pour contrôler les polluants sous forme de gaz et de vapeurs, on installe un filtre à gaz entre le filtre à particules initial et le filtre final. Le tableau 11 présente l'efficacité relative de certains filtres à gaz en présence de différents polluants principaux, selon le matériau sorbant³ principal et les agents d'imprégnation actifs supplémentaires. Ce tableau comparatif peut être utile pour choisir les assemblages de sorbants qui conviennent, selon l'efficacité générale ou le contrôle serré d'un polluant en particulier. Malheureusement, il existe peu de comparaisons entre les sorbants

3. Divers ouvrages de référence, comme ceux de l'ASHRAE (1999b), contiennent des renseignements de base sur les aspects physiques et chimiques de la sorption.

TABLEAU 11. CAPACITÉ DE SORPTION GAZEUSE DES FILTRES^a

Sorbant	Imprégnant	Acide acétique	H ₂ S	NO ₂	O ₃	SO ₂	Vapeur d'eau	Formal-déhyde	NH ₃
Alumine activée	Permanganate de potassium (KMnO ₄)	Bon	Très bon	Moyen	Bon	Bon	Aucun	Moyen	Faible
	Bicarbonate de soude (NaHCO ₃)	Bon	Moyen	Bon	Moyen	Bon	Aucun	Faible	Faible
Catalyseur à l'oxyde de zinc	Aucun	Aucun	Très bon				Aucun		
Charbon actif	Aucun	Bon ^b	Faible	Faible	Bon	Bon	Faible	Faible	Faible
	Carbonate de potassium (KCO ₃) ou Hydroxyde de potassium (KOH)	Bon	Bon	Bon	Moyen	Bon	Aucun	Faible	Faible
Gel de silice	Aucun	Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Très bon	Faible	Moyen
Matériaux composites à lit fixe (sorbants à plusieurs couches)	Aucun	Moyen	Faible	Faible	Bon	Bon	Aucun	Faible	Faible
	Catalyse/Carbonate de potassium (KCO ₃)	Bon	Bon	Bon	Moyen	Bon	Aucun	Faible	Faible
	Sel métallique	Moyen	Très bon	Moyen	Moyen	Moyen	Aucun	Moyen	Bon
	Résine échangeuse d'ions	Bon	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Aucun	Faible	Très bon
Pulvérisation d'eau (dépoussiérage par voie humide)		Bon	Faible	Moyen	Faible	Bon	Aucun	Moyen	Moyen
Tamis moléculaires ^c (zéolite)	Aucun	Moyen	Moyen	Faible	Faible	Moyen	Très bon	Faible	Faible
Textile imprégné de charbon actif	Aucun	Bon	Faible	Faible	Bon	Moyen	Aucun	Moyen	Faible

Notes :

- a : Efficacité lorsque le filtre est actif. Les fabricants peuvent fournir un mélange de sorbants. Le cas échéant, l'efficacité nette correspond à l'efficacité moyenne des sorbants individuels.
b : Efficacité moyenne pour l'acide formique.
c : Dépend en grande partie de la teneur en eau.

Sources :

Adapté de l'ASHRAE (1999b), Muller (s.d.a, s.d.b), Purafil (1999), Waller (1999), Charcoal Cloth Limited (1990), Kames (2000, 2002).

vendus par différents fabricants. Il existe certaines cotes d'efficacité basées sur l'efficacité théorique et l'avis d'experts. Selon le tableau 11, seulement trois sorbants assurent un bon contrôle général des principaux polluants gazeux (excluant la vapeur d'eau). Il s'agit du charbon actif imprégné de carbonate de potassium ou d'hydroxyde de potassium, de l'alumine activée imprégnée de permanganate de potassium et des filtres à lit fixe* munis de charbon catalytiquement actif et d'un agent d'imprégnation de carbonate de potassium. Rares sont les filtres qui présentent une efficacité supérieure à l'égard de polluants particuliers. Par exemple, seulement trois filtres à gaz parviennent très bien à capter le sulfure

d'hydrogène. Il s'agit de l'alumine activée imprégnée de permanganate de potassium, des filtres à lit fixe pourvus de sels métalliques et du catalyseur d'oxyde de zinc. Pour créer un système de filtration à haute efficacité, un ingénieur spécialisé en systèmes de CVC peut suggérer l'installation des filtres à gaz en deux étapes pour améliorer l'efficacité générale du système, par exemple deux filtres à lit fixe, l'un pourvu de charbon catalytiquement actif et l'autre de carbonate de potassium installé en série avec des sels métalliques. Autrement, on peut avoir recours à un sorbant à base de charbon actif imprégné de carbonate de potassium suivi par de l'alumine activée imprégnée de permanganate de potassium.

Dans certains cas, il est possible de combiner des sorbants spéciaux en un sorbant de gaz unique. En plus de choisir le sorbant qui convient selon le système de filtration, il faut que les filtres soient conçus de façon à assurer une forte rétention au premier passage de l'air arrivant de l'extérieur tout en étant rentable sur le plan énergétique.

Il peut avoir lieu de s'inquiéter lorsque des sorbants imprégnés de composés oxydants, acides ou alcalins puissants sont utilisés dans un système de CVC s'il y a le moindre risque que d'infimes quantités des poudres sorbantes traversent le filtre final et se diffusent dans les salles. L'ASHRAE (1999b) rapporte qu'un sorbant peut corroder les montures ou cadres métalliques dans lesquels s'emboîtent les filtres. Pourtant, ces filtres ne sont pas nouveaux sur le marché et sont largement utilisés dans l'industrie de la haute technologie sans problèmes particuliers. Il semble que les conséquences indésirables sont négligeables par rapport aux avantages qui découlent des faibles concentrations de polluants gazeux. On conseille donc d'étudier la nature des dépôts de poussière et leurs effets nuisibles possibles sur les objets. Les filtres à lit fixe ne présentent pas cet inconvénient, comme le montre la figure 32.

Il est habituellement facile de savoir quand les filtres à particules sont saturés et ont besoin d'être remplacés : la pression du système de CVC chute, le filtre pèse nettement plus lourd et le dépôt de poussière sur le filtre est visible. Mis à part le brunissement de l'alumine active imprégnée de permanganate de potassium, il est beaucoup plus difficile de voir à quel moment les sorbants de gaz et de vapeurs sont saturés. En dépit de l'absence d'un protocole normalisé sur la durée de vie de ces filtres, trois méthodes sont communément employées pour vérifier s'ils sont épuisés : 1) on peut introduire des plaquettes métalliques en aval du filtre pendant 1 à 3 mois puis les faire analyser pour obtenir une quantification de la corrosion présente (Purafil, 1998a, b); 2) on peut faire analyser des échantillons du sorbant (la méthode d'échantillonnage est critique : si l'échantillon est prélevé uniquement en surface, l'analyse révèle systématiquement un degré de saturation); 3) certains polluants principaux peuvent faire l'objet d'une surveillance à la sortie du système de CVC. Toutes ces méthodes exigent le recours aux services d'un laboratoire. Les résultats des analyses effectuées donnent une indication de la vie utile du système de filtration; dès lors, il est possible de remplacer les filtres à intervalles réguliers. S'il est impossible de vérifier l'état du système, on conseille de remplacer les filtres à gaz une fois par an.

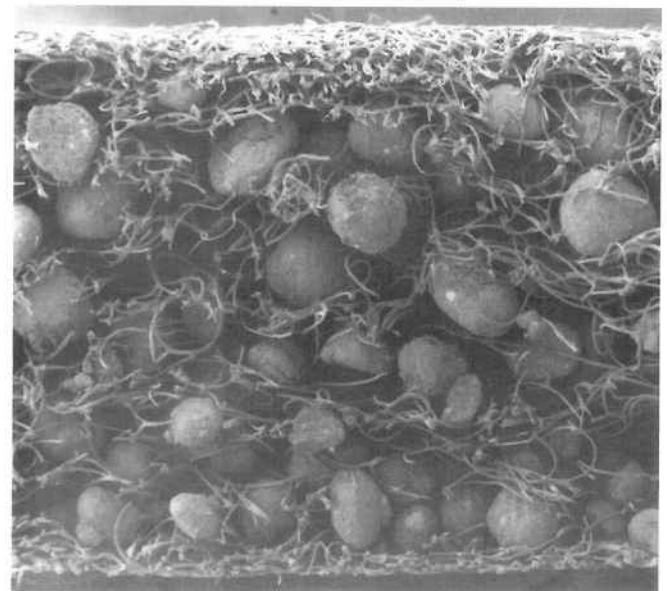
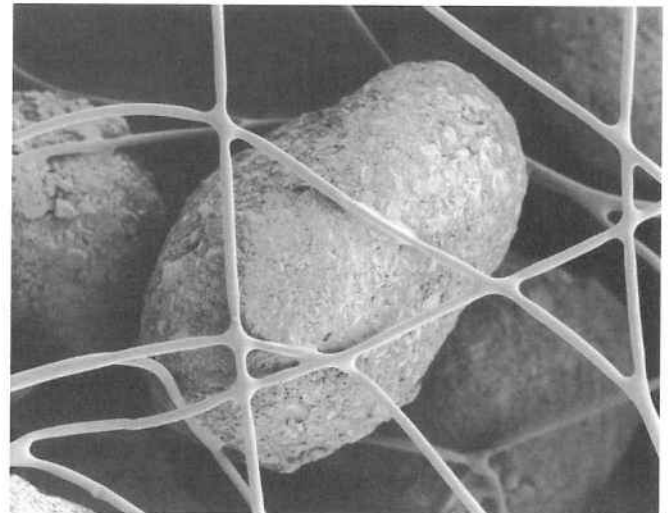


Figure 32. Filtre à lit fixe : distribution des sorbants dans les fibres et lien entre les fibres et les particules sorbantes.
Photo : AQF Technologies, une filiale de BBA Filtration.

Les épurateurs d'air électrostatiques intégrés aux systèmes de CVC ne conviennent pas dans les musées. En effet, dans ce genre de système d'épuration, les particules sont chargées électriquement lorsqu'elles traversent un champ à haute tension. Les particules ayant une charge négative sont alors attirées par les surfaces qui présentent une charge positive, dont elles peuvent ensuite être éliminées. Toutefois, l'ionisation des particules dégage d'importantes quantités d'ozone et l'ozone est un oxydant puissant.

Un dépoussiéreur par voie humide ou un pulvérisateur d'eau intégré à un système de CVC élimine partiellement les particules et les gaz par un contact avec l'eau. Un tel système, en soi, ne se trouve pas à

réduire l'infiltration de vapeur d'eau dans un bâtiment. Son efficacité est inégale dans le cas des gaz polluants, mais il parvient à réduire d'environ 50 % la concentration de particules fines (PM_{2,5}) et de plus de 99 % celle des particules dont le diamètre est supérieur à 10 µm (Air Pollution Training Institute, 2000). Le principal inconvénient de ce type de dépoussiéreurs est qu'ils doivent être régulièrement nettoyés pour éviter la formation de dépôts calcaires et la prolifération de moisissures.

Contrôle exercé avec des appareils de filtration portatifs

Les appareils de filtration portatifs constituent un moyen efficace et économique de contrôler les conditions ambiantes dans une salle. Ils permettent d'assurer, dans un espace restreint, une bonne préservation des objets sensibles. Leur efficacité est optimale si la salle est bien isolée, comme une réserve pour les collections. Il est possible de poser des filtres à particules et des filtres à gaz sur la plupart des appareils portatifs.

Contrôle exercé par ventilation naturelle

Les musées qui ne sont pas équipés d'un système de CVC peuvent profiter des gradients spatiaux (dilution et sorption) dans leurs couloirs et leurs salles en situant les objets vulnérables aux polluants extérieurs loin des entrées ou des fenêtres qui sont périodiquement ouvertes. Par contre, cette technique est insuffisante dans les musées très fréquentés où il faut une circulation d'air frais suffisante pour le bien-être des visiteurs et du personnel.

Nettoyage à l'aspirateur

L'entretien est critique. Lorsque l'on nettoie les planchers à l'aspirateur, il faut s'assurer d'utiliser des sacs de filtration qui conviennent parce que le passage de l'aspirateur peut provoquer la resuspension d'environ la moitié des particules fines (PM_{2,5}) lorsque l'efficacité du filtre est inférieure à 75 %. Autrement dit, dans un musée sans système de CVC, chaque fois qu'on passe l'aspirateur, seulement environ la moitié des particules fines déposées sont aspirées tandis que le reste peut retomber à des endroits difficiles à nettoyer, comme la surface d'un objet. Heureusement, il est désormais plus facile de se procurer des aspirateurs qui assurent une filtration hautement efficace, comme ceux munis de filtres HEPA (Stavroudis, 2002a, b).

ATTÉNUER LES RÉACTIONS

Humidité relative

Lorsqu'il est difficile d'assurer un contrôle étroit des conditions ambiantes, les musées qui se trouvent dans des régions caractérisées par des saisons froides

devraient profiter de celles-ci pour créer un milieu plus sec dans la salle (p. ex. en réglant le taux d'HR à 10 % de moins pendant la saison froide, par rapport à la saison chaude) (ASHRAE, 2003). Ce genre d'ajustement est dans l'intérêt de la plupart des collections, comme le montre la figure 21. Par contre, l'ajustement du taux d'HR doit se faire graduellement. Avant de baisser le taux d'HR, il faut repérer les objets sensibles aux fluctuations du taux d'humidité (comme les miniatures ou les objets composites fragiles), qui pourraient éventuellement exiger la prise de mesures distinctes.

Température

Le réglage de la température est d'abord régi par le confort des personnes. Pourtant, il y a tout intérêt à entreposer au froid les objets organiques, méthode dont le principal inconvénient est qu'elle suppose forcément une restriction de l'accès. De plus, bien des objets organiques entreposés à moins de 10 °C se fragilisent et doivent être manipulés avec soin. Les salles froides servent principalement au rangement des collections volumineuses d'objets hypersensibles, comme ceux en nitrate et en acétate de cellulose, le matériel photographique en couleurs et les collections d'objets ethnographiques faits de peaux et de fourrures.

Pour en savoir plus sur les risques associés à un taux d'HR et à une température faibles ou variables, voir le Bulletin technique n° 23 de l'ICC intitulé *Directives concernant l'humidité et la température dans les archives du Canada* (Michalski, 2000) ou *Museums, Libraries, and Archives* (ASHRAE, 2003).

ÉCOURTER LA DURÉE D'EXPOSITION

Une autre façon de minimiser le taux de détérioration ou le risque présent avec le temps est d'exposer les objets aux polluants seulement de temps en temps. Quand ils ne sont pas exposés, ils doivent être entreposés dans un milieu plus propre.

CONTRÔLE DANS LES ENCEINTES

En général, les polluants (exception faite des particules) ne causent pas de détérioration rapide des objets placés dans une salle où il y a un contrôle minimal des conditions ambiantes. En revanche, ce n'est pas le cas lorsque les objets sont placés dans des vitrines ou dans des armoires de rangement. Quoique les enceintes soient fortement susceptibles de bloquer l'infiltration de polluants extérieurs, elles peuvent également retenir les polluants nuisibles qui sont dégagés dans l'enceinte même, ce qui peut présenter un fort risque de détérioration des objets dans la mesure où ceux-ci sont exposés à des concentrations supérieures à celles habituellement présentes dans

les salles. Dans une enceinte, la présence de polluants peut être attribuable à l'emploi de produits qui ne conviennent pas ou émaner d'objets faisant partie de collections hétérogènes qui dégagent des composés nuisibles à d'autres objets inclus dans la même collection. Les polluants les plus communément dégagés dans une enceinte sont l'acide acétique, les acides gras, l'acide formique, le sulfure d'hydrogène, les oxydes d'azote, les peroxydes et le dioxyde de soufre. La majorité des dommages que subissent les objets à l'intérieur des enceintes résultent de décisions mal avisées, par exemple la sous-estimation des problèmes pouvant survenir, un manque d'information ou un manque de contrôle sur les produits utilisés pour construire l'enceinte.

ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Les vitrines devraient-elles être étanches à l'air ou non? Il est souvent question de l'étanchéité des enceintes dans le contexte de la préservation optimale des objets qu'elles renferment. Autrefois, la réponse dépendait essentiellement de facteurs liés à la pollution ou à l'humidité. En fait, ces deux aspects doivent être pris en considération. Il faut cependant aussi tenir compte d'autres éléments, comme la lutte contre les ravageurs (comme les insectes). Les considérations en matière d'étanchéité à l'air sont résumées dans le tableau 12.

En général, les enceintes étanches sont préférables, mais seulement si deux principales conditions sont respectées : premièrement, il ne doit y avoir aucun dégagement de polluants nuisibles dans l'enceinte (polluants qui peuvent provenir soit des produits qui forment l'enceinte, soit des objets qui s'y trouvent) et, deuxièmement, les variations du taux d'HR dans l'enceinte doivent être minimales (condition liée au risque d'une augmentation du taux d'HR en cas de chute importante de la température). Pour minimiser les conséquences négatives des fluctuations du taux d'HR, des produits qui absorbent l'humidité (p. ex. passe-partout non acide, toile de coton) devraient être placés sur de grandes surfaces dans l'enceinte et la fluctuation quotidienne de la température dans la salle devrait être inférieure à 5 °C. De plus, les enceintes devraient être placées à au moins 10 cm des murs extérieurs (froids) ou d'un plancher froid si la paroi de l'enceinte la plus près du mur ou du sol ne contient pas d'isolation thermique⁴. Cet éloignement est nécessaire pour éviter les gradients

de température dans l'enceinte. Si ces exigences ne sont pas respectées, il y a risque de condensation sur la surface la plus fraîche à l'intérieur de l'enceinte. Lorsqu'il est impossible de compenser les risques associés à des produits émissifs ou à l'éventualité d'une HR élevée, il faut avoir recours à des systèmes filtrés en surpression ou à des appareils permettant de créer des micro-climats. Si ces systèmes sont trop coûteux, il est préférable que l'enceinte présente des fuites d'air importantes et qu'elle s'ajuste aux conditions ambiantes de la salle.

Le milieu intérieur des vitrines qui présentent intentionnellement des fentes de 0,5 à 2 cm en leurs bords est semblable à celui de la salle et son contrôle dépend de celui exercé dans cette dernière. Cependant, des particules grossières (principalement des cheveux et des peluches de tissu) s'accumulent dans les vitrines qui fuient en raison d'un phénomène appelé tirage*. Il faut donc savoir que l'intérieur d'une vitrine qui fuit doit être nettoyé plus souvent que celui d'une vitrine étanche. On voit souvent des vitrines dont l'extérieur est propre, mais dont l'intérieur est poussiéreux. Par conséquent, lorsqu'on songe à utiliser des vitrines qui ne sont pas étanches, il faut tenir compte des ressources exigées par leur entretien et des risques associés à la manipulation.

Les objets placés dans des caisses de transport devraient être emballés dans une toile de coton ou du papier de soie et placés dans des sacs de plastique hermétiques, en veillant à minimiser les vides dans les sacs et dans la caisse. Bien entendu, il faut aussi utiliser les matelassures et les produits de calage destinés à protéger les objets. De plus, les caisses devraient être isolées des fluctuations thermiques.

Certains objets sont considérés comme « autodestructeurs ». C'est le cas des papiers acides et des objets en nitrate et en acétate de cellulose, qui sont détruits par hydrolyse sous l'effet d'un procédé qui est accéléré par une accumulation de résidus de détérioration. En veillant à ce que l'enceinte reste sèche, il est possible de réduire la dégradation de ces objets. La meilleure façon de créer un milieu sec consiste à minimiser l'infiltration de vapeur d'eau dans l'enceinte et à y introduire des dessiccatifs; autrement, il faut envisager l'installation d'un système de contrôle du milieu par surpression ou le contrôle général du milieu dans la salle pour supprimer les produits nuisibles. L'ajout de sorbants des polluants est un moyen d'empêcher l'accumulation de produits acides dans les enceintes étanches. Pour assurer un contrôle encore plus étroit, on peut envisager de baisser la température dans l'enceinte.

4. Dans les réserves encombrées, on recommande une distance de 50 cm entre les enceintes et les murs pour des raisons de sécurité en cas d'incendie.

TABLEAU 12. ÉTANCHÉITÉ DES ENCEINTES

	Enceintes présentant des fuites (≥10 renouvellements/jour)	Enceintes semi-étanches (10-1 renouvellements/jour)	Enceintes étanches (≤1 renouvellement/jour)
Polluants provenant de la pièce même ou de l'extérieur	• Dépend du contrôle fait dans la pièce. • Problème de dépôts de poussière.	• Protection variant de faible à bonne.	• Protection la plus efficace contre les polluants de source externe et ceux liés aux activités humaines se déroulant dans la pièce.
Polluants provenant de l'intérieur de l'enceinte, libérés par les objets ou les produits	• Les fuites maintiennent les concentrations faibles dans les enceintes.	• Les concentrations intérieures varient de faibles à moyennes.	• Préoccupation principalement dans le cas des objets sensibles aux composés carbonylés ou sulfureux. • Susceptible d'atteindre les concentrations maximales (pseudo-saturation). • Les sorbants peuvent parvenir à réduire les concentrations lorsque le taux d'émission n'est pas trop élevé.
Humidité relative	• Égale à celle de la pièce. • Idéalement, l'HR ne devrait pas dépasser 60 %.	• Risque d'HR élevée près d'une paroi froide de l'enceinte. • L'efficacité des produits visant à bloquer l'humidité varie de faible à moyenne.	• Fort risque d'HR élevée ou de fortes variations de l'HR en l'absence d'une surface importante de produits faisant obstacle à l'humidité et en présence de variations de température de plus de 5 °C ou d'un mur d'enceinte froid (voir température). • Ne pas mettre d'objets humides dans les enceintes. • Ne pas remplir les enceintes en périodes humides (≥ 75 % HR).
Température	• Égale à celle de la pièce.	• Égale à celle de la pièce avec un décalage selon l'isolation thermique des parois de l'enceinte. Les lampes placées dans les enceintes haussent la température (et influent sur l'HR).	• Même que dans le cas des enceintes semi-étanches. • À éloigner de 10 cm des murs extérieurs (froids) ou du sol si la paroi de l'enceinte qui fait face au mur ou au bas ne contient pas d'isolation thermique.
Insectes	• Aucune protection contre une infestation.	• Faible protection contre une infestation.	• Bonne protection contre une infestation (les insectes peuvent trouser ou pénétrer les pellicules de plastique minces).
Fuites d'eau	• Faible protection (selon la conception). • Envisager des couvercles étanches pour les enceintes; les élever à 10 centimètres du sol.	• Protection variant de faible à bonne (selon la conception).	• Protection la plus efficace.
Autres causes de détérioration	• Contraintes physiques, voleurs ou vandales. Aucune différence remarquable entre les enceintes étanches et celles qui présentent des fuites. Pour le rayonnement, voir les observations concernant la température; pour les incendies, voir les observations concernant les sources de pollution externes et la température.		
Conception et entretien	• Se produit naturellement par tirage (la pose d'un écran à particules est désirable) ou par un système de filtration en surpression. Les systèmes de filtration sont illustrés à la figure 39. Les filtres doivent être remplacés régulièrement.	• Peuvent comporter un système de filtration en surpression. • Veiller à une circulation adéquate de l'air entre les objets et les sorbants, si ces derniers sont présents.	• Doivent comporter des joints scellés et des mousses à alvéoles fermées. • Veiller à une circulation adéquate de l'air entre les objets et les sorbants. • L'étanchéité peut être affectée s'il y a lieu d'ouvrir souvent l'enceinte. • Les sorbants assurent une protection à long terme supplémentaire.

ÉVITER

L'évitement des sources de polluants est directement lié à la nature des objets et des produits présents dans les enceintes.

Choix des produits

Comme on l'a déjà signalé, les émissions provenant des produits de l'enceinte peuvent avoir des effets nuisibles graves sur une collection. Ceux qui causent le plus souvent des effets nuisibles sont les produits acides (comme les produits en bois), les peintures, les adhésifs, les silicones VTP et les produits qui présentent des composés sulfureux (comme certains caoutchoucs et textiles teints), comme le montrent les tableaux 2 et 4. Les objets les plus vulnérables aux polluants dégagés par ces produits sont le plomb, les alliages de cuivre, l'argent et le papier. Les deux stratégies élémentaires exposées ci-dessous pour choisir et utiliser les produits permettent d'éviter les effets nuisibles les plus communs.

1. Dans la mesure du possible, attendre trois ou quatre semaines avant d'installer des objets dans une enceinte étanche qui a été peinte, scellée ou assemblée avec des produits liquides (peintures et adhésifs à base d'eau ou de solvants) ou avec des produits à durcissement chimique après la pose (époxydes et uréthanes à deux constituants, silicones VTP) (voir la figure 28). Dans l'intermédiaire, laisser l'enceinte ouverte à un endroit bien ventilé pour accélérer la dissipation des émanations.
2. En général, éviter les produits qui contiennent des composés sulfurés. L'essai à l'acétate de plomb présenté dans le tableau 26 permet de vérifier si un produit contient des composés sulfureux; par contre, cet essai ne donne aucune indication de la concentration possible des composés sulfureux dégagés par les matériaux présents dans l'enceinte. On peut aussi consulter les fiches signalétiques sur la sécurité des produits. Celles-ci contiennent des renseignements sur la sécurité; on peut les obtenir en s'adressant au fabricant ou au vendeur. Les fiches signalétiques fournissent la liste des principaux gaz dégagés par la combustion du produit. Si le dioxyde de soufre (SO_2), le sulfure d'hydrogène (H_2S) ou l'acide sulfurique (H_2SO_4) sont mentionnés, le produit contient des composés sulfurés.

Incompatibilité dans la collection

Des difficultés peuvent survenir lorsqu'un objet en affecte d'autres qui se trouvent dans la même enceinte. Le plus souvent, cela se produit lorsqu'il y a contact entre deux objets ou entre différents éléments d'un même objet. Les pellicules en acétate de

cellulose dégradées peuvent affecter d'autres pellicules par des émissions de vapeurs; les spécimens minéraux qui contiennent de la pyrite ou des composés sulfurés peuvent altérer la couleur des papiers ou ternir l'argent, et les objets ethnographiques faits de matériaux gras peuvent décolorer les photographies et le papier. Il faut donc repérer ces types d'objets (revoir attentivement les tableaux 1 et 2) pour éviter de les regrouper d'une façon qui pourrait avoir des conséquences indésirables. Un autre genre d'objet incompatible est celui qui a absorbé des polluants dans un milieu où il a été placé précédemment puis qui dégage ces mêmes polluants dans un milieu nouveau. La même chose se passe lorsque des produits ou des enceintes sont réutilisés après avoir été pollués. Le phénomène n'est pas toujours évident parce qu'on ignore parfois où un objet s'est trouvé antérieurement ou comment des produits ont été utilisés.

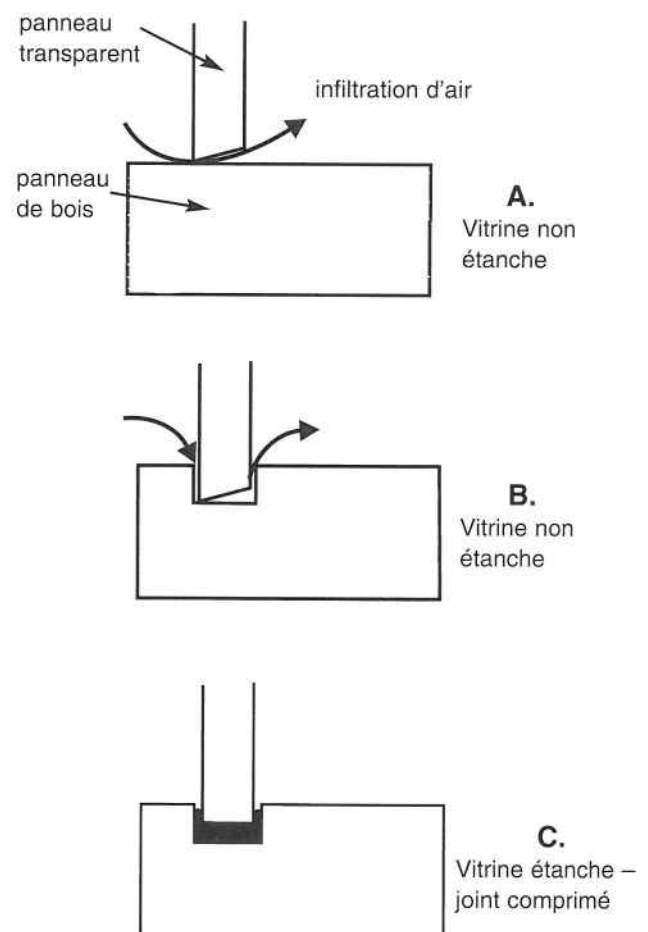


Figure 33. Joint comprimé entre deux éléments amovibles d'une vitrine. Le joint contribue à réduire l'infiltration d'air. Idéalement, il devrait être enfoncé dans une rainure. Si le joint est creux, la rainure devrait accommoder une compression du joint de l'ordre de 40 %.

BLOQUER

Les deux principaux objectifs consistent à bloquer l'infiltration dans l'enceinte des polluants d'origine extérieure et à bloquer les émissions que dégagent les matériaux se trouvant dans l'enceinte.

Améliorer l'étanchéité des enceintes

Dans le cas d'une vitrine étanche bien construite, le taux de renouvellement d'air* se chiffre habituellement à une fois par jour. On rend une vitrine étanche à l'air en scellant les joints de l'intérieur et en introduisant des joints d'étanchéité entre les parties amovibles (figure 33). Il devrait être impossible d'introduire une feuille de papier dans une fente de la vitrine (ou un écart entre deux de ses parties). S'il est possible de sceller les fentes, il demeure que l'étanchéité à l'air est limitée en raison de la diffusion gazeuse par la structure de l'enceinte. Dans le cas d'une vitrine bien scellée pourvue de parois en acrylique (Plexiglas ou Perspex), la principale voie d'infiltration est la diffusion des polluants au travers des parois en plastique. Le verre est donc préférable. Au bout du compte, l'étanchéité à l'air d'une enceinte est limitée par la pression interne que causent les variations de pression atmosphérique et de température. Une compilation de la perméabilité à des gaz précis de diverses pellicules et de divers panneaux est fournie à l'annexe 5.

Le Victoria and Albert Museum exige que ses vitrines étanches à l'air aient un taux de renouvellement d'air de 0,1 fois par jour (Cassar et Martin, 1994; Martin, 2000) tandis que le National Park Service des États-Unis, pour sa part, exige un taux de renouvellement d'air de 0,3 fois par jour (Raphael *et al.*, 1999). Pour parvenir à des taux de renouvellement d'air si bas, il faut envisager des vitrines en verre plutôt qu'en plastique. L'intérêt d'une si forte étanchéité à l'air dépend en grande partie de la capacité tampon des produits de l'enceinte. La figure 34 montre une

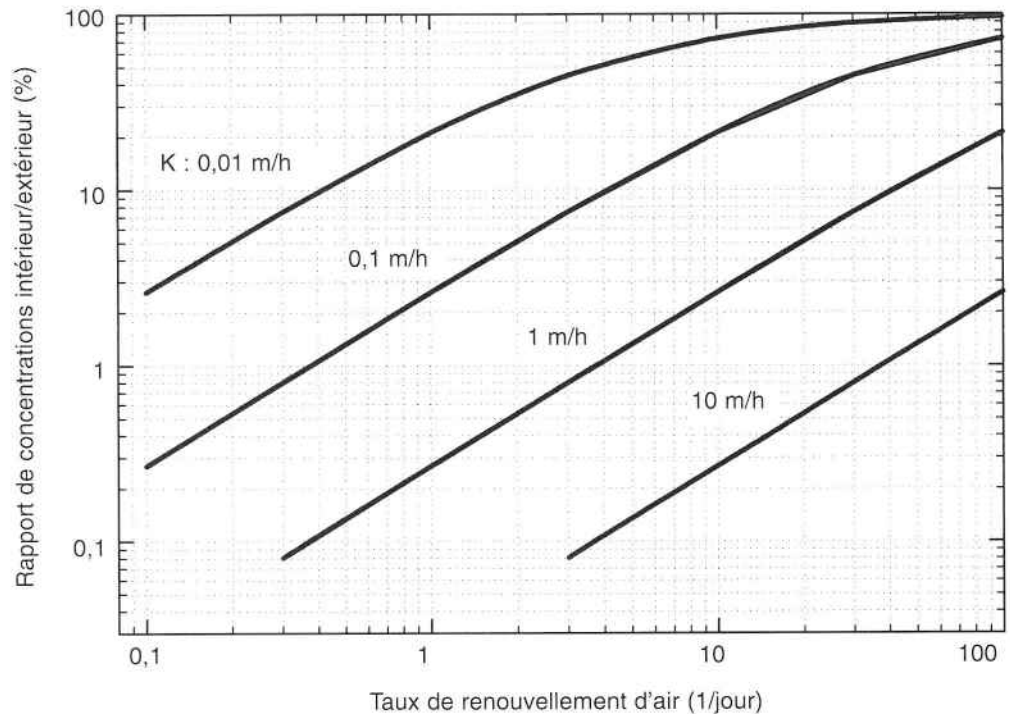


Figure 34. Rapport de concentrations intérieur-extérieur (C_{In}/C_{Ex}) par rapport au taux de renouvellement d'air (N) dans l'enceinte à diverses vitesses de dépôt. La simulation est basée sur une armoire de rangement remplie d'objets : on suppose que la vitesse de dépôt (K) est la même dans le cas des objets et de l'intérieur de l'armoire, que la surface totale exposée (des objets et de l'armoire) (S) est de 21,2 m² et que le volume net (V) est de 1,37 m³. Il ne se produit pas d'émissions importantes dans l'enceinte. L'équation suivante a été utilisée : Équation 1 : $C_{In}/C_{Ex} = N/(K S/V + N)$.

réduction possible des polluants dans l'enceinte, selon différents taux de renouvellement d'air, comparativement aux concentrations à l'extérieur de l'enceinte. Ces simulations sont fondées sur une vitesse de dépôt (ou un coefficient de transfert de matière*) des systèmes polluant-matériau, conformément à l'équation suivante :

Équation 1 (Weschler *et al.*, 1989)

$$C_{In}/C_{Ex} = N/(K S/V + N)$$

où C_{In} et C_{Ex} = concentrations à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte ($\mu\text{g m}^{-3}$)
 N = taux de renouvellement d'air (1/h)
 K = coefficient de transfert de matière (vitesse de dépôt; V_{dep}) d'un système polluant-matériau (m/h)
 S = surface du matériau (m²)
 V = volume net dans l'enceinte (m³)

Idéalement, la surface et la vitesse de dépôt des produits de l'enceinte devraient être aussi élevées que possible par rapport aux objets. Dans le cas des

produits dont la capacité d'absorption est moindre (0,1 m/h), comme les métaux non réactifs ou les surfaces peintes avec un fini brillant, on s'attend à une réduction de 80 % de la concentration de polluants externes lorsque le taux de renouvellement d'air est d'une fois par jour alors qu'il est possible de parvenir à une réduction de 99,7 % avec des sorbants plus efficaces (1 m/h), par exemple des produits poreux (paramètres basés sur la figure 34). Les vitesses de dépôt sont calculées au moyen d'expériences et dépendent des conditions dans lesquelles se déroulent les expériences. En général, la vitesse de dépôt diminue à mesure que le produit se sature de polluants. Cette tendance peut causer une surestimation de la capacité tampon des produits lorsque les taux de renouvellement d'air sont faibles. Les vitesses de dépôt relevées dans la littérature sont compilées à l'annexe 6.

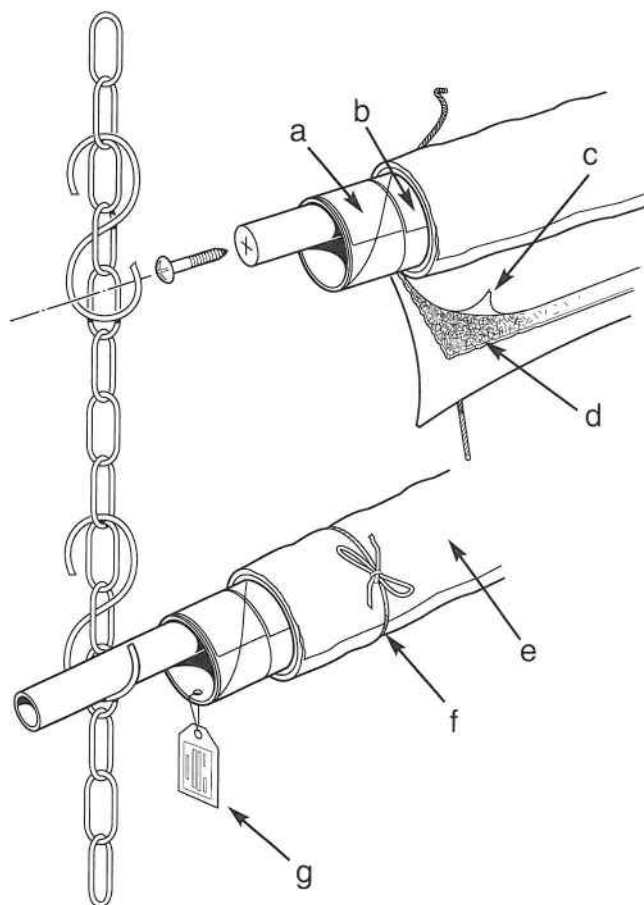


Figure 35. Les textiles enveloppés dans du coton ou du papier non acide sont bien protégés contre les polluants. (a) Mylar (Melinex type D ou type 516) couvrant un tube de carton ou de plastique; (b) papier non acide ou coton prélavé sur Mylar; (c) intercalage de papiers de soie (pH neutre) ou de coton prélavé; (d) textile côté poils vers l'extérieur; (e) housse de coton prélavé; (f) ruban de coton; (g) étiquette.

L'objectif initial, en ce qui a trait à l'étanchéité à l'air, devrait correspondre à un taux de renouvellement d'air égal ou inférieur à une fois par jour (1/jour). Jusqu'à récemment, le taux de fuites était difficilement mesurable. La technique exigeait la présence d'un trou et le calcul du taux était souvent confié à des services externes. Cependant, l'auteur a collaboré avec Micro Climate Technology pour mettre au point un simple appareil de mesure des fuites basé sur une mesure de la concentration de dioxyde de carbone. Cet appareil sera utile aux fabricants de vitrines et d'armoires, ainsi qu'au personnel des musées, qui pourront désormais vérifier si l'étanchéité des vitrines est conforme aux exigences d'imperméabilité (Keepsafe, 2002a). Il existe d'autres méthodes de mesure non commerciales; elles sont présentées à l'annexe 7.

Emballage protecteur

Quand un objet est en réserve et qu'il n'a pas à être visible, le fait de l'emballer dans des tissus sorbants est un moyen efficace et peu coûteux de le protéger à long terme contre les polluants d'origine extérieure, comme les particules et les oxydants. Comme le montre la figure 35, les textiles peuvent être enroulés dans deux ou trois épaisseurs de toile de coton ou de papier de soie non acide. Une boîte de carton avec réserve alcaline suffit à maintenir de faibles concentrations d'acides d'origine extérieure même si elle est seulement moyennement étanche à l'air. Les objets en argent emballés dans des tissus sorbants, comme le Pacific Silvercloth ou un tissu imprégné de charbon actif, peuvent ne pas ternir pendant plus de 10 ans. Même un simple sac de plastique polyéthylène protège nettement mieux un objet en argent ou fait d'un autre métal (figure 36). Le sac de polyéthylène est d'ailleurs probablement la solution la plus économique. Cependant, la durée utile des feuilles de plastique destinées à être utilisées à l'intérieur se limite habituellement à entre 10 et 20 ans.

Scellage des panneaux en bois

La sélection et l'utilisation des produits en bois et des peintures sont détaillées dans le Bulletin technique n° 21 de l'ICC, intitulé *Revêtements pour l'exposition et la mise en réserve dans les musées* (Tétreault, 1999a). Une version simplifiée des lignes directrices sur la sélection et l'utilisation des revêtements est fournie au tableau 13 (page 57).

Les panneaux faits de produits en bois dégagent des composés organiques. Ils peuvent constituer une importante source de polluants aéroportés, mais ils peuvent facilement (quoique parfois inefficacement) être scellés avec des peintures. Dans une enceinte



Figure 36. Un avion et des fusées enveloppés dans du plastique pendant des rénovations.

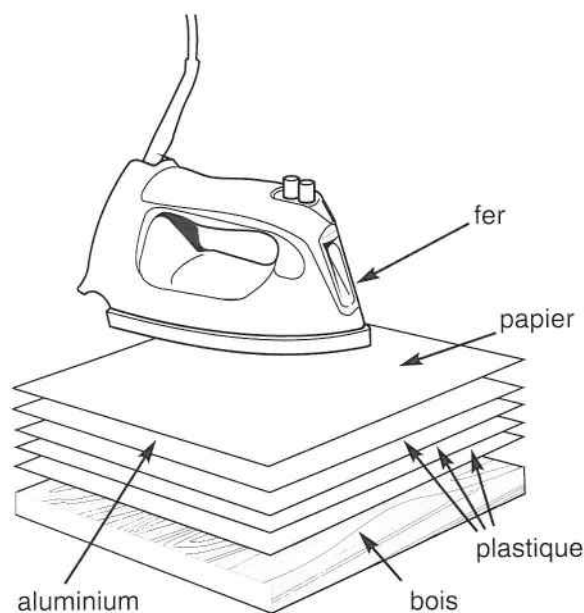


Figure 37. Pose de papier d'aluminium et de feuilles de polyéthylène sur un panneau de bois.

ventilée, l'emploi d'une peinture non émissive peut considérablement réduire les polluants dégagés par les substrats en bois. Cependant, dans une enceinte étanche, à mesure que les polluants dégagés par les produits en bois se diffusent lentement au travers de la couche de peinture, ils finissent par atteindre des concentrations importantes. Il s'agit uniquement d'une question de temps. Par conséquent, il vaut mieux éviter les produits qui dégagent des polluants nuisibles que de les sceller avec de la peinture. Alternativement, on peut recouvrir les panneaux en bois d'un film d'aluminium thermofusible (feuil d'aluminium recouvert de nylon et de polyéthylène) qui fait alors office, d'ailleurs très efficacement, de pare-vapeur. En Amérique du Nord, le film d'aluminium thermofusible est essentiellement connu par la marque de commerce Marvelseal 360, mais le même produit est aussi vendu sous d'autres marques. Son emploi a gagné en popularité tout au long des années 1990. Si le film d'aluminium thermofusible ne plaît pas systématiquement à tout le monde, pour différentes raisons, il a l'avantage de supprimer le problème du temps de séchage prolongé qu'exigent les peintures liquides. Par souci d'économie, on peut remplacer les produits commerciaux comme le Marvelseal par du papier d'aluminium et des sacs à épicerie, des sacs à ordures ou des feuilles de polyéthylène (en veillant bien à ce que le logo de recyclage triangulaire, avec les lettres PE ou LDPE, figure sur le plastique). L'assemblage du pare-vapeur se fait tel qu'illustré à la figure 37, en ayant soin d'introduire une feuille de papier entre le fer et le papier d'aluminium pour ne pas déchirer ce dernier. Comme le papier d'aluminium ordinaire est encore plus susceptible d'égratignures que les films d'aluminium thermofusibles, il faut travailler méticuleusement. Les égratignures ou perforations, le cas échéant, peuvent être réparées en collant avec une pellicule de polyéthylène une pièce en papier d'aluminium. Lorsque le tout est bien en place, il faut le recouvrir avec du tissu ou un carton non acide (Tétreault, 1999b). Des exemples de l'utilisation du film d'aluminium thermofusible commercial sont fournis dans divers ouvrages (Bosworth, 2001; Pibbs, 2001). Il n'est pas toujours nécessaire de sceller les panneaux en bois — tout dépend de la nature des objets qui seront placés dans l'enceinte. En effet, bien des objets organiques ne sont pas endommagés par les émissions dégagées par le bois. Dans certains cas, l'emploi du bois est même préférable parce qu'il limite bien les fluctuations du taux d'HR.

DILUER, FILTRER OU SORBER

Lorsque les mesures de contrôle par évitement et par blocage ne sont pas possibles ou qu'elles ne sont pas

TABLEAU 13. DIRECTIVES SUR LE CHOIX ET L'EMPLOI DES REVÊTEMENTS

	Produits en bois	Métaux	Béton ^a
Enceintes, par exemple vitrines d'exposition et armoires d'entreposage	Éviter les bois acides comme le chêne et le cèdre. Toutes les peintures, à l'exception des peintures oxydantes ^b . Les vernis exigent plus de couches. Laisser sécher pendant quatre semaines.	Revêtement en poudre; sèche en une journée. Attendre quatre semaines dans le cas des peintures époxy à deux constituants ou des peintures alkydes (correctement) cuites.	Rare.
Structure ouverte, par exemple des étagères de rangement (non munies de portes), les murs et les plafonds	Toutes les peintures, sauf les peintures oxydantes ^b , conviennent à toutes les surfaces. Laisser la sécher pendant quatre jours. Consulter le vendeur ou les données techniques pour confirmer que la peinture convient à la surface à enduire. Pendant le séchage, l'humidité relative doit rester inférieure à 65 %.		
Planchers (cas particulier d'une structure ouverte)	Toutes les peintures, sauf les peintures oxydantes ^b , conviennent à toutes les surfaces. Choisir les peintures recommandées à cette fin. Laisser sécher pendant quatre jours ou plus longtemps, selon les recommandations du fabricant.		
Contact entre les objets et la couche de peinture	S'il y a contact direct entre les objets et les surfaces peintes, attendre quatre semaines. Après quatre jours de séchage, on peut introduire des intercalaires comme des feuilles de plastique, par exemple en polyéthylène ou en Mylar (Melinex) de type D ou de type 516 (mais non en mousse de polyuréthane ou en PVC) ou des papiers alcalins. Dans le cas des surfaces de métal avec revêtement, un contact entre les objets et la peinture séchée est admissible après une journée s'il s'agit d'un revêtement en poudre ou d'une peinture alkyde cuite.		
Présentation et rangement d'objets en plomb dans une enceinte ou une pièce fraîchement peinte	En dépit d'un choix judicieux et d'une période de séchage appropriée, certains objets en plomb ou qui contiennent un alliage riche en plomb peuvent être altérés par les vapeurs d'acide carboxylique, particulièrement l'acide acétique que dégagent les revêtements ou les produits en bois. Éviter ces produits pour l'exposition ou la mise en réserve des objets en plomb.		

Notes :

- a : Les surfaces neuves en béton doivent être traitées à l'acide muriatique pour améliorer l'adhérence de la peinture. Dans le cas des surfaces en béton usées, il suffit d'un nettoyage avec une solution de phosphate tribasique de sodium (savon communément utilisé pour le nettoyage des surfaces en béton).
- b : Les peintures oxydantes incluent les peintures à l'huile, les peintures uréthaniques à base d'huile, les peintures alkydes et les esters de résine époxyde (c'est-à-dire les peintures époxydes présentées dans un seul bidon de peinture).

Source : Tétrault (2001).

entièrement efficaces, il faut envisager de réduire les concentrations de polluants dans l'enceinte. À cet égard, il existe essentiellement deux façons de procéder : augmenter le taux de fuites de l'enceinte (diluer) ou introduire des sorbants dans l'enceinte (sorber).

Les enceintes étanches à l'air ont pour principal attrait de réduire l'infiltration de polluants d'origine extérieure, c.-à-d. qu'elles bloquent les polluants. Par contre, lorsque la source principale des polluants se trouve dans l'enceinte même, il peut être plus intéressant de créer un fort taux d'infiltration dans l'enceinte, c.-à-d. de diluer les polluants. L'équation 2 correspond à une réduction possible de la concentration d'un polluant émanant à l'intérieur d'une enceinte. Dans ce cas, on suppose que la

concentration du polluant à l'extérieur de l'enceinte est négligeable.

Équation 2 (Meyer et Hermanns, 1985)

$$C_{\text{eq}}/C_s = (K S/V)/(N + K S/V)$$

- où C_{eq} et C_s = concentrations d'équilibre et de saturation ($\mu\text{g m}^{-3}$)
- K = coefficient de transfert de matière (m/h)
- N = taux de renouvellement d'air (1/h)
- S = surface du produit (m^2)
- V = volume net dans l'enceinte (m^3)

La figure 38 (p. 59) est basée sur l'équation 2 et présente la réduction des concentrations de polluants selon divers taux de fuites. Une enceinte dont le taux

de renouvellement d'air est inférieur à 0,1 fois par jour permet l'accumulation de polluant à une concentration maximale. Ce niveau correspond à la concentration de saturation* (les concentrations de saturation de divers systèmes polluant-matériau sont fournies au tableau 4). La réduction des concentrations de polluants qu'il est possible d'atteindre en augmentant le taux de fuites de l'enceinte dépend de la charge (surface du produit émissif divisée par le volume de l'enceinte). Par exemple, dans une enceinte de 1 m³ dont le taux de renouvellement d'air est de 1 à 10 fois par jour, les concentrations de polluants (en admettant un transfert de masse de 12 m/jour) baissent d'environ 40 % en présence d'un produit émissif de 1 m², mais baissent de 80 % avec un produit émissif de 0,1 m². Comme le montre cet exemple, l'augmentation du taux de renouvellement d'air est plus efficace lorsque la surface des produits émissifs est restreinte. Toutefois, si l'augmentation du taux de fuites d'une enceinte constitue un moyen de réduire les concentrations de polluants d'origine intérieure, elle peut aussi permettre l'infiltration de polluants de source externe. Par conséquent, dans la mesure du possible, l'air provenant de l'extérieur de l'enceinte doit être filtré (p. ex. avec un écran à poussières).

Diverses techniques ont été mises au point pour filtrer l'air provenant de l'extérieur et pour réduire les concentrations de polluants d'origine interne. Trois mesures de contrôle visant à abaisser ces concentrations sont présentées à la figure 39 : systèmes de filtration (sorption) passifs, systèmes actifs à l'intérieur et systèmes actifs à l'extérieur (surpression).

Un système passif se résume à un sorbant qui capte les polluants par diffusion (figure 39a); son action n'est nullement mécanique. Dans ce système, il s'exerce une sorte de concurrence entre les objets et les sorbants qui peuvent sorber les polluants; en utilisant de grandes surfaces du sorbant, comparées à celles de l'objet, on minimise la sorption des polluants par l'objet. Les sorbants peuvent constituer un moyen très efficace de contrôler les concentrations de polluants dans une enceinte, mais par le passé, leur emploi ne s'est pas répandu (sauf dans le cas des sorbants de l'oxygène et de l'eau).

L'équation 1, présentée page 54, donne une estimation de la réduction des concentrations de polluants dans une enceinte, en supposant des vitesses de dépôt constantes. En revanche, elle ne tient pas compte de la diminution de la capacité de sorption des produits à mesure que ceux-ci se saturent. Pour compenser cette lacune, il faut introduire d'autres paramètres. L'équation 3, basée sur l'équation 4

(page 62), tient compte de la capacité de sorption des produits (isotherme de sorption) et peut servir à calculer la quantité de sorbant requise pour maintenir à un niveau inférieur à une concentration précise les concentrations de polluants dans une enceinte.

Équation 3

$$Q = (C_{Ex} V N + E S) t / (P C_{In})$$

- où
- Q = quantité de sorbant recommandée (g)^a
 - C_{Ex} = concentrations de polluants à l'extérieur de l'enceinte (μg m⁻³)
 - V = volume d'air net dans l'enceinte (m³)
 - N = taux de renouvellement d'air (1/jour)^b
 - E = taux d'émission du produit polluant à un endroit précis (μg m⁻² j⁻¹)^c
 - S = surface exposée du produit émetteur (m²)
 - t = nombre minimal de jours pendant lesquels les concentrations de polluants dans l'enceinte doivent demeurer inférieures à C_{In} (jour)
 - P = capacité tampon spécifique du sorbant (μg g⁻¹ μg⁻¹ m³)
 - C_{In} = concentrations maximales acceptables des polluants à l'intérieur de l'enceinte (μg m⁻³)

Notes :

- a : En supposant que l'épaisseur du sorbant est ≤ 2 cm et que celui-ci est adéquatement réparti dans l'enceinte (autrement, il peut être nécessaire d'utiliser un petit ventilateur); que le sorbant en question est l'unique produit de sorption important dans l'enceinte; et que la différence entre les concentrations de polluants à l'extérieur et à l'intérieur de l'enceinte est d'au moins un ordre de grandeur.
- b : Taux de fuites normalisé en fonction du polluant en cause.
- c : Idéalement, cette valeur doit être calculée dans des conditions proches de celles du modèle, par exemple un taux de fuites comparables (N). Ainsi, lorsque N varie de 8 à 13 fois par jour, on a relevé les taux d'émission suivants des produits polluants à un endroit précis : un panneau en chêne vieux de 15 ans dégage 1300 μg m⁻² j⁻¹ d'acide acétique; une silicone acide durcie pendant neuf jours dégage 50 000 μg m⁻² j⁻¹ d'acide acétique; une pellicule en acétate de cellulose présentant une odeur dégage 100 000 μg m⁻² j⁻¹ d'acide acétique; et un panneau de fibres de bois de densité moyenne ou un tiroir en bois à pièces de monnaie dégage environ 3000 μg m⁻² j⁻¹ d'acide formique (Ryhl-Svendsen, 2000).

Pour le calcul de la quantité de sorbant requise, l'équation 3 tient compte de l'infiltration de polluants

provenant de l'extérieur de l'enceinte (termes C_{Ex} , V et N) ainsi que des polluants dégagés par les produits se trouvant dans l'enceinte (termes E et S). Le terme P correspond à la capacité de sorption spécifique du sorbant que l'on envisage d'utiliser; il est exprimé en « $\mu\text{g g}^{-1} \mu\text{g}^{-1} \text{m}^3$ » ($\mu\text{g/g}$ par $\mu\text{g/m}^3$), soit le nombre de microgrammes de polluants qui peut être sorbé par un gramme de sorbant pour chaque microgramme par mètre cube de concentrations de polluants dans l'enceinte (C_{In}). Plus la valeur de P est élevée, plus la capacité de sorption du sorbant l'est aussi. Cette valeur est particulière dans le cas de chaque système polluant-sorbant et peut être calculée de façon expérimentale. Idéalement, ce calcul devrait être effectué en fonction de la gamme visée des concentrations de polluants dans l'enceinte ou d'une gamme proche. Autrement, il est possible d'estimer la valeur de P d'après les courbes bien fondées de l'isotherme de sorption. Bien que pour l'instant les valeurs de P n'aient pas été calculées avec précision dans le cas de la plupart des systèmes polluant-sorbant, les valeurs suivantes peuvent être estimées pour le charbon activé à l'égard de certains principaux polluants (d'après Parmar et Grosjean, 1989, 1991) : $P = 5,2 \mu\text{g g}^{-1} \mu\text{g}^{-1} \text{m}^3$ pour l'acide acétique; 7,5 pour le H_2S ; 7,9 pour le NO_2 ; 5,2 pour le O_3 ; et 5,1 pour le SO_2 . Le charbon activé est un sorbant commun et peu coûteux; il est efficace dans le cas de la majorité des principaux polluants

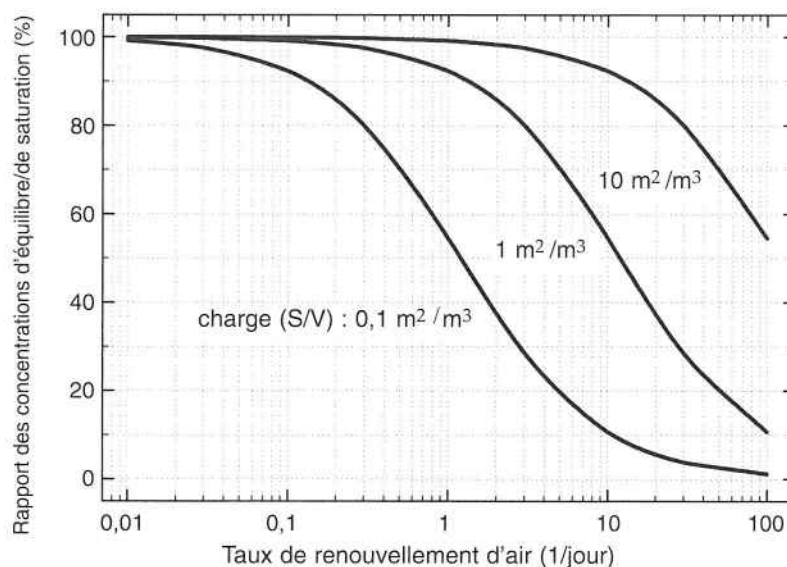


Figure 38. Réduction de la concentration d'un polluant dégagé dans une enceinte à différents taux de renouvellement d'air. La simulation est basée sur l'équation 2 $C_{eq}/C_s = (K S/V)/(N + K S/V)$ ou K (vitesse de dépôt) était de 0,5 m/h [valeur typique pour le formaldéhyde et les produits poreux (Matthews et al., 1985)], la surface (S) de 10, 1 et 0,1 m^2 , le volume net (V) dans l'enceinte 1 m^3 . Il n'y a pas de sorbant important dans l'enceinte.

aéroportés et il est possible de le renouveler et de le réutiliser (ce qui n'est pas le cas des sorbants activés par des agents chimiques).

L'application de l'équation 3 est illustrée au paragraphe suivant.

La concentration moyenne de NO_2 à l'extérieur d'une enceinte (C_{Ex}) est de $10 \mu\text{g m}^{-3}$. Le volume d'air net

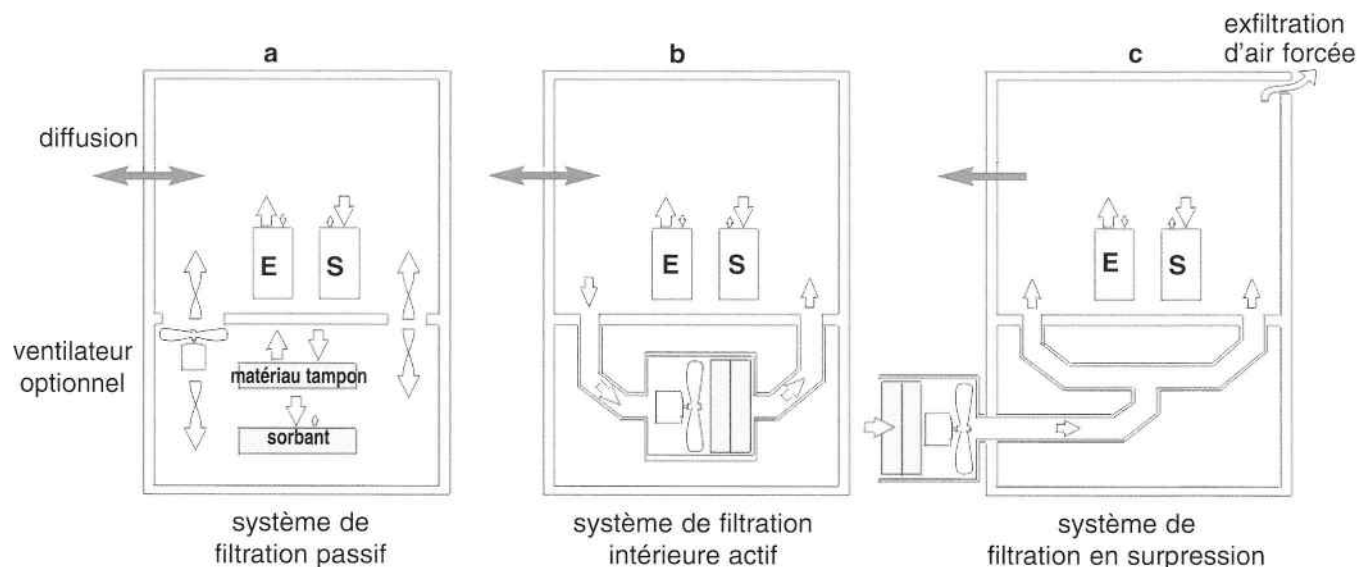


Figure 39. Conception des assemblages de filtres pour les enceintes. E = objets émissifs; S = objets sorbants. Remarque : l'appareil de filtration (c) peut être placé à l'intérieur de l'enceinte.

dans l'enceinte (V) est de 1 m^3 , mais celle-ci présente un taux de fuites (N) d'une fois par jour; il n'y a pas d'émissions importantes de NO_2 dans l'enceinte (donc $E = 0$). L'objectif est de maintenir à moins de $1 \mu\text{g m}^{-3}$ la concentration de NO_2 dans l'enceinte (C_{in}) pendant au moins un an ($t = 365$ jours) en utilisant du charbon activé ($P = 7,9 \mu\text{g g}^{-1} \mu\text{g}^{-1} \text{m}^3$ pour le NO_2) en guise de sorbant. Selon l'équation 3, la quantité de sorbant requise (Q) pour satisfaire ces exigences se chiffre à :

$$\begin{aligned} Q &= (C_{\text{Ex}} V N + E S) t / (P C_{\text{In}}) \\ &= ((10 \times 1 \times 1 + 0) \times 365) / (7,9 \times 1) \\ &= 460 \text{ g} \approx 500 \text{ g} \end{aligned}$$

Par conséquent, 500 g de charbon activé maintiendront la concentration de NO_2 dans l'enceinte sous $1 \mu\text{g m}^{-3}$ pendant une année. Une fois l'année écoulée, le sorbant devra être renouvelé ou remplacé. Si la concentration recherchée C_{in} se chiffrait à $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$ (soit 10 fois moins), il faudrait 10 fois plus de charbon (ou 5000 g).

Cet exemple révèle qu'il suffit de 500 g de charbon activé pour réduire d'un ordre de 10, par rapport aux concentrations à l'extérieur de l'enceinte, les concentrations de principaux polluants qui s'infiltrent dans une enceinte de 1 m^3 moyennement étanche ($N \leq 1/\text{jour}$). Cette estimation est conservatrice dans la mesure où cette quantité de charbon sorbant n'a pas été saturée pendant les expériences effectuées par Parmar et Grosjean (1989). Si les concentrations de polluants présentes dans une salle suffisent à satisfaire un objectif de préservation d'un an, 500 g de sorbant au charbon activé dans l'enceinte ramènent les polluants présents dans l'enceinte de 1 m^3 à des concentrations correspondant à un objectif de préservation de 10 ans pendant une période d'un an tandis que 5000 g de charbon activé les ramènent à un objectif de préservation de 100 ans. De telles quantités de charbon sorbant contrôlent aussi les polluants comme l'acide acétique et l'acide formique qui sont produits dans l'enceinte, à condition qu'il ne s'y trouve pas de produits émissifs importants ($E \times S \leq 1000 \mu\text{g}/\text{jour}$). Pour satisfaire cette dernière condition, il faut éviter les panneaux en bois nu, les peintures fraîches et les silicones acides. De plus, les émissions internes ($E \times S$) de SO_2 devraient rester inférieures à $1 \mu\text{g}/\text{jour}$, celles de H_2S , à $0,5 \mu\text{g}/\text{jour}$, et celles de NO_2 , à $5 \mu\text{g}/\text{jour}$.

Pour parvenir à une efficacité optimale des sorbants, il est important que l'air circule bien dans toute l'enceinte. Il est commun de placer les objets dans la partie supérieure d'une vitrine et les produits tampons (p. ex. gel de silice) et les sorbants de polluants, dans la partie inférieure. Cette disposition

suppose des ouvertures suffisantes aux interfaces pour faciliter le renouvellement d'air et peut inclure un ventilateur pour activer la circulation de l'air.

Le deuxième système de filtration qui sert à réduire les concentrations de polluants dans les enceintes est un filtre à air actif installé à l'intérieur de l'enceinte (figure 39b). Ce type de système est basé sur la recirculation de l'air (l'air, activé par un ventilateur, traverse une série de filtres à gaz et à particules). Lorsque les concentrations de polluants dans une enceinte sont fortes, soit en raison d'infiltration soit à cause de produits émissifs, les systèmes actifs sont plus efficaces que les systèmes passifs lorsqu'il s'agit d'abaisser les concentrations de polluants, mais ils parviennent plus rapidement à saturation. Ce type de système a l'inconvénient d'introduire un fil électrique dans l'enceinte, ce qui augmente le risque d'incendie.

Le troisième système de filtration est basé sur un système en surpression (ou infiltration forcée d'air extérieur) (figure 39c). Ce type de système est utilisé dans une enceinte qui n'est pas étanche ou en présence d'importantes sources internes de polluants. Un système de ventilation force le passage de l'air provenant de la salle au travers d'une série de filtres avant qu'il ne pénètre dans l'enceinte (Raphael *et al.*, 1999). La surpression ainsi créée dans l'enceinte force l'expulsion des polluants internes (provenant de l'enceinte même ou des objets) par voie de fuites. Elle se trouve aussi à bloquer l'infiltration par les fentes de polluants d'origine externes. Ce système s'est avéré très efficace comme moyen d'empêcher le dépôt de poussières dans les vitrines. En effet, au lieu de voir des dépôts de poussière dans les vitrines au bout d'un an, ce système en empêche la formation pendant plus de 10 ans. Certains systèmes en vente libre (générateurs de micro-climat) qui sont conçus principalement pour contrôler le taux d'HR dans une enceinte fonctionnent essentiellement de la même façon (Michalski, 1982; Keepsafe, 2002b).

Lorsque la principale source de polluants se trouve dans une enceinte, il faut opter de préférence pour un système en surpression; autrement, un assemblage de filtres à air actifs à l'intérieur serait préférable — même si le sorbant risque alors d'être rapidement saturé si la source polluante dégage des fortes concentrations. Dans un cas comme dans l'autre, la filtration de la partie inférieure des vitrines devrait idéalement être exclue pour assurer une filtration optimale de la partie supérieure, là où sont disposés les objets (voir les figures 39b et 39c).

Outre les sorbants typiquement utilisés dans les systèmes de CVC (charbon activé et alumine imprégnée

de permanganate de potassium), il en existe une foule d'autres qui sont susceptibles d'abaisser les concentrations de polluants dans les enceintes. Les produits poreux, comme les produits en bois, le coton, le gel de silice et le calcaire, absorbent naturellement des polluants particuliers ou généraux. On peut fabriquer soi-même des systèmes de filtration en se servant d'un filtre à air pour automobile et de Pacific Silvercloth (figure 40) ou de tissu imprégné de charbon actif (Raphael *et al.*, 1999).

La fréquence de remplacement des filtres dans les deux assemblages de filtres actifs devrait être fonction de l'efficacité du filtre ou de la mesure du degré de saturation des filtres, aspects abordés plus haut à la section « Contrôle au moyen d'un système de CVC » (p. 43).

La vapeur d'eau et l'oxygène sont parfois les principaux polluants à l'origine de la détérioration des objets ou, du moins, ils affectent beaucoup la détérioration. Diverses méthodes permettent de les contrôler. Il est possible soit de minimiser les fluctuations du taux d'HR, soit d'en réduire le degré, ou les deux, en utilisant un système actif (Michalski, 1982; Keepsafe, 2002b) ou un système passif, par exemple en introduisant du gel de silice préconditionné dans l'enceinte. [Pour plus d'information sur le conditionnement des gels de silice selon le taux d'HR visé, voir Lafontaine (1984) ou Weintraub (2002).] On peut aussi abaisser les concentrations d'oxygène dans une enceinte au moyen de sorbants spéciaux ou en diluant l'oxygène avec de l'azote ou des gaz inertes.

Le contrôle du taux d'HR peut prévenir les procédés de détérioration qui surviennent dans les milieux très humides ou qui sont accélérés par l'humidité, comme certains procédés de corrosion ou la migration de sels solubles dans les objets. [Il faut consulter un restaurateur pour déterminer quels objets doivent être mis en réserve ou exposés dans un milieu sec.] Dans les vitrines, l'un des moyens les plus communs de contrôler le taux d'HR est d'introduire du gel de silice. Le gel de silice, à l'instar des matières organiques, reste en équilibre avec le taux d'HR ambiant en adsorbant et en désorbant l'eau. Par contre, il persiste une certaine confusion quant à la quantité de gel de silice à employer pour contrôler le taux d'HR dans une enceinte. Thomson (1977) recommande 20 kg de gel de silice de densité régulière par mètre cube alors que Art-Sorb affirme que 0,5 kg suffit dans le cas de ses produits. Comme le gel de silice de densité régulière et Art-Sorb ont des capacités semblables de contrôle du taux d'HR lorsque celui-ci se situe entre 33 et 60 %, on peut supposer que la même quantité de gel de silice devrait suffire, pour un type ou l'autre, à donner un rendement comparable.

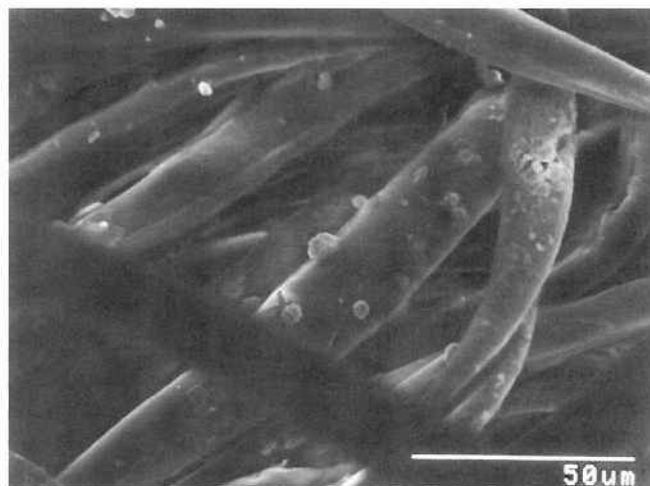


Figure 40. Détail microscopique du Pacific Silvercloth. Le textile est fait de coton imprégné de fines particules en argent.

Il est possible de comparer les gels de silice en fonction de la valeur de leur capacité tampon (Thomson, 1977). Cette variable (M) correspond à la quantité d'eau (en grammes) qui est captée ou relâchée par 1 kg de gel de silice pour chaque variation de 1 % du taux d'HR. Yu *et al.* (2001) ont adopté cette méthode pour évaluer l'efficacité des divers gels de silice qui sont communément utilisés pour contrôler le taux d'HR. Les résultats qu'ils ont obtenus révèlent que M varie en fonction de l'intervalle du taux d'HR et selon que le gel de silice adsorbe l'eau ou la désorbe. Dans certains cas, la différence entre les courbes d'adsorption et de désorption (dite hystérésis) est très marquée. Par exemple, la valeur de M dans le cas du gel de silice de densité régulière est de 4,5 lorsque le gel de silice adsorbe l'eau à une HR de 33 à 60 %, mais elle est de 3,4 sur la courbe de désorption. Lorsque l'intervalle du taux d'HR est relativement grand, il est important de tenir compte de cet écart. On peut se servir de l'équilibre hygrométrique lu sur la courbe d'adsorption à la valeur supérieure de l'intervalle du taux d'HR et sur la courbe de désorption à la valeur inférieure de l'intervalle du taux d'HR pour dériver une valeur M rectifiée pour l'hystérésis, désignée ici M_H (Weintraub 2002). Selon cette méthode, et les données expérimentales compilées par Yu *et al.*, des valeurs M_H ont été calculées pour divers gels de silice (voir le tableau 14).

La quantité réelle de gel de silice requise pour contrôler le taux d'HR dans une enceinte ne dépend pas seulement de la capacité tampon particulière du gel. Maintes variables entrent en jeu (voir l'équation 4). Cette équation a été formulée par Weintraub et Tétreault; elle est adaptée des équations présentées dans Perkins (1987) et Thomson (1977).

Équation 4

$$Q = (C_s D V N t) / (M_H F)$$

où Q = quantité de gel de silice recommandée (kg)^a

C_s = concentration de vapeur d'eau de saturation (g m^{-3})^b

D = différence décimale entre le taux d'HR à l'extérieur de l'enceinte et le taux d'HR cible dans l'enceinte (pas d'unité)^c

V = volume d'air net dans l'enceinte (m^3)

N = taux de renouvellement d'air (1/jour)^d

t = nombre minimal de jours pendant lesquels l'intervalle cible du taux d'HR doit être maintenu (jour)

M_H = capacité tampon du gel de silice utilisé, incluant l'effet de l'hystérésis ($\text{g kg}^{-1} \% \text{HR}^{-1}$)^e

F = intervalle cible de fluctuation du taux d'HR (%)^f

Notes :

a : Dans le cas des sorbants vendus en feuilles, la densité du gel de silice (g m^{-2}) doit être connue pour qu'il soit possible de calculer la quantité requise.

b : La concentration de saturation de la vapeur d'eau (HR de 100 %) varie selon la température, par exemple elle est de $17,3 \text{ g m}^{-3}$ à 20°C , de $20,0 \text{ g m}^{-3}$ à $22,5^\circ \text{C}$ et de $23,1 \text{ g m}^{-3}$ à 25°C .

c : Par exemple, si le taux d'HR moyen de l'air qui entoure l'enceinte est de 30 % et que le taux d'HR cible dans l'enceinte est de 50 %, la différence est de 20 % et $D = 0,20$.

d : Le taux de fuites est normalisé en fonction de la vapeur d'eau; si la mesure précise de l'étanchéité à l'air de l'enceinte est inconnue (annexe 7), la valeur d'un échange d'air par jour est communément retenue pour représenter une vitrine typique, moyennement étanche.

e : Cette valeur tient compte de l'effet de l'hystérésis dans l'intervalle du taux d'HR maintenu dans l'enceinte.

f : Par exemple, si la fluctuation maximale admissible du taux d'HR se chiffre à $\pm 5\%$, alors $F = 10$.

Le calcul de Thomson fait intervenir une formule qui tient compte du fait que l'échange d'air est mieux reflété par la décroissance exponentielle. Toutefois, si la plus grande variation du taux d'HR

(du taux maximum au taux minimum, ou vice versa) se produit en 90 jours, l'équation 4 donne un résultat qui se rapproche de celui obtenu par Thomson. En fait, la valeur de 2 attribuée à M par Thomson donne un résultat de 18 kg à $22,5^\circ \text{C}$ (Thomson ayant obtenu 18,75 kg, résultat qu'il a arrondi à 20).

La figure 41 montre comment l'équation 4 peut être utilisée pour calculer la quantité de gel de silice requise dans une enceinte. Les trois lignes diagonales représentent les différents intervalles de fluctuation du taux d'HR admissibles dans l'enceinte. Ces chiffres sont fondés sur les hypothèses qui suivent.

TABLEAU 14. CAPACITÉ TAMPON

Sorbants	Capacité tampon, M_H ($\text{g kg}^{-1} \% \text{HR}^{-1}$) ^a
Gel Rhapid	7,0
Artengel	5,7
Art-Sorb	3,7
Gel de silice de densité normale	2,8
Bois (non peint)	≤ 2
Coton, lin, papier	≤ 1

a : HR entre 30 et 60 %.

Sources: Thomson (1986); Yu et al. (2001); Weintraub (2002).

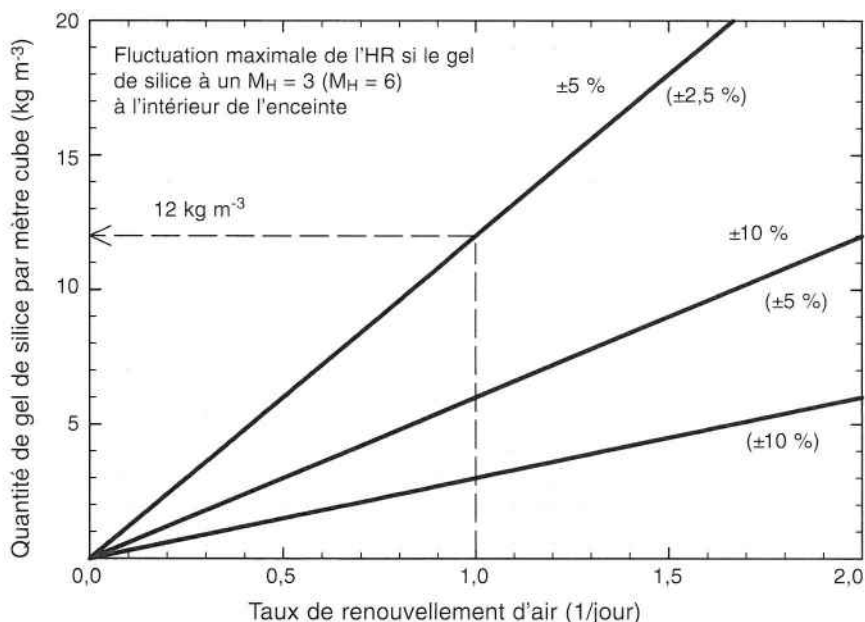


Figure 41. Quantité de gel de silice nécessaire pour maintenir une HR stable (dans un intervalle déterminé) durant une année.

- Les fluctuations du taux d'HR dans l'enceinte sont calculées en fonction d'un gel de silice de densité régulière dont $M_H = 3$ (les valeurs entre parenthèses sont basées sur un rendement double du gel de silice, avec $M_H = 6$).
- Le taux d'HR à l'extérieur de l'enceinte se situe entre 30 et 70 %, avec une fluctuation maximale de ± 20 %.
- Le taux d'HR dans l'enceinte est maintenu à 50 %, avec un intervalle de F.
- L'épaisseur du gel de silice est de ≤ 2 cm et il devrait idéalement être réparti uniformément dans toute l'enceinte.
- La capacité tampon des matériaux de l'enceinte (produits et objets) est négligeable, de même que la variation spatiale du taux d'HR dans l'enceinte.
- La température dans l'enceinte est relativement stable.

La nature des objets présents dans l'enceinte et leur volume relatif par rapport au volume d'air environnant sont d'autres facteurs qui influencent la capacité tampon du gel de silice. Les matières organiques sont hygroscopiques et peuvent donc contribuer à atténuer les fluctuations du taux d'HR. Les objets organiques épais, comme une sculpture en bois, mettent beaucoup de temps à réagir complètement aux variations du taux d'HR. En revanche, si la surface des matières organiques est importante, l'objet a alors beaucoup d'influence sur le taux d'HR dans l'enceinte. Les autres matières organiques éventuellement présentes dans la vitrine (comme des tissus ou des produits en bois) ont aussi un effet tampon. Si toutes les matières hygroscopiques sont conditionnées en fonction du taux d'HR cible, l'effet tampon peut présenter des avantages considérables. Quoique la capacité tampon du gel de silice soit supérieure à celle des matières organiques lorsque le taux d'HR varie de faible à moyen, les produits hygroscopiques peuvent faire office de supplément.

La figure 42 constitue une autre application de l'équation 4. Les quatre lignes diagonales correspondent à des périodes de temps différentes pendant lesquelles le taux d'HR cible spécifique (soit 20 % de moins que le taux d'HR moyen à l'extérieur de l'enceinte) peut être maintenu à un niveau variant de ± 5 % dans l'enceinte (c.-à-d. cible F de 10 %). Ce chiffre est basé sur les mêmes hypothèses que celles qui accompagnent la figure 41.

Si l'enceinte présente des fuites ($N > 1$ /jour) et que peu d'entretien est nécessaire (c.-à-d. que le gel de silice n'est pas remplacé ou renouvelé avant au moins un an), l'utilisation de gel de silice n'est pas la meilleure solution dans le cas d'une enceinte volumineuse. Le cas échéant, un système actif peut s'avérer plus efficace comme moyen de contrôler le taux d'HR.

Les objets susceptibles de photo-oxydation peuvent être protégés par un milieu anoxique*. Dans les années 1990, un sorbant de l'oxygène connu sous le nom commercial Ageless (figure 43) était communément utilisé pour préserver à long terme le caoutchouc et certains objets en plastique. Ce sorbant de l'oxygène est surtout composé d'une poudre de fer et il s'épuise rapidement lorsqu'il est exposé à l'air ambiant, en raison de la forte concentration d'oxygène (20 %). Pour prolonger la durée utile de ce sorbant, il faut donc ralentir l'infiltration d'oxygène dans l'enceinte, ce qui exige l'emploi d'un matériau-barrière (pare-gaz) et un scellage approprié (une liste de la perméabilité de divers produits à certains polluants est fournie à l'annexe 5). Avant de placer des objets tridimensionnels dans une enceinte, on devrait la remplir d'azote ou d'autre gaz inerte afin d'éviter la diminution du volume de l'enceinte causé par la réduction de l'oxygène. La figure 44 illustre l'utilisation d'un sorbant de l'oxygène pour la préservation à long terme d'un petit objet sensible à l'oxydation. L'objet est scellé dans deux sacs de plastique qui constituent deux matériaux-barrières convenables. Le sac intérieur renferme l'objet, des sachets de sorbant

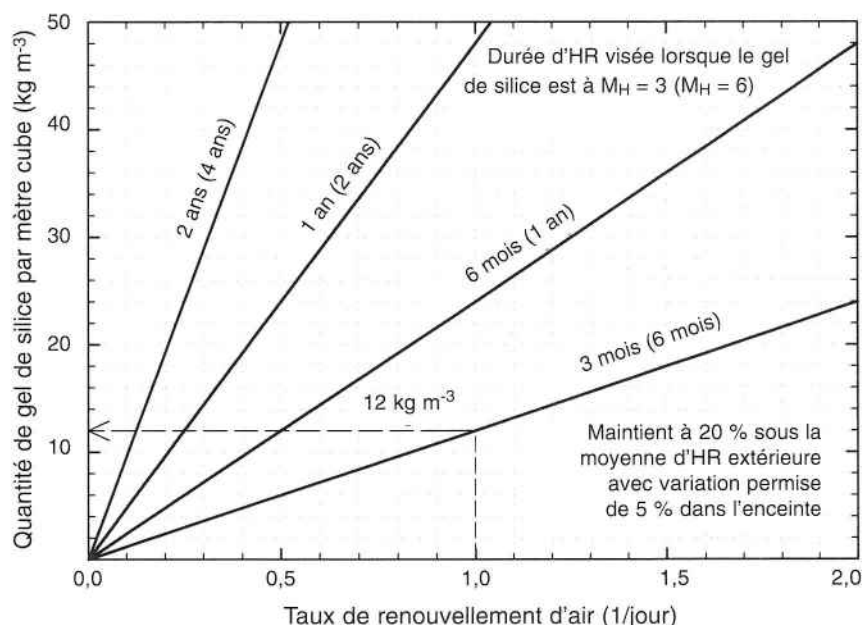


Figure 42. Quantité de gel de silice nécessaire pour maintenir une HR précise durant diverses périodes de temps.

de l'oxygène et un dosimètre d'oxygène (cachet rose qui vire au bleu lorsque la concentration d'oxygène dépasse 0,5 %). D'autres sachets de sorbants de l'oxygène sont introduits entre les deux sacs ainsi qu'un second dosimètre d'oxygène. Ce modèle assure une double protection de l'objet, celui-ci étant protégé en cas de trous minuscules dans l'un ou l'autre des deux sacs ou d'épuisement lent des sorbants de l'oxygène. Le cas échéant, seul le dosimètre d'oxygène qui agit comme premier niveau de protection vire au bleu et les sorbants de l'oxygène introduits entre les deux sacs peuvent être remplacés sans perturber l'atmosphère du sac qui renferme l'objet.

Il n'existe que quelques exemples de l'emploi d'un milieu anoxique dans le cas d'objets placés dans des vitrines, notamment les chartes des libertés des États-Unis, la constitution de l'Inde et des momies conservées dans un milieu à l'hélium ou à l'azote (Calmes, 1985; Maekawa, 1998). Il demeure cependant que les milieux anoxiques présentent énormément de possibilités comme moyen de prévenir l'altération des couleurs des œuvres d'art encadrées sous verre étanche. Des renseignements supplémentaires sur l'emploi des sorbants de l'oxygène et sur leurs limites sont fournis dans Shashova (1999). Les milieux libres d'oxygène constituent aussi un moyen d'intervention efficace dans le cas d'objets infestés par des insectes (Maekawa, 1998; Selwitz et Maekawa, 1998; Chaumier, 1998; Pacaud, 1998, 1999).

ATTÉNUER LES RÉACTIONS

Le moyen le plus efficace de minimiser les effets nuisibles des polluants est d'abaisser le taux d'HR,

ce qui se trouve aussi à ralentir la détérioration lorsque la vapeur d'eau est le principal polluant présent. Comme le montre la figure 22, le taux d'HR a une incidence énorme sur la détérioration des matériaux. Le fait d'abaisser la température ralentit également les taux de détérioration causée par les polluants. Quoique les objets précieux soient rarement exposés dans des enceintes froides (Padfield *et al.*, 1984), la mise en réserve dans des réfrigérateurs commerciaux est plus commune. Le Musée canadien des civilisations entrepose ses poupées en PVC dans des réfrigérateurs ou des congélateurs pour empêcher



Figure 43. Les sachets Ageless (sorbant d'oxygène) contiennent une fine poudre de fer couverte de sel de mer et d'une zéolite naturelle imprégnée de chlorure de sodium. La petite capsule scellée dans le sac de plastique transparent (à g.) est un dosimètre à oxygène.

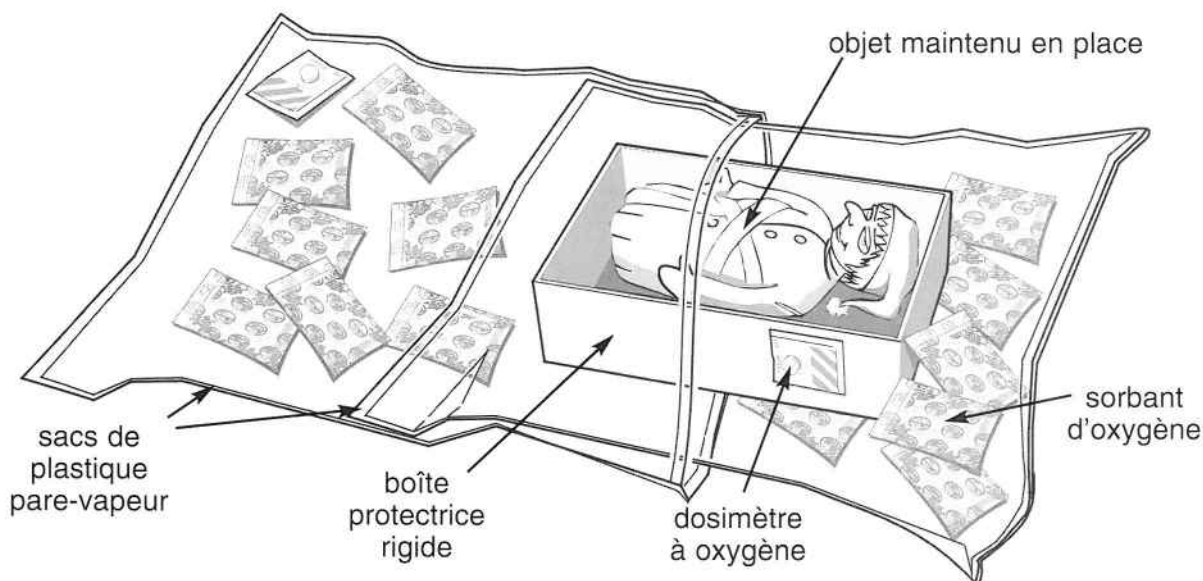


Figure 44. Objet préservé dans un milieu anoxique.

la détérioration et la migration des plastifiants dans le PVC. Le fait d'abaisser soit le taux d'HR, soit la température, soit les deux, ralentit les taux d'émission des matériaux. Lorsque les émissions polluantes sont réduites dans l'enceinte, la capacité de réaction avec les objets baisse également, et moins d'effets nuisibles se produisent.

ÉCOURTER LA DURÉE D'EXPOSITION

Voir la section consacrée au contrôle à l'échelle du bâtiment et des salles.

RÉAGIR

La majorité des cas signalés de détérioration subite causée par des polluants surviennent dans des enceintes. En général, il s'agit de corrosion causée par des produits émissifs. En présence de corrosion, il faut retirer tous les objets métalliques tant que le problème n'est pas réglé. Un autre problème commun est la présence d'odeurs étranges. La présence d'une odeur désagréable ne signifie pas forcément l'existence de composés nuisibles; toutefois, quand on remarque une telle odeur, il est prudent de retirer les objets vulnérables de l'enceinte tant que les polluants et leurs sources n'ont pas été identifiés. S'il est impossible de retirer les objets de l'enceinte, il faut alors effectuer des vérifications périodiques. S'il est habituellement difficile de supprimer les problèmes de dégagements de vapeurs dans les enceintes, il existe néanmoins plusieurs stratégies (les mesures d'atténuation sont résumées à la figure 45) qui peuvent être mises en œuvre. La première solution consiste à remplacer les produits ou les objets émissifs. Si les dégagements proviennent principalement d'un panneau en bois, il faut le sceller correctement. La deuxième solution consiste à augmenter la ventilation ou le taux de renouvellement d'air dans l'enceinte. De plus, les peintures ou les adhésifs appliqués dans les enceintes devraient sécher pendant trois à quatre semaines avant que des objets sensibles ne soient placés dans l'enceinte. Quoique la ventilation des enceintes constitue un moyen très efficace de réduire les concentrations de polluants de source interne, la ventilation non filtrée admet l'entrée de polluants externes dans les enceintes — ce qui ne va pas

du tout pour les enceintes étanches à l'air. De surcroît, il n'est pas toujours facile de pratiquer des fuites, mêmes provisoirement, dans une vitrine ou une armoire de rangement. La troisième solution consiste à utiliser des sorbants, ce qui n'est possible que dans une enceinte étanche. Cependant, les systèmes de sorbant passifs ne sont pas une panacée. Si les émissions de polluants sont fortes, le sorbant ne suffit pas toujours à ramener les concentrations de polluants à un niveau acceptable et risque d'être rapidement saturé. La quatrième solution consiste à ralentir les réactions. Cette solution n'a pas pour effet de réduire les concentrations de polluants, mais elle en atténue les effets nuisibles. Dans certains cas, on peut combiner plusieurs solutions. Par contre, on ne peut en même temps augmenter la ventilation et utiliser des sorbants ou réduire le taux d'HR et la température parce que la ventilation peut admettre plus d'air humide pollué dans l'enceinte que le sorbant des polluants et de l'humidité ne peut absorber. Lorsque aucune de ces solutions ne

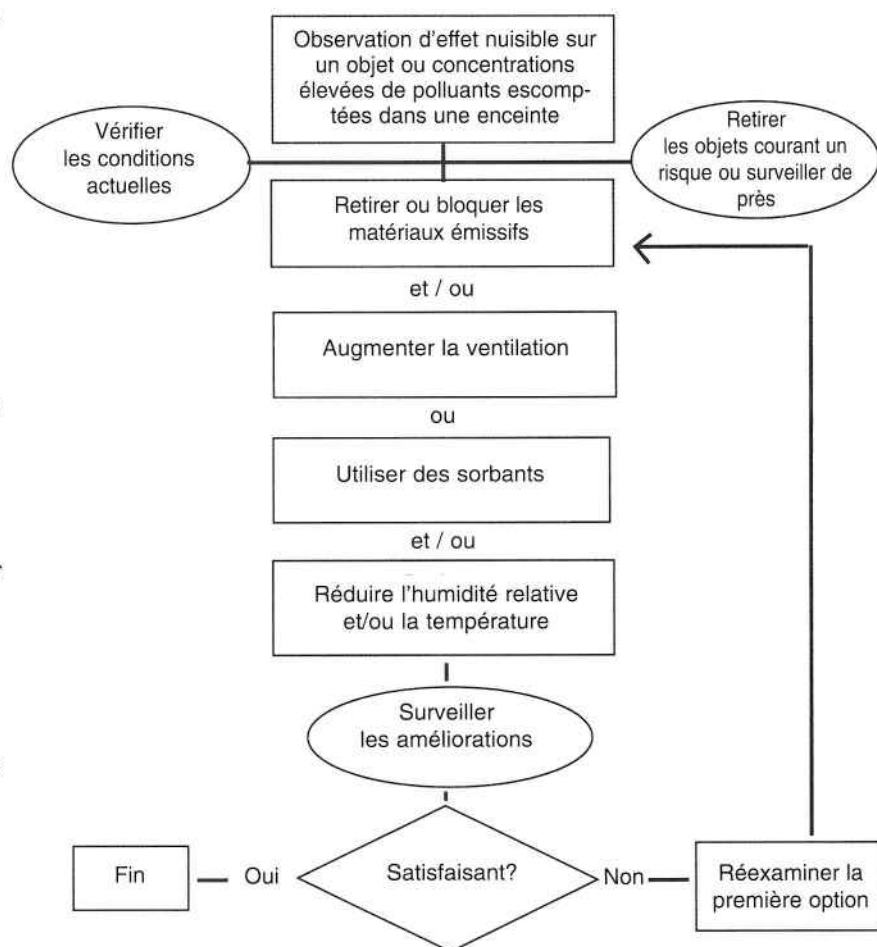


Figure 45. Possibilités d'atténuation des matériaux émissifs.

donne les résultats voulus, il peut être nécessaire de se pencher de nouveau sur les produits utilisés dans l'enceinte.

Les objets ou produits imprégnés d'une odeur désagréable mettent beaucoup de temps à libérer ces vapeurs. La désorption prend du temps,

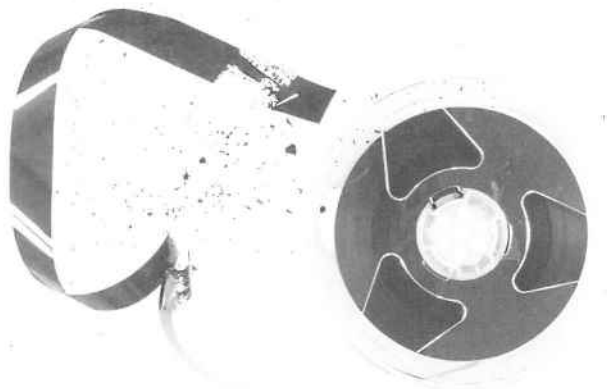


Figure 46. Une bande VHS dont la couche de liant en polyuréthane est dégradée. On remarque l'effritement.

particulièrement si l'objet a été exposé aux vapeurs pendant une période prolongée. En outre, si l'objet ou le produit est placé dans une autre enceinte, il y a risque de contamination des autres objets présents, le cas échéant.

STRATÉGIE DE CONTRÔLE DANS LE CAS DES OBJETS HYPERSENSIBLES

Il est important de repérer les objets (p. ex. les objets à base d'acétate et de nitrate de cellulose, certaines matières colorantes qui sont hypersensibles aux polluants comme la curcumine et le cramoisi d'alizarine, le plomb, l'argent, les caoutchoucs naturels, les polyuréthanes [figure 46], les objets difficiles à nettoyer et ceux contaminés par des sels). Dans un milieu dont les conditions sont contrôlées de façon élémentaire, ces objets se détériorent habituellement à des taux inadmissibles. Le tableau 15 (p. 67) rend compte des dommages que présentent typiquement ces objets et présente des stratégies de contrôle efficaces ainsi que certaines considérations déontologiques concernant le traitement ou le remplacement des objets hypersensibles.

TABLEAU 15. STRATÉGIES DE CONTRÔLE DES OBJETS HYPERSENSIBLES

Matériaux hypersensibles	Polluants les plus nuisibles	Stratégies ^a de contrôle	Domage et considérations d'ordre éthique
Acétate de cellulose	Vapeur d'eau, acide acétique	• Garder au sec (au moins 20 % HR) (Reilly, 1998) et à un endroit frais. • Isoler les objets qui ont atteint le niveau d'acidité critique (Reilly, 1993). Assurer une ventilation adéquate et placer dans une voûte ou une enceinte spéciale. Ajouter des sorbants dans l'enceinte (l'efficacité à long terme est méconnue). Exige une surveillance systématique pour repérer les matériaux dont la détérioration atteint un rythme rapide.	Les pellicules et les feuilles datant des années 1950 et 1960 rétrécissent et deviennent fragiles et collantes. Dans la mesure du possible, faire des copies de ces documents et entreposer les originaux à basse température et à faible humidité relative.
Argent	Sulfure d'hydrogène DMENO : 0,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ an	• Utiliser des enceintes étanches; s'assurer que les matériaux ne dégagent pas d'émissions sulfurées. • Envelopper les objets avec des tissus sorbants pour l'entreposage. • Garder au sec et utiliser des sorbants • Utiliser des enceintes étanches et garder au sec.	Les méthodes utilisées pour éliminer la ternissure enlèvent également une fine pellicule d'argent, ce qui constitue un problème pour les surfaces en argent minces ou fragiles.
Bandes magnétiques en polyuréthane	Vapeur d'eau, particules DMENO des particules : 10 $\mu\text{g m}^{-3}$ an	• Réduire au minimum la manutention et l'utilisation des bandes. • Entreposer à long terme les articles de valeur à basse température. • Maintenir une faible pression d'air dans les objets en caoutchouc gonflés.	La détérioration est causée par la photo-oxydation, l'hydrolyse et l'abrasion par la poussière. Dans la mesure du possible, faire des copies des bandes et entreposer les originaux à basse température et à faible humidité relative.
Caoutchouc naturel	Ozone, oxygène DMENO de l'ozone pour le caoutchouc tendu : 0,005 $\mu\text{g m}^{-3}$ an	• Utiliser des enceintes étanches. • Pour un entreposage à long terme d'objets de valeur, envisager d'utiliser des enceintes pauvres en oxygène ou maintenir la température basse. • Utiliser des enceintes étanches, entreposer les matériaux dans l'obscurité et les exposer seulement à un faible taux d'éclairement.	Les caoutchoucs tendus sont très sensibles à l'ozone. Les caoutchoucs d'origine exigent des soins spéciaux. La plupart des caoutchoucs d'origine faisant partie de machines ou d'appareils sont généralement remplacés par des matériaux neufs.
Matières colorantes les plus sensibles	Dioxyde d'azote, ozone, dioxyde de soufre ainsi que oxygène + rayonnement. DMENO pour NO ₂ , O ₃ ou SO ₂ : 1 $\mu\text{g m}^{-3}$ an	• Garder au sec et ajouter des sorbants dans les enceintes.	Si ces matériaux sont habituellement exposés, les matières colorantes sont fort probablement décolorées. Lorsqu'ils sont à moitié décolorés, la DMENO augmente d'un ordre de grandeur. Faire des copies des documents qui doivent être consultés fréquemment.
	Les matières colorantes hypersensibles les plus courantes sont le cramoisi d'alizarine, la fuchsine basique, la curcumine et la pararosaniline (d'après l'annexe 2).		
Nitrate de cellulose	Vapeur d'eau, oxydes d'azote (NO _x)	• Garder au sec (au moins 20 % HR) et à un endroit frais. • Suivre les normes de la NFPA relatives à l'entreposage de grandes quantités de pellicule en rouleau (NFPA, 2001).	Les pellicules et les feuilles (principalement fabriquées aux États-Unis de 1896 à 1952) deviennent poudreuses ou collantes. Les pellicules en rouleaux très détériorées qui sont entreposées à des endroits où la température est supérieure à 38 °C posent un grave risque d'incendie. Dans la mesure du possible, faire des copies de ces documents et entreposer les originaux à basse température et à faible humidité relative.

TABLEAU 15. STRATÉGIES DE CONTRÔLE DES OBJETS HYPERSENSIBLES (suite)

Matériaux hypersensibles	Polluants les plus nuisibles	Stratégies ^a de contrôle	Dommage et considérations d'ordre éthique
Objets difficiles à nettoyer	Particules grossières à très fines DMENO de PM _{2,5} : 10 µg m ⁻³ an	- Éloigner de 1 à 2 mètres les objets des visiteurs. - Choisir un système de CVC muni, à tout le moins, d'un système de filtration de catégorie B (tableau 10). - Utiliser des enceintes étanches et éviter autant que possible les grandes variations de l'HR.	Les particules déposées sur les objets sont difficiles à enlever. Le nettoyage peut être très long et il y a un grand risque d'endommager l'objet. Voir ci-dessous.
	Les objets à surface ou à pigmentation poudreuse, comme certains objets ethnographiques peints ou des ailes de papillon; les objets matériellement fragiles comme des collections d'insectes ou des spécimens minéraux filamenteux; les objets présentant des microfissures (comme l'ivoire ou des objets peints fissurés) dans lesquelles de fines particules pourraient se loger; les objets dont les surfaces sont collantes (p. ex. des plastiques détériorés) et certains objets en bois gorgés d'eau traités au polyéthylène glycol; les objets qui ne peuvent être facilement nettoyés à l'aspirateur, par lessivage ou traités avec des cataplasmes; les objets qui comportent de nombreuses petites pièces et dont le nettoyage approfondi serait ardu et exigerait beaucoup de temps.		
Objets imprégnés de sel	Sel interne et vapeur d'eau	- En général, maintenir l'humidité relative sous le seuil de 40 % avec le moins possible de fluctuations; dans le cas des verres riches en soude, conserver l'HR entre 20 % et 35 %. - Éviter d'utiliser des matériaux qui dégagent de l'acétate et des formiates et éviter le contact avec un sol non étanchéisé. - Si possible, le dessalement est recommandé.	Certains sels ou acétates sont intrinsèques à l'objet. On a observé que certains objets archéologiques en verre ou en céramique contaminés se sont désintégrés complètement à la suite de fouilles et d'un séchage.
Objets sensibles à l'humidité	Vapeur d'eau DMENO : 1600 % HR an pour l'acétate de cellulose	Garder au sec (au moins 20 % HR) et au frais (figure 24).	La faible température limite l'accès à la collection. On déconseille de manipuler des objets secs et froids. Certains objets composites ne peuvent être conservés dans un milieu plus sec que leur environnement normal. La plupart des objets sensibles entreposés ou exposés à une HR de 50 % et à 20 °C présentent des dommages après 40 à 50 ans (15 à 25 ans dans le cas des PVC souples).
	L'acétate et le nitrate de cellulose, les clichés photographiques en couleurs, la gélatine pour émulsion photographique, les bandes magnétiques, de nombreux types de papier, les vernis naturels et les PVC souples (plastifiés) forment la majorité des objets sensibles à l'humidité.		
Plomb	Acide acétique CSENO : 400 µg m ⁻³	- Choisir des enceintes fabriquées en produits qui ne dégagent pas d'acides carboxyliques ou de formaldéhyde (c.-à-d. aucun bois, aucune peinture et aucun contact avec du papier ou du carton). - Garder au sec. - Il est aussi possible de passiver les objets en plomb.	Les détails superficiels peuvent être perdus rapidement en cas d'efflorescence. On améliore la résistance des objets à l'acide acétique si ceux-ci sont propres et que leur surface est stable.

Note:

a: Dans la mesure du possible, la surveillance doit faire partie intégrante de la stratégie de contrôle.

L'étape suivante du contrôle des polluants aéroportés est de voir ce qui peut être fait pour protéger la collection et quels sont les coûts afférents. Dans ce chapitre, il est question de diverses façons d'évaluer la protection et d'effectuer une analyse sommaire des coûts et avantages.

ÉVALUATION DES OBJECTIFS DE PRÉSERVATION ET ENVIRONNEMENTAUX

Il est possible d'évaluer la protection en fonction d'objectifs qui sont basés sur la qualité de la préservation des objets (objectifs de préservation) ou sur la qualité du milieu (objectifs environnementaux).

- Objectifs de préservation : l'accent est mis sur l'objet ou sur la collection et sur les risques présents, ou taux de détérioration.
- Objectifs environnementaux : l'accent est mis sur le milieu (caractérisé par les concentrations maximales de polluants, diverses méthodes semi-quantitatives ou une série de spécifications).

Ces objectifs sont liés entre eux. L'objectif de préservation régit l'objectif environnemental exigé du milieu qui lui régit les stratégies de contrôle qui peuvent être adoptées pour satisfaire les exigences. Malheureusement, les spécifications et les méthodes semi-quantitatives n'aboutissent pas toujours à des résultats prévisibles en ce qui a trait à l'objectif environnemental ou à l'objectif de préservation. Jusqu'à présent, on ignorait pratiquement tout du rapport exposition-effet des systèmes polluant-matériau, d'où la difficulté d'évaluer le degré de préservation d'une collection. Cependant, les notions de CSENO (concentration sans effets nuisibles observables) et de DMENO (dose minimale avec effets nuisibles observables) permettent aux musées de définir des objectifs qui donnent une indication utile de l'état de préservation d'une collection. Cette information peut être transmise aux principaux décideurs (p. ex. cadres supérieurs et ministères) qui formulent les politiques destinées à protéger les biens culturels. Les exemples qui suivent sont fournis pour éclairer l'application de ces objectifs.

OBJECTIFS DE PRÉSERVATION

Garry Thomson, dans les années 1970, fut l'un des premiers à formuler des lignes directrices sur les concentrations de polluants. Il signalait que les ouvrages conservés dans les dépôts d'archives des

campagnes du Royaume-Uni étaient en bien meilleur état que ceux conservés dans les villes. Les dommages que présentaient les archives des milieux urbains s'étaient produits principalement au début du XX^e siècle, lorsque la combustion du charbon constituait la principale source d'énergie. On s'est basé sur cette observation pour affirmer que les concentrations moyennes de SO₂ et de NO₂ relevées dans les régions rurales seraient prises comme concentrations recommandées dans les musées pour parvenir à une préservation à long terme. Cette ligne directrice est en vigueur depuis plus de 20 ans. Les lignes directrices fondées sur la préservation des objets admettent une certaine souplesse quant aux stratégies de contrôle à adopter pour satisfaire les objectifs environnementaux. Au bout du compte, il est souvent nécessaire de faire la part entre le degré de préservation désiré et les moyens dont on dispose pour l'atteindre. Les objectifs de préservation qui suivent portent tout d'abord sur un simple système polluant-matériau et aboutissent au cas d'une collection mixte exposée à des polluants aéroportés multiples.

Aucun effet nuisible causé par un polluant

La définition d'un objectif de préservation est nettement simplifiée lorsque l'objet en cause est fait d'un matériau unique dont la CSENO pour un polluant donné est bien établie. Dans ce cas, l'objectif de préservation correspond à zéro dommages, c.-à-d. à l'absence d'effets nuisibles marqués causés par le polluant principal. Toutefois, dans le domaine de la gestion des risques, la CSENO ne prétend pas constituer une garantie de l'absence complète de détérioration : elle fournit plutôt une mesure de certitude que pendant une période prolongée, il ne se produira pas d'effets nuisibles marqués qui soient observables ou mesurables. Le British Museum a effectué une surveillance poussée des vitrines faites de produits en bois peints et a constaté que celles qui présentent une concentration d'acide acétique inférieure à 317 µg m⁻³ pouvaient renfermer des objets en plomb pendant plus de 11 ans sans que ceux-ci ne présentent de traces d'effets nuisibles (Thickett *et al.*, 1998). Si l'objectif de préservation des objets en plomb est de zéro dommages, on peut l'atteindre en maintenant la concentration d'acide acétique en deçà de sa CSENO. Autre exemple : on n'observe aucune croissance de moisissures lorsque le taux d'HR reste inférieur à 60 %. Dans ce cas, l'humidité n'est pas le polluant direct, mais elle est le facteur qui influence de façon critique la croissance de composés aéroportés précis — les moisissures.

Taux d'effets nuisibles causés par un polluant

Dans les cas où il est difficile de ramener la concentration d'un polluant à une valeur inférieure à sa CSENO ou si la mesure de la vulnérabilité d'un matériau dépend de la méthode de la DMENO, l'établissement de l'objectif de préservation dépend alors de la notion empirique du taux de détérioration « raisonnable », qui peut notamment s'exprimer par un effet nuisible observable par période de temps. Un objectif de préservation de 10 ans signifie donc qu'il ne se produit pas d'effet nuisible observable en 10 ans. L'exemple de la détérioration des cuirs à tannage végétal par le SO_2 (figures 47 et 48) peut être pris pour illustrer le cas d'un objectif de préservation basé sur un taux d'effets nuisibles. La DMENO de SO_2 pour le cuir conditionné avec des tannins est de $40 \mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$. Si l'on retient l'objectif d'un effet nuisible observable tous les 10 ans, le cuir devrait être exposé à une concentration de SO_2 inférieure à $4 \mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$ (en supposant une réciprocity linéaire de la dose). Pour atteindre cet objectif, les livres à reliure en cuir conservés par des musées situés dans des villes ne devraient donc être présentés dans une vitrine ouverte que pendant un mois par année (ou trois mois tous les trois ans) et, le reste du temps, ils devraient être conservés dans des contenants étanches ou recouverts de papiers sorbants. Il est aussi possible d'exposer ces ouvrages dans des vitrines en verre ou de les conserver dans des caisses en carton non acide. Cette solution devrait se traduire par un objectif de préservation excédant 10 ans. La DMENO de divers systèmes polluant-matériau est fournie dans le tableau 3.



Figure 48. Autre exemple de « pourriture rouge ».
Le cuir de tannage végétal acide noircit au contact de l'eau.
Voir la planche en couleurs p. 99.



Figure 47. Un livre à reliure en cuir de tannage végétal présente une détérioration importante dite « pourriture rouge » attribuable à la transformation du dioxyde de soufre en acide dans le cuir. La surface du cuir acide s'effrite tandis que la couche sèche sous-jacente tombe en poudre lorsqu'on frotte légèrement la reliure. Voir la planche en couleurs p. 99.

La même méthode est utilisée pour protéger les objets de l'altération des couleurs par la lumière (jaunissement ou décoloration). Des exemples de matières colorantes sensibles à la lumière sont fournis à l'annexe 8. Les taux d'exposition à la lumière fournis sont conformes au taux d'altération observé selon la durée d'exposition. Ainsi, il faut une accumulation d'environ 10 légères altérations (DMENO) observées pour causer un taux d'altération de 50 %; au terme de 20 altérations observées, la coloration devrait être pratiquement entièrement passée.

Établir un objectif de préservation pour chacun des objets qui forment toute une collection en fonction de la CSENO et de la DMENO n'est tout simplement pas pratique. En revanche, de tels objectifs peuvent s'avérer très rentables lorsqu'ils ciblent les objets les plus vulnérables et les plus précieux de la collection.

Taux d'effets nuisibles causés par un polluant dans le cas d'un objet composite ou d'une collection mixte

Ce cas est semblable à la situation décrite ci-dessus, sauf qu'ici, il faut prendre en compte de nombreux matériaux différents. Dans ce cas, l'objectif de préservation peut donc être défini en fonction de la détérioration du matériau le plus sensible ou d'un matériau en particulier. Par exemple, dans le cas d'une aquarelle exposée au dioxyde d'azote, on pourrait prendre comme objectif de préservation l'observation de légères altérations de la matière colorante la plus sensible, tous les 10 ans. La définition de l'objectif de préservation dans le cas d'une collection mixte conservée dans une même salle peut se faire en suivant le même raisonnement, c'est-à-dire selon le taux de détérioration d'un matériau clé — le plus sensible, le plus commun ou un matériau intermédiaire entre ces deux critères. Si l'objectif est fonction du matériau le plus sensible de la collection, il peut être coûteux de satisfaire l'objectif de préservation et certains objets seront excessivement protégés. Par contre, si l'objectif est basé sur le matériau le plus commun, les matériaux plus sensibles risquent de se détériorer à un taux inacceptable. Dans de telles circonstances, il peut être judicieux d'isoler les objets les plus sensibles et de prévoir des mesures spéciales pour les protéger. L'Image Permanence Institute a élaboré des outils utiles à la définition du rendement en matière de préservation, en faisant intervenir une notion semblable à celle de l'objectif de préservation (Reilly, 1993, 1998). Ces outils sont

la plus sensible, l'objectif de préservation peut facilement être atteint dans un milieu où le taux d'HR est de 50 % et la température, de 21 °C (voir la figure 23). Tout objectif de préservation qui dépasse 40 ans exige un contrôle plus étroit du milieu. Une méthode comparable peut être adoptée pour prévoir la durée de vie des pellicules en acétate de cellulose neuves et dégradées.

L'application de cette méthode, dans le cas de l'altération causée par la lumière, est basée sur un objectif de préservation pour les objets moyennement sensibles (ISO 4 : 10 Mlx h). Comme le montre l'annexe 8, les objets moins sensibles sont alors très bien protégés, mais les objets plus sensibles palissent 10 fois plus vite. Certains musées voudront donc adopter des mesures distinctes pour les objets très sensibles.

Taux d'effets nuisibles causés par des polluants multiples dans le cas d'un objet composite ou d'une collection mixte

Il existe deux façons de définir les objectifs de préservation dans le cas d'une collection mixte exposée à une gamme complète de polluants éventuellement nuisibles : la micro-évaluation ou la macro-évaluation des risques dont il est question au chapitre 3. La micro-évaluation porte sur un système polluant-matériau individuel et sur le risque que peut courir un objet précis dans le milieu (tableaux 3 et 4) tandis que la macro-évaluation porte sur la vulnérabilité de la plupart de la collection aux concentrations de polluants présentes (tableaux 5 et 6). Dans le cas

présentés à la figure 49. Pour prévoir l'altération des couleurs des pellicules photographiques en couleurs selon différentes combinaisons de température et d'HR, cet institut a choisi comme critère une altération de 30 % de la matière colorante la moins stable. Il incombe donc au décideur d'évaluer, comme objectif de préservation, le temps qu'il faudra pour parvenir à ce degré de détérioration. Une règle à calcul fournit des conditions d'HR et de températures possibles comme objectifs de rendement. Si l'on fixe à 40 ans le temps qui s'écoule avant d'observer une altération de 30 % de la matière colorante

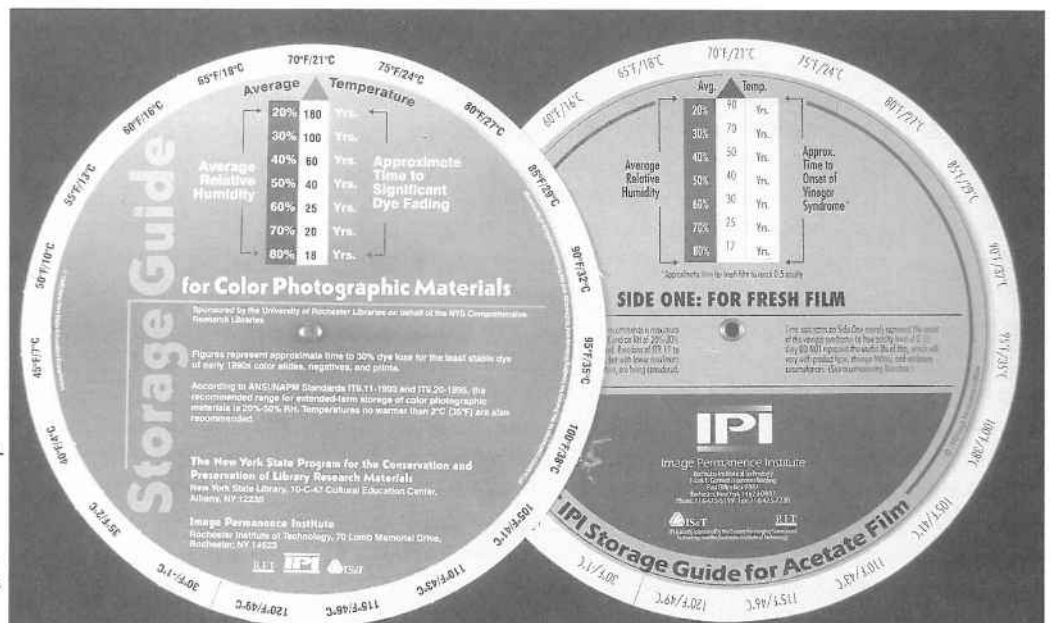


Figure 49. Règles à calcul de durée de vie utile. L'Image Permanence Institute de Rochester (É.-U.) a mis au point deux règles à calcul qui fournissent les durées de vie utile des matériaux photographiques en couleurs (à gauche) et des pellicules en acétate de cellulose (à droite) selon différentes températures et différents taux d'HR.

de la macro-évaluation des risques, l'objectif de préservation est principalement fondé sur un taux « raisonnable » d'effets nuisibles observés dans la collection. Le taux de détérioration retenu régit la concentration maximale moyenne de chaque polluant principal. Lorsqu'on procède à une macro-évaluation des risques, il est important de repérer tous les objets hypersensibles (tableau 15) et de prévoir des mesures de contrôle spéciales parce que ces objets ne sont pas protégés par les objectifs de préservation généraux.

Les objectifs de préservation peuvent aussi être définis selon la fonction des diverses salles et enceintes, comme le montre le tableau 8. En effet, les objectifs de préservation n'ont pas à être les mêmes pour tous les objets d'une collection. Les collections peuvent être regroupées en fonction d'un critère de valeur défini par le musée. Le cas échéant, les objets très précieux peuvent être surveillés plus étroitement. On conseille d'exercer une surveillance pour vérifier si les concentrations de principaux polluants (rendement réel) sont conformes à l'objectif de préservation. Comme on l'a déjà signalé, il est inutile de chercher à ramener un polluant à des concentrations extrêmement faibles pendant des durées d'exposition prolongées lorsque les effets de ce polluant sont négligeables à ces concentrations, par rapport à d'autres procédés de détérioration, comme la photo-oxydation, l'hydrolyse et l'altération thermique, qui deviennent souvent les facteurs dominants dans le cas des matières organiques. Un tel contrôle engendrerait des coûts supplémentaires et peu d'avantages, voire aucun.

Dans le cas des agents de détérioration (comme le feu, les inondations ou les voleurs) dont les actions sont sporadiques, l'objectif de préservation d'une collection peut être basé sur la fréquence des occurrences (effets nuisibles). La fréquence estimée doit être basée sur des données d'experts concernant chacun des agents. Par exemple, si une collection logée dans un endroit particulier perd statistiquement 0,4 % de sa valeur tous les 100 ans à cause d'un incendie et qu'un effet nuisible marqué est défini comme une perte de 0,1 %, l'objectif de préservation de cette collection est fixé à 25 ans, ce qui ne signifie pas nécessairement qu'il se produira un petit incendie tous les 25 ans, mais plutôt que c'est là une probabilité. Si le musée améliore le bâtiment en installant des cloisons résistantes au feu ou un système de gicleurs, la probabilité qu'un incendie éclate est réduite et l'objectif de préservation s'améliore.

OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX

Le gain de popularité des systèmes de CVC centralisés dans les années 1980 a engendré une nouvelle façon de calculer les concentrations admissibles de

polluants extérieurs dans les musées; cette méthode est basée sur l'efficacité possible du système de CVC. « L'utilisation de la technologie supérieure parmi celles disponibles » et « les concentrations les plus faibles possibles » ont été proposées et des concentrations maximales ont été attribuées à certains polluants communs dans les musées en fonction de l'efficacité des filtres des systèmes de CVC et de la limite de détection des techniques de surveillance. Cependant, cette approche est d'une utilité limitée en l'absence d'une analyse des coûts et avantages, dans la mesure où les objectifs environnementaux nécessaires peuvent varier à différents emplacements dans les musées, en raison de la nature, de la valeur ou de l'utilisation de la collection, ou simplement de la capacité de filtration du bâtiment. À n'importe quel emplacement, le décideur peut avoir recours à des enceintes pour améliorer les objectifs environnementaux.

Les objectifs environnementaux peuvent être répartis en trois groupes : ceux basés sur les concentrations maximales moyennes de polluants dans l'air ambiant là où se trouvent les collections, établis en utilisant des méthodes quantitatives; les objectifs établis en fonction des méthodes semi-quantitatives; les objectifs dérivés des spécifications.

Objectifs environnementaux basés sur la concentration maximale de polluants

Lorsque l'on connaît la CSENO d'un système polluant-matériau, cette concentration peut devenir l'objectif environnemental visé pour la préservation à long terme. Par exemple, une concentration d'acide acétique inférieure à $317 \mu\text{g m}^{-3}$ constitue l'objectif environnemental du British Museum pour les objets en plomb placés dans des vitrines (p. 69). Cet objectif assure la préservation à long terme des objets en plomb.

Les objectifs de qualité de l'air selon divers polluants, pour satisfaire les différents objectifs de préservation, sont fournis au tableau 5. Ce tableau peut faire office de référence quant aux concentrations maximales admissibles de polluants quand on ne possède pas de données précises sur une collection en particulier. Autrement, on peut décider de cibler, empiriquement, les concentrations maximales admissibles de polluants.

L'information présentée dans le présent ouvrage n'a pas pour but de fixer des normes pour les musées en ce qui a trait aux objectifs environnementaux. La formulation de telles normes relève des administrations juridiques ou publiques et leur mise en œuvre à grande échelle s'avérerait très difficile, vu les ressources variables et les diverses contraintes auxquelles sont assujettis les différents musées.

Objectifs environnementaux basés sur les méthodes de surveillance semi-quantitatives

Les méthodes semi-quantitatives sont l'alternative des méthodes de surveillance quantitatives exhaustives et coûteuses. Elles se basent sur la quantification d'un ou de nombreux polluants d'après une échelle empirique. Certaines de ces méthodes sont présentées dans le chapitre 6.

Les méthodes qui emploient des plaquettes métalliques sont souvent utilisées pour évaluer la qualité de l'air dans les enceintes. On se sert typiquement de plaquettes de plomb, de cuivre et d'argent et les altérations causées par des polluants présents dans l'air ambiant sont surveillées par observation visuelle, augmentation de la masse ou augmentation de l'épaisseur (au moyen de procédés électrochimiques). Ces détecteurs métalliques constituent un moyen très efficace de vérifier si le milieu est corrosif ou non. Cependant, en l'absence d'analyses

spécialisées, ils donnent peu d'indications de la nature des polluants présents ou de leurs concentrations, même si les plaquettes de cuivre et d'argent sont d'excellents détecteurs du sulfure d'hydrogène en raison de la faible valeur de leur DMENO.

La norme S71.04-1985 de l'ISA, intitulée *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants* (ISA, 1986), qui est utile pour vérifier l'efficacité des assemblages de filtration des systèmes de CVC, peut aussi servir à évaluer les résultats des méthodes de surveillance semi-quantitatives (voir le tableau 16). Par exemple, selon cette norme, la catégorie G1 est la catégorie la plus propre de corrosion du cuivre. Cette catégorie (qui correspond à des concentrations maximales de $4 \mu\text{g m}^{-3}$ pour le H_2S , de $30 \mu\text{g m}^{-3}$ pour le SO_2 , de $100 \mu\text{g m}^{-3}$ pour le NO_2 , de $4 \mu\text{g m}^{-3}$ pour le O_3 et à un taux d'HR de 50 %) équivaut, en gros, à un objectif de préservation d'un an selon le tableau 5. Même lorsque les conditions ambiantes correspondent aux concentrations de la catégorie G1, les dépôts de poussières demeurent un problème. Bien qu'il n'existe pas de corrélation directe entre ces catégories ISA et les objectifs de préservation, la corrosion des plaquettes de métal peut être utile pour donner une idée générale de l'amélioration suivant une modification de la stratégie de contrôle ou pour surveiller de façon semi-quantitative divers milieux.

L'épaisseur de la couche de corrosion peut être mesurée avec un détecteur appelé Onguard qui comporte un cristal piézoélectrique recouvert de cuivre ou d'argent (l'épaississement de la couche de corrosion est mesurée par la fréquence décroissante émise par le cristal) (voir le tableau 24). Ce système fournit des relevés en temps réel et sur réseau informatique et permet d'établir le taux d'épaississement de la couche ternie.

L'épaisseur de la couche de corrosion peut également être déterminée par réduction cathodique/électrolytique (Purafil, 1988a). Une fois les échantillons exposés, il faut les faire analyser. Les résultats sont reportés sur l'échelle montrée au tableau 17. La catégorie C4 est dite « légèrement polluée » et correspond plus ou moins à un objectif de préservation d'un an selon le tableau 5. La catégorie C1, dite « extrêmement pure », équivaut à un objectif de préservation de quatre ans pour la plupart des collections.

Objectifs environnementaux basés sur les spécifications

Un objectif environnemental basé sur les spécifications dépend d'une description exacte des exigences techniques concernant le bâtiment, les éléments

TABLEAU 16. CATÉGORIES D'ENVIRONNEMENTS ISA

Plaquette de cuivre (épaisseur : nm)	Catégories ISA			
	G1	G2	G3	GX
	0-29	30-99	100-199	≥200
Concentrations de gaz ($\mu\text{g m}^{-3}$), HR <50 %				
H_2S	<4	<10	<70	≥70
SO_2 , SO_3	<30	<300	<800	≥800
Cl_2	<3	<6	<30	≥30
NO_x	<100	<200	<2000	≥2000
NH_3	<400	<7000	<20 000	≥20 000
O_3	<4	<50	<200	≥200

Source: ISA 1986.

TABLEAU 17. CATÉGORIES D'ENVIRONNEMENTS DE PURAFIL

Corrosion de l'argent			Corrosion du cuivre	
Quantité de corrosion (nm/30 jours)	Catégorie	Classification de la qualité de l'air	Catégorie	Quantité de corrosion (nm/30 jours)
<4	S1	extrêmement pur	C1	<9
<10	S2	pur	C2	<15
<20	S3	propre	C3	<25
<30	S4	légèrement pollué	C4	<35
≥30	S5	pollué	C5	≥35

Source: Purafil 1998a.

amovibles ou les procédures. Cette approche est souvent retenue parce qu'il est plus facile de se conformer aux spécifications associées à des machines, des produits ou des procédures que d'atteindre un objectif environnemental ou de préservation. En revanche, il est difficile d'établir un rapport entre une spécification et un objectif environnemental. La qualité de l'air poussé par le système de CVC au travers des diffuseurs n'est pas nécessairement le paramètre surveillé au milieu d'une salle. Par exemple, une spécification de rendement supérieur du système de CVC, conforme à la catégorie A du tableau 10, ne se traduit pas forcément par des faibles concentrations de polluants dans une salle si le bâtiment présente des fuites et est souvent très achalandé. Heureusement, à l'échelle de l'enquête, les spécifications comme « Le produit ne doit pas contenir de composés sulfureux tel que confirmé par l'essai à l'acétate de plomb. » (*voir l'essai au tableau 26*) ou « Il faut éviter les caoutchoucs vulcanisés, les panneaux en bois fabriqués avec des colles à base d'urée-formaldéhyde et les peintures formées par polymérisation oxydative. » sont très fiables. À l'échelle du système de CVC, il est important de proscrire l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion à base de composés aminés parce que ceux-ci causent la formation d'un dépôt blanc à la surface des objets.

Les objectifs basés sur les spécifications permettent d'éviter certaines circonstances indésirables fréquentes, comme l'utilisation de produits fortement émissifs ou l'infiltration dans le bâtiment de quantités importantes d'air non filtré.

OBJECTIFS MIXTES

Dans la pratique, on peut utiliser en même temps des objectifs de préservation et des objectifs environnementaux différents. Les objectifs basés sur les spécifications combinés aux objectifs environnementaux basés sur les concentrations mesurées de polluants ou sur les méthodes semi-quantitatives peuvent être aussi valables qu'un objectif de préservation unique dans la mesure où il est difficile de vérifier la valeur réelle de l'objectif (en années).

ANALYSE DES COÛTS ET AVANTAGES

Avant d'adopter des mesures pour améliorer la préservation des collections, il faut envisager différentes options. Chacune est assortie d'avantages, de limites et d'incidences budgétaires à court terme, voire à long terme. Après avoir étudié chacune des solutions possibles, dont certaines peuvent éventuellement ne résoudre que certains aspects du problème, il devient possible de prendre une décision finale. Souvent, il

faut faire la part entre ce que le décideur veut réellement, ce qu'est la solution idéale et ce qui peut réellement être accompli avec un minimum d'incertitude.

L'analyse des coûts et avantages est la méthode d'analyse qui sert à évaluer les différents scénarios possibles en fonction de leur coût probable et des avantages qu'ils sont susceptibles de rapporter. Une telle analyse consiste à aborder systématiquement le processus décisionnel. Il existe plusieurs méthodes bien connues pour effectuer une analyse des coûts et avantages; certaines d'entre elles remontent aux années 1950. À titre d'exemple, il y a la méthode classique avancée par Charles Kepner et Benjamin Tregoe (1976) dans *The Rational Manager* (paru à l'origine en 1956). Cette méthode est le fondement de la démarche suivie dans l'étude de cas simple exposée ci-dessous. Il existe bien entendu d'autres méthodes, dont celle de l'arbre décisionnel (Ashley-Smith, 1999; Caple, 2000).

Avant d'entreprendre une analyse approfondie des coûts et avantages aux fins de contrôle des polluants, il faut d'abord décider si les mesures anti-pollution priment sur le contrôle d'autres agents de détérioration, p. ex. la prévention des incendies ou le resserrement des mesures de sécurité. Pour pouvoir mieux évaluer le risque posé par les différents agents de détérioration, on conseille de consulter des principes et des lignes directrices qui ont été adaptés pour la conservation (Ashley-Smith, 1999; Michalski, 1994a; Waller, 1999).

Une analyse des coûts et avantages comporte sept étapes :

1. définir le problème ou le contexte;
2. définir et pondérer les critères;
3. formuler des options et les évaluer par rapport aux critères pondérés;
4. comparer les coûts et les avantages des différentes options et prendre une décision provisoire;
5. évaluer les conséquences négatives de l'option provisoirement retenue;
6. maîtriser les conséquences négatives de la décision finale;
7. surveiller et évaluer de nouveau.

DÉFINITION DU PROBLÈME OU DU CONTEXTE

La première étape consiste à cerner le problème ou le contexte. Pour pouvoir résoudre efficacement un problème, il faut d'abord en décrire les paramètres de façon précise, notamment en répondant aux questions suivantes : quoi, où, quand et comment. Dans l'étude de cas présentée ici, le problème et le contexte sont les suivants : dans une maison historique,

on se préoccupe des dépôts de poussière dans quatre vitrines anciennes, qui présentent des fuites, et dans lesquelles sont exposés en permanence des petits objets fragiles qui sont difficiles à nettoyer.

DÉFINITION ET PONDÉRATION DES CRITÈRES

La définition et la pondération des critères est une étape très importante parce que les critères forment le cadre du processus décisionnel. Les critères découlent habituellement de notions associées aux issues et aux ressources. Dans la mesure du possible, ils doivent refléter les objectifs de l'établissement en ce qui a trait au temps, à l'emplacement et à la quantification du rendement souhaité. Dans le domaine de la gestion des biens culturels, il existe plusieurs principes généralement reconnus (certains d'entre eux sont évoqués à l'encadré 6).

La formulation des critères devrait faire intervenir divers spécialistes (p. ex. conservateurs, éducateurs, restaurateurs et gestionnaires). Pour bénéficier d'une autre perspective, on peut aussi inclure un représentant d'un organisme gouvernemental axé sur la préservation ou le patrimoine. La démarche peut débuter par une séance de remue-méninges pour formuler des critères possibles. Il est probable que bien des bonnes idées seront avancées. Pour éliminer les répétitions, il est bon de classer les suggestions. La démarche devrait aboutir à la formulation de pas plus d'une dizaine de critères.

Une fois les critères énoncés, il faut en évaluer l'importance relative. Lorsque le problème est simple et que le nombre de participants est relativement restreint, cette évaluation peut prendre la forme

ENCADRÉ 6. PRINCIPES DE LA PRÉSERVATION

À chaque problème il existe des réponses différentes selon l'expérience, les valeurs et les principes des gens qui doivent le régler. Dans le cas d'un bien culturel, il existe des principes de base que de nombreuses collectivités du patrimoine ont convenu de prendre en considération.

Intégrité, accès et préservation

Les trois principes liés qui sont associés à un bien culturel sont illustrés à la figure 50 :

- l'intégrité de l'objet doit être respectée dans toute la mesure du possible,
- l'objet doit être présenté (accès) autant que possible,
- l'objet doit être préservé autant que possible (accès pour les générations futures).

Dans bien des cas, il est impossible de satisfaire ces trois conditions en même temps. Selon les circonstances et les personnes en cause, la priorité respective de ces trois principes varie. On ne s'attend pas à une universalité des valeurs. Certaines sociétés s'attachent à un principe en particulier tandis que d'autres optent pour une approche diversifiée.

Interdiction de préserver un objet au détriment des autres

Dans certaines situations, il serait possible de privilégier la préservation d'un objet au détriment des autres. C'est le cas de la préservation et de l'exposition d'objets dans une maison historique. En effet, s'il est désirable pour le mobilier de régler l'HR à 50 % pendant l'hiver dans une maison historique, ce même réglage peut, à la longue, affecter la structure du bâtiment. L'article 5 de la *Charte de la Nouvelle-Orléans* qui a été adoptée par le conseil d'administration de l'American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (AIC) et de l'Association for Preservation Technology International (APT) aborde la difficulté en ces termes : « les mesures favorables à la

préservation soit de la structure historique, soit des objets, à l'exclusion de l'autre, sont à proscrire [traduction] ».

Principe de prudence

Lorsque les conséquences négatives d'une stratégie de contrôle sont incertaines, la prudence exige de songer au risque d'effets nuisibles à court ou à long terme. Lorsque la sensibilité des objets aux polluants aéroportés est méconnue, la prudence veut de partir du principe que les objets sont plus sensibles que la moyenne. Il ne faut pas systématiquement classer comme hypersensibles les objets dont on ignore la sensibilité. En cas d'incertitude, il faut consulter un restaurateur. La stratégie de contrôle doit aussi être envisagée avec prudence. Ainsi, une nouvelle méthode n'est pas forcément à proscrire tant qu'elle ne s'est pas avérée sans danger, mais son incidence éventuelle sur les collections doit être étroitement surveillée. De plus, des stratégies d'atténuation devraient être prévues en cas de conséquences négatives.

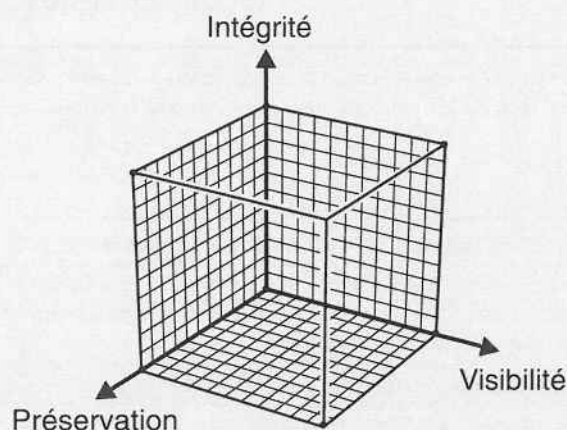


Figure 50. Principes de la préservation.

TABLEAU 18. ANALYSE DES DÉCISIONS

Contexte : mieux protéger contre l'infiltration de polluants externes des petits objets placés dans quatre vitrines d'exposition. Critères (à titre d'exemple)	A Critère pondéré (%) (CR : 0,09) ^a	Option 1 Vitrines qui fuient (statu quo)		Option 2 Vitrines qui fuient avec système de filtration dans la salle		Option 3 Rénovation des vitrines (pour les rendre étanches)		Option 4 Fabrication de nouvelles vitrines étanches	
		B Cote (1 to 5) ^b	C = A x B Cote pondérée	B Cote	C Cote pondérée	B Cote	C Cote pondérée	B Cote	C Cote pondérée
Maintenir la valeur de l'objet (objectif de préservation de 10 ans ou plus)	20	2	40	4	80	5	100	5	100
Accès public (visibilité, éducation...)	20	3	60	3	60	3	60	3	60
Respect de l'intégrité des objets	20	3	60	3	60	3	60	3	60
Respect de l'intégrité du bâtiment historique	20	3	60	3	60	3	60	3	60
Solution à long terme (>10 ans)	7	2	14	4	28	5	35	5	35
Peu d'entretien (>1 an)	6	2	12	3	18	5	30	5	30
Accès facile pour nettoyage, réparations ou surveillance	4	2	8	2	8	2	8	2	8
Modèle pour autres musées (innovation, pratique exemplaire...)	3	2	6	4	12	4	12	4	12
Santé et sécurité du personnel et des visiteurs	indispensable	oui		oui		oui		oui	
Total des cotes (max. 500)			260		326		365		365

Notes :

a : Le rapport de cohérence est issu de la méthode de hiérarchie multicritère. Idéalement, il devrait être inférieur à 0,10.

b : Signification des cotes : 1 : très faible; 2 : faible; 3 : neutre; 4 : bonne; et 5 : très bonne.

TABLEAU 19. ANALYSE DES COÛTS ET AVANTAGES

Contexte : mieux protéger contre l'infiltration de polluants externes des petits objets placés dans les quatre vitrines d'exposition. Options :	Coût estimé (\$ can.)	Priorité		
		Cote pondérée		Classement
		(max. 500)	(%)	
1. Statu quo : on conserve les quatre vitrines qui fuient	0	260	52	3
2. On conserve les vitrines qui fuient et on ajoute un système de filtration dans la salle (filtres à changer deux fois par an, coût de l'alimentation électrique)	2000 + 150/an	326	65	2
3. Rénovation des quatre vitrines qui fuient	1000	365	73	1
4. Fabrication de quatre vitrines neuves	5000	365	73	1

d'un échange non structuré sur les diverses options, dans l'intention de parvenir à un consensus. Quand le problème est complexe et qu'il peut avoir une incidence profonde sur le budget ou sur le but visé par l'établissement, on recommande d'employer la méthode de hiérarchie multicritère (MHM). La MHM est un modèle mathématique qui intègre et mesure tous les éléments tangibles et intangibles, les paramètres mesurables sur le plan quantitatif et les critères qualitatifs. Élaboré au début des années 1970 par Thomas Saaty (1990), le modèle calibre les critères en fonction d'une échelle numérique comportant une séquence de paires de critères comparées. Un programme MHM simple est fourni au site Web de l'ICC (ICC, 2003). On demande aux participants de ranger les critères en ordre d'importance, sur une échelle de 1 à 9, en les comparant les uns aux autres. Le modèle mathématique aboutit donc à une pondération relative de chaque critère. La somme est normalisée à 100 %. Le modèle fournit aussi un rapport de cohérence qui reflète à quel point l'évaluation comparative des critères a été faite de façon cohérente. Lorsque ce rapport est faible, c'est que la cohérence est bonne. Avant d'entreprendre cette étape, il est important de confirmer que tous les participants saisissent le sens de chacun des critères proposés.

Des exemples de critères pondérés sont fournis au tableau 18. Le critère se rapportant à la santé et à la sécurité du personnel et des visiteurs doit obligatoirement compter parmi ceux retenus. Si une option ne satisfait pas ce critère obligatoire, elle doit être rejetée. Dans l'étude de cas présentée ici, le critère obligatoire est facilement respecté. Les mêmes critères peuvent être retenus pour effectuer plusieurs analyses des coûts et avantages différentes — à condition qu'ils demeurent conformes aux issues visées — même s'il faut parfois les pondérer différemment. Par exemple, dans le cas d'une exposition, le critère d'esthétique a plus d'importance que lorsque la décision porte sur des objets destinés à être mis en réserve.

FORMULATION DES OPTIONS ET ÉVALUATION PAR RAPPORT AUX CRITÈRES PONDÉRÉS

Face à un problème précis, il faut proposer et évaluer diverses options (mesures préventives ou d'urgence découlant de la stratégie de contrôle). Cette étape ne relève pas forcément des personnes qui ont défini et pondéré les critères.

La démarche débute par une séance de remuement pour formuler des options et les ramener à un nombre raisonnable. Une fois les options choisies, il faut les évaluer individuellement par

rapport aux critères pondérés. On procède option par option, de la façon suivante :

- chaque participant évalue l'option par rapport au premier critère en lui attribuant une cote de satisfaction de 1 à 5 (1 correspondant à très peu satisfaisante et 5, à très satisfaisante). La cote qu'attribue le groupe à l'option, par rapport au premier critère, peut être décidée par consensus ou en faisant la moyenne des cotes attribuées par chacun des participants. Dans certains cas, il peut être nécessaire de faire appel à un expert pour une évaluation particulière.
- La cote attribuée par le groupe à l'option, par rapport au premier critère, est ensuite multipliée par le facteur de pondération accordé au premier critère pour obtenir une cote pondérée.
- L'option est ensuite évaluée en fonction de tous les autres critères, en procédant de la même façon, pour obtenir une cote pondérée par rapport à chacun des critères.
- Enfin, on additionne les cotes pondérées par rapport à chacun des critères afin de parvenir à la cote finale attribuée à l'option.

Cette méthode permet d'attribuer une cote numérique à chacune des options proposées. Un exemple concret de la démarche est fourni dans notre étude de cas.

Dans le cas des vitrines qui fuient, on dégage quatre options : le statu quo (on conserve les vitrines qui fuient); on installe un appareil de filtration portatif dans la salle; on rénove les vitrines qui fuient; on fabrique des vitrines neuves. Les cotes accordées à chaque option sont présentées dans le tableau 18. Elles sont reprises dans le tableau 19, où elles sont exprimées sous forme de pourcentages et classées en ordre.

ÉVALUATION DU MÉRITE DE CHAQUE OPTION ET PRISE D'UNE DÉCISION PROVISOIRE

Après avoir évalué les options par rapport aux critères, on peut conclure que la meilleure solution est celle qui a obtenu la cote la plus élevée. Dans certains cas, il s'agit simplement du « moindre mal ». À ce stade, la solution retenue est une décision provisoire. Il faut maintenant en étudier soigneusement la faisabilité du point de vue de ses coûts directs et indirects (entretien, électricité, etc.). Dans le cas de l'exemple fourni au tableau 19, les options 3 et 4 ont obtenu la même cote, mais il coûte moins cher de rénover les vitrines existantes que d'en acheter des neuves. Lorsque l'une des meilleures solutions est aussi la moins coûteuse, la décision est simple. Cependant, quand la meilleure solution est aussi

la plus coûteuse, les décideurs doivent voir si la meilleure option consiste à trouver les fonds nécessaires pour la financer. Il se peut alors que la solution qui s'est classée au deuxième ou au troisième rang constitue une alternative convenable (il ne faut pas oublier que la cote finale dépend des critères retenus et de la manière dont ils ont été pondérés; si d'autres critères sont retenus ou s'ils sont pondérés différemment, la meilleure solution peut s'avérer toute autre). De surcroît, cette démarche comporte un autre aspect important que les participants ne doivent pas perdre de vue : même après une analyse très poussée, il peut arriver qu'une personne à un échelon hiérarchique supérieur opte pour une solution entièrement nouvelle. Pour éviter cette situation pour le moins frustrante, il est bon d'inclure dans la démarche d'analyse des coûts et avantages tous les décideurs susceptibles d'avoir voix au chapitre.

ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES NÉGATIVES DE L'OPTION PROVISOIREMENT RETENUE

Avant de mettre en œuvre les décisions prises, il est important d'en évaluer les risques possibles, p. ex. des problèmes liés aux personnes, à l'organisme, aux influences externes, aux installations ou aux moyens financiers. Ces problèmes doivent être évalués en fonction de leur gravité et de leur probabilité, comme le montre le tableau 20. Pour chaque conséquence négative possible, il faut envisager des stratégies d'atténuation. Dans l'étude de cas présentée ici, les conséquences négatives possibles incluent le risque que les vitrines ne soient pas suffisamment étanches et le risque de concentrations élevées de polluants d'origine interne dans les vitrines. Pour atténuer ces risques, il faudrait donc surveiller l'étanchéité à l'air des vitrines, identifier les produits potentiellement émissifs et, éventuellement, placer des sorbants dans les vitrines.

ATTÉNUATION DES CONSÉQUENCES NÉGATIVES POSSIBLES DE LA DÉCISION FINALE

Des stratégies d'atténuation convenables doivent être mises en œuvre pour prévenir ou minimiser l'incidence des conséquences négatives de la décision finale, le cas échéant.

SURVEILLANCE ET RÉÉVALUATION

La surveillance régulière des avantages réels de l'option retenue est nécessaire parce qu'il y a souvent un écart entre les issues escomptées et les issues réelles. Si la solution retenue ne s'avère pas satisfaisante, il faut alors envisager de réévaluer le problème ou le contexte.

ÉVALUATION DES IMPONDÉRABLES

L'exemple présenté ici pour expliquer comment se déroule une analyse des coûts et avantages est relativement simple et aboutit à une option clairement réalisable. En réalité, il est rare qu'un processus décisionnel aboutisse à un résultat aussi net. Même lorsque les options possibles sont évaluées par des personnes très compétentes et perspicaces, il demeure toujours une certaine incertitude puisque toute mesure expérimentale ou jugement suppose une certaine incertitude. Dans le cas des vitrines qui fuient, si l'on estime à $\pm 0,5$ l'erreur ou l'incertitude associée à chaque cote de satisfaction (colonne B du tableau 18), la cote totale pondérée de l'option du statu quo (260 ± 50) ne serait pas très différente de la cote totale pondérée de l'option de rénovation des vitrines (365 ± 50). En supposant le statu quo inacceptable et que des améliorations sont indispensables, il faut formuler des nouvelles options ou des critères pondérés ou il faut prendre en compte l'évaluation des options retenues (ou des incertitudes) en fonction des critères.

GESTION DE LA PRÉSERVATION DES COLLECTIONS

La figure 51 résume l'information présentée dans cet ouvrage. Elle illustre les rapports mutuels entre l'évaluation des risques, les stratégies de contrôle et l'analyse des coûts et avantages et leur incidence sur le niveau de protection de la collection. Elle peut servir à analyser l'incidence du changement d'un élément sur les autres. L'analyse peut débuter par un but, comme la préservation des objets, les objectifs environnementaux ou par une spécification (stratégie de contrôle), et aboutir à la considération de l'incidence des coûts et avantages sur un élément défini ou une décision sur les objectifs. Ces objectifs de préservation ou environnementaux, et leur raison d'être, devraient être intégrés à la politique de l'établissement en matière de préservation. Des exemples d'aspects susceptibles d'être analysés sont fournis ci-dessous.

- Compte tenu de l'objectif de préservation fixé (p. ex. un effet nuisible observable tous les 10 ans sur une collection d'objets métalliques), quelles sont les concentrations maximales admissibles de polluants? Quelles stratégies de contrôle peut-on adopter pour atteindre l'objectif de rendement? Sont-elles réalisables compte tenu des installations présentes dans le bâtiment? Les ressources nécessaires sont-elles disponibles? Est-il possible d'atteindre l'objectif de préservation requis?
- Compte tenu de concentrations données de certains principaux polluants, quel est l'objectif

de préservation possible pour une collection mixte? Quels objets courent un risque de détérioration accru?

- Combien de soins doivent être administrés aux objets les plus précieux, par rapport à la collection dans son ensemble? Quels devraient être leurs objectifs de préservation respectifs et comment pourrait-on les atteindre?
- Comment l'objectif de préservation pour la collection sera-t-il amélioré par la remise à neuf d'un aspect du bâtiment ou de l'équipement? L'avantage est-il suffisant pour justifier le coût de l'investissement?

Quoiqu'il soit possible d'effectuer maintes analyses, il est important de mettre l'accent sur l'amélioration de la préservation de la collection et d'identifier les objets qui exigent une intervention prioritaire. À cet égard, on peut consulter l'indice de priorité des mesures de préservation; cet indice est basé sur la valeur des objets et sur le risque connexe de détérioration. L'encadré 7 contient des précisions sur cet indice. Pendant l'analyse des coûts et avantages, le fait d'accorder une pondération plus

forte aux critères qui se rapportent aux objets qui exigent une intervention prioritaire aboutira à l'amélioration la plus significative de la préservation.

La CSENO et la DMENO sont, dans le domaine de la conservation, des outils nouveaux qui permettent de quantifier le risque d'effets nuisibles que court un objet à cause des polluants aéroportés ou autres agents de détérioration. Ces outils sont utiles pour définir les objectifs de préservation ou environnementaux et peuvent fortement justifier le besoin d'apporter des améliorations. Les analyses des coûts et avantages peuvent simplifier le choix de la stratégie de contrôle qui se prête le mieux à l'atteinte d'un nouvel objectif de préservation ou environnemental. Dans le cas des collections d'objets de valeur comparable, le niveau de préservation associé à tous les agents de détérioration devrait également être comparable.

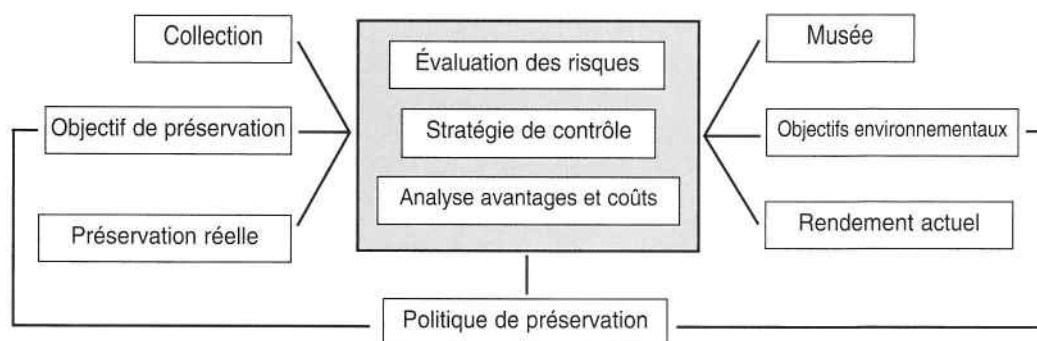


Figure 51. Gestion de la préservation des collections.

TABLEAU 20. ANALYSE DES CONSÉQUENCES NÉGATIVES POSSIBLES

Risque défini selon l'option n° 3 : rénovation des quatre vitrines qui fuient	Gravité (1 à 5) ^a A	Probabilité (1 à 5) ^a B	Priorité A x B	Atténuation
Rénovation inadéquate, les vitrines ne sont pas suffisamment étanches	5	3	15	Mesurer le taux de fuite; il devrait être inférieur à un renouvellement d'air complet par jour et les vitrines ne devraient pas présenter de fentes visibles.
Rénovation non effectuée faute de temps ou de moyens	4	1	4	Prévoir un budget et affecter le personnel nécessaire.
Condensation dans les vitrines	2	1	2	Introduire un sorbant contre l'humidité dans les vitrines.
Fortes concentrations de polluants de source interne dans les vitrines	3	3	9	Évaluer le risque que des effets nuisibles se produisent en raison des gaz dégagés par les produits se trouvant dans les vitrines. Au besoin, assécher les vitrines ou utiliser des sorbants. Retirer les objets qui sont le plus menacés.
Perturbation de l'exposition	1	5	5	Rénover une vitrine à la fois. Un jour de fermeture, vider une vitrine et la transporter à l'atelier pour la réparer.

Note: a. Cotes : 1 : très faible; 2 : faible; 3 : moyenne; 4 : forte; et 5 : très forte.

ENCADRÉ 7. INDICE DE PRIORITÉ DES MESURES DE PRÉSERVATION

Pour décider quels objets exigent une intervention prioritaire, on propose d'employer une échelle logarithmique basée sur la valeur empirique d'un objet (ou d'une collection) multipliée par le taux de détérioration. La valeur d'un objet ou d'un groupe d'objets est classée sur une échelle de 1 à 100 dont 100 est la valeur maximale. Le taux de détérioration est basé sur le nombre d'effets nuisibles causés par un agent de détérioration par

période de 100 ans, dans un milieu ou un contexte spécifique. On reconnaît aussi des valeurs intermédiaires entre les décennies tant pour la valeur que pour le taux de détérioration. Un objet qui présente un taux de détérioration (ou CSENO) très faible mérite donc une cote de 1. Dans de très rares cas, la cote de valeur ou du taux de détérioration peut être soit inférieure à 1 soit supérieure à 100, mais elle ne peut jamais être égale à zéro.

Voici des exemples d'application de l'indice de priorité.

Exemple 1.

Un objet a été classé comme comptant parmi les plus précieux des objets que possède un musée. Sa valeur mérite donc la cote 100. Le taux de détérioration associé à un polluant a été estimé à un effet nuisible tous les 10 ans, soit 10 effets nuisibles sur une période de 100 ans. Le produit est donc égal à 1000 (100 x 10) et l'indice est égal à 3 (le logarithme de 1000 est 3). Lorsque l'indice est appliqué à différents objets ou à la collection, il devrait en ressortir une tendance quant aux objets qui exigent une intervention prioritaire par souci de préservation. Les objets qui obtiennent un indice de 3 (cote de 1000) ou plus exigent beaucoup d'attention tandis que ceux dont l'indice est de 1 (cote de 10) ou moins ne devraient pas être considérés comme exigeant une intervention prioritaire.

Valeur de l'objet (valeur max. 100)		Taux de détérioration (nbre d'effets nuisibles/100 ans)		Cote (Valeur x risque)		Indice (log (cote))
100		100				
10	x	10	=	1000	→	3
1		1				

Exemple 1. Objet exposé à un polluant dans un milieu précis.

Exemple 2.

Cet exemple illustre l'application de l'indice de priorité à la prise en considération de plus d'un agent de détérioration. Le taux ou risque de détérioration de l'objet est évalué différemment selon les différents agents. La définition des effets nuisibles (ou perte de valeur) associée à chaque agent et l'évaluation du taux de détérioration dans un milieu précis ne sont pas évidentes et il est préférable de faire appel à des spécialistes. Dans cet exemple fictif, l'indice associé à chaque agent montre que, dans ce contexte précis, l'objet doit avant tout être mieux protégé contre les dommages causés par l'eau avant d'améliorer la protection contre les polluants. L'indice total (log (cote totale)) peut servir à comparer le besoin de préservation de l'objet à l'étude par rapport à d'autres.

Valeur de l'objet		Agents de détérioration	Taux de détérioration		Cote		Indice
		forces physiques	10		300		2,5
		vol, vandalisme, perte involontaire	3		90		2
		feu	3		90		2
		eau (liquide)	30		900		3
		insectes, animaux nuisibles, parasites	10		300		2,5
		polluants	10		300		2,5
		rayonnements	10		300		2,5
		température contre-indiquée	1		30		1,5
		HR contre-indiquée	10		300		2,5
30	x			=		→	
					Cote totale		Indice total
					2610	→	3,4

Exemple 2. Objet exposé à divers agents de détérioration dans un contexte précis.

La surveillance constitue un volet important de la stratégie de contrôle. Elle peut fournir de l'information sur l'environnement, l'état de préservation des collections ou la cause des dommages constatés, le cas échéant. Les méthodes de surveillance de la qualité de l'air dans les musées ne sont pas normalisées pour le moment et ne sont pas largement utilisées. Par le passé, le manque de sensibilité et le coût élevé de certaines techniques ont entravé l'exécution d'une surveillance à grande échelle. De surcroît, il n'existait pas de corrélation évidente entre les concentrations de polluants et l'incidence sur la collection. La situation devrait s'améliorer à l'avenir. Le présent chapitre contient des lignes directrices sur les enquêtes générales et spécifiques, l'accent étant mis sur les méthodes d'enquête plutôt que sur les méthodes d'essai.

MÉTHODE D'ENQUÊTE

Il existe maints polluants et autant de méthodes pour les qualifier et les quantifier. Par contre, il n'existe pas de méthode ou d'essai unique qui suffise à brosser un portrait complet de la situation. Comme les analyses peuvent être très coûteuses et exiger beaucoup de temps, il est important de mener une enquête* sur la nature des dommages et les sources possibles de polluants avant de mettre en œuvre un programme de surveillance pour réduire autant que possible le nombre d'éléments à surveiller. La surveillance devrait cibler les polluants (principaux) les plus probables ou

les plus critiques. On conseille de consulter un expert en matière de qualité de l'air intérieur ou un scientifique en conservation pour décider des polluants à surveiller et des méthodes à utiliser. En dépit du fait qu'elle peut être source de données éclairantes, la surveillance n'est pas toujours obligatoire.

Des nouvelles méthodes de surveillance remplaceront bientôt celles mises au point dans les années 1980 et 1990. Cependant, peu importe les méthodes utilisées, le protocole d'enquête et le format du rapport qui en résulte devraient être normalisés. À titre indicatif, le tableau 21 contient des précisions sur les différentes étapes d'une enquête. Ce protocole peut être utile pour comparer les concentrations de polluants d'un emplacement à l'autre ou dans le cadre d'enquêtes futures.

TECHNIQUES DE SURVEILLANCE

Diverses techniques de surveillance, regroupées en fonction de la durée d'échantillonnage typique (de quelques secondes pour les relevés directs à quelques semaines), sont présentées au tableau 22. Le tableau rend compte des résultats escomptés et des limites dans le cas de chaque technique, selon les différentes durées d'échantillonnage. Les tableaux 23 et 24 contiennent des précisions sur les diverses techniques de surveillance, avec renvois. Ces tableaux recensent des techniques de quantification des concentrations de certains polluants et celles qui se prêtent à une

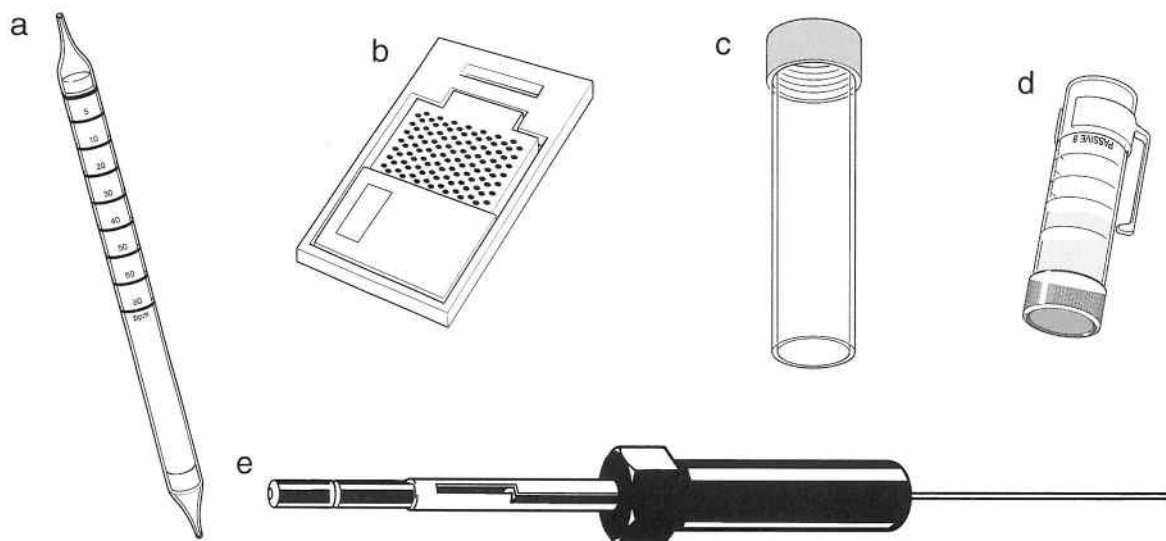


Figure 52. Analyses quantitatives. (a) : tube Dräger; (b) : échantillonneur à diffusion; (c) : échantillonneur tubulaire à diffusion; (d) : échantillonneur à réactif liquide; (e) : seringue pour MEPS.

évaluation semi-quantitative d'un polluant ou d'un groupe de polluants. Les figures 52 et 53 illustrent certaines de ces méthodes quantitatives et semi-quantitatives. Certaines techniques semi-quantitatives conviennent parfaitement à des fins précises et sont facilement accessibles (p. ex. les indicateurs d'acidité A-D qui permettent de mesurer la teneur critique en acide libre des pellicules en acétate de cellulose).

Avant d'opter pour des techniques de surveillance coûteuses, il faut envisager l'emploi de méthodes peu coûteuses basées sur une durée d'échantillonnage courte (de quelques minutes à quelques jours) pour effectuer une évaluation préliminaire de la présence de concentrations anormales de polluants d'origine intérieure. Le choix final d'une technique de surveillance est souvent fonction de paramètres comme les concentrations escomptées de polluants, le nombre de sites et le temps dont on dispose. Une lecture attentive des tableaux 21 à 24 s'impose avant de prendre une décision en la matière.

La surveillance dans les petites enceintes n'est pas toujours facile en raison du volume d'air limité pour l'échantillonnage. L'ouverture de l'enceinte perturbe les concentrations de polluants et il faut donc les laisser revenir à leurs concentrations à l'équilibre avant de prélever les échantillons. Selon les produits présents et le volume dans l'enceinte, il faut compter entre quelques heures et quelques jours pour parvenir à 90 % de la concentration d'équilibre. Le fait de sauter cette étape cause une sous-estimation des concentrations réelles de polluants.

ENQUÊTE GÉNÉRALE

Une enquête générale peut intervenir dans les mesures de prévention en permettant de cerner le rendement général du bâtiment, des enceintes et des procédures. À titre préliminaire, l'information fournie dans les tableaux 1, 4 et 6 peut donner une estimation des concentrations de polluants à l'extérieur, dans une salle ou dans les enceintes et, éventuellement, permettre de fixer des objectifs de préservation

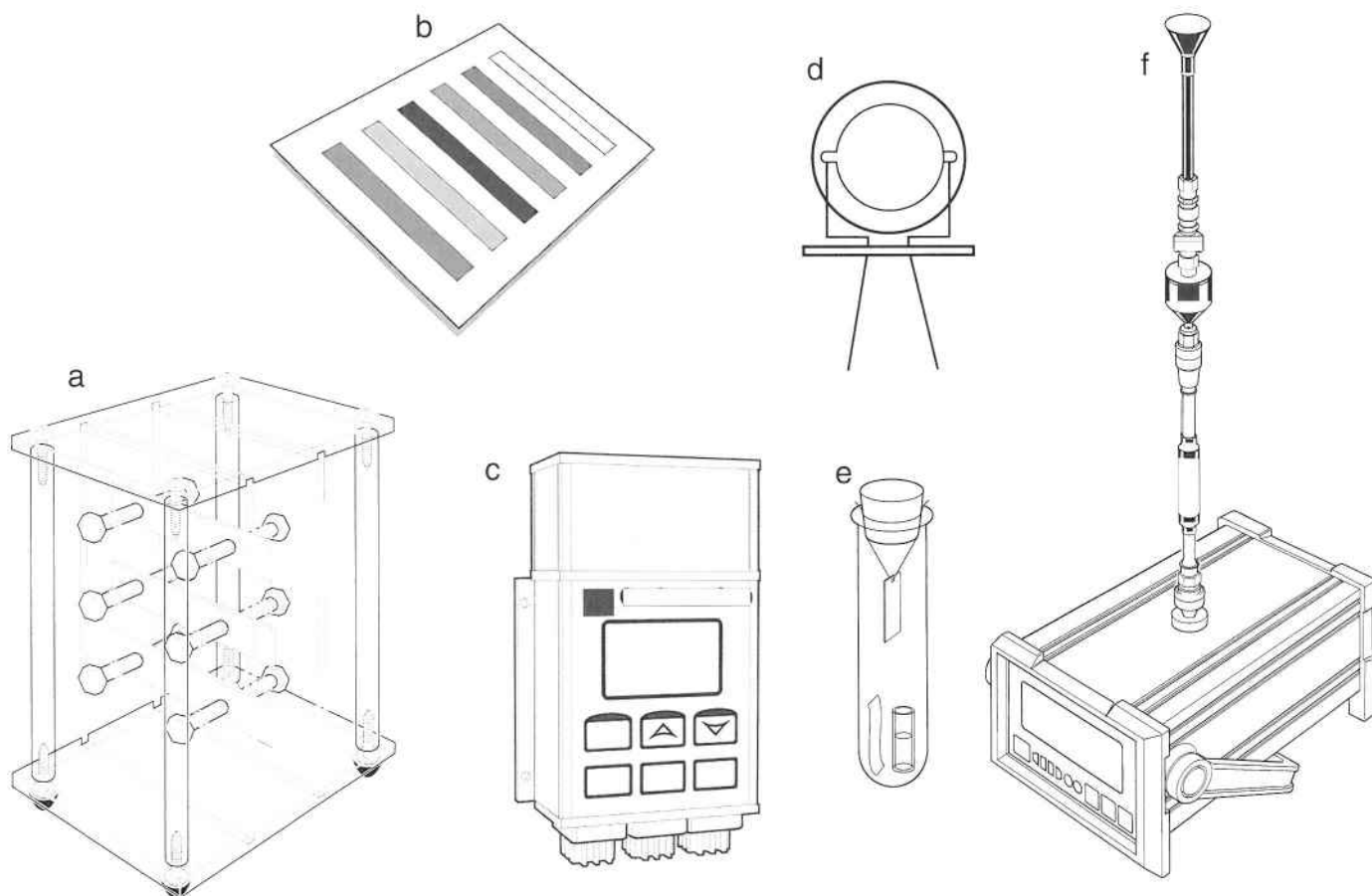


Figure 53. Analyses semi-quantitatives. (a) : plaquettes métalliques; (b) : dosimètre recouvert de tempera à l'œuf; (c) : cristal piézoélectrique recouvert de métal (Onguard); (d) : détecteur à cristal piézoélectrique; (e) : essai de corrosion accéléré (essai Oddy); (f) : analyseur de particules à observation directe (analyse quantitative).

possibles. On peut aussi obtenir les concentrations de polluants extérieurs auprès des administrations publiques en matière d'environnement. Bon nombre de ces organismes fournissent les concentrations et les tendances quotidiennes des polluants dans les grandes villes, données qui sont souvent publiées sur le Web. Par contre, les différents organismes se servent de différents indices de la qualité de l'air pour quantifier les diverses concentrations de polluants. Parce que ces indices de la qualité de l'air ne sont pas normalisés, un examen attentif des méthodes de calcul s'impose (Hewings, 2000). Heureusement, cette situation est appelée à changer bientôt car les indices de la qualité de l'air utilisés en Amérique du Nord sont en voie d'être normalisés. Les concentrations de polluants relevées au poste de surveillance le plus proche seront vraisemblablement différentes de celles relevées à l'emplacement du musée; par conséquent, les concentrations de polluants déclarées ne constituent qu'une estimation des concentrations aux abords du musée. Les indices comprennent de l'information sur les concentrations de certains principaux polluants, ce qui permet d'en estimer les concentrations non seulement à l'extérieur du musée, mais aussi à l'intérieur en appliquant la règle des « 100, 10, 1 » (voir p. 7). On peut aussi estimer les concentrations intérieures en consultant l'annexe 4. En raison du coût élevé des mesures de surveillance approfondie, bien des musées se contentent de ces concentrations approximatives.

Au moment de l'évaluation générale du bâtiment, il faut tenir compte des polluants à l'extérieur et à l'intérieur. Le dioxyde d'azote (NO_2) et les particules fines ($\text{PM}_{2,5}$) se prêtent bien à la surveillance. En général, les concentrations de NO_2 à l'extérieur restent fortes par rapport à celles de dioxyde de soufre et, à l'intérieur, le NO_2 n'a pas la même capacité d'adsorption par la surface des produits. Son infiltration dans le musée est donc facile à vérifier. La surveillance des particules dont le diamètre est inférieur à $2,5 \mu\text{m}$ permet de vérifier l'efficacité réelle du système de filtration et de l'enveloppe du bâtiment. Lorsqu'il y a lieu, on peut inclure l'ozone dans les polluants visés par les mesures de surveillance. Les concentrations d'ozone sont généralement faibles au Canada pendant l'hiver, mais l'été, on observe une augmentation des alertes à l'ozone dans le corridor Québec-Windsor. Le sulfure d'hydrogène (H_2S) devrait être surveillé si le bâtiment abrite une collection d'objets métalliques précieux. Parce qu'elle a une si forte incidence sur le taux de détérioration (même si elle n'est pas le polluant principal), la concentration de vapeur d'eau, exprimée sous

forme de pourcentage du taux d'HR, devrait être incluse systématiquement dans les enquêtes. Le moment choisi pour prélever les échantillons peut avoir une incidence énorme sur les résultats. Par exemple, dans les bâtiments neufs, les mesures de surveillance sont souvent mises en œuvre avant l'arrivée des collections. Or les concentrations de polluants extérieurs sont toujours plus fortes dans une salle vide que dans une salle qui abrite des collections (la différence est due à la présence ou à l'absence de grandes quantités de produits sorbants dans la salle). Le climat et les activités humaines influencent aussi les concentrations de polluants : les concentrations d'ozone peuvent être très fortes l'après-midi lorsqu'il fait soleil et les émissions de polluants par les véhicules augmentent à l'heure de pointe, soit tôt le matin et en fin d'après-midi. Pendant les périodes de forte fréquentation (les fins de semaine ou le milieu de l'après-midi dans bien des musées), le nombre élevé de visiteurs peut provoquer le dégagement de quantités importantes de vapeur d'eau, de sulfure d'hydrogène et d'ammoniac. Ces variations sont également saisonnières. La technique la plus conservatrice consiste à prélever les échantillons lorsque les conditions sont les pires, c'est-à-dire lorsqu'on peut s'attendre à relever les concentrations les plus fortes.

Il est parfois intéressant de connaître les fluctuations quotidiennes de certains principaux polluants ainsi que leurs concentrations moyennes à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment en une semaine. La surveillance des fluctuations quotidiennes est source de données sur l'efficacité du système de CVC à l'égard du contrôle des cycles d'ozone et sur l'incidence des nombres élevés de visiteurs tandis que les concentrations hebdomadaires et mensuelles de polluants donnent une indication du respect des objectifs environnementaux. Les concentrations saisonnières sont aussi importantes, particulièrement dans le cas de la vapeur d'eau.

Il peut aussi être nécessaire de surveiller le milieu dans les enceintes. Si l'enceinte renferme des objets sensibles à l'acide acétique, il faut exercer une surveillance étroite de ce polluant. De même, lorsqu'une enceinte renferme une collection d'objets hypersensibles (tableau 15) ou un objet qui présente un intérêt spécial ou une valeur particulière, tous les polluants susceptibles d'intervenir doivent faire l'objet d'une surveillance, de même que l'état de la collection ou de l'objet en question. Il faut surveiller les fluctuations quotidiennes du taux d'HR dans l'enceinte, mais il est rarement nécessaire de mesurer les fluctuations quotidiennes des autres polluants

dans la mesure où les concentrations et les tendances à long terme sont plus éclairantes.

Dans le cadre d'une enquête générale, toute la collection et certains objets en particulier sont source d'information importante sur l'état général du bâtiment en matière de préservation. Les dommages observés doivent être signalés. S'il y a lieu d'en isoler la cause, il faut alors effectuer une enquête spécifique.

ENQUÊTE SPÉCIFIQUE

L'enquête spécifique cible une préoccupation précise (comme des dommages particuliers ou des fortes concentrations de polluants), l'identification d'une source particulière de polluants ou le besoin de quantifier un changement dans le milieu. Les dommages typiques que l'on soupçonne causés par des polluants sont énumérés au tableau 25. Les dommages peuvent aussi être causés par des agents de détérioration agissant seuls ou en combinaison avec des polluants. Certains types de dommages signalés dans le tableau 25 sont si bien connus que la prise de mesures supplémentaires est inutile. Pour éviter de gaspiller du temps et de l'argent, les enquêtes spécifiques devraient être limitées aux situations dans lesquelles des dommages inhabituels se sont produits alors que les conditions ambiantes n'ont pas changé.

La surveillance est souvent demandée après que l'on a constaté des dommages. Cependant, la surveillance n'est pas toujours source d'information utile sur la cause des dommages. Parfois, on ignore exactement à quel moment les dommages sont survenus. Les conditions ambiantes au moment de la surveillance peuvent être différentes de celles qui ont causé les dommages. Si les concentrations de polluants qui ont causé les dommages ne peuvent être confirmées, on peut cependant généralement en isoler la source. La nature des activités (passées), des produits et des objets qui entourent l'objet endommagé, de même que la nature des dommages, peuvent fournir des indications précieuses. Dans certains cas, il est possible de prélever un échantillon à même la surface altérée et de le faire analyser. Les résultats de l'analyse peuvent ensuite permettre d'isoler le principal polluant en cause. Il est aussi avisé de consulter les tableaux 1 à 4 pour connaître les sources et les concentrations typiques de polluants ainsi que les réactions que ceux-ci peuvent causer. Même si ces tableaux et le tableau 25 ne suffisent pas à éclairer

la cause des dommages observés dans chaque cas, ils peuvent cependant donner une indication des polluants qui sont le plus vraisemblablement en cause. Et, comme dans le cas d'une enquête générale, le taux d'HR doit aussi être surveillé.

Dans le cas d'objets situés dans une salle, les dommages causés par des polluants d'origine extérieure se manifestent généralement lentement (au bout de quelques années ou de quelques décennies). La probabilité de dommages dus à d'autres agents de détérioration est plus forte. Cependant, dans quelques cas, les dommages peuvent survenir en quelques mois en raison d'une forte concentration de nouveaux produits émissifs (y compris des produits de nettoyage liquides), de la présence de polluants déposés au préalable (comme les résidus de produits de nettoyage ou les sels imprégnés) ou parce que des collections émissives sont placées dans des salles qui ne sont pas suffisamment ventilées. Dans une enceinte, les dommages sont principalement causés par les émissions dégagées par des nouveaux produits ou par les objets et ils peuvent se produire en quelques mois. Les moisissures peuvent croître facilement dans des enceintes fraîches et humides, lorsque le taux d'humidité n'est pas contrôlé.

S'il est nécessaire d'identifier la nature des produits ou la présence de leurs composants nuisibles, on peut avoir recours à des méthodes quantitatives et à des méthodes semi-quantitatives. Par exemple, la présence de soufre peut être confirmée par l'essai à l'acétate de plomb décrit dans le tableau 26. Certaines méthodes communément utilisées pour tester les peintures et d'autres types de produits sont détaillées dans le Bulletin technique n° 21 de l'ICC, intitulé *Revêtements pour l'exposition et la mise en réserve dans les musées* (Tétreault, 1999a).

La surveillance englobe aussi la vérification ou la quantification de certains aspects physiques, comme l'étanchéité à l'air des enceintes ou l'efficacité des filtres placés dans un système de CVC ou dans une enceinte. Un examen des méthodes employées pour mesurer l'étanchéité à l'air est fourni à l'annexe 7, mais il n'existe pas encore de mesure normalisée de l'efficacité des filtres, particulièrement des filtres à gaz. Toutefois, des méthodes qui permettent de voir si les filtres ont besoin d'être remplacés sont abordées à la section « Contrôle dans le bâtiment ou les salles ».

TABLEAU 21. PROTOCOLE D'ENQUÊTE SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

Avant l'examen	• Vérifier si l'examen est susceptible de satisfaire les attentes du client compte tenu du temps, des ressources et des techniques disponibles. • Expliquer les résultats attendus de l'examen pour prévoir les interprétations et actions qui pourraient résulter.
Examen préliminaire	• Effectuer un bref examen des lieux pour cerner les sources de polluants externes (circulation routière, industries), les activités se déroulant dans les salles, la nature des matériaux présents (produits et objets) dans les enceintes (voir les tableaux 1 à 4 et l'annexe 4A). Évaluer l'étanchéité à l'air des structures, repérer les sorbants et, s'il y a lieu, définir les spécifications du système de CVC ayant une incidence sur la qualité de l'air (consulter les tableaux 9, 10 et 11). En cas de dommages, voir le tableau 25 pour faire le lien entre les objets endommagés et l'un des recours les plus communs, ainsi que pour recueillir de l'information sur la durée d'exposition possible. Une enquête basée sur une bonne connaissance des sources de polluants, des concentrations typiques et des caractéristiques physiques et chimiques du milieu ainsi que sur l'étude des dommages les plus souvent signalés fournit généralement suffisamment d'information pour estimer les objectifs environnementaux ou pour résoudre un problème précis à la satisfaction des clients, sans exiger de surveillance ultérieure.
Échantillonnage	Généralités • Faire des vérifications ponctuelles, dans les pires conditions possibles : lorsque la salle est bondée en début d'après-midi, avec les enceintes closes pendant au moins une journée avant le prélèvement des échantillons. Il faut parfois effectuer une surveillance exploratoire à court terme à différents endroits pour décider du besoin et des emplacements qui se prêtent le mieux à un programme de surveillance complet. • Mesurer d'abord les concentrations de NO₂, de particules et d'acide acétique (dans les enceintes). Il peut être utile de connaître les variations quotidiennes de la concentration de quelques polluants clés ainsi que les concentrations moyennes étalées sur quelques semaines à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. Si la surveillance vise des collections précises, mesurer les polluants qui posent le plus de risque pour ces collections (voir les tableaux 3 et 15). • Dans la mesure du possible, la mesure ou l'échantillonnage des polluants doit se faire à l'extérieur et dans la salle, au même moment, afin de pouvoir comparer les relevés. Il est préférable d'étaler l'échantillonnage sur une semaine pour minimiser les fluctuations ou pour améliorer la limite de détection. Les concentrations de polluants mesurées avec des appareils de surveillance direct devraient être consignées continuellement ou relevées au moins toutes les quatre heures. S'il y a lieu, envisager de répéter la mesure des concentrations de polluants à l'extérieur et dans les salles à chaque saison de l'année ainsi qu'en cas de variation de l'HR et de la température. À l'extérieur • Les emplacements voisins des entrées d'air du système de CVC ainsi que les endroits qui sont à l'abri de la pluie et du vent se prêtent à l'échantillonnage. Pour éviter les dépôts de poussière, si le problème risque de se poser, tenir les échantillonneurs à l'envers. Songer à retenir trois emplacements et à prélever trois échantillons ou mesures. Prendre note des conditions météorologiques pendant la prise de mesures (par ex. direction des vents dominants, force du vent, derniers jours de pluie, HR, température, période de smog, date). Dans la salle • Dans le cas d'une évaluation générale, choisir les salles selon leurs différentes fonctions, par exemple réserve à accès limité, salle d'exposition très fréquentée et entrée principale. Prélever les échantillons à proximité de l'objet visé. Éviter les coins morts ou les endroits où la circulation d'air est élevée. À chaque emplacement, songer à prélever trois échantillons ou mesures. Prendre note des principaux matériaux présents dans la salle (type de revêtement de sol, étagères, etc.); prendre note du type de collection et des activités en cours dans la salle pendant l'échantillonnage, par exemple visites de groupes, cérémonies se déroulant en soirée, journées de fermeture du musée. Dans les enceintes • Pour obtenir un relevé de la plus forte concentration possible de polluants présente dans l'enceinte, celle-ci devrait rester fermée pendant au moins une journée avant l'échantillonnage. Prélever les échantillons aussi près que possible de l'objet visé et éviter les coins morts. Songer à faire trois échantillonnages ou relevés par enceinte. Prendre note du type de collection et des produits placés dans l'enceinte.
Expédition et rangement des échantillons	• Bien sceller les contenants dans lesquels sont placés les échantillons et identifier ceux-ci clairement. Suivre les indications du fabricant concernant les températures maximales pour l'expédition et le rangement et respecter les échéances imparties pour l'exécution des analyses.
Rapport	• Les éléments suivants devraient se retrouver dans le rapport : - concentrations moyennes de polluants à chaque emplacement, exprimées en µg m⁻³ ou en ppb, ainsi que l'écart-type; - conditions d'échantillonnage (date de l'échantillonnage, heure, durée de l'échantillonnage, débit pendant l'échantillonnage) et conditions météorologiques et topographiques (s'il y a lieu); - méthodes d'échantillonnage et d'analyse (y compris les appareils utilisés, les méthodes d'étalonnage, les interférences) avec renvois ou exposé détaillé des pratiques; limite de détection de chaque technique; - date de l'analyse; nom et adresse de la personne ayant effectué l'analyse; - s'il y a lieu, une description des activités en cours dans la salle pendant l'échantillonnage ainsi que les détails concernant la collection et les produits présents dans la salle et dans l'enceinte ayant fait l'objet de la vérification; - si une évaluation des risques a été demandée, voir le chapitre 3.

Note : maints paramètres sont facultatifs ou ne valent qu'à certains emplacements ou dans le cas de certaines méthodes d'échantillonnage. Pour obtenir des précisions sur ce protocole, voir ASTM (2001a,b) et Kozdron (1995).

TABLEAU 22. TECHNIQUES DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR SELON LA DURÉE D'ÉCHANTILLONNAGE

Durée d'échantillonnage	Échantillonnage et détection ^a	Polluants visés	Sensibilité ^b	Commentaires, limites
De quelques minutes à quelques heures <i>Ne donne que des concentrations ponctuelles. L'enceinte doit être à l'équilibre avant l'échantillonnage (1 à 3 jours).</i>	Micro-extraction en phase solide (MEPS) avec analyse chromatographique	Formaldéhyde, acides formique et acétique et, bientôt, la plupart des polluants	Élevée à très élevée	Contraintes dans le cas des enceintes ^c . Des analyses multiples avec un CG-SM portatif aux fins d'analyse sur place seraient utiles.
	Sacs d'échantillon d'air et analyse chromatographique	La plupart des polluants	Faible à moyenne	Peu répandu. La sensibilité peut être élevée en cas de MEPS de l'échantillon d'air.
	Échantillonneur par piégeage forcé avec analyse chromatographique ou spectrométrie	Polluants inorganiques	Élevée à très élevée	Le volume d'air est pompé : ne convient pas lorsque les enceintes sont petites.
8-24 heures <i>Donne la concentration moyenne ou les concentrations quotidiennes moyennes. L'enceinte doit être à l'équilibre avant l'échantillonnage (1 à 3 jours).</i>	Diffusion forcée dans l'échantillonneur, lecture directe (par exemple tubes Dräger à court terme)	La plupart des polluants	Faible	Essai simple ^d . Le volume d'air est pompé : ne convient pas lorsque les enceintes sont petites. Ne donne qu'une indication de fortes concentrations de formaldéhyde et d'acides formique et acétique. Ne fait pas la distinction entre les acides.
	Échantillonneur de particules, lecture directe	Particules fines et grossières	Faible à moyenne	Faible limite de détection parce que la durée d'échantillonnage est courte. Contraintes dans le cas des enceintes.
	Échantillonneur à tube diffuseur et analyse chromatographique	La plupart des polluants	Faible	Faible limite de détection parce que la durée d'échantillonnage est courte. Donne une indication des fortes concentrations de polluants.
Une à trois semaines (ou plus longtemps) <i>Donne les concentrations moyennes hebdomadaires (ou sur des périodes plus longues).</i>	Diffusion dans l'échantillonneur, lecture directe (par exemple tubes diffuseurs Dräger)	La plupart des polluants	Faible	Essai simple. Ne donne qu'une indication de fortes concentrations de formaldéhyde et d'acides formique et acétique. Ne fait pas la distinction entre les acides. Contraintes dans le cas des enceintes.
	Échantillonneur de particules, lecture directe	Particules fines et grossières	Élevée à très élevée	
	Dosimètre sensible au pH (papier pH)	Composés acides et alcalins	Faible à moyenne	Essai simple. Donne une indication de concentrations moyennes à élevée d'acides carboxyliques. Ne fait pas la distinction entre les acides. Ne convient pas à une exposition prolongée en raison de la sensibilité aux oxydants
Échantillonnage continu (lecture directe) <i>Donne des concentrations ponctuelles; révèle habituellement les concentrations avec le temps.</i>	Échantillonneur à tube diffuseur avec analyse chromatographique	La plupart des polluants	Élevée à très élevée	Donne les concentrations moyennes de polluants.
	Échantillons de métal (Ag ou Cu) avec analyse électrochimique	Polluants corrosifs et HR	Élevée à très élevée	Pas nécessairement plus sensible que l'objet de même nature. Peut éviter d'endommager les objets moins sensibles.
	Plaquettes de métal (Ag ou Pb), lecture directe	Polluants corrosifs et HR	Moyenne à élevée	Essai simple. Comme ci-dessus.
	Surfaces luisantes ou collantes avec mesure microscopique ou de réflectance	Particules grossières et très grossières	Inconnue	Faible sensibilité aux particules fines.
	Tous matériaux bien caractérisés avec (habituellement) une analyse en laboratoire	Agents de détérioration réagissant avec le matériau	Moyenne à très élevée	Essai qui n'est pas toujours simple. Comme dans le cas des plaquettes de métal avec analyse électrochimique.
	Échantillonneur de particules	Particules fines et grossières	Faible	Faible limite de détection si les données ne sont pas cumulées. Contraintes dans le cas des enceintes.
	Techniques diverses	Polluants inorganiques, formaldéhyde, oxygène	Moyenne à élevée	Difficulté à déplacer les appareils. Contraintes dans le cas des enceintes. Exige un étalonnage périodique.
	Hygromètres	Humidité relative	Moyenne à très élevée	Essai simple. Quelque peu coûteux, mais indispensable dans le cas des musées. Généralement n'est pas exact pour les milieux où l'HR est soit très faible, soit très forte. Exige un étalonnage périodique.
	Cristal piézoélectrique recouvert de métal (Ag ou Cu) (OnGuard)	Polluants corrosifs et HR	Élevée à très élevée	Plus sensible que les objets de même nature.

Notes :

a : Les méthodes correspondant à la plupart des techniques sont fournies dans les tableaux 23 et 24.

b : La sensibilité correspond, en gros, aux concentrations de polluants attendues pour l'objectif de préservation de 10 ans (tableau 5).

c : C'est-à-dire la difficulté qu'il y a à introduire l'échantillonneur tout en maintenant l'enceinte à l'équilibre, le volume de la petite enceinte, le perçage d'un trou, le besoin de filage électrique ou la durée de la pile.

d : Un essai simple est considéré comme peu coûteux et n'exigeant pas l'intervention d'un spécialiste. Toutes les autres méthodes exigent le recours à des spécialistes du milieu qui effectuent les analyses en laboratoire ou qui font des relevés sur place en se servant de leurs propres appareils.

TABLEAU 23. TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE DÉTECTION DES POLLUANTS

Polluants aéroportés	Techniques d'échantillonnage (durée d'exposition)	Techniques de détection	Limite de détection ($\mu\text{g m}^{-3}$) ^a	Renvois ^b
Acide acétique	MEPS (30 min)	CG-SM	2	Van Bommel <i>et al.</i> (2001); Ryhl-Svendsen <i>et al.</i> (2002)
	Échantillonneur à tube diffuseur (14 jours)	CLHP	44	Gibson <i>et al.</i> (1997a)
	Diffusion dans l'échantillonneur (8 h)	Échelle graduée ^c	3100	Leichnitz (1989)
Acide formique	MEPS (30 min)	CG-SM	7	Van Bommel <i>et al.</i> (2001),
	Échantillonneur à tube diffuseur (14 jours)	CLHP	13	Gibson <i>et al.</i> (1997a)
	Diffusion forcée dans l'échantillonneur (quelques minutes)	Échelle graduée	1900	Leichnitz (1989)
Acide nitrique	Échantillonneur à diffusion forcée; PGD ^d (24 h)	Chromatographie par échange d'ions	0,1	Marshall <i>et al.</i> (1992)
Ammoniac	Aucune; circulation d'air continue	Spectroscopie à l'infrarouge à transformée de Fourier	6	Griffith <i>et al.</i> (2000)
	Diffusion dans l'échantillonneur (8 h)	Échelle graduée	1800	Leichnitz (1989)
	Échantillonneur simple (30 jours)	Chromatographie par échange d'ions	0,06	Yamada <i>et al.</i> (1999)
Dioxyde d'azote (inclut habituellement tous les NO _x)	Échantillonneur à diffusion forcée; PGD (24 h)	Chromatographie par échange d'ions	0,1	De Santis <i>et al.</i> (1996)
	Aucune; circulation d'air continue	Chimiluminescence	0,1	Aero-Laser (s.d.), Bernard <i>et al.</i> (1997)
	Échantillonneur à tube diffuseur (14 jours)	Colorimétrie	3	Bernard <i>et al.</i> (1997)
	Échantillonneur à réactif liquide; PGD (1 h)	Colorimétrie	4	ASTM D5014 (2001c)
	Diffusion dans l'échantillonneur	Échelle graduée	2400	Leichnitz (1989)
Dioxyde de soufre	Échantillonneur à filtre forcé; PGD (90 min)	Chromatographie par échange d'ions	0,1	Ferek <i>et al.</i> (1997)
	Aucune; circulation d'air continue	Spectroscopie en fluorescence	0,1	Ferek <i>et al.</i> (1997), Luke (1997)
	Échantillonneur diffuseur (30 jours)	Chromatographie	3	Yamada <i>et al.</i> (1999)
	Diffusion dans l'échantillonneur	Échelle graduée	1700	Leichnitz (1989)
Formaldéhyde	Aucune; circulation d'air continue	Spectroscopie en fluorescence	0,1	Aero-Laser (s.d.)
	Échantillonneur diffuseur (à tube poreux) (24 h)	CLHP	0,2	Uchiyam <i>et al.</i> (1999)
	MEPS (10 min)	CG-DIF	1	Koziel <i>et al.</i> (2001)
	Aucune	Résistance électronique	10	Mazurkiewicz (2001), Environmental Sensors Co. (s.d.)
	Échantillonneur à réactif liquide (24 h)	Colorimétrie	10	ASTM D5014 (2001c)
	Échantillonneur à tube diffuseur (7 jours)	CLHP	130	Gibson <i>et al.</i> (2001)
	Échantillonneur diffuseur (8 h)	Échelle graduée	400	K & M ChromAir (s.d.)
Ozone	Aucune; circulation d'air continue	Chimiluminescence	0,2	Aero-Laser (s.d.)
	Échantillonneur à tube diffuseur (30 jours)	Colorimétrie	0,6	Bernard <i>et al.</i> (1999)
	Échantillonneur simple (30 jours)	Chromatographie par échange d'ions	1	Yamada <i>et al.</i> (1999)
	Échantillonneur diffuseur (8 h)	Échelle graduée	160	K & M ChromAir (s.d.)
Particules	Séparateur cyclone et filtres; PGD (24 h)	Gravimétrie	0,05	Nazaroff <i>et al.</i> (1992), EPA (1998)
	Séparateur cyclone; PGD (1 min)	Photométrie	0,1	MIE (2002)
Peroxyde d'hydrogène	Échantillonneur à diffusion forcée (24 h)	Chimiluminescence	0,03	Strigbrand <i>et al.</i> (1996)
Sulfure de carbonyle	Échantillonneur à tube diffuseur (quelques semaines)	Spectroscopie en fluorescence	0,3	Ankersmit <i>et al.</i> (2000)
Sulfure d'hydrogène	Échantillonneur à tube diffuseur (quelques semaines)	Spectroscopie en fluorescence	0,04	Ankersmit <i>et al.</i> (2000)
	Aucune; circulation d'air continue	Résistance électrique	3	Arizona Instrument (s.d.)
	Diffusion dans l'échantillonneur	Échelle graduée	1800	Leichnitz (1989)

Notes :

a : Dans le cas de la plupart des techniques, on peut abaisser la limite de détection en augmentant la durée d'exposition.

b : Ces renvois ne sont pas nécessairement standard, ni même largement utilisés. Il existe d'autres méthodes valables.

c : Simple lecture d'une échelle graduée, sans analyse; coût faible.

d : PGD signifie pompe à grand débit; l'accumulation de polluants par pompage d'air est requise. Cette méthode ne convient pas forcément dans le cas des petites enceintes en raison des quantités décroissantes de polluants présentes dans l'enceinte pendant l'échantillonnage.

TABLEAU 24. MÉTHODES DE SURVEILLANCE SEMI-QUANTITATIVES

Polluants aéroportés	Nom	Techniques d'échantillonnage (durée d'exposition)	Techniques de détection ^a	Renvois
Polluants spécifiques				
Acide acétique provenant de pellicules en acé- tate de cellulose	Indicateurs d'acidité (indicateurs A-D)	Colorant sensible au pH (24 h)	Échelle chromatique graduée	Image Permanence Institute (1997)
	Indicateurs Danckes	Colorant sensible au pH (24 h)	Échelle chromatique graduée	Conservation by Design Limited (s.d.)
Groupes de polluants				
Composés acides et alcalins	Indicateurs d'acidité (indicateurs A-D)	Colorant sensible au pH (7 jours)	Échelle chromatique graduée	Nicholson and O'Loughlin (1996, 2000)
	papier pH avec glycérol	Colorant sensible au pH (24 h)	Échelle chromatique graduée	Tétreault (1992b, 1999a)
Particules	Mesure du dépôt de poussière	Dépôt de poussière sur des lames de verre ou des matériaux-tampons collants (7 jours or plus)	Réflectance d'une surface brillante	Adams <i>et al.</i> (2001); Eremin <i>et al.</i> (2000)
Polluants présents dans un produit	Essai de corrosion accéléré (essai Oddy)	Plaquettes de métal (Ag, Cu, Pb); évaluer les dégagements gazeux du produit à 60 °C, 100 % HR (28 jours)	Observation visuelle comparée à des plaquettes de référence	Green <i>et al.</i> (1995); Tétreault (1999a)
Milieu (polluants, rayonnements, HR et température)				
Gaz corrosifs, HR	Plaquette de métal	Argent, cuivre, nickel ou zinc (1 - 3 mois)	Analyse électrochimique (mesure d'épaisseur de la corrosion)	Purafil (1998b); Johansson <i>et al.</i> (1998)
	OnGuard	Cristal piézoélectrique recouvert de métal (Ag ou Cu) (30 - 90 jours)	Mesure de fréquence de la pulsion du quartz	Purafil (1998a)
« Milieu complet » (divers agents de détérioration présents dans le milieu)	Cristal piézoélectrique recouvert d'une substance organique ^b	Cristaux piézoélectriques recouverts de tempera à l'œuf ou de vernis (lecture directe)	Mesure de fréquence de la pulsion du quartz	Odlyha <i>et al.</i> (2002)
	Pellicule d'argent colloïdal	Pellicule d'argent colloïdal (quelques semaines à quelques mois)	Comparaison visuelle avec contrôle ou mesure de densité	Weyde (1972); Wilhelm 1993
	Dosimètre recouvert de tempera ^b à l'œuf	Divers pigments dans du tempera à l'œuf (9 mois)	Spectrométrie à réflectance	Bacci <i>et al.</i> (2000)
	Sonde de verre ^b	Lames de verre riche en potassium et en calcium (3 à 12 mois)	Spectrométrie IR	Pilz (2000); Leissner (1997); Roemich (2002)
	Dosimètres à base de peinture ^b	Liant à l'œuf et au mastic pigmenté et non pigmenté (9 mois)	Spectromètre de masse	Van den Brink <i>et al.</i> (1998)
	Tous les matériaux ^b	N'importe quel matériau bien caractérisé comme le papier non acide, le cuir (quelques mois)	Selon le matériau utilisé	

Notes :

a : La plupart des méthodes ne prévoient pas une limite inférieure de détection ou celle-ci n'est pas précisée.

b : Matériaux qui sont bien caractérisés et qui sont semblables ou comparables par leur nature aux objets à préserver. Les analyses chimiques ou essais physiques seront faits au dosimètre pour repérer les stades préliminaires de dégradation, le cas échéant, causés par les agents présents dans le milieu. Ces méthodes sont en voie d'être perfectionnées et ne sont pas encore diffusées à grande échelle.

TABLEAU 25. PROBLÈMES COURANTS EN CE QUI A TRAIT AUX POLLUANTS

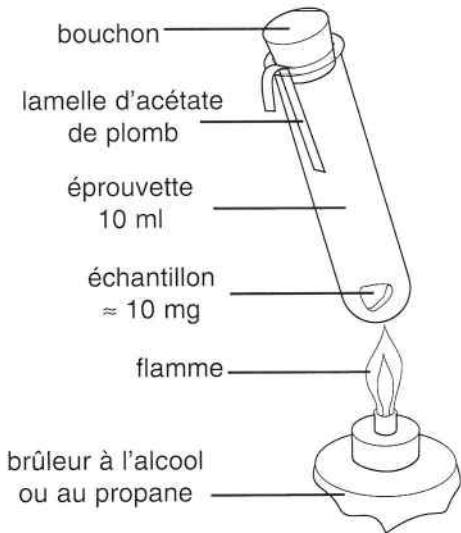
Les énoncés en italiques décrivent les dommages qui peuvent être causés par les polluants aéroportés. En général, la détérioration est très lente et est difficile à cerner avec certitude en l'absence de la documentation nécessaire. Les nouveaux dommages signalés sont parfois « stables » : ils ont été causés par l'exposition antérieure à un contexte ou un milieu mal adapté ou par un traitement inadéquat. Des données numériques et des renvois sont fournis à l'annexe 2.

Causes communes, commentaires et mesures de surveillance possibles	
Corrosion sur un objet en plomb ou sur une partie d'un objet faite d'un alliage de plomb	Causes : produits dégageant des acides présents dans les vitrines, particulièrement les produits liquides comme les peintures, les adhésifs, les bouche-fente à la silicone et les produits en bois et éventuellement d'autres objets organiques présents dans l'enceinte (certains objets ethnographiques). Commentaires : en général, les produits de bois et les peintures dans les enceintes posent un risque pour le plomb, particulièrement lorsque l'humidité relative est forte (>70 % HR). Mesures de surveillance possibles^a : repérer les produits qui dégagent des acides, surveiller les concentrations d'acides acétique et formique dans les enceintes ainsi que l'HR.
Ternissure rapide de l'argent (en 2-3 mois)	Causes : produits à base de soufre présents dans l'enceinte, comme les caoutchoucs vulcanisés (au soufre), d'autres objets présents dans l'enceinte (acides gras émanant d'objets ethnographiques organiques, pyrite ou bactéries sulfatoréductrices dans les objets imprégnés), forte HR, forte fréquentation dans une salle mal ventilée. Commentaires : dans une enceinte, tous les matériaux à base de soufre risquent de ternir l'argent, particulièrement lorsque l'HR est forte. Mesures de surveillance possibles^a : repérer les matériaux susceptibles de contenir du soufre, surveiller les concentrations de sulfure d'hydrogène et de sulfure de carbonyle ainsi que l'HR.
Efflorescence sur les objets à base de carbonate	Causes : contamination des objets par des sels, forte HR et fluctuations marquées de l'HR, produits dégageant des acides présents dans les vitrines, particulièrement les produits liquides comme les peintures, les adhésifs, les bouche-fente à la silicone ainsi que les produits en bois. Commentaires : problème commun lorsque l'objet a été imprégné de sels présents dans le sol ou lorsque les sels y ont été ajoutés au stade de la fabrication; l'efflorescence est vraisemblablement causée par des variations de l'HR. Les composés d'acétate (principalement) et de formate absorbés par les objets peuvent causer une nouvelle efflorescence ou en accélérer la formation en raison de leur forte solubilité. Mesures de surveillance possibles^a : surveiller l'HR, la température et la contamination par les sels.
Gerçures (corrosion) sur les objets en verre	Causes : l'hydratation lente des verres riches en substances alcalines (teneur en soude >10 %) est généralement à l'origine de ce type de détérioration. Dans certains cas, les acides acétique et formique, et parfois le formaldéhyde, réagissent avec les verres alcalins pour former un sel. Cependant, les sels à base de carbonate, de sulfate ou de chlorure sont plus communs. Commentaires : l'hydratation peut causer une perte de transparence, des fissures, l'écaillage et l'effritement du verre. Maintenir l'HR à moins de 60 %.
Altération des matières colorantes	Causes : photo-oxydation, dégradation thermique, autres objets présents dans l'enceinte (objets ethnographiques organiques), polluants externes, dommages causés par le contact entre l'objet et d'autres matériaux. Commentaires : le jaunissement, le brunissement et la décoloration sont les types d'altérations les plus communs. Mesures de surveillance possibles^a : surveiller les rayons visibles et UV, l'HR et la température; déterminer la nature des produits qui sont en contact avec l'objet; repérer les sources de chaleur.
Fissures, déformation ou fragilisation des objets organiques	Causes : photo-oxydation, polluants externes, rayons visibles et UV, HR forte ou présentant des variations marquées, dégradation thermique. Commentaires : la déchirure des textiles et des papiers et la transformation en poudre ou le bris d'éléments d'objets en plastique sont des exemples de fragilisation. Mesures de surveillance possibles^a : surveiller principalement les rayons visibles et UV avant d'envisager la présence d'ozone ou de dioxyde d'azote. Songer à placer les objets les plus précieux ou vulnérables dans des enceintes anoxiques.
Taches ou résidus sur les objets	Causes : l'objet est endommagé par le contact avec d'autres matériaux, des substances grasses ou des polluants internes présents, par exemple, les plastifiants dans les plastiques et les adhésifs, ainsi que par l'eau, les insectes ou les moisissures. Mesures de surveillance possibles^a : déterminer la nature de l'objet ou des produits qu'il touche; envisager d'analyser le composé altéré.
Objets collants	Causes : polluants internes sur les objets comme les plastifiants dans les objets en PVC souples; dommages subis par l'objet au contact d'un produit; hydrolyse lente ou oxydation de certains plastiques; polyéthylène glycol utilisé pour traiter les objets gorgés d'eau. Mesures de surveillance possibles^a : déterminer la nature de l'objet ou des produits qu'il touche
Voile sur les objets ou impression fantôme sur les verres protecteurs	Causes : dépôt des composés aminés, migration de sels après un contact ou dépôt en surface d'un acide gras provenant d'un support peint placé très près de l'objet (quelques microns). Dépôts de poussière sur les objets ou au fond des vitrines.
Dépôts de poussière sur les objets ou au fond des vitrines	Causes : habituellement les peluches provenant des tapis ou des vêtements des visiteurs ou encore les travaux de rénovation ou d'entretien (qui produisent ou déplacent de la poussière). Commentaires : les particules grossières n'endommagent pas forcément les objets, mais elles en affectent l'apparence. Les particules fines peuvent être difficiles à éliminer. Mesures de surveillance possibles^a : repérer les sources probables de poussière comme les travaux de rénovation et en isoler les objets.
Produits endommagés par un objet	Causes : dommages résultant d'un contact ou d'un polluant aéroporté : objets minéraux comportant des éléments acides, objets ethnographiques gras. Commentaires : par exemple, une étiquette décolorée parce qu'elle se trouve dans la même enceinte qu'un spécimen en pyrite qui dégage des composés sulfureux. Mesures de surveillance possibles^a : déterminer la nature de l'objet ou des produits qu'il touche.
Signalement d'une odeur inhabituelle	Causes : odeur de vinaigre dégagée par les pellicules ou microfilms noir et blanc en acétate de cellulose (AC) ou par certains objets tridimensionnels en AC, produits de plastique neufs ou abîmés, objets naturels organiques détériorés (objets ethnographiques, livres, etc.), moisissures dans les milieux humides. Commentaires : la présence d'une odeur n'est pas forcément indicatrice d'un risque élevé de dommages pour les objets. Mesures de surveillance possibles^a : déterminer la nature de l'objet et des produits; surveiller les COV, mais miser surtout sur les principaux polluants ou sur celui qui cause vraisemblablement le problème.

Note :

a : Comme premier recours, envisager les étapes suivantes : protéger les objets du milieu nuisible, revoir les stratégies de contrôle (éviter, bloquer, réduire), traiter les objets, au besoin, pour limiter les dommages et exercer un suivi après les améliorations.

TABLEAU 26. ESSAI À L'ACÉTATE DE PLOMB

But de l'essai	Confirmer la présence de soufre. On sait que les produits contenant des composés sulfureux sont causes de décoloration, de corrosion et de fragilisation de certains objets.	
Préparation de l'échantillon	Les échantillons liquides doivent sécher sur du papier d'aluminium pendant une journée; les échantillons solides, comme une plaquette ou un textile, n'exigent aucune préparation.	
Réactifs à utiliser	Distributeur de bandes d'acétate de plomb : BDH Chemicals, 350, avenue Evans, Toronto (Ontario) M8Z 1K5 ainsi que dans certaines pharmacies. Solution de peroxyde d'hydrogène 3–10 %, vendue en pharmacie.	
Commentaires	Mouiller la bande d'acétate de plomb avec une ou deux gouttes d'eau limpide. Introduire la bande humectée et un petit prélèvement de l'échantillon dans une éprouvette comme le montre l'illustration de droite; la bande d'essai et l'échantillon ne doivent pas se toucher. Exposer l'échantillon placé dans l'éprouvette à une flamme pour en causer la pyrolyse; pendant la pyrolyse, incliner l'éprouvette pour que la fumée épaisse entre en contact avec la bande d'essai. La bande d'essai vire au brun en présence de soufre. Retirer la bande d'essai brunie de l'éprouvette et ajouter une goutte de peroxyde d'hydrogène. Si la bande d'essai blanchit, la présence de composés sulfureux dans l'échantillon est confirmée. Cet essai peut dégager de fortes odeurs irritantes et devrait donc se faire sous une hotte.	 Figure 54. Schéma de l'essai à l'acétate de plomb.
Résultats acceptables	Le produit visé est à proscrire si la bande d'essai blanchit après avoir été tachée pendant la pyrolyse. Les produits qui contiennent du soufre, comme le caoutchouc vulcanisé, ne devraient pas entrer en contact avec les objets ni être placés dans la même enceinte, que celle-ci soit étanche ou qu'elle présente des fuites. Autre essai possible : essai à l'azide, Daniel et Ward (1982).	

Lorsqu'un document existe sur Internet, un lien est fourni au site Web de l'ICC (www.cci-icc.gc.ca/links/polluants/index_f.shtml)

POLLUTION ET CONSERVATION

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). « Air Contaminants », chapitre 12 dans *Heating, Ventilating and Air-Conditioning: Fundamentals*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 2001.

ASHRAE. « Museums, Libraries et Archives », chapitre 21 dans *Heating, Ventilating and Air-Conditioning: Applications*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 2003.

ASHRAE. « Control of Gaseous Indoor Air Contaminants », chapitre 44 dans *Heating, Ventilating and Air-Conditioning: Applications*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 1999.

Blades, N., T. Oreszczyn, B. Bordass et M. Cassar. *Guidelines on Pollution Control in Museum Buildings*, Londres, Museums Association, 2000.

Feller, R.L. *Accelerated Ageing: Photochemical and Thermal Aspects*, Research in Conservation #4, Marina del Rey, The Getty Conservation Institute, 1994
<www.getty.edu/conservation/resources/reports.html>.

Hatchfield, P.B. *Pollutants in the Museum Environment: Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage*, Londres, Archetype Publications, 2002.

Raphael, T., N. Davis et K. Brookes. *Exhibit Conservation Guidelines: Incorporating Conservation into Exhibit Planning, Design and Fabrication*, CD-ROM, US National Park Service, 1999.

Tétreault, J. *Revêtements pour l'exposition et la mise en réserve dans les musées*, Bulletin technique de l'ICC n° 21, Ottawa, Institut canadien de conservation, 1999.

UK-IIC (Royaume-Uni, International Institute of Conservation of Historic and Artistic Works). *Dirt and Pictures Separated*, comité de rédaction : S. Hackney, J. Townsend et N. Eastaugh, Londres, The United Kingdom Institute of Conservation of Historic and Artistic Works, 1990.

ÉVALUATION DES RISQUES

American Chemical Society and Resource for the Future. *Understanding Risk Analysis: A Short Guide for Health, Safety and Environmental Policy Making*, édition Internet, 1998
<www.rff.org/misc_docs/risk_book.pdf>.

Ashley-Smith, J. *Risk Assessment for Object Conservation*, Oxford, Butterworth Heinemann, 1999.

Cox, L.A. *Risk Analysis: Foundations, Models and Methods*, International Series in Operations Research & Management Science 45, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2001.

ANALYSE DES COÛTS ET AVANTAGES, CONSIDÉRATIONS MORALES ET ÉVALUATION DES RISQUES

ACCR et ACRP (Association canadienne pour la conservation et la restauration des biens culturels et l'Association canadienne des restaurateurs professionnels). *Code de déontologie et guide du praticien*, troisième édition, Ottawa, 2000
<www.cac-accr.ca/fprincip.shtml>.

Caple C. *Conservation Skills: Judgement, Methods and Decision Making*, New York, Routledge, 2000.

Cassar, M. *Cost/Benefits Appraisals for Collection Care: A Practical Guide*, Londres, Museum & Galleries Commission, 1998.

Keene, S. *Managing Conservation in Museums*, seconde édition, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001.

Kopp, R.J., A.J. Krupnick et M. Toman.
Cost-Benefit Analysis and Regulatory Reform: An Assessment of the Science and the Art, Washington (DC), Resource for the Future, 1997
<www.rff.org/Documents/RFF-DP-97-19.pdf>.

Lagas, R. *Cost-Benefit Analysis Guide For NIH IT Projects*, Office of the Deputy Chief Information Officer, 1999
<www.woirm.nih.gov/itmra/cbaguide.html>.

Northeast Document Conservation Center.
« Planning and Prioritizing », section 1 dans *Preservation of Library & Archival Materials: A Manual*, publié sous la direction de S. Ogden, Andover (MA), Northeast Document Conservation Center, 1999
<www.nedcc.org/plam3/manual.pdf>.

Puglia, S. « Cost-Benefit Analysis for B/W Acetate: Cool/Cold Storage vs. Duplication », *Abbey Newsletter*, n° 19 (1995)
<palimpsest.stanford.edu/byorg/abbey/an/an19/an19-4/an19-410.html>.

Ces sites ont été consultés en décembre 2003; les liens sont fournis au site Web de l'ICC, à l'adresse <www.cci-icc.gc.ca/links/polluants/index_f.shtml>

POLLUTION ET CONSERVATION

Indoor Air Quality in Museums and Archives
<iaq.dk/>.

CONSERVATION

AINCA (Australian Network for
Information on Cellulose Acetate)
<www.nla.gov.au/anica/index.html>.

GCI et IIC (The Getty Conservation Institute et
l'Institut international pour la conservation des objets
d'art et d'histoire). Art and Archaeology Technical
Abstracts (base de données bibliographiques)
<aata.getty.edu/NPS/>.

Institut canadien de conservation
<www.cci-icc.gc.ca>.

Padfield, T. The Physics of the Museum Environment.
<www.padfield.org/tim/cfys/>.

Réseau d'information sur la conservation
(base de données bibliographiques)
<www.bcin.ca>.

Stanford University Libraries, Preservation
Department. Conservation Online (CoOL)
<palimpsest.stanford.edu/>.

POLLUTION

APTI (Air Pollution Training Institute)
Basic Concepts in Environmental Sciences
<www.epin.ncsu.edu/apti/ol_2000/home/homefram.htm>.

Atmosphere, Climate & Environment
Information Program, Encyclopaedia
of the Atmospheric Environment
<www.doc.mmu.ac.uk/aric/eae/index.html>.

AEE (Agence européenne pour l'environnement)
<www.eea.eu.int/>.

EMEP (Co-operative Program for
Monitoring and Evaluation of the Long-Range
Transmission of Air Pollutants in Europe)
<www.emep.int/index_polluants.html>.

Environnement Canada
<www.mb.ec.gc.ca/index.fr.html>.

Environnement Québec
<www.menv.gouv.qc.ca/air/inter.htm>.

États-Unis, EPA (Environmental Protection Agency)
<www.epa.gov/ebtpages/air.html>.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario
<www.ene.gov.on.ca/air-fr.htm>.

Université du Minnesota (États-Unis)
<www.me.umn.edu/courses/me5115/notes/>.

Évaluation des risques et prise de décisions

Mind Tools: Techniques for Effective Decision Making
<www.mindtools.com/pages/main/newMN_TED.htm>.

Risk World
<www.riskworld.com/>.

Society for Risk Analysis
<www.sra.org/>.



Figure 1. Médailles de plomb corrodées dans une vitrine en chêne. Avec la gracieuse permission du Musée du séminaire de Sherbrooke. (Voir page 10 pour plus d'information.)



Figure 2. Porte-clés en cuivre plaqué argent terni. Le nettoyage répété de la ternissure causera l'élimination de la mince couche d'argent. (Voir page 11 pour plus d'information.)

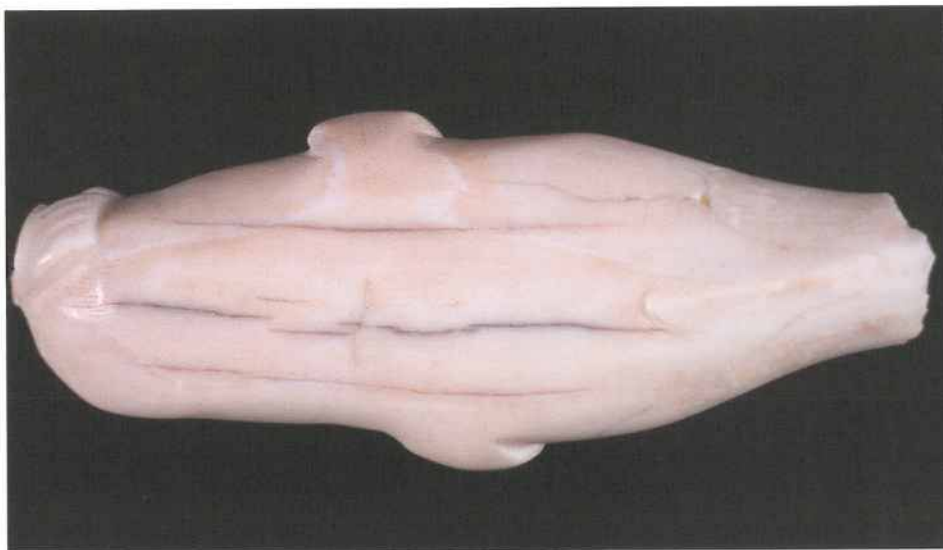


Figure 8. Sculpture inuite en ivoire présentant des fissures incrustées de suie. (Voir page 15 pour plus d'information.)

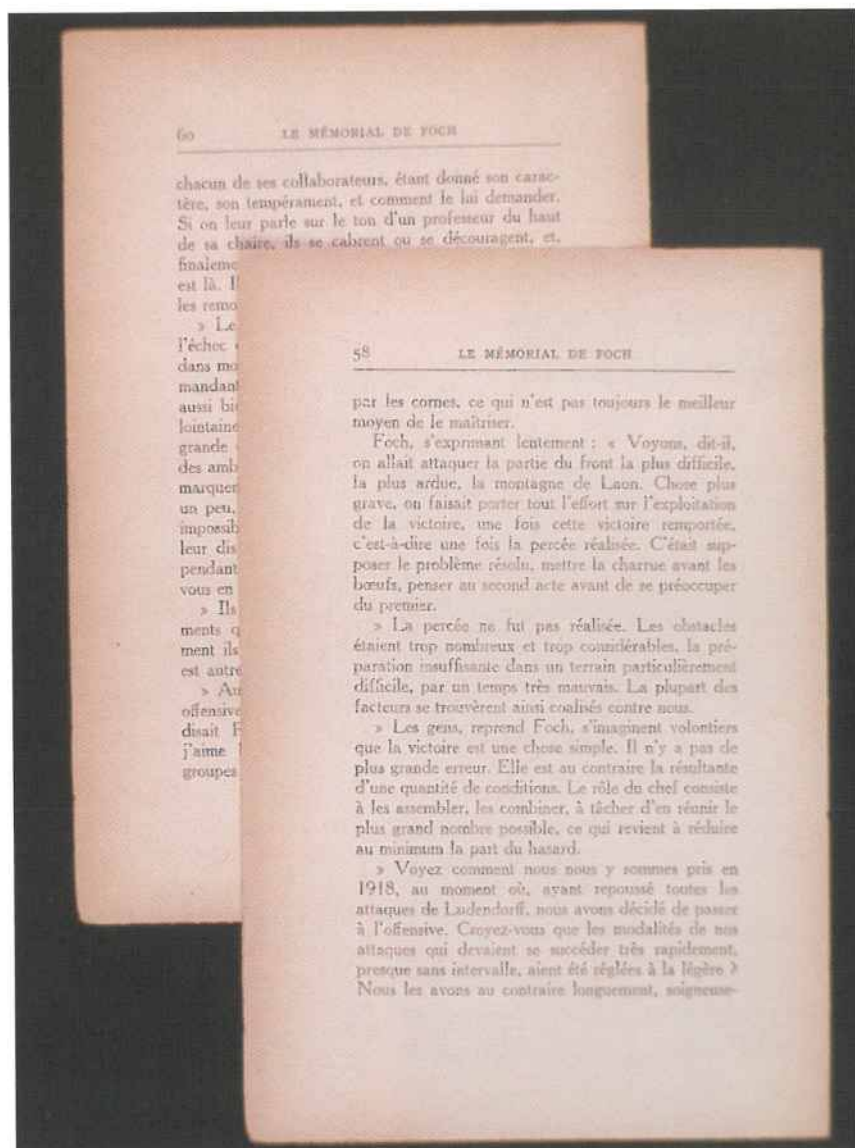


Figure 10. Brunissement des bords de la page d'un livre français imprimé en 1929. Les polluants (principalement le SO_2) sont adsorbés par le bord des pages et s'étalent lentement vers le milieu. Le pH des parties plus foncées est d'environ 3,5 tandis qu'au milieu, il est de 6,2. (Voir page 16 pour plus d'information.)



Figure 11. Négatifs en acétate de cellulose dont la détérioration est avancée. La couche d'émulsion et la couche de gélatine dorsale ont jauni, sont rainurée à 10 % et cloquées à 100 %. Le support est jauni et très friable. L'acétate de cellulose est complètement détériorée et s'est transformée d'ester en cellulose (c.-à-d. cellulose régénérée). (Voir page 17 pour plus d'information.)



Figure 12. Feuilles de nitrate de cellulose dont la détérioration est avancée. La couleur des feuilles a viré à un brun jaunâtre. (Voir page 17 pour plus d'information.)



Figure 25. Efflorescence sur des coquillages. Le coquillage de gauche a été exposé à des vapeurs d'acide acétique et à une forte HR. L'échantillon de contrôle est à droite. Ce type de détérioration est parfois dit « maladie de Byne » en l'honneur de M. Loftus St. George Byne qui a été le premier à en fournir une description en 1899 (Byne, 1899). L'efflorescence ne se produit généralement pas moyennant le contrôle de l'HR, la propreté de l'échantillon et l'absence de matériaux émissifs très acides. (Voir page 29 pour plus d'information.)

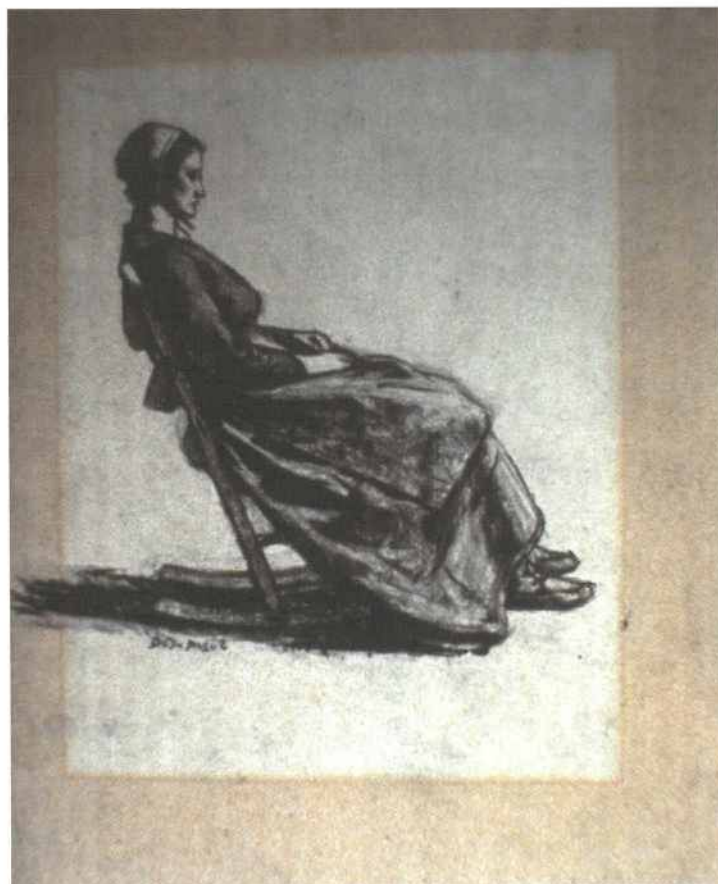


Figure 29. Œuvre d'art sur papier tachée par le contact pendant de nombreuses années avec un passe-partout acide. (Voir page 42 pour plus d'information.)



Figure 47. Un livre à reliure en cuir de tannage végétal présente une détérioration importante dite « pourriture rouge » attribuable à la transformation du dioxyde de soufre en acide dans le cuir. La surface du cuir acide s'effrite tandis que la couche sèche sous-jacente tombe en poudre lorsqu'on frotte légèrement la reliure. (Voir page 70 pour plus d'information.)

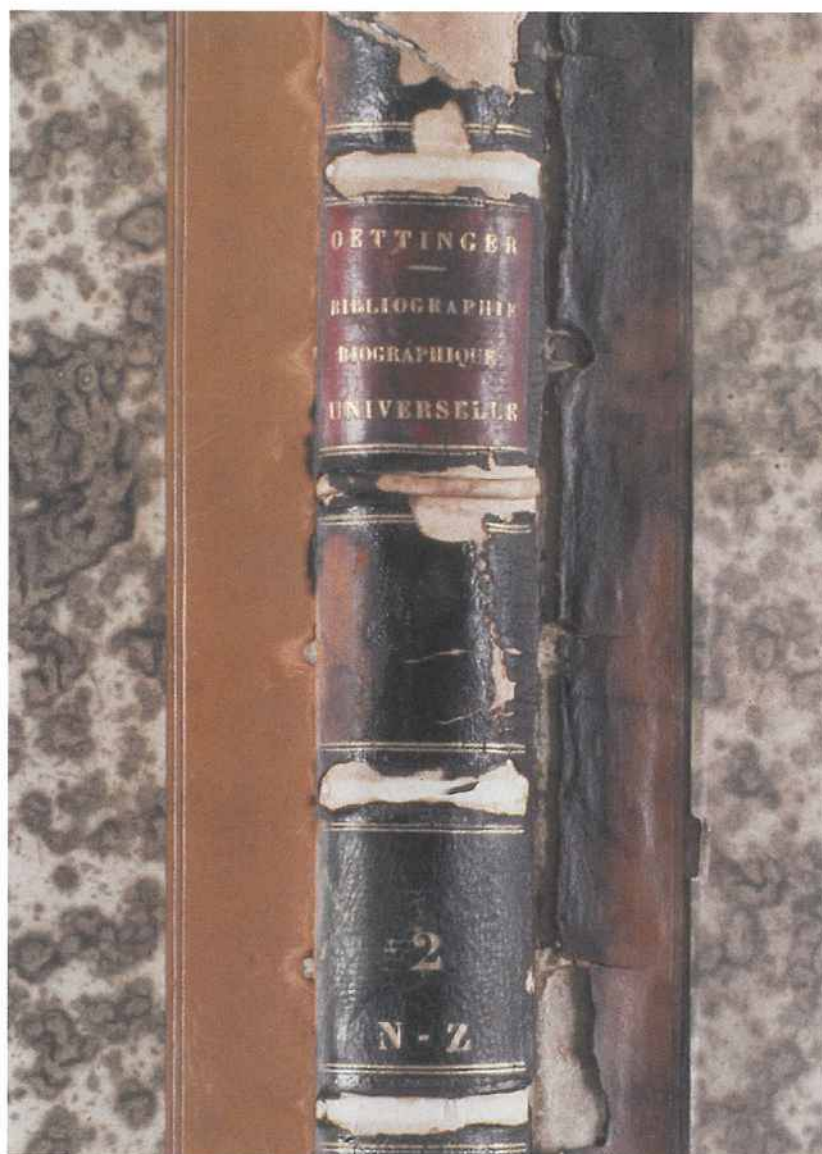


Figure 48. Autre exemple de « pourriture rouge ». Le cuir de tannage végétal acide noircit au contact de l'eau. (Voir page 70 pour plus d'information.)

ANNEXES : TABLEAUX DE DONNÉES

1. SOURCES ET CONCENTRATIONS DE DIVERS POLLUANTS
2. DOMMAGES CAUSÉS PAR DES POLLUANTS PRÉSENTS DANS LES MILIEUX INTÉRIEURS
3. EFFETS DES MÉLANGES DE POLLUANTS SUR LA DÉTÉRIORATION
4. RÉDUCTION DES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS
5. COEFFICIENTS DE PERMÉABILITÉ DE DIVERS PRODUITS À DES GAZ PRÉCIS
6. VITESSE DE DÉPÔT DE DIVERS POLLUANTS SUR DIFFÉRENTES SURFACES
7. MÉTHODES DE MESURE DES FUITES D'AIR
8. DIRECTIVES SUR L'ÉCLAIREMENT

ANNEXE 1. SOURCES ET CONCENTRATIONS DE DIVERS POLLUANTS

Acide acétique p. 103	Chlorure d'hydrogène p. 105	Nitrate de peroxyacétyle (PAN) p. 106	Particules très grossières p. 108
Acide formique p. 104	Dioxyde d'azote p. 105	Oxygène p. 106	Peroxyde d'hydrogène p. 108
Acide nitrique p. 104	Dioxyde de soufre p. 105	Ozone p. 107	Sulfate d'ammonium p. 108
Acide propionique p. 104	Disulfure de carbone p. 106	Particules fines p. 107	Sulfure d'hydrogène p. 108
Amines (DEAE, ODA) p. 104	Formaldéhyde p. 106	Particules grossières p. 108	Sulfure de carbonyle p. 109
Ammoniac p. 105	Monoxyde d'azote p. 106		

Les concentrations de polluants dégagées par les matériaux (produits ou objets) sont habituellement mesurées dans une enceinte d'essai. Certains renvois sont fournis même s'ils ne contiennent pas de données, mais ils rendent compte de la source et du mode de production des polluants en plein air et à l'intérieur. X : pas de données rapportées, mesurées ou constatées. E3 ou E6 (exposant 3 ou 6)

Polluants aéroportés/ Sources	Description	Intervalle de concentrations $\mu\text{g m}^{-3}$	Renvois
Acide acétique			
Troposphère	Troposphère supérieure	0,3 - 0,9	Reiner <i>et al.</i> (1999)
Forêt tropicale	Saison des pluies et saison sèche, pendant le jour, 1999 Amazonie, Brésil	0,9 - 9 1,7 - 4,5	Kuhn <i>et al.</i> (2001) Souza <i>et al.</i> (1999)
Emplacements urbains		0,5 - 2,5	Graedel (1987a)
	Claremont, Californie, sept. 1985	9 - 18, max. à 24	Grosjean (1988)
	Cuidad Juarez, Chihuahua, Mexique, été et hiver	14, 35	Popp et Martin (1999)
	São Paulo, Brésil, juillet 1996	1,2 - 20	Souza <i>et al.</i> (1999)
À l'intérieur	Réserves et salles d'exposition	38 - 96	Grzywacz et Tennent (1994)
	Salles du Musée des instruments de musique (Bruxelles) et du Musée Plantin-Moretus (Anvers), Belgique	82 - 106	Kontozova <i>et al.</i> (2002)
Adhésifs	Acryliques divers et PVAC	X	Down <i>et al.</i> (1996)
	Caisses de rangement en carton contenant du PVAC	2600 - 4700	Dupont et Tétreault (2000b)
	Revêtements de sol	X	Wilke <i>et al.</i> (2002)
Pellicule en acétate de cellulose	Négatifs gélatino-argentiques en feuille dégageant une odeur, scellés dans un bocal pendant 24 h	150 000	Hollinshead <i>et al.</i> (1987)
	Négatifs gélatino-argentiques en feuille dégageant une odeur avec un taux de renouvellement d'air de 10/jour	920	Ryhl-Svendsen (2000)
Revêtements	Peintures à l'huile séchées pendant 5 semaines, échantillonnage à l'équilibre	20E3 - 65E3	Tétreault et Stamatopoulou (1997)
	Émulsion, uréthane durci à l'humidité ou époxyde à deux composants séchés ou durcis pendant 5 semaines, échantillonnage à l'équilibre	3000 - 22 000	Tétreault et Stamatopoulou (1997)
Linoléum	Échantillons neufs	X	Jensen <i>et al.</i> (1993)
Panneaux de fibres de densité moyenne	Marque de commerce : Sylvapan (Danemark)	220	Ryhl-Svendsen (2000)
Croissance de moisissures	Moisissures cultivées	X	Bayer (1993)
Chêne	Chêne massif vieux d'au moins 15 ans	310	Ryhl-Svendsen (2000)
Bouche-fentes à la silicone	Silicone Bostik Glass 2680, type acide, durcie pendant 3 jours	14 000	Ryhl-Svendsen (2000)
	Silicone Bostik Glass 2680, type acide, durcie pendant 7 jours	880	Ryhl-Svendsen (2000)
	Silicone Bostik Glass 2680, type acide, durcie pendant 29 jours	94	Ryhl-Svendsen (2000)
	Silicone Bostik Industrial 2695, type neutre, durcie pendant 27 h	<20	Ryhl-Svendsen (2000)
	Chêne rouge massif âgé d'une dizaine d'années, échantillonnage à l'équilibre	6700	Tétreault et Stamatopoulou (1997)

Polluants aéroportés/ Sources	Description	Intervalle de concentrations $\mu\text{g m}^{-3}$	Renvois
Acide acétique (suite)			
Enceintes en bois	Diverses armoires de rangement et vitrines faites de panneaux en bois ou présentant de tels panneaux	80 - 1800	Grzywacz et Tennent (1994)
	Diverses armoires de rangement et vitrines faites de panneaux en bois ou présentant de tels panneaux	350 - 1800	Gibson <i>et al.</i> (1997)
	Diverses armoires de rangement et vitrines faites de panneaux en bois ou présentant de tels panneaux	110 - 3200	Kontozova <i>et al.</i> (2002)
Acide formique			
Troposphère	Troposphère supérieure	0,1 - 0,4	Reiner <i>et al.</i> (1999)
Forêt tropicale	Saison des pluies et saison sèche, pendant le jour, 1999	0,73 - 8,0	Kuhn <i>et al.</i> (2001)
Emplacements urbains	Claremont, Californie, 14 au 18 sept. 1985	6,1 - 15, max. à 20	Grosjean (1988)
	Upland, Californie, moy. de 55 échantillons en un an (sept. 1988-sept. 1989), échantillonnage sur 24 h	3,5	Grosjean (1991)
	São Paulo, Brésil, juillet 1996	1,1 - 18	Souza <i>et al.</i> (1999)
À l'intérieur	Cuidad Juarez, Chihuahua, Mexique, hiver	3,2	Popp et Martin (1999)
	Réserves et salles d'exposition	<0,6 - 28	Grzywacz et Tennent (1994)
	Salles du Musée des instruments de musique (Bruxelles) et du Musée Plantin-Moretus (Anvers) Belgique	21 - 25	Kontozova <i>et al.</i> (2002)
Enceintes en bois	Diverses armoires de rangement et vitrines faites de panneaux en bois ou présentant de tels panneaux	2 - 120	Grzywacz et Tennent (1994)
	Tiroir de rangement pour collection numismatique	500	Ryhl-Svendsen et Glastrup (2002)
	Armoires de rangement et vitrines faites de panneaux en bois ou présentant de tels panneaux	<40 - 1600	Gibson <i>et al.</i> (1997)
Adhésifs	Diverses armoires de rangement et vitrines faites de panneaux en bois ou présentant de tels panneaux	16 - 440	Kontozova <i>et al.</i> (2002)
	Caisses de rangement en carton contenant du PVAC	1300 - 2900	Dupont et Tétreault (2000b)
Acide nitrique			
Troposphère		0,04 - 0,6	Seinfeld (1986)
Emplacements urbains	Californie	1 - 8	Salmon <i>et al.</i> (1990)
		3 - 30	Graedel (1987a)
		8 - 130	Seinfeld (1986)
À l'intérieur	À l'extérieur de huit établissements en Californie	7 - 26	Hisham et Grosjean (1991a)
	À l'intérieur de huit établissements en Californie	2 - 16	Hisham et Grosjean (1991a)
Acide propionique			
Linoléum	Vieux de 40 jours	150	Jensen <i>et al.</i> (1993)
Amines, voir aussi ammoniac			
Système de CVC	Diéthylaminoéthanol (DEAE)		
	Employé comme inhibiteur de corrosion	X	Volent et Baer (1985)
Système de CVC	Octadécylamine (ODA)		
	Employé comme inhibiteur de corrosion	Environ 1 dans la vapeur	Organ (1967)

Polluants aéroportés/ Sources	Description	Intervalle de concentrations $\mu\text{g m}^{-3}$	Renvois
Ammoniac			
Troposphère		0,7	Seinfeld (1986)
Emplacements urbains		7 - 18	Seinfeld (1986)
	À l'extérieur du Musée des bateaux vikings, Oslo	2	Dahlin <i>et al.</i> (1997)
Ammoniac			
À l'intérieur	Bibliothèque, salle dans une église, réserve et pièce dans une usine de pâtes et papiers	0,6 - 15	Johansson <i>et al.</i> (1997)
	Salle d'exposition et réserve dans un musée japonais	16 - 40	Sano (2000)
	Bâtiment nouvellement achevé	20 - 60	Jarnstrom et Saarela (2002)
Origine humaine	Musée sans système de CVC, 200 personnes dans le musée	15	Dahlin <i>et al.</i> (1997)
	Musée sans système de CVC, 400 personnes dans le musée	22	Dahlin <i>et al.</i> (1997)
	Musée sans système de CVC, 1000 personnes dans le musée	30	Dahlin <i>et al.</i> (1997)
Béton	Construit sur place : taux d'émission : 30 - 70 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}$	X	Jarnstrom et Saarela (2002)
Bouche-fentes à la silicone	Type à odeur réduite (p. ex. Silicone GE II) ou type neutre	X	Tétreault (1990)
Chlorure d'hydrogène			
Emplacements urbains		0,76 - 3,0	Graedel (1987a)
Dioxyde d'azote			
Troposphère		0,2 - 1	Seinfeld (1986), Graedel (1984)
	É.-U. région rurale, concentration moy. annuelle dans les années 1990	15 - 19	EPA (2001c)
	Emplacements ruraux, pays d'Europe centrale et de l'Est, 1997	2 - 23	Fiala <i>et al.</i> (2002)
Emplacements urbains	É.-U. région urbaine, concentration moy. annuelle dans les années 1990, plus forte à certains emplacements	42 - 48, 100	EPA (2001c)
		100 - 500	Seinfeld (1986)
	Villes canadiennes dans les années 1990, intervalle moy. annuel	32 - 42	EC (1999)
	Emplacements urbains, pays d'Europe centrale et de l'Est, 1997	3 - 66	Fiala <i>et al.</i> (2002)
	Claremont, Californie, sept. 1985, inclut tous les NO_x moins NO	28 - 120, max. à 250	Grosjean (1988)
	À l'extérieur de huit établissements en Californie	40 - 130	Hisham et Grosjean (1991a)
À l'intérieur	À l'intérieur de huit établissements en Californie	20 - 90	Hisham et Grosjean (1991a)
Collection de pellicules en nitrate de cellulose	Dans une salle, valeur incluant tous les NO_x	20	Erickson (1990)
	Négatifs en cellulose placés dans un sac de plastique	3800	Hollinshead <i>et al.</i> (1987)
Dioxyde de soufre			
Troposphère		3 - 30	Seinfeld (1986)
		0,13 - 0,32	Graedel <i>et al.</i> (1981)
	Emplacements ruraux, pays d'Europe centrale et de l'Est, 1997	2 - 37	Fiala <i>et al.</i> (2002)
	É.-U. région rurale, concentration moy. annuelle dans les années 1990	16 - 26	EPA (2001c)

Polluants aéroportés/ Sources	Description	Intervalle de concentrations $\mu\text{g m}^{-3}$	Renvois
Dioxyde de soufre (suite)			
Emplacements urbains	É.-U. région urbaine, concentration moy. annuelle dans les années 1990	11 - 17, maximums atteignant 400	EPA (2001c)
	Villes canadiennes dans les années 1990, intervalle moy. annuel	11- 16	EC (1999)
	Emplacements urbains, pays d'Europe centrale et de l'Est, 1997	6 - 94	Fiala <i>et al.</i> (2002)
Disulfure de carbone			
Troposphère		0,05	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
Croissance de moisissures	Moisissures cultivées	X	Bayer (1993)
Emplacements urbains		0,5	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
Laine	Rideaux dans une salle exposée à la lumière du soleil	0,35	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
	Tapis, 900 g de laine dans une salle	0,03 (simulation)	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
	Vêtements secs, 20 personnes (500 g de laine)	0,009 (simulation)	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
	Vêtements mouillés, 20 personnes (500 g de laine)	0,035 (simulation)	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
Formaldéhyde			
Troposphère		0,5	Seinfeld (1986)
Emplacements urbains	Claremont, Californie, sept. 1985	2,0 - 14	Grosjean (1988)
	Six villes en Californie, moyenne en un an	6,3 - 7,1	Grosjean (1991)
		5 - 19	Graedel (1987a)
	À l'extérieur d'immeubles à bureaux et d'écoles	14 - 26	Cavallo <i>et al.</i> (1993)
À l'intérieur	Réserves et salles d'exposition	11 - 46	Grzywacz et Tennent (1994)
	Immeubles à bureaux et écoles	13 - 70	Cavallo <i>et al.</i> (1993)
	Bâtiment nouvellement occupé en Australie, avec système de CVC, tapis et mobilier, moyenne la première année	32 - 42	Dingle <i>et al.</i> (1993)
	Bâtiments récemment achevés (source : principalement les revêtements de sol)	13 - 37	Jarnstrom et Saarela (2002)
Produits en bois à base d'urée-formaldéhyde	Étude effectuée dans les années 1970 ou 1980	500 - 6000	Meyer et Hermanns (1986)
Enceintes en bois	Diverses armoires de rangement et vitrines faites de panneaux en bois ou présentant de tels panneaux	50 - 470	Grzywacz et Tennent (1994)
Monoxyde d'azote			
Emplacements urbains	Claremont, Californie, sept. 1985	2 - 40	Grosjean (1988)
Nitrate de peroxyacétyle (PAN) : composant du smog photochimique			
Emplacements urbains	Claremont, Californie, 14 au 18 sept. 1985	1 - 59	Grosjean (1988)
	Milan, Italie, 10 au 21 février 1993	0,5 - 16	de Santis <i>et al.</i> (1996)
Valeurs typiques		0,25 - 25	Allegrini <i>et al.</i> (1989)
Oxygène			
Atmosphère		2,8E8 (20,95 %)	

Polluants aéroportés/ Sources	Description	Intervalle de concentrations $\mu\text{g m}^{-3}$	Renvois
Ozone			
Troposphère		40 - 160	Seinfeld (1986)
		2 - 200	Graedel (1984)
	Emplacements ruraux aux É.-U. dans les années 1990, intervalle moy. annuel	200 - 220	EPA (2001b)
	Emplacements ruraux, pays d'Europe centrale et de l'Est, 1997	130 - 230	Fiala <i>et al.</i> (2002)
Emplacements urbains	Californie, été, moy. sur 12 jours et moy. de 24 h	18 - 62	Hisham et Grosjean (1991a)
	Californie, intervalle quotidien, 12 juillet 1984	10 - 350	Cass <i>et al.</i> (1989)
	Villes canadiennes dans les années 1990, intervalle moy. annuel	34 - 42	EC (1999)
	Emplacements urbains, pays d'Europe centrale et de l'Est, 1997	130 - 290	Fiala <i>et al.</i> (2002)
	Emplacements urbains et suburbains aux É.-U., dans les années 1990, intervalle moy. annuel	200 - 240, max. 400 200 - 1000	EPA (2001b,c) Seinfeld (1986)
Électrofiltre	Système qui fonctionne à 13 kilovolts. Mesure à la sortie moins le niveau naturel	50	Thomson (1965)
Photocopieur	Une machine dans une pièce scellée, fonctionnant pendant quelques heures	4 - 300	Claridge (1983)
Photocopieur/ imprimante au laser	Trois photocopieurs et quatre imprimantes au laser dans une salle	<6	Schmith Etkin (1992)
Ozoneateur	Fonctionne à réglage élevé dans une pièce avec la porte ouverte et fermée	200 - 600	EPA (2001a)
	Information obtenue d'un entrepreneur en systèmes de CVC	40 - 80	Druzik (1999)
	Dans une pièce (sans autres précisions)	<100	Bower (1991)
	Ajoute jusqu'à $18 \mu\text{g m}^{-3}$ à la concentration ambiante	concentration ambiante +18	Bowser et Fugler (2002)
Particules fines : PM_{2,5}			
Troposphère	É.-U. région rurale, concentration moy. annuelle dans les années 1990	4 - 12, (à certains endroits : >20)	EPA (2001b)
	Emplacements ruraux aux É.-U., intervalle moy. annuel dans les années 1990	15 - 30	EPA (2001c)
Emplacements urbains	Emplacements urbains aux É.-U., intervalle moy. annuel dans les années 1990	7 - 40, certains >65	EPA (2001c)
	11 villes au Canada de 1984 à 1993, moy. 24 h; 34 % des PM _{2,5} proviennent de la combustion de carburants	1 - 45	MOE (1999)
	Birmingham (R.-U.), juillet 1998	5 - 15	Jones <i>et al.</i> (2000)
	Cinq musées en Californie, été 1987	10 - 40	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
	Cinq musées en Californie, hiver 1987	2 - 160 (maximum)	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
	Villes canadiennes dans les années 1990, intervalle moy. annuel	10 - 13	EC (1999)
	19 villes canadiennes en 1993, intervalle moy. à chaque emplacement	2 - 40	EC (1997)
	Neuf postes en Alberta, moy. 24 h d'avril à juin 1998	12	Alberta Environmental Protection (1998)
	Feu de forêt à 300 km du poste de surveillance de Calgary, le 5 mai 1998	320	Alberta Environmental Protection (1998)

Polluants aéroportés/ Sources	Description	Intervalle de concentrations $\mu\text{g m}^{-3}$	Renvois
Particules fines : PM_{2,5} (suite)			
À l'intérieur	Immeuble à bureaux à l'Université Harvard (Poussière accumulée en surface après 5 jours de travail)	4,9 - 5,5	Kildeso <i>et al.</i> (1999)
	Immeuble à bureaux à l'Université Harvard N=13EA/h, durée moy. : 35 h	4,6 - 5,6	Kildeso <i>et al.</i> (1999)
	Immeuble à bureaux logeant éventuellement des fumeurs N=14EA/h, durée moy. : 6 - 16 h	17 - 27	Kildeso <i>et al.</i> (1999)
	Immeuble à bureaux logeant éventuellement des fumeurs N=58EA/h, durée moy. : 8 h	7,4 - 8,6	Kildeso <i>et al.</i> (1999)
Nébuliseur	Musée : présence de cuivre et de sels sur les objets	X	Rogers et Costain (1980)
Bougies et encens allumés	Examen de la documentation	X	EPA (2001d)
Béton	Bureaux modernes à Oslo	X	Kruse <i>et al.</i> (2002)
Émanations de cuisine	Maison à Birmingham (R.-U.), pas de système de CVC, ouverture périodique des fenêtres, juillet 1998, cuisson au gaz	50	Jones <i>et al.</i> (2000)
Particules grossières : PM₁₀			
Troposphère	Emplacements ruraux aux É.-U. intervalle moy. annuel dans les années 1990	19 - 24	EPA (2001b)
Emplacements urbains	11 villes au Canada de 1984 à 1993, moy. 24 h	2 - 65	MOE (1999)
	Villes canadiennes dans les années 1990, intervalle moy. annuel	20 - 30	EC (1999)
	19 villes canadiennes en 1993, intervalle moy. à chaque emplacement	2 - 65	EC (1997)
	Birmingham (R.-U.), juillet 1998	5 - 40	Jones <i>et al.</i> (2000)
	Emplacements urbains aux É.-U. intervalle moy. annuel dans les années 1990	25 - 31	EPA (2001b)
Béton	Bureaux modernes à Oslo	X	Kruse <i>et al.</i> (2002)
Particules très grossières : > PM₁₀			
Phanères humains	Bureaux modernes à Oslo, phanères épidermiques	X	Kruse <i>et al.</i> (2002)
Peluches	Fibres provenant des vêtements et tapis à des emplacements intérieurs	X	Yoon et Brimblecombe (2000)
Peroxyde d'hydrogène			
Désert et prairies herbeuses		0,14 - 4,2	Graedel (1984)
Emplacements urbains		14 - 42	Graedel (1987a)
Sulfate d'ammonium			
À l'extérieur	Produit de la réaction de l'ammonium avec des composés sulfurés. La même réaction peut se produire à l'intérieur	X	Seinfeld et Pandis (1998)
Sulfure d'hydrogène			
Troposphère		0,014 - 14	Graedel (1984)
		0,01 - 0,02	Watts (2000)
		0,007 - 0,07	Graedel <i>et al.</i> (1981)
		0,05 - 1,0	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)

Polluants aéroportés/ Sources	Description	Intervalle de concentrations $\mu\text{g m}^{-3}$	Renvois
Sulfure d'hydrogène (suite)			
Troposphère (suite)	À l'extérieur de quatre musées hollandais situés sur la côte et en zone agricole	0,068 - 0,19	Ankersmit <i>et al.</i> (2000)
Emplacements urbains		0,14 - 0,7	Graedel (1987a)
		0,02 - 7	Graedel <i>et al.</i> (1981)
	À l'extérieur de quatre musées hollandais situés en zones urbaines et industrielles	0,12 - 0,59	Ankersmit <i>et al.</i> (2000)
	À l'extérieur du Sainsbury Centre for Visual Art (R.-U.)	0,13	Camuffo <i>et al.</i> (2001)
	Deux emplacements industriels (pétrochimique et pâtes et papiers) au Québec (Canada), moy. annuelle 1990-1994	0,3 - 1,3	Ministère de l'Environnement et de la Faune (1997)
À l'intérieur	Quatre musées hollandais à différents emplacements : zones urbaines, industrielles, côtières et agricoles	0,03 - 1,4	Ankersmit <i>et al.</i> (2000)
	Sainsbury Centre for Visual Art (R.-U.)	0,15	Camuffo <i>et al.</i> (2001)
Origine humaine	basée sur 2,8 mg/personne/jour dans une salle	16 (simulation)	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
Peinture à base de composés sulfurés	Signalé sans précisions	X	Miles (1986)
Objets pollués par du soufre	Signalé sans précisions	X	Green (1992)
Sulfure de carbonyle			
Troposphère		0,7	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
		1,0 - 1,1	Graedel <i>et al.</i> (1981)
Emplacements urbains		0,7	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
Laine	Rideaux dans une salle exposée à la lumière du soleil	1,4	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
	Tapis, 900 g de laine dans une salle	0,12 (simulation)	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
	Vêtements secs, 20 personnes (500 g de laine)	0,035 (simulation)	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)
	Vêtements mouillés, 20 personnes (500 g de laine)	0,14 (simulation)	Brimblecombe <i>et al.</i> (1992)

APPENDIX 2. DOMMAGES CAUSÉS PAR DES POLLUANTS PRÉSENTS DANS LES MILIEUX INTÉRIEURS

Acide acétique p. 110	Dioxyde de soufre p. 120	Ozone p. 125
Acide formique p. 112	Dioxyde de soufre et dioxyde d'azote p. 121	Ozone, mélange dioxyde d'azote et PAN p. 128
Acide nitrique p. 112	Formaldéhyde p. 124	Particules fines p. 129
Acides gras p. 115	Milieu anoxique. 124	Peroxyde d'hydrogène p. 129
Amines (DEAE, ODA) p. 115	Monoxyde d'azote p. 125	Sulfate d'ammonium p. 129
Ammoniac p. 115	Nitrate de peroxyacétyle (PAN) p. 125	Sulfure d'hydrogène p. 129
Chlore p. 115	Oxyde nitreux p. 125	Sulfure de carbone p. 131
Dioxyde d'azote p. 115	Oxygène p. 125	Vapeur d'eau p. 131

Abréviations : AE : analyse électrochimique (V), CC : contrôle colorimétrique (visible; système de la C.I.E. : $\Delta E = 2$), CHR : technique chromatographique, CR : contrainte à la rupture (%), DA : densité de l'argent (%), DH : degré d'hydrolyse, DP : densitomètre photographique (%), DRX : spectroscopie de diffraction des rayons X, EDXA : analyse par rayons X à dispersion d'énergie (V), EP/MEB : mesure d'épaisseur de la pellicule par microscopie électronique à balayage (V), GP : mesure du gain de poids (LD), IC/SI : indice de cristallinité par spectroscopie infrarouge (%), M : modélisé (V ou %), MR : mesure de réflectance (% habituellement basé sur la longueur d'onde qui cause le changement le plus marqué), OV : observation visuelle (V), pH : par extraction aqueuse ou en surface, NCD (%), PP : mesure de la perte de poids (LD), PV : degré de polymérisation par mesure viscosimétrique (%), RC : résistance au contact (%), RP : résistance au pliage (%), SA : spectroscopie Auger (V), TE : technique ellipsométrique (V), TGY : teneur en gypse (LD), TRT : technique de radiotraçage, NCD (LD), TS : mesure de la teneur en sulfate, NCD (LD).

% : 5 % d'écart par rapport à la valeur de contrôle, AQ : aquarelle, CE : concentration estimée en fonction des données originales ou des concentrations typiques, E3 ou E6 : exposant 3 ou 6, LD : limite de détection de la technique, NCD : n'est pas nécessairement considéré comme une détérioration, OP : observations périodiques jusqu'à, V : dommage visible ou pellicule de 40 nm d'épaisseur, X : données non rapportées, mesurées ou constatées.

Remarque : Par défaut, l'exposition aux polluants survient à la température ambiante (20 à 25 °C) et principalement dans l'obscurité. Les passages en gris signalent les objets les plus sensibles au polluant en cause, à un taux d'HR d'environ 50 % et à la température ambiante. Dans une enceinte d'essai, on a retenu la concentration estimée de polluant au point de sortie plutôt qu'au point d'entrée. La qualité des données peut varier considérablement. Dans le cadre de nombreuses expériences, l'exposition s'est faite à des concentrations de polluants supérieures à celles typiquement présentes dans les musées ou la quantification s'est faite de façon plutôt suggestive ou empirique. Le même poids n'a pas été accordé à toutes les données. Cette approche fondée sur la pondération des données probantes prend en considération la qualité et la pertinence des observations sur le terrain ou de l'expérience. On ne considère pas que les conditions d'exposition extrêmes (p. ex. taux élevé d'HR, forte température ou fortes concentrations de polluants) donnent lieu à des données primaires. Les fortes concentrations de polluants associées à une durée d'exposition courte peuvent fausser les effets nuisibles possibles parce que certains procédés de détérioration peuvent engendrer des effets qui ne se produisent pas à des concentrations plus faibles. Dans certains cas, les conditions d'exposition extrêmes sont présentées dans cette annexe afin de montrer leur influence sur la valeur de la CSENO et de la DMENO. Parfois, lorsque la CSENO et la CMENO sont précisées, mais que la valeur de la CSENO est incertaine, une DMENO est aussi fournie. Certains renvois sont cités même si les sources correspondantes ne rapportent pas de données parce que celles-ci fournissent une bonne description des dommages que peuvent subir les matériaux dans un milieu intérieur pollué.

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3}$ an	Renvois
Acide acétique (CH₃COOH)					
Cellulose					
Coton	PV	HR 45-50 %, 786 jours, papier Whatman dans un carton acide (et présence d'autres composés acides)	4000 - X	X	Dupont et Tétreault (2000a)
	PV	HR 54 %, OP 80 jours, sur papier Whatman	3000 - 20 000	3000	Dupont et Tétreault (2000b)
	pH	HR 54 %, 80 jours, sur papier Whatman	X - 3000	5000	Dupont et Tétreault (2000b)
Matériaux à base de carbonate de calcium					
Coquille	OV	HR 54 %, OP 1 an, <i>cypraea annulus</i>	12E3 - 50E3	6000	Brokerhof et Van Bommel (1996)
	OV	HR 54 %, OP 1 an, <i>loripes lacteus</i>	87E3 - 310E3	20 000	Brokerhof et Van Bommel (1996)
	OV	HR 54 %, OP 1 an, <i>chamelea striatula</i>	X - 12E3	12 000	Brokerhof et Van Bommel (1996)
Coquille d'œuf (volaille)	OV	HR 54 %, OP 1 an	50E3 - 87E3	30 000	Brokerhof et Van Bommel (1996)
Ivoire	OV	HR 54 %, OP 1 an	2E6 - X	X	Brokerhof et Van Bommel (1996)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Acide acétique (CH_3COOH) (suite)					
Matériaux à base de carbonate de calcium (suite)					
Os	OV	HR 54 %, OP 1 an	2E6 - X	X	Brokerhof et Van Bommel (1996)
Matière colorante					
Fuchsine basique	CC	HR 54 %, OP 52 jours, sur papier AQ	7E3 - 25E3	3E6	Tétreault et Lai (2001)
Métaux					
Acier	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	130 - 1300	0,8	Clarke et Longhurst (1961)
Argent	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	170E3 - X	X	Donovan et Stringer (1972)
Cadmium	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	130 - 1300	20	Clarke et Longhurst (1961)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1300	10	Donovan et Stringer (1972)
	OV	Divers produits émissifs de vapeurs acides	X-X	X	Seabright et Trezek (1948)
	OV	Les plaques de cadmium corrodent dans une vitrine faite de panneaux de fibres et de chêne	X-X	X	Brown (1998)
Cuivre	GP	HR 54 %, OP 5 mois	37 000 - X	X	Tétreault (1992b)
	OV	HR 50 %, OP 120 jours	1300 - 13 000	1100	Thickett (1997)
	OV	HR 100 %, OP 120 jours	X - 1300	90	Thickett (1997)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	130 - 1300	10	Clarke et Longhurst (1961)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1300	10	Donovan et Stringer (1972)
	OV, AE	HR 100 %, 30 °C, OP 3 semaines	X - 25 000	70	López-Delgado <i>et al.</i> (1998)
Fer	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1300	0,4	Donovan et Stringer (1972)
Laiton	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 13 000	70	Clarke et Longhurst (1961)
Nickel	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	13E3 - 130E3	100	Donovan et Stringer (1972)
Plomb	GP	HR 34 %, OP 6 mois	860 - 2600	X	Tétreault <i>et al.</i> (1998)
	GP	HR 23-44 %, 76 jours	X- 1000	10	Eremin et Wilthew (1998)
	OV	HR 50 %, OP 4 mois, échantillon en chêne dans un bocal	X- 6700	300	Miles (1986), Tétreault et Stamatopoulou (1997)
	OV	HR 50 %, OP 120 jours	X - 1300	60	Thickett (1997)
	GP	HR 54 %, OP 1 an	430 - 600	X	Tétreault <i>et al.</i> (1998)
	OV	OP 3,5 années, à l'intérieur d'un musée (formaldéhyde : $500 \mu\text{g m}^{-3}$)	320 - X	X	Thickett <i>et al.</i> (1998)
	GP	HR 75 %, OP 6 mois	520 - 860	80	Tétreault <i>et al.</i> (1998)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1300	4	Donovan et Stringer (1972)
	GP	HR 54 %, OP 6 mois, sur plomb terni	2600 - 12 000	3000	Tétreault <i>et al.</i> (1998)
	GP	HR 75 %, OP 6 mois, sur plomb terni	860 - 2600	700	Tétreault <i>et al.</i> (1998)
Zinc	GP	HR 54 %, OP 11 mois	22E3 - 27E3	X	Tétreault (1992b)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	13 - 130	3	Clarke et Longhurst (1961)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1300	0,6	Donovan et Stringer (1972)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Acide formique (HCOOH)					
Métaux					
Acier	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	3800 - 13 000	200	Donovan et Stringer (1965)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	13E3 - 48E3	1000	Donovan et Stringer (1965)
Argent	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	130E3 - X	X	Donovan et Stringer (1972)
Cadmium	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1100	8	Donovan et Stringer (1972)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 3800	100	Donovan et Stringer (1965)
Cuivre	OV	HR 50 %, OP 120 jours	960 - 9600	1000	Thickett (1997)
	GP	HR 54 %, OP 135 jours	8000 - 11 000	X	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
	GP	HR 75 %, OP 135 jours	4000 - 11 000	X	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
	OV	HR 100 %, OP 120 jours	X - 960	40	Thickett (1997)
	OV, AE	HR 100 %, 30 °C, OP 21 jours	X - 19 000	200	Bastidas <i>et al.</i> (2000)
	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, OP 30 jours	X - 30 000	40	Cermakova et Vlachova (1966)
Fer	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1100	0,2	Donovan et Stringer (1972)
	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, OP 30 jours	X - 30 000	3	Cermakova et Vlachova (1966)
Nickel	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	1100 - 11 000	30	Donovan et Stringer (1972)
Plomb	OV	HR 50 %, OP 120 jours	X - 960	100	Thickett (1997)
	GP	HR 54 %, OP 135 jours	170 - 760	X	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
	GP	HR 75 %, 135 jours	760-2000	X	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
	OV	HR 100 %, OP 120 jours	X - 960	40	Thickett (1997)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1100	30	Donovan et Stringer (1972)
	GP	HR 54 %, 33 jours, source : panneaux de particules	330 - X	X	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
Plomb, terni 5 - 7 ans	GP	HR 75 %, 33 jours, source : panneaux de particules	X - 330	20	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
	GP	HR 100 %, 33 jours, source : panneaux de particules	X - 330	3	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
	GP	HR 100 %, 33 jours, source : panneaux de particules	X - 330	3	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
Zinc	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 1100	3	Donovan et Stringer (1972)
	PP	HR 100 %, 30 °C, 3 semaines	X - 3800	100	Donovan et Stringer (1965)
	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, OP 30 jours	X - 30 000	1	Cermakova et Vlachova (1966)
Verre	OV	À l'intérieur, éventuellement aussi causé par l'acide acétique et l'acide formique	X - X	X	Riederer (1997), Oakley (1990), Ryan <i>et al.</i> (1993)

Acide nitrique (HNO₃)
Matières colorantes; les cinq plus sensibles

Tourneol	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,09	Salmon et Cass (1993)
Base de pararosaniline	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,09	Salmon et Cass (1993)
Aigami (malonyl- awobanine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,3	Salmon et Cass (1993)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,3	Salmon et Cass (1993)
Curcumine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,3	Salmon et Cass (1993)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3}$ an	Renvois
Acide nitrique (HNO₃) (suite)					
Matières colorantes; matières colorantes organiques artificielles					
Acridone	CC	HR 50 %, 2 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Base de pararosaniline	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,09	Salmon et Cass (1993)
Bleu de phthalocyanine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Bleu de Prusse	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	10	Salmon et Cass (1993)
Bleu paliogen	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	X - 31	4	Salmon et Cass (1993)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,3	Salmon et Cass (1993)
Fuchsine basique	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	2	Salmon et Cass (1993)
Indigo syn.	CC	HR 50 %, OP 12 semaines (Indigotine, bleu d'indanthrène 1)	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Indigo syn.	CC	HR 50 %, OP 12 semaines (Indigotine, bleu d'indanthrène 1)	X - 100	0,6	Salmon et Cass (1993)
Jaune arylide 10G	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,6	Salmon et Cass (1993)
Jaune paliogen	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Laque écarlate	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Magenta permanent	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Mauve	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	3	Salmon et Cass (1993)
Naphtol	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Noir d'aniline	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Pourpre dioxazinique	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Rose de carthame	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Rouge de toluidine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Rouge quinacridone	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Rouge vif	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Thioindigo violet	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Vert de phthalocyanine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Matières colorantes : matières colorantes inorganiques					
Auréoline, jaune de cadmium, violet de manganèse, vermillon		HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Jaune de chrome	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Orpiment	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	X - 31	5	Salmon et Cass (1993)
Orpiment, pâli	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, auparavant exposé à $7 \mu\text{g m}^{-3}$ an	X - 100	40	Salmon et Cass (1993)
Réalgar	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	X - 31	10	Salmon et Cass (1993)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Acide nitrique (HNO₃) (suite)					
Matières colorantes : matières colorantes inorganiques : encres					
Encre de fer (tannate)	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	2	Salmon et Cass (1993)
Encre de fer (tannate de fer)	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	3	Salmon et Cass (1993)
Matières colorantes : matières colorantes japonaises traditionnelles sur de la soie (avec ou sans mordants)					
Beni (orange et rouge), Kariyasu, Ai + Enju, Akane, Ukon, Ai + Kariyasu	CC	HR 50 %, OP 12 semaines	X - 31	2	Salmon et Cass (1993)
Beni (orange), pâli	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, auparavant exposé à $7 \mu\text{g m}^{-3}$ an	X - 100	1	Salmon et Cass (1993)
Enju (rutine)	CC	HR 50 %, OP 12 semaines	X - 31	0,5	Salmon et Cass (1993)
Kihada, Kuchi nashi, Woren, Yamahaji, Zumi, Shio, Seiyō akane, Enji, Shiko, Suo, Ai, Shikon, Ai + Kihada	CC	HR 50 %, 12 semaines	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Yama momo	CC	HR 50 %, OP 12 semaines	X - 31	7	Salmon et Cass (1993)
Matières colorantes : naturelles organiques traditionnelles					
Aigami (malonyl- awobanine)	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,3	Salmon et Cass (1993)
Bleu dispersé 3	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur acétate de cellulose	X - 31	2	Salmon et Cass (1993)
Bitume	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Brun Van Dyke	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Curcumine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,3	Salmon et Cass (1993)
Gomme-gutte	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	4	Salmon et Cass (1993)
Gomme-laque	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	2	Salmon et Cass (1993)
Indigo, artificiel	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Indigo, bleu naturel 1	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 100	0,6	Salmon et Cass (1993)
Jaune indien	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	3	Salmon et Cass (1993)
Laque de cochenille	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	7	Salmon et Cass (1993)
Laque de garance	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Laque quercitron	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	2	Salmon et Cass (1993)
Laque Weld	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	5	Salmon et Cass (1993)
Nerprun (graines de Perse)	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	1	Salmon et Cass (1993)
Safran	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Sang-dragon	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	2	Salmon et Cass (1993)
Sépia	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	31 - X	X	Salmon et Cass (1993)
Tournesol	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 31	0,09	Salmon et Cass (1993)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Acides gras					
Cadres en verre et objets organiques	OV	À l'intérieur dans une enceinte, voile ou images fantômes	X - X Ordonez (1998)	X	Williams (1989),
Amines, voir aussi ammoniac et sulfate d'ammonium					
Diéthylaminoéthanol, DEAE ((CH₃CH₂)₂N(CHCH₂OH))					
Huile de lin	CC	À l'intérieur	X - 14	10	Oshio (1992)
Peintures vernies	OV	Deux mois, à l'intérieur	X - 50 (LD)	8	Biddle (1983)
	OV	Vapeur dégagée par une solution très concentrée	X - X	X	Williams (2001)
Octadécylamine, ODA (CH₃(CH₂)₁₆CH₂NH₂)					
Argent et cuivre	OV	Musée	X - X	X	Organ (1967)
Ammoniac (NH₃)					
Nitrate de cellulose	OV	Objets exposés en vitrine ouverte et rangés dans des contenants. Composés identifiés par spectroscopie à infrarouge à transformée de Fourier	X - X	X	Tétreault et Williams 2002
Chlore (Cl₂)					
Cuivre	GP	HR 0 %, 30 °C, OP 30 h	X - 59	0,008	Schubert (1988)
	AE	HR 0 %, OP 10 jours	X - 290	0,6	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours	X - 290	0,6	Fiaud et Guinement (1986)
Dioxyde d'azote (NO₂)					
Image argentique	DA	HR 50 %, OP 20 h, sur pellicule de triacétate de cellulose	X - 1,9E6	2000	Carroll et Calhoun (1955)
Matériaux à base de carbonate de calcium					
Calcaire, marbre, travertin	GP	HR 90 %, OP 6 semaines	4300 - X	X	Johansson <i>et al.</i> (1988)
Matières colorantes; les quatre plus sensibles					
Curcumine	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur de la soie et sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
Enju (rutine)	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1994)
Hématoxyline	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
Quercitron	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur du coton et sur de la soie	X - 70	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
Matières colorantes : colorants pour pellicules micrographiques					
Jaune	DP	HR 80 %, 70 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique négatif couleur Eastman 5272	X - 10 000	20	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	DP	HR 80 %, 70 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique positif couleur Eastman 52384	X - 10 000	90	Zinn <i>et al.</i> (1994)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Dioxyde d'azote (NO₂) (suite)					
Matières colorantes : matières colorantes inorganiques					
Auréoline	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Encre de fer I	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	40	Whitmore et Cass (1989)
Encre de fer II	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	30	Whitmore et Cass (1989)
Jaune de cadmium moyen	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Jaune de chrome	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Orpiment	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	40	Whitmore et Cass (1989)
Réalgar	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	20	Whitmore et Cass (1989)
Vermillon	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Violet de manganèse	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Matières colorantes : matières colorantes organiques modernes artificielles sur papier, aquarelles principalement					
Bleu de phthalocyanine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Bleu de Prusse	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Bleu paliogen	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	80	Whitmore et Cass (1989)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	80	Whitmore et Cass (1989)
Jaune arylide 10G	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Jaune arylide G	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Jaune paliogen	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Laque écarlate	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Magenta permanent	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Mauve	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	50	Whitmore et Cass (1989)
Naphtol	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Noir d'aniline	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Pourpre dioxazinique	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	100	Whitmore et Cass (1989)
Rose de carthame	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Rouge de toluidine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Rouge vif	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Thioindigo violet	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Matières colorantes : matières colorantes organiques naturelles					
Aigami (malonyl-awobanine)	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	40	Whitmore et Cass (1989)
Bitume	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Brun Van Dyke	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Curcumine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	20	Whitmore et Cass (1989)
Gomme-gutte	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	50	Whitmore et Cass (1989)
Gomme-laque	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	40	Whitmore et Cass (1989)
Indigo	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	80	Whitmore et Cass (1989)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Dioxyde d'azote (NO₂) (suite)					
Matières colorantes : matières colorantes organiques naturelles (suite)					
Jaune indien	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Laque de cochenille	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	60	Whitmore et Cass (1989)
Laque de garance	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Laque quercitron	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	70	Whitmore et Cass (1989)
Laque Weld	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Nerprun (graines de Perse)	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	60	Whitmore et Cass (1989)
Safran	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	80	Whitmore et Cass (1989)
Sang-dragon	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	30	Whitmore et Cass (1989)
Sépia	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 960	100	Whitmore et Cass (1989)
Tournesol	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Vert de phthalocyanine	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Matières colorantes : soie colorée avec matières colorantes japonaises					
Nombreuses matières colorantes	CC	HR 50 %, 12 semaines, sur papier AQ	960 - X	X	Whitmore et Cass (1989)
Matières colorantes : teintures extraites de plantes pour tissus sur du coton et sur de la soie					
Acide carminique	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur du coton	X - 70	4	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur de la soie	X - 70	50	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur du coton	X - 1900	40	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur de la soie	19 000 - X	X	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur de la soie	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur du coton	X - 1900	2	Saito <i>et al.</i> (1993)
Akane (pseudopurpurine)	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie et sur du coton	19 000 - X	X	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	30	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1994)
Benibana	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	1900 - X	X	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	5	Saito <i>et al.</i> (1994)
Bleu dispersé 3 (CI 61505)	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur du coton et sur de la soie	X - 70	4	Saito <i>et al.</i> (1993)
Campêche (hématoxyline)	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	5	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	5	Saito <i>et al.</i> (1994)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Dioxyde d'azote (NO₂) (suite)					
Matières colorantes : teintures extraites de plantes pour tissus sur du coton et sur de la soie (suite)					
Cochenille	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	4	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	5	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	2	Saito <i>et al.</i> (1994)
Curcumine	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur du coton	X - 70	2	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur de la soie	X - 70	4	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur du coton	X - 1900	40	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur de la soie	X - 1900	40	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur de la soie	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
Enju (rutine)	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	4	Saito <i>et al.</i> (1994)
Hématoxyline	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur du coton	X - 70	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur de la soie	X - 70	50	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur du coton	X - 1900	3	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur de la soie	19 000 - X	X	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, sur de la soie	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1993)
Indigo	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur du coton et sur de la soie	X - 70	50	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur de la soie et sur du coton	19 000 - X	X	Saito <i>et al.</i> (1993)
Quercitron	CC	À l'intérieur, OP 10 jours, sur du coton et sur de la soie	X - 70	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, sur de la soie et sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1993)
Suou, suo (brésiline)	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	1900 - X	X	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	40	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	6	Saito <i>et al.</i> (1994)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Dioxyde d'azote (NO₂) (suite)					
Matières colorantes : teintures extraites de plantes pour tissus sur du coton et sur de la soie (suite)					
Ukon (curcumine)	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	10	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	30	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	3	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	1	Saito <i>et al.</i> (1994)
Yamamomo (myricitrine)	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	3	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 65 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	9	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur du coton	X - 1900	3	Saito <i>et al.</i> (1994)
	CC	HR 90 %, OP 10 jours, mordant Al, sur de la soie	X - 1900	9	Saito <i>et al.</i> (1994)
Matières colorantes : teintures pour tissus sur du coton et sur de la soie					
Brésiline, purpurin, tannin chinois, myricétine	CC	OP 12 mois, à l'intérieur, sur du coton et sur de la soie	X - 4,6 (jusqu'à 110)	2	Kadokura <i>et al.</i> (1988)
Métaux					
Cuivre	GP	HR 70 %, OP 4 semaines	X - 940	30	Eriksson <i>et al.</i> (1993)
	GP	HR 90 %, OP 4 semaines	X - 940	40	Eriksson <i>et al.</i> (1993)
Papiers					
Chiffon de coton	CC	HR 50 %, 25 °C, 60 jours, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	38 000 - X	X	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Chiffon de coton	RP	HR 50 %, 25 °C, OP 60 jours	X - 1900	30	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Chiffon de coton avec 5 % CaCO ₃	CC	HR 50 %, 25 °C, 60 jours, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	X - 38 000	7000	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Pâte chimique de bois (colle acide)	CR	HR 50 %, 1 jour	X - 5E6	600	Iversen et Kolar (1991)
	RP	HR 50 %, 1 jour	X - 5E6	600	Iversen et Kolar (1991)
Pâte chimique de bois ou coton (colle neutre)	CR	HR 50 %, 1 jour	5E6 - X	X	Iversen et Kolar (1991)
	RP	HR 50 %, 1 jour	5E6 - X	X	Iversen et Kolar (1991)
Pâte chimique et pâte mécanique	RP	HR 50 %, 25 °C, OP 4 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères	X - 1900	40	Reilly <i>et al.</i> (2001)
	CC	HR 50 %, 25 °C, 3 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	X - 1900	5	Reilly <i>et al.</i> (2001)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Dioxyde d'azote (NO₂) (suite)					
Matières colorantes : teintures pour tissus sur du coton et sur de la soie (suite)					
Pâte chimique et pâte mécanique avec 5 % CaCO ₃	CC	HR 50 %, 25 °C, 3 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	X - 1900	70	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Papier contenant du bois (colle acide)	CR	HR 50 %, 1 jour	5E6 - X	X	Iversen et Kolar (1991)
	RP	HR 50 %, 1 jour	5E6 - X	X	Iversen et Kolar (1991)
Dioxyde de soufre (SO₂)					
Cuirs de tannage végétal	TS	À l'intérieur, 60 ans, dans un milieu à la campagne, CE	X - 0,6	10	Larsen (1997), Brimblecombe (1997), Blades (1997)
	OV	À l'intérieur, 60 ans, dans un milieu à la campagne, CE	X - 0,6	40	Brimblecombe (1997), Blades (1997)
	TS	À l'intérieur, 60 ans, comparé avec le milieu à la campagne, CE	X - 17	70	Larsen (1997), Brimblecombe (1997), Blades (1997)
	TS	À l'intérieur, OP 7 ans, cuir de veau, CE	X - 60	40	Chahine (1991)
	TS	HR 90 %, OP 12 semaines, cuir de veau	X - 65 000	900	Chahine (1991)
Colorants pour pellicules micrographiques					
Azo-naphtol (cyan)	OV	72 heures	X - 11 000	90	Leyshon et Holstead (1988)
Jaune	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique négatif couleur Eastman 5272	13 000 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique positif couleur Eastman 52384	13 000 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur support d'impression Kodak Ektatherm avec diffusion des couleurs (sans gélatine)	13 000 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Magenta	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur pellicule micrographique couleur Ilfochrome CMM	13 000 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Image argentique	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, sur pellicules micrographiques en noir et blanc	13 000 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Matériaux à base de carbonate de calcium					
Calcaire	GP	HR 90 %, OP 6 semaines	X - 4300	90	Johansson <i>et al.</i> (1988)
	TGY	HR 100 %, OP 20 jours	2700 - X	X	Moroni et Poli (1996)
	TGY	HR 100 %, OP 20 jours	X - 13 000	80	Moroni et Poli (1996)
	PP	HR X %, conditions à l'extérieur : emplacement sur la côte, 200 jours	X - 11	20	Cooke et Gibbs (1994)
	PP	HR X %, conditions à l'extérieur : emplacement dans les terres, 200 jours	X - 21	30	Cooke et Gibbs (1994)
Corail	OV	Conditions inconnues; rapporté par le Musée canadien de la nature	X - X	X	Waller (2002)
Marbre	EP / MEB, M	HR 100 %, OP 188 jours, LD : 20 μm	X - 27 000	70	Lal Gauri <i>et al.</i> (1989)
Marbre	GP	HR 90 %, OP 6 semaines	X - 4300	200	Johansson <i>et al.</i> (1988)
Travertin	GP	HR 90 %, OP 6 semaines	X - 4300	200	Johansson <i>et al.</i> (1988)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Dioxyde de soufre (SO₂) (suite)					
Matières colorantes					
Base de pararosaniline	CC	HR 46 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	X - 140	10	Williams <i>et al.</i> (1993b)
Bleu actif 2 (Bleu procion HB)	CC	HR 46 %, 12 semaines, sur papier Whatman	X - 140	20	Williams <i>et al.</i> (1993b)
Curcumine	CC	HR 46 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 140	10	Williams <i>et al.</i> (1993b)
Fuchsine basique	CC	HR 46 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	X - 140	10	Williams <i>et al.</i> (1993b)
	CC	HR 50 %, OP 67 jours, sur papier AQ	X - 450	10	Tétreault et Lai (2001)
Indigo	CC	HR 46 %, 12 semaines, sur papier Whatman	X - 140	20	Williams <i>et al.</i> (1993b)
Mauve	CC	HR 46 %, 12 semaines, sur papier AQ	X - 140	10	Williams <i>et al.</i> (1993b)
Vert brillant	CC	HR 46 %, OP 12 semaines, sur papier Whatman	X - 140	10	Williams <i>et al.</i> (1993b)
Autres matières colorantes	CC	HR 46 %, 12 semaines, sur papier AQ	140 - X	X	Williams <i>et al.</i> (1993b)
Métaux					
Cuivre	SA	À l'intérieur, OP 10 ans (concentration moy. à l'ext. : 53, I/E = 0,88)	X - 47	500	Graedel (1987b), Schubert et D'Egidio (1990), Hisham <i>et al.</i> (1991b)
	GP	HR 70 %, OP 4 semaines	X - 1300	70	Eriksson <i>et al.</i> (1993)
	GP	HR 90 %, OP 4 semaines	X - 1300	9	Eriksson <i>et al.</i> (1993)
Papiers					
Chiffon de coton	pH	À l'intérieur, moy. 190 - 230 ans	X - 47	2000 - 6000	Lyth Hudson (1967)
Chiffon de coton	TRT	HR 58 %, OP 180 jours, contient également des additifs	X - 27 000	800	Edwards <i>et al.</i> (1968)
Chiffon de coton (le plus pur)	TRT	HR 58 %, OP 180 jours	X - 27 000	20 000	Edwards <i>et al.</i> (1968)
Pâte chimique de bois	TRT	HR 58 %, OP 180 jours, contient également des additifs	X - 27 000	800	Edwards <i>et al.</i> (1968)
	TRT	HR 58 %, OP 180 jours, papiers faits à 80 % de pâte mécanique et à 20 % de pâte chimique	X - 27 000	200	Edwards <i>et al.</i> (1968)
Pâte chimique et pâte mécanique avec CaCO ₃	CC	HR 50 %, 25 °C, 4 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	1300 - X	X	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Papier journal	TS	HR 62 %, OP 29 semaines (100 % pâte chimique de bois, colophane, amidon, kaolin)	X - 140	30	Williams et Grosjean (1990)
Dioxyde de soufre (SO₂) et dioxyde d'azote (NO₂)					
Cuir de tannage végétal	pH	OP 7 ans, à l'intérieur, cuir de veau, CE	SO ₂ : X - 60 NO ₂ : X - 18	30 9	Chahine (1991)
	pH	HR 90 %, OP 12 semaines, cuir de veau	SO ₂ : X - 65E3 NO ₂ : X - 18E3	1000 300	Chahine (1991)
Gélatine sur photographie	CHR	HR 50 %, OP 30 jours, gélatine à faible tannage	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	300 - 500 400 - 700	Nguyen <i>et al.</i> (1999)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO– CMENO µg m ⁻³	DMENO µg m ⁻³ an	Renvois	
Dioxyde de soufre (SO ₂) et dioxyde d'azote (NO ₂) (suite)						
Matériaux à base de carbonate de calcium						
Calcaire	TGY	HR 100 %, OP 20 jours	SO ₂ : 2700 - X NO ₂ : 190 - X	X X	Moroni et Poli (1996)	
	GP	HR 90 %, OP 6 semaines	SO ₂ : X - 4300 NO ₂ : X - 5900	30 40	Johansson <i>et al.</i> (1988)	
	TGY	HR 100 %, OP 20 jours	SO ₂ : X - 13 000 NO ₂ : X - 380	60 2	Moroni et Poli (1996)	
Marbre	GP	HR 90 %, OP 6 semaines	SO ₂ : X - 4300 NO ₂ : X - 5900	40 50	Johansson <i>et al.</i> (1988)	
Travertin	GP	HR 90 %, OP 6 semaines	SO ₂ : X - 4300 NO ₂ : X - 5900	30 40	Johansson <i>et al.</i> (1988)	
Métaux						
Cuivre	GP	HR 70 %, OP 4 semaines	SO ₂ : X - 1300 NO ₂ : X - 940	30 20	Eriksson <i>et al.</i> (1993)	
	GP	HR 90 %, OP 4 semaines	SO ₂ : X - 1300 NO ₂ : X - 940	2 2	Eriksson <i>et al.</i> (1993)	
Papiers						
Chiffon de coton	PV	HR 50 %, 4 jours	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	10 10	Bégin <i>et al.</i> (1999)	
	RP	HR 50 %, 4 jours	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	10 20	Bégin <i>et al.</i> (1999)	
	PV	HR 50 %, 4 jours, 95 % coton et 5 % bois de conifères	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	20 30	Havermans (1997)	
	TS	HR 50 %, 4 jours, 95 % coton et 5 % bois de conifères	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	20 30	Havermans (1997)	
	CR	HR 50 %, 4 jours	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	70 30	Bégin <i>et al.</i> (1999)	
	TS	HR 50 %, 4 jours	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	30 40	Bégin <i>et al.</i> (1999)	
	pH	HR 50 %, 4 jours	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	30 50	Bégin <i>et al.</i> (1999)	
	PV	HR 90 %, 28 °C, OP 9 semaines, papier Whatman, préacidifié	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	100 30	Daniel <i>et al.</i> (1991)	
	IC/SI	HR 50 %, 4 jours, 95 % coton et 5 % bois de conifères	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	300 400	Havermans (1998)	
	pH	HR 90 %, 28 °C, OP 9 semaines, papier Whatman, préacidifié	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	2000 400	Daniel <i>et al.</i> (1991)	
	Chiffon de coton avec 5 % CaCO ₃	CC	HR 50 %, 25 °C, OP 6 mois, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	SO ₂ : 130 - X NO ₂ : 190 - X	X X	Reilly <i>et al.</i> (2001)
	Papier Kraft blanchi	PV	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	10 20	Bégin <i>et al.</i> (1999)
		RP	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	20 20	Bégin <i>et al.</i> (1999)
PV		HR 50 %, 4 jours, bois de conifères	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	40 30	Havermans (1997)	
CR		HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	60 20	Bégin <i>et al.</i> (1999)	
pH		HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	30 50	Bégin <i>et al.</i> (1999)	

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO µg m ⁻³	DMENO µg m ⁻³ an	Renvois
Dioxyde de soufre (SO₂) et dioxyde d'azote (NO₂) (suite)					
Papiers (suite)					
Papier Kraft blanchi (suite)	TS	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	100 100	Bégin <i>et al.</i> (1999)
	TS	HR 50 %, 4 jours, bois de conifères	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	100 200	Havermans (1997)
	IC/SI	HR 50 %, 4 jours, bois de conifères	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	200 400	Havermans (1997)
	pH	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines (100 % pâte chimique de bois, colophane, amidon, kaolin)	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	300 70	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	RP	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines (100 % pâte chimique de bois, colophane, amidon, kaolin)	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	600 100	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	RP	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines (100 % pâte chimique de bois, colophane, amidon, kaolin)	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	1000 300	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	pH	HR 90 %, 28 °C, OP 9 semaines, préacidifié (100 % pâte chimique blanchie, colophane, amidon, kaolin)	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	1000 300	Daniel <i>et al.</i> (1991)
	PV	HR 90 %, 28 °C, OP 9 semaines (100 % pâte chimique blanchie, colophane, amidon, kaolin)	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	3000 600	Daniel <i>et al.</i> (1991)
	TS	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines (100 % pâte chimique, colophane, amidon, kaolin)	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	4000 1000	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	TS	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines (100 % pâte chimique, colophane, amidon, kaolin)	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	4000 1000	Daniel <i>et al.</i> (1988)
Papier journal	RP	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines, 60 % pâte mécanique et 40 % pâte chimique blanchie	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	100 30	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	pH	HR 90 %, 28 °C, OP 9 semaines, préacidifié, 60 % pâte mécanique et 40 % pâte chimique blanchie	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	100 30	Daniel <i>et al.</i> (1991)
	pH	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines, 60 % pâte mécanique et 40 % pâte chimique blanchie	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	200 40	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	TS	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines, 60 % pâte mécanique et 40 % pâte chimique blanchie	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	500 10	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	TS	HR 90 %, 28 °C, OP 9 semaines, préacidifié, 60 % pâte mécanique et 40 % pâte chimique blanchie	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	500 100	Daniel <i>et al.</i> (1991)
	CC	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines, 60 % pâte mécanique et 40 % pâte chimique blanchie	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	600 100	Daniel <i>et al.</i> (1988)
	CC	HR 50 %, 28 °C, OP 9 semaines, 60 % pâte mécanique et 40 % pâte chimique blanchie	SO ₂ : X - 67E3 NO ₂ : X - 19E3	600 100	Daniel <i>et al.</i> (1988)
Papier Kraft blanchi tamponné	TS	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette, 2 % CaCO ₃	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	50 80	Bégin <i>et al.</i> (1999)
	PV	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette, 2 % CaCO ₃	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	100 100	Bégin <i>et al.</i> (1999)
	CR	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette, 2 % CaCO ₃	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	100 200	Bégin <i>et al.</i> (1999)
	pH	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette, 2 % CaCO ₃	SO ₂ : X - 27E3 NO ₂ : X - 38E3	1000 1000	Bégin <i>et al.</i> (1999)
	RP	HR 50 %, 4 jours, tremble ou épinette, 2 % CaCO ₃	SO ₂ : 27E3 - X NO ₂ : 38E3 - X	X X	Bégin <i>et al.</i> (1999)
Pâte chimique et pâte mécanique	RP	HR 50 %, 25 °C, OP 6 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères	SO ₂ : X - 130 NO ₂ : X - 190	60 90	Reilly <i>et al.</i> (2001)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Dioxyde de soufre (SO₂) et dioxyde d'azote (NO₂) (suite)					
Papiers (suite)					
Pâte chimique et pâte mécanique (suite)	CC	HR 50 %, 25 °C, OP 6 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	SO ₂ : X - 130 NO ₂ : X - 190	10 10	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Formaldéhyde (CH₂O)					
Matières colorantes	CC	HR 44 % - 52 %, 12 semaines, aquarelles étudiées : carmin d'alizarine, cramoisi d'alizarine, jaune aurore, fuchsine basique, brun de garance, jaune de cadmium, carmin, jaune de chrome, phtalocyanine de cuivre, laque cramoisie, curcumine, bleu dispersé 3, bleu ultramarine, gomme-gutte, vert de Hooker teinte pâle, indigo, indigo carmin, mauve, gomme-gutte nouvelle, base de pararosaniline, gris de Payne, magenta permanent, rose permanent, bleu de Prusse, vert de Prusse, laque pourpre, rose de carthame, rose doré, thioindigo violet, jaune de Winsor	150 - X	X	Williams <i>et al.</i> (1992)
Métaux					
Aluminium	GP	HR 60 % ± 10 %, 17-30 °C, 6 mois	6300 - 63 000	30 000	Duncan et Daniels (1986)
	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, OP 30 jours	5E6 - X	X	Cermakova et Vlchкова (1966)
Argent	GP	HR 60 % ± 10 %, 17-30 °C, 6 mois	X - 630	2000	Duncan (1986)
Cuivre	OV	HR 50 %, OP 120 jours	630 - 6300	800	Thickett (1997)
	GP	HR 60 % ± 10 %, 17-30 °C, 6 mois	63 000 - X	X	Duncan (1986)
	OV	HR 100 %, OP 120 jours	X - 630	50	Thickett (1997)
	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, OP 30 jours	5E6 - X	X	Cermakova et Vlchкова (1966)
Fer	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, OP 30 jours	X - 30 000	100	Cermakova et Vlchкова (1966)
Laiton	GP	HR 60 % ± 10 %, 17-30 °C, 6 mois	X - 6300	3000	Duncan (1986)
Plomb	OV	HR 50 %, OP 120 jours	6300 - X	X	Thickett (1997)
	OV	HR 100 %, OP 120 jours	X - 630	30	Thickett (1997)
Zinc	GP	HR 60 % ± 10 %, 17-30 °C, 6 mois	6300 - 63 000	10 000	Duncan (1986)
	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, 21 jours	5000 - 10 000	200	Cermakova et Vlchкова (1966)
	EP/MEB	HR 100 %, 35 °C, OP 30 jours	X - 30 000	1	Cermakova et Vlchкова (1966)
Verre	OV	À l'intérieur, éventuellement aussi causé par l'acide acétique et le formaldéhyde	X - X	X	Riederer (1997), Oakley (1990), Ryan <i>et al.</i> (1993)
Milieu anoxique					
Matières colorantes		Le minium fonce (photo-réduction*) lorsque exposé à des intensités lumineuses fortes dans un milieu à faible teneur en oxygène	X - faible teneur en oxygène	X	Maekawa (1998)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Monoxyde d'azote (NO)					
Image argentique	DA	HR 50 %, 30 h, sur support de triacétate	420E3 - X	X	Carroll et Calhoun (1955)
Nitrate de peroxyacétyle PAN ($\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OONO}_2$)					
Matières colorantes					
Curcumine	CC	HR 45 %, 12 semaines, papier AQ	X - 140	20	Williams <i>et al.</i> (1993a)
Douze matières colorantes	CC	HR 45 %, 12 semaines, papier AQ	140 - X	X	Williams <i>et al.</i> (1993a)
Fuchsine basique	CC	HR 45 %, 12 semaines, papier AQ	X - 140	10	Williams <i>et al.</i> (1993a)
Oxyde nitreux (N_2O)					
Image argentique	DA	HR 100 %, OP 7 jours, sur support de triacétate de cellulose	48E6 - X	X	Carroll et Calhoun (1955)
Oxygène (O_2)					
Matières colorantes	MR	procédé de photo-oxydation : échantillons exposés à 10 000 lux émanant de tubes fluorescents sans filtre UV	X - 2,8E8	X	Arney <i>et al.</i> (1979)
	CC	échantillons exposés à 10 000 lux émanant de tubes fluorescents sans filtre UV, OP 12 000 h	X - 2,8E8	X	Saunders et Kirby (1994)
Ozone (O_3)					
Coton	CR	HR X %, OP 50 jours	80 - X	X	Jaffe (1967)
	CR	HR X %, OP 50 jours, coton mouillé	X - 80	3	Jaffe (1967)
Colorants pour pellicules micrographiques					
Jaune	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique négatif couleur Eastman 5272	X - 10 000	300	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique positif couleur Eastman 52384	X - 10 000	400	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur support d'impression Kodak Ektatherm avec diffusion des couleurs (sans gélatine)	X - 10 000	30	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Magenta	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, colorant sur pellicule micrographique couleur Ilfochrome CMM	10 000 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 52 %, 12 semaines, couche de fond en acrylique seulement	X - 80	2	Cass <i>et al.</i> (1988)
	CC	HR 52 %, 12 semaines, liant acrylique pigmenté appliqué sur la couche de fond en acrylique	X - 80	8	Cass <i>et al.</i> (1988)
	CC	HR 52 %, 12 semaines, pellicule en acrylique apposée sur la poudre sèche avec une couche de fond en acrylique	X - 80	50	Cass <i>et al.</i> (1988)
	CC	HR 52 %, 12 semaines, pellicule en acrylique appliquée sur le liant acrylique pigmenté avec une couche de fond en acrylique	X - 80	60	Cass <i>et al.</i> (1988)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Ozone (O₃) (suite)					
Image argentique	DP	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, sur pellicules micrographiques en noir et blanc	10 000 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	OV	HR 50 %, 30 °C, OP 5 semaines, pellicules micrographiques noir et blanc avec quantité inconnue de H ₂ S	X - 10 000	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	OV	HR 50 %, à l'intérieur, OP 1 an, échantillons de microfilms	X - 50	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Matières colorantes : les six plus sensibles					
Curcumine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	0,1	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Jiang huang	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	1	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Bleu 324	CC	HR 65 ± 2 %, OP 12 jours, sur nylon 6,6	X - 400	1	Ladisch <i>et al.</i> (1997)
Zi cao	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	2	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 52 %, 12 semaines, liant acrylique seulement	X - 80	2	Cass <i>et al.</i> (1988)
Bleu dispersé 3	CC	HR 90 %, 40 °C, OP 3 jours, CIDB-3 sur nylon 6	X - 400	0,07	Moore <i>et al.</i> (1984)
Matières colorantes					
Alizarine	CC	HR 49,5 %, 95 jours, sur papier AQ	X - 710	20	Grosjean <i>et al.</i> (1987)
Bitume	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	2	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Brun de garance	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Brun Van Dyke	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	150 - X	X	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Carmin	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Carmin d'alizarine	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Cramoisi d'alizarine	MR	HR 47 ± 8 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	200	Shaver et Cass (1983)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 49,5 %, 95 jours, poudre sèche sur papier AQ	X - 710	8	Grosjean <i>et al.</i> (1987)
Cramoisi d'alizarine	CC	HR 49,5 %, 95 jours, du tube sur papier AQ	X - 710	30	Grosjean <i>et al.</i> (1987)
Curcumine	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	0,1	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Gomme-gutte	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	1	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Gomme-laque	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	1	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Gris de Payne	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Indigo	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Indigo	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	0,6	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Jaune indien	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 790	30	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Jaune de Winsor	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	200	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Laque de cochenille	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	1	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Laque cramoisie	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	60	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Laque cramoisie	MR	HR 47 ± 8 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Shaver et Cass (1983)
Laque de garance	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	1	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Laque pourpre	MR	HR 46 ± 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Laque pourpre	MR	HR 47 ± 8 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	200	Shaver et Cass (1983)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Ozone (O₃) (suite)					
Matières colorantes (suite)					
Laque quercitron	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	4	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Laque Weld	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	2	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Mauve	MR	HR 46 $\pm$ 6 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Mauve	MR	HR 47 $\pm$ 8 %, 90 jours, sur papier AQ	X - 620	100	Shaver et Cass (1983)
Nerprun (graines de Perse)	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	1	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Rose permanent	MR	HR 46 $\pm$ 6 %, 90 jours, sur papier AQ	620 - X	X	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Safran	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	2	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Sang-dragon	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	0,4	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Sépia	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	150 - X	X	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Tournesol	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ	X - 150	2	Whitmore <i>et al.</i> (1987)
Vert de Winsor	MR	HR 46 $\pm$ 6 %, 90 jours, sur papier AQ	620 - X	X	Drisko <i>et al.</i> (1985-86)
Matières colorantes : colorants acides					
Bleu 40	CC	HR 65 $\pm$ 2 %, OP 12 jours, sur nylon 6,6	X - 400	4	Ladisch et Rau (1997)
Bleu 127	CC	HR 65 $\pm$ 2 %, OP 12 jours, sur nylon 6,6	X - 400	2	Ladisch et Rau (1997)
Bleu 232	CC	HR 65 $\pm$ 2 %, OP 12 jours, sur nylon 6,6	X - 400	2	Ladisch et Rau (1997)
Bleu 324	CC	HR 65 $\pm$ 2 %, OP 12 jours, sur nylon 6,6	X - 400	1	Ladisch et Rau (1997)
Jaune 17	CC	HR 65 $\pm$ 2 %, OP 12 jours, sur nylon 6,6	X - 400	4	Ladisch et Rau (1997)
Matières colorantes : matières colorantes chinoises extraites de plantes					
Ban lan gen (jaune indigo)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	80	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Ban lan gen	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	50	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Da qing ye (feuille d'indigo)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	200	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Huang bai (gardénia)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	50	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Huang bai (phellodendre de Chine)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	300	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Hong cha ye (thé noir)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	200	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Hong cha ye	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	200	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Huang zhi zi	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	20	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Jiang huang (curcumine)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	100	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Jiang huang	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	1	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Jiang xiang (bois de grenadille)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	80	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Jiang xiang	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	50	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Ju zi pi (pelure d'orange de Tanger)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	800 - X	X	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Ju zi pi	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	5	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Su mu (brésillet)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	90	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Su mu	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	30	Lynn <i>et al.</i> (2000)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO µg m ⁻³	DMENO µg m ⁻³ an	Renvois
Ozone (O₃) (suite)					
Matières colorantes : matières colorantes chinoises extraites de plantes (suite)					
Wu bei zi (galle de Chine)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	300	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Wu bei zi	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	8	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Zi cao (grémil)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	8	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Zi cao	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	2	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Zi ding cao (violet)	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur de la soie	X - 800	20	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Zi ding cao	CC	HR 50 %, OP 22 semaines, sur papier AQ	X - 800	4	Lynn <i>et al.</i> (2000)
Matières colorantes : matières colorantes japonaises traditionnelles					
Nombreuses matières colorantes	CC	HR 50 %, OP 12 semaines, sur papier AQ, sur de la soie et sur des gravures japonaises	X - 800	divers	Whitmore et Cass (1988)
Matières colorantes : teintures sur nylon					
Bleu dispersé 3	CC	HR 90 %, 40 °C, OP 3 jours, CIDB-3 sur nylon 6	X - 400	0,07	Moore <i>et al.</i> (1984)
	CC	HR 90 %, 40 °C, OP 3 jours, CIDB-3 sur nylon 6,6	X - 400	0,5	Moore <i>et al.</i> (1984)
Papiers					
Pâte chimique et pâte mécanique	RP	HR 50 %, 25 °C, 4 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères	X - 2000	100	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Pâte chimique et pâte mécanique avec CaCO ₃	CC	HR 50 %, 25 °C, 4 mois, 20 % pâte Kraft blanchie de résineux et 80 % pâte mécanique provenant de conifères, contrôle colorimétrique avec seulement la valeur b	2000 - X	X	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Polymères					
Caoutchouc naturel vulcanisé	OV	HR X %, OP quelques heures, exposition sous tension (sans antioxydant)	X - 40	0,005	Jaffe (1967)
	OV	HR X %, OP quelques heures, exposition sans tension (sans antioxydant)	X - X	X	Jaffe (1967)
	OV	HR X %, 16 heures, exposition sans tension (sans antioxydant)	3E6 - X	X	EC et SC (1999)
Polyisoprène	OV	HR X %, 2 heures, exposition sous tension	X - 36 000	0,8	EC et SC (1999)
Ozone, dioxyde d'azote, nitrate de peroxyacétyle (PAN), voir aussi ozone et dioxyde d'azote					
Pigments					
Base de pararosaniline	CC	HR 46 %, 8 semaines, sur papier Whatman, NO ₂ , PAN, O ₃	X - 100, 60, 80	3, 2, 3	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Bleu actif 2	CC	HR 46 %, sur papier Whatman, NO ₂ , PAN, O ₃ , OP 8 semaines	X - 100, 60, 80	3, 2, 3	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Bleu dispersé 3	CC	HR 46 %, 8 semaines, sur papier AQ, NO ₂ , PAN, O ₃	X - 100, 60, 80	3, 2, 3	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Curcumine	CC	HR 46 %, sur papier AQ, NO ₂ , PAN, O ₃ , OP 8 semaines	X - 100, 60, 80	0,4, 0,2, 0,3	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Fuchsine basique	CC	HR 46 %, 8 semaines, sur papier Whatman, NO ₂ , PAN, O ₃	X - 100, 60, 80	3, 2, 3	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Indigo	CC	HR 46 %, sur papier AQ, NO ₂ , PAN, O ₃ , OP 8 semaines	X - 100, 60, 80	0,2, 0,1, 0,1	Grosjean <i>et al.</i> (1993)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3}$ an	Renvois
Ozone, dioxyde d'azote, nitrate de peroxyacétyle (PAN), voir aussi ozone et dioxyde d'azote (suite)					
Pigments (suite)					
Indigo carmin	CC	HR 46 %, 8 semaines, sur papier Whatman, NO ₂ , PAN, O ₃	X - 100, 60, 80	20, 10, 20	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Rouge acide 37	CC	HR 46 %, 8 semaines, sur papier Whatman, NO ₂ , PAN, O ₃	X - 100, 60, 80	10, 10, 10	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Vert brillant	CC	HR 46 %, sur papier Whatman, NO ₂ , PAN, O ₃ , OP 8 semaines	X - 100, 60, 80	3, 2, 3	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Voir les renvois pour trouver de l'information sur des matières colorantes moins fugaces.					Grosjean <i>et al.</i> (1993)
Particules (fines; PM_{2,5})					
Surfaces horizontales	OV, M	À l'intérieur, planchers, d'après les dépôts de carbone élémentaire	X - (4,1 - 50)	10	Bellan <i>et al.</i> (2000), Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Surfaces verticales	OV, M	À l'intérieur, murs, d'après les dépôts de carbone élémentaire	X - (4,1 - 50)	50	Bellan <i>et al.</i> (2000), Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Peroxyde d'hydrogène (HOOH)					
Image argentique	OV	HR 50 %, 7 jours, peintures alkydes à l'intérieur	X - 42	0,8	Feldman (1981)
	CC	HR 30 %, 18 h, sur microfilm en polyester	X - 1,4E6	1000	Adelstein <i>et al.</i> (1991)
	CC	HR 50 %, 18 h, sur microfilm en polyester	X - 1,4E6	100	Adelstein <i>et al.</i> (1991)
	CC	HR 82 %, 18 h, sur microfilm en polyester	X - 1,4E6	40	Adelstein <i>et al.</i> (1991)
	CC	HR 82 %, 18 h, pellicules non iodures des années 1950	X - 1,4E6	300	Adelstein <i>et al.</i> (1991)
	CC	HR 82 %, 18 h, sur microfilm en polyester	X - 1,4E6	400	Adelstein <i>et al.</i> (1991)
	CC	HR 82 %, 18 h, sur microfilm en polyester traité à l'or	1,4E6 - X	X	Adelstein <i>et al.</i> (1991)
Sulfate d'ammonium ((NH₄)₂SO₄), voir dioxyde de soufre et particules					
Métaux					
Aluminium	DRX	HR 79 %, 21 jours, particules fines	540 $\mu\text{g cm}^{-2}$ - X	X	Lobnig <i>et al.</i> (1996a)
Cuivre	DRX	HR 93 %, OP 10 h, particules fines	X - 2 $\mu\text{g cm}^{-2}$	X	Unger <i>et al.</i> (1998)
	DRX	HR 65 %, 100 °C, OP 5 jours, particules fines	X - X	X	Lobnig <i>et al.</i> (1993)
	DRX	HR 75 %, 100 °C, OP 5 jours, particules fines	X - X	X	Lobnig <i>et al.</i> (1993)
Zinc	DRX	HR 60 %, 21 jours, particules fines	320 $\mu\text{g cm}^{-2}$ - X	X	Lobnig <i>et al.</i> (1996b)
	DRX	HR 65 %, 21 jours, particules fines	X - 320 $\mu\text{g cm}^{-2}$	X	Lobnig <i>et al.</i> (1996b)
Vernis de résine naturelle	OV	À l'intérieur, CE	X - 55	X	Thomson (1986), Persson et Leygraf (1995)
Sulfure d'hydrogène (H₂S)					
Blanc de plomb	OV	31-84 %, OP 7 jours, sur du papier coton	X - X	X	Hoevel (1985)
Colorants pour pellicules micrographiques					
Jaune	DP	HR 50 %, 50 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique négatif couleur Eastman 5272	7100 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
	DP	HR 50 %, 50 °C, OP 5 semaines, colorant sur film cinématographique positif couleur Eastman 52384	7100 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Sulfure d'hydrogène (H₂S) (suite)					
Colorants pour pellicules micrographiques (suite)					
Magenta	DP	HR 50 %, 50 °C, OP 5 semaines, colorant sur pellicule micrographique couleur Ilfochrome CMM	7100 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Image argentique	DP	HR 50 %, 50 °C, OP 5 semaines, sur pellicules micrographiques en noir et blanc	7100 - X	X	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Métaux					
Alliage d'argent et de cuivre	AE	Air sec, 50 °C, OP 16 h (Ag : 90 % - Cu 10 %)	X - 1400	0,4	Simon <i>et al.</i> (1980)
	AE	HR 35 %, 50 °C, OP 16 h	X - 1400	0,4	Simon <i>et al.</i> (1980)
Argent	TE	À l'intérieur, salle sèche, 60 jours	X - 0,28	4	Bennett <i>et al.</i> (1969)
	GP	Air sec et HR 75 %, OP 21 jours, avec ou sans 5300 $\mu\text{g m}^{-3}$ SO ₂	X - 28	0,01	Pope <i>et al.</i> (1968)
	EDXA	HR 5 %, OP 8 jours	X - 5000	600	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 31 %, OP 60 jours	X - 5000	600	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	TE	À l'intérieur, OP 8 jours	X - 0,28	0,1	Bennett <i>et al.</i> (1969)
	OV	À l'intérieur, OP 6 mois	X - 0,57	0,3	Watts (1999)
	CC, MR	HR 50 %, OP 21 jours	X - 400	1	Ankersmit <i>et al.</i> (2000)
	EDXA	HR 92 %, OP 130 jours	X - 4500	200	Franey <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 95 %, OP 15 jours	X - 5000	70	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	RC	HR 30 %, 30 °C, OP 12 jours, plus 2900 $\mu\text{g m}^{-3}$ Cl ₂ et 2700 $\mu\text{g m}^{-3}$ SO ₂	X - 1400	8	Lorenzen (1971)
	RC	HR 50 %, 30 °C, OP 12 jours, plus 2900 $\mu\text{g m}^{-3}$ Cl ₂ et 2700 $\mu\text{g m}^{-3}$ SO ₂	X - 1400	0,4	Lorenzen (1971)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours	X - 28	1	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours	X - 710	1	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours	X - 140	2	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours, plus 3800 $\mu\text{g m}^{-3}$ NO ₂	X - 140	2	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours, plus 290 $\mu\text{g m}^{-3}$ Cl ₂	X - 140	1	Fiaud et Guinement (1986)
	RC	HR 85 %, 30 °C, OP 2,5 jours	X - 170	0,7	Lorenzen (1971)
	RC	HR 85 %, 30 °C, OP 2,5 jours	X - 1400	0,7	Lorenzen (1971)
	RC	HR 85 %, 30 °C, OP 2,5 jours, plus 2700 $\mu\text{g m}^{-3}$ SO ₂	X - 1400	0,5	Lorenzen (1971)
	RC	HR 90 %, 40 °C, OP 2,5 jours, plus 150 $\mu\text{g m}^{-3}$ Cl ₂ et 1300 $\mu\text{g m}^{-3}$ SO ₂	X - 500	0,2	Lorenzen (1971)
	RC	HR 85 %, 30 °C, OP 2,5 jours, plus 2900 $\mu\text{g m}^{-3}$ Cl ₂	X - 1400	0,07	Lorenzen (1971)
Cuivre	EDXA	HR 30 %, OP 7 jours	X - 5000	3	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 39 %, OP 7 heures	X - 8400	3	Franey <i>et al.</i> (1980)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours	X - 28	0,9	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours, plus 191 $\mu\text{g m}^{-3}$ NO ₂	X - 28	0,5	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours	X - 140	0,9	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours, avec seulement 290 $\mu\text{g m}^{-3}$ Cl ₂	X - 140	0,6	Fiaud et Guinement (1986)
	AE	HR 75 %, OP 10 jours, plus 290 $\mu\text{g m}^{-3}$ Cl ₂	X - 140	1	Fiaud et Guinement (1986)
	EDXA	HR 85 %, OP 7 jours	X - 21	2	Franey <i>et al.</i> (1980)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Sulfure d'hydrogène (H₂S) (suite)					
Colorants pour pellicules micrographiques (suite)					
Cuivre (suite)	EDXA	HR 95 %, OP 13 jours	X - 5000	0,1	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 93 %, OP 2 jours, H ₂ S seulement	X - 3300	2	Franey (1988)
	EDXA	HR 93 %, OP 2 jours avec 400 $\mu\text{g m}^{-3}$ O ₃	X - 3300	1	Franey (1988)
	EDXA	HR 93 %, OP 2 jours avec 400 $\mu\text{g m}^{-3}$ O ₃ et lumière du soleil	X - 3300	1	Franey (1988)
	EDXA	HR 93 %, OP 2, H ₂ S seulement	X - 3300	2	Graedel <i>et al.</i> (1984)
	EDXA	HR 93 %, OP 2 avec 340 $\mu\text{g m}^{-3}$ O ₃	X - 3300	1	Graedel <i>et al.</i> (1984)
	EDXA	HR 93 %, OP 2 avec lumière (une constante solaire)	X - 3300	1	Graedel <i>et al.</i> (1984)
	EDXA	HR 93 %, OP 2 avec 400 $\mu\text{g m}^{-3}$ O ₃ et lumière	X - 3000	1	Graedel <i>et al.</i> (1984)
	GP	HR 0-52 %, 70 jours (taux de ternissure supérieur)	X - 57E6	70	Backlund <i>et al.</i> (1966)
	GP	HR 52 %, 70 jours	X - 57E6	70	Backlund <i>et al.</i> (1966)
	GP	HR 75 %, 70 jours	X - 57E6	7	Backlund <i>et al.</i> (1966)
	GP	HR 100 %, 70 jours	X - 57E6	2	Backlund <i>et al.</i> (1966)
Sulfure de carbonyle (COS)					
Métaux					
Argent	EDXA	HR 4 %, OP 54 jours	X - 8700	1000	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 70 %, OP 54 jours	X - 8700	400	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 92 %, OP 2 mois	X - 650	200	Franey <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 95 %, OP 14 jours	X - 8700	80	Graedel <i>et al.</i> (1985)
Cuivre	EDXA	HR 52 %, OP 18 jours	X - 8700	30	Graedel <i>et al.</i> (1985)
	EDXA	HR 80 %, OP 5 jours	X - 27 000	3	Graedel <i>et al.</i> (1981)
	EDXA	HR 95 %, OP 3 jours	X - 8700	1	Graedel <i>et al.</i> (1985)
Vapeur d'eau (H₂O)			en % du taux d'HR	en % du taux d'HR an	
Bande magnétique	OV	À l'intérieur (hydrolyse du liant); aussi desséchage des bandes	X - 50	X	Howarth (1998)
	utilisable	À l'intérieur, 12-14 ans	X - 50	700	Howarth (1998)
Bande vidéo (uréthane)	utilisable	À l'intérieur, 40 ans	X - 50	2000	Rodgers (1998)
	DH	Vieillissement accéléré : 30 ans	X - 50	1500	Van Bogart (1995)
	force d'arrachement	Vieillissement accéléré : 20 ans	X - 50	1000	Smith (1991)
Colorants de diapositives, négatifs et clichés couleurs	CC	Vieillissement accéléré, critère : perte de 30 % des colorants les plus sensibles	X - 20	2000	Reilly (1998)
Matières organiques	OV	À l'intérieur, pas de croissance de moisissures après plus de 10 ans	60 - X	X	Michalski (2000)

Polluants aéroportés/ Objets	Méthodes	Conditions d'exposition	CSENO- CMENO $\mu\text{g m}^{-3}$	DMENO $\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$	Renvois
Vapeur d'eau (H₂O) (suite)			en % du taux d'HR	en % du taux d'HR an	
Pellicule de (polyéthylène téréphtalate)	utilisable	Vieillissement accéléré : 500 ans	X - 50	25 000	Smith (1991)
	stress	Pellicule émulsionnée, vieillissement accéléré : 2000 ans, limite à rétention de 66 %	X - 50	100 000	Adelstein <i>et al.</i> (1995)
Pellicule de triacétate de cellulose	pH	Vieillissement accéléré : 6 ans, limite à pH 4,0	X - 50	300	Adelstein <i>et al.</i> (1995)
	tension de rupture	Vieillissement accéléré : 70 ans, limite à rétention de 66 %	X - 50	3500	Adelstein <i>et al.</i> (1995)
	pH	Vieillissement accéléré, critère : teneur en acide libre à 0,5	X - 20	2000	Reilly (1993)
Verre (forte teneur en soude)	OV	À l'intérieur	X - X	X	Riederer (1997), Oakley (1990), Ryan <i>et al.</i> (1993)

APPENDIX 3. EFFETS DES MÉLANGES DE POLLUANTS SUR LA DÉTÉRIORATION^a

Polluants ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Matériaux	Effet sur la DMENO ^b ($\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$)	Méthodes et conditions	Renvois
Effet de différents gaz sur la détérioration du cuivre et de l'argent par le sulfure d'hydrogène				
28 H ₂ S + 190 NO ₂	Cuivre	0,9 (H ₂ S) à 0,5 (H ₂ S + NO ₂)	AE, HR 75 %, TA ^c , 10 jours	Fiaud et Guinement (1986)
140 H ₂ S + 290 Cl ₂	Cuivre	0,9 à 1,0 (Cl ₂ seul : 0,6)	AE, HR 75 %, TA, 10 jours	Fiaud et Guinement (1986)
3300 H ₂ S + 400 O ₃	Cuivre	2 à 1	EDXA, HR 93 %, TA, 2 jours	Franey (1988)
3300 H ₂ S + 400 O ₃ + lumière du soleil	Cuivre	2 à 1	EDXA, HR 93 %, TA, 2 jours	Franey (1988)
3300 H ₂ S + 340 O ₃	Cuivre	2 à 1	EDXA, HR 93 %, TA, 2 jours	Gradel <i>et al.</i> (1984)
3300 H ₂ S + lumière	Cuivre	2 à 1	EDXA, HR 93 %, TA, 2 jours	Gradel <i>et al.</i> (1984)
3300 H ₂ S + 400 O ₃ + lumière	Cuivre	2 à 1	EDXA, HR 93 %, TA, 2 jours	Gradel <i>et al.</i> (1984)
140 H ₂ S + 3800 NO ₂	Argent	2 à 2	AE, HR 75 %, TA, 10 jours	Fiaud et Guinement (1986)
140 H ₂ S + 290 Cl ₂	Argent	2 à 1	AE, HR 75 %, TA, 10 jours	Fiaud et Guinement (1986)
28 H ₂ S + 5300 SO ₂	Argent	0,01 à 0,01	GP, air sec et HR 75 %, 21 jours	Pope <i>et al.</i> (1968)
1400 H ₂ S + 2700 SO ₂	Argent	0,7 à 0,5	RC, HR 85 %, 30 °C, 2,5 jours	Lorenzen (1971)
1400 H ₂ S + 2900 Cl ₂	Argent	0,7 à 0,07 : changement important	RC, HR 85 %, 30 °C, 2,5 jours	Lorenzen (1971)
Effet de l'ozone sur la détérioration des pellicules en noir et blanc par le sulfure d'hydrogène				
X H ₂ S + 50 O ₃	Pellicules argentiques	Élevé à faible : changement important	OV, HR 50 %, TA, 1 an, peu de données	Zinn <i>et al.</i> (1994)
Effet du dioxyde de soufre sur la détérioration des papiers par le dioxyde d'azote				
1900 NO ₂ + 1300 SO ₂	Papier acide	5 à 20 (ou +) : amélioration	CC, HR 50 %, 25 °C, 4 mois	Reilly <i>et al.</i> (2001)
1900 NO ₂ + 1300 SO ₂	Papier acide	40 à 90 : amélioration	RP, HR 50 %, 25 °C, 4 mois	Reilly <i>et al.</i> (2001)
1900 NO ₂ + 1300 SO ₂	Papier de chiffon	30 à 300 : amélioration	RP, HR 50 %, 25 °C, 4 mois	Reilly <i>et al.</i> (2001)
Effet du dioxyde d'azote sur la détérioration du cuivre et du calcaire par le dioxyde de soufre				
1300 SO ₂ + 940 NO ₂	Cuivre	70 à 30	GP, HR 70 %, TA, 4 semaines.	Eriksson <i>et al.</i> (1993)
13 000 SO ₂ + 380 NO ₂	Calcaire	80 à 60	TGY, HR 100 %, 25 °C, 20 jours	Moroni et Poli (1996)
Effet des sels marins sur la détérioration du calcaire par le dioxyde de soufre				
SO ₂ + sels marins aéroportés	Calcaire	30 à 20	PP, HR X %, emplacements extérieurs sur la côte comparés à l'intérieur des terres, 200 jours	Cooke et Gibbs (1994)
Effet du dioxyde d'azote et du nitrate de peroxyacétyle (PAN) sur la détérioration de la curcumine et de l'indigo par l'ozone				
76 O ₃ + 100 NO ₂ + 60 PAN (O ₃ seul : 150 $\mu\text{g m}^{-3}$)	Curcumine	0,1 à 0,3	CC, HR 45-50 %, TA, 8 semaines, l'écart de la DMENO pourrait être plus bas	Grosjean <i>et al.</i> (1993)
76 O ₃ + 100 NO ₂ + 60 PAN (O ₃ seul : 150 $\mu\text{g m}^{-3}$)	Indigo	0,6 à 0,1	CC, HR 45-50 %, TA, 8 semaines, l'écart de la DMENO pourrait être plus bas	Grosjean <i>et al.</i> (1993)

Polluants ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Matériaux	Effect sur la DMENO ^b ($\mu\text{g m}^{-3} \text{ an}$)	Méthodes et conditions	Renvois
Effet de l'acide formique (AF) et du formaldéhyde (F) sur la détérioration du plomb par l'acide acétique (AA)				
500 AA + 380 AF	Plomb	Amélioré par un facteur de 5	GP, HR 75 %, TA, 140 jours	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
27 000 AA + 15 000 AF	Plomb	Amélioré par un facteur de 10	GP, HR 75 %, TA, 140 jours	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
27 000 AA + 15 000 AF + 3800 F	Plomb	Amélioré par un facteur de 10	GP, HR 75 %, TA, 140 jours	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
Effet de l'acide acétique (AA) et du formaldéhyde (F) sur la détérioration du cuivre par l'acide formique (AF)				
15 000 AF + 27 000 AA	Cuivre	Aucun changement	GP, HR 75 %, TA, 140 jours	Tétreault <i>et al.</i> (2003)
15 000 AF + 27 000 AA + 3800 F	Cuivre	Aucun changement	GP, HR 75 %, TA, 140 jours	Tétreault <i>et al.</i> (2003)

Notes :

- a : Les données sur la DMENO et la CSENO, les conditions d'expériences et les abréviations sont tirées de l'annexe 2.
- b : Le premier chiffre correspond à la DMENO du polluant principal. Le second correspond à la nouvelle DMENO après l'ajout d'autres agents de détérioration.
- c : TA : température ambiante (20 - 25 °C).

ANNEXE 4. RÉDUCTION DES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS

ANNEXE 4A. RÉDUCTION POSSIBLE DES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS AÉROPORTÉS DANS LES SALLES ET LES ENCEINTES

Principaux polluants	Échelle de concentrations de référence, $\mu\text{g m}^{-3}$		Échelle du taux intérieur-extérieur (%) ^a		Échelle du taux intérieur-extérieur pour les enceintes (%) ^d		
	Région urbaine	Trotosphère inférieure perturbée	Système de CVC sans filtres ^b ou VN ^c	Système de CVC avec filtres	N = 1 /j ^e	N = 0,1/j	N = 0,1-1/j avec sorbants
Acide acétique	0,5 - 20	0,3 - 5	≥100	≥100	>>100	>>100	≥ ou ≤100 ^f
Dioxyde d'azote	3 - 200	0,2 - 20	1 - 90	1 - 30	1 - 50	1 - 90	≤1
Dioxyde de soufre	6 - 100	0,1 - 30	10 - 50	1 - 10	1 - 50	1 - 90	≤1
Ozone	20 - 300	2 - 200	1 - 100	1 - 30	1 - 20	0,1 - 2	≤0,1
Sulfure d'hydrogène	0,02 - 1	0,01 - 1	10 - 400	10 - 300	1 - 50	1 - 90	≤1
Particules fines; PM _{2,5}	1 - 100	1 - 30	10 - 100	10 - 30	1 - 50	0,1 - 5	≤1
Vapeur d'eau ^g							

Notes :

a : Données basées sur les annexes 1 et 4B et les figures 34 et 38.

b : Le système de CVC n'est pas équipé de filtres à particules à haut rendement ou de filtres à gaz.

c : VN : ventilation naturelle.

d : Basée sur divers scénarios, selon la vitesse de dépôt, y compris d'éventuelles sources de produits et d'objets émissifs.

e : Un taux de renouvellement d'air (N) d'une fois par jour est typique d'une vitrine bien scellée. Une vitrine dont le N est de 0,1 est considérée comme très perfectionnée.

f : Varie selon que la source est située à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte.

g : Non étudiée.

ANNEXE 4B. RÉDUCTION DES POLLUANTS D'ORIGINE EXTÉRIEURE DANS LES BÂTIMENTS

Dioxyde d'azote p. 135 Dioxyde de soufre p. 136 Ozone p. 137 Particules fines p. 138 Sulfure d'hydrogène p. 138

Abréviations : CVC1 : système de CVC muni de filtres à gaz et à poussières à haut rendement; CVC2/VN : système de CVC sans filtres spéciaux ou employant uniquement la ventilation naturelle (VN) (un bon rendement peut être obtenu grâce à une faible infiltration, à un faible apport d'air d'appoint); ET : écart-type (95 %); LD : limite de détection; N : taux de renouvellement d'air; VN : ventilation naturelle.

Conception et système filtré	I/E (%)	Descriptions	Renvois
Dioxyde d'azote	Intervalles moyens I/E % : CVC1 : 1-30 et CVC2/VN : 1-90		
Bâtiment, VN	90	Birmingham (R.-U.), février 1996	Kukadia <i>et al.</i> (1996)
Grandes salles, bien scellées N=2, VN	82 - 95	Simulées, pas de sources intérieures	Blades <i>et al.</i> (2000)
Bâtiment, système de CVC, filtre à particules	80	Birmingham (R.-U.), février 1996	Kukadia <i>et al.</i> (1996)
Grandes salles, bien scellées N=1, VN	75 - 93	Simulées, pas de sources intérieures	Blades <i>et al.</i> (2000)
Grandes salles, bien scellées N=0,1/h	35 - 70	Simulées, pas de sources intérieures	Blades <i>et al.</i> (2000)
Salles moyennes, bien scellées, N=2/h, VN	35	Simulées, pas de sources intérieures	Blades <i>et al.</i> (2000)
Salles moyennes, bien scellées, N=1/h, VN	20	Simulées, pas de sources intérieures	Blades <i>et al.</i> (2000)
Salles moyennes, bien scellées, N=0,1/h, VN	2	Simulées, pas de sources intérieures	Blades <i>et al.</i> (2000)
Musées, système de CVC sans filtres au charbon	50 - 90		Blades <i>et al.</i> (2000)

Conception et système filtré	I/E (%)	Descriptions	Renvois
Dioxyde d'azote (<i>suite</i>)			
Intervalles moyens I/E % : CVC1 : 1-30 et CVC2/VN : 1-90			
Musée, filtration locale	10 - 30		Blades <i>et al.</i> (2000)
Musées, système de CVC muni de filtres au charbon	7 - 20		Blades <i>et al.</i> (2000)
Musées, bien scellés, VN, N=0,3/h	84	Bethnal Green Museum (R.-U.)	Cassar <i>et al.</i> (1999)
Musée avec système de CVC et filtres à gaz, N=1,3/h, recirculation de 80 %	19	Museum of London (R.-U.)	Cassar <i>et al.</i> (1999)
Bureau, VN, N=1,6/h	90		Cassar <i>et al.</i> (1999)
Bureau, système de CVC sans recirculation ou filtres au charbon, N=1,2/h	80		Cassar <i>et al.</i> (1999)
Musée, VN	40 - 80	National Gallery of London (R.-U.)	Saunders (1993)
Musée, système de CVC muni de filtres à gaz	4 - 11	National Gallery of London (R.-U.)	Saunders (1993)
Musée, VN	50	National Gallery of London, Sainsbury Wing (R.-U.)	Saunders (1993)
Musée, système de CVC muni de filtres à gaz	8	National Gallery of London, Sainsbury Wing (R.-U.)	Saunders (1993)
Musée, petit système de CVC portatif muni d'un filtre à gaz	17 - 47	Moy. 24 h, Gene Autry Museum, Californie, été	Hisham et Grosjean (1991a)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines	35	Moy. en 1 semaine, La Haye, été	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines	10	Moy. en 1 semaine, La Haye, hiver	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 20 %	73	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 35 %	65	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 62 %	35	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 93 %	3	La Haye	Lanting (1990)
Musée, salle d'exposition avec tapisserie, VN	32	Moy. en 1 semaine, Middelburg, Pays-Bas, été	Lanting (1990)
Musée, salle d'exposition avec tapisserie, VN	39	Moy. en 1 semaine, Middelburg, Pays-Bas, hiver	Lanting (1990)
Dioxyde de soufre			
Intervalles moyens I/E % : CVC1 : 1-10 et CVC2/VN : 10-50			
Bâtiment, VN	40	Birmingham (R.-U.), février 1996	Kukadia <i>et al.</i> (1996)
Bâtiment, système de CVC, filtre à particules	40	Birmingham (R.-U.), février 1996	Kukadia <i>et al.</i> (1996)
Musées, bien scellés, VN, N=0,3/h	19	Bethnal Green Museum (R.-U.)	Cassar <i>et al.</i> (1999)
Musée avec système de CVC et filtres à gaz, N=1,3/h, recirculation de 80 %	14	Museum of London (R.-U.)	Cassar <i>et al.</i> (1999)
Bureau, VN, N=1,6/h	40		Cassar <i>et al.</i> (1999)
Bureau, système de CVC sans recirculation ou filtres au charbon, N=1,2/h	40		Cassar <i>et al.</i> (1999)

Conception et système filtré	I/E (%)	Descriptions	Renvois
Dioxyde de soufre (<i>suite</i>)		Intervalles moyens I/E % : CVC1 : 1-10 et CVC2/VN : 10-50	
Salle non étanche sans filtre à charbon portatif	45		Blades <i>et al.</i> (2000)
Salle non étanche avec filtre à charbon portatif	<LD		Blades <i>et al.</i> (2000)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines	<20	Moy. en 1 semaine, La Haye, été	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines	8	Moy. en 1 semaine, La Haye, hiver	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 20 %	22	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 35 %	10	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 62 %	5	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 93 %	3	La Haye	Lanting (1990)
Musée, salle d'exposition avec tapisserie, VN	<20	Moy. en 1 semaine, Middelburg, Pays-Bas, été	Lanting (1990)
Musée, salle d'exposition avec tapisserie, VN	12	Moy. en 1 semaine, Middelburg, Pays-Bas, hiver	Lanting (1990)
Ozone		Intervalles moyens I/E % : CVC1 : 1-30 et CVC2/VN : 1-100	
Musée : N élevé (portes et fenêtres ouvertes), pas de système de CVC	50 - 87	2 échantillons dans 2 musées, moy. 8 h, jour, été, Californie	Druzik <i>et al.</i> (1990)
Immeuble à bureaux : conduit de ventilation, pas de recirculation	70 - 90	1 échantillon, 1 bureau, moy. 1 h, à concentration maximale, été, Californie	Sabersky <i>et al.</i> (1973)
Immeuble à bureaux : conduit de ventilation, N= environ 10/h, pas de recirculation	50 - 120	1 échantillon, 1 bureau, moy. 1 h, à concentration maximale, été, Californie	Sabersky <i>et al.</i> (1973)
Musée, pas de recirculation pendant le jour	60 - 80	Jour, été (R.-U.)	Davies <i>et al.</i> (1984)
Immeuble à bureaux : conduit de ventilation avec recirculation de 30 %	55 - 75	Concentration maximale, été, Californie	Sabersky <i>et al.</i> (1973)
Immeuble à bureaux : conduit de ventilation avec recirculation de 30 %	50 - 100	Jour, été, Californie	Sabersky <i>et al.</i> (1973)
Musée : N faible, pas de système de CVC	10 - 58	Jour, été, Californie	Druzik <i>et al.</i> (1990)
Résidence privée; convection naturelle due aux fenêtres ouvertes et à l'ouverture périodique des portes	60 - 80	Concentration maximale, été, Californie	Sabersky <i>et al.</i> (1973)
Musée, N induit par convection naturelle, pas de système de CVC	10 - 58	Jour, été, Californie	Druzik <i>et al.</i> (1990)
Musée, système de CVC sans filtre à gaz	25 - 41	Jour, été, Californie	Druzik <i>et al.</i> (1990)
Musée, système de CVC muni de filtres AC	4 - 31	Jour, moy. 8 h., été, Californie	Druzik <i>et al.</i> (1990)
Musée, petit système de CVC avec filtre à gaz	12 - 42	Gene Autry Museum, Californie, été	Hisham et Grosjean (1991b)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines	<3	Moy. en 1 semaine, La Haye, été	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 20 %	77	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 35 %	70	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 62 %	20	La Haye	Lanting (1990)
Archive, réserve, système de CVC muni de filtres à poussières fines, recirculation de 93 %	3	La Haye	Lanting (1990)
Musée, salle d'exposition avec tapisserie, VN	<4	Moy. en 1 semaine, Middelburg, Pays-Bas, été	Lanting (1990)

Conception et système filtré	I/E (%)	Descriptions	Renvois
Particules fines (PM _{2,5})	Intervalles moyens I/E % : CVC1 : 10-30 et CVC2/VN : 10-100		
Musée bien scellé, VN, N=0,3/h, particules <3,5 µm	133	Bethnal Green Museum (R.-U.)	Cassar <i>et al.</i> (1999)
Musée avec système de CVC et filtres à gaz, N=1,3/h, recirculation de 80 %, particules <3,5 µm	15	Museum of London (R.-U.)	Cassar <i>et al.</i> (1999)
Musée, VN, N=1,6 - 3,6/h, particules <2,1 µm	90 - 100	Sepulveda House, Californie (É.-U.), été et hiver	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC dépourvu de filtres à poussières spéciaux, N=0,3/h, particules <2,1 µm	71 - 93	Southwest Museum, basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), été	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC dépourvu de filtres à poussières spéciaux, N=0,3, particules <2,1 µm	34 - 60	Southwest Museum, basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), hiver	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC muni de filtres à poussières spéciaux, N=0,4 - 0,7/h, particules <2,1 µm	13 - 26	Norton Simon Museum, basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), été	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC muni de filtres à poussières spéciaux, N=0,4 - 0,7/h, particules <2,1 µm	13 - 24	Norton Simon Museum, basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), hiver	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC dépourvu de filtres à poussières spéciaux, N= 0,3 - 1,0/h, particules <2,1 µm	40 - 80	Scott Gallery, basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), été	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC dépourvu de filtres à poussières spéciaux, N=0,3 - 1,0/h, particules <2,1 µm	13 - 30	Scott Gallery, basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), hiver	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC dépourvu de filtres à poussières spéciaux, N=1,2 - 1,3/h, particules <2,1 µm	28 - 54	Getty Museum, Malibu Museum basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), été	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Musée, système de CVC dépourvu de filtres à poussières spéciaux, N=1,2 - 1,3/h, particules <2,1 µm	8 - 94	Getty Museum, Malibu Museum, basées sur l'écart-type, Californie (É.-U.), hiver	Nazaroff <i>et al.</i> (1993)
Immeuble résidentiel, VN, fenêtre ouverte, échelle de diamètre des particules : 0,01 - 1 µm	40 - 60	Centre de Copenhague, 4 ^e étage, mai à juin	Wahlin <i>et al.</i> (2002)
Immeuble résidentiel, VN, sans sorbants	77 - 88	3 ^e étage d'un immeuble de la région de Paris, hiver et été	Kirchner <i>et al.</i> (2002)
Maisons, réduction comparée selon le rapport avec/sans filtre HEPA	33	Australie, sur 15 semaines, avril (réduction de 40 % des PM ₁₀)	White <i>et al.</i> (2002)
Sulfure d'hydrogène	Intervalles moyens I/E % : CVC1 : 10-300 et CVC2/VN : 10-400		
Salle non étanche sans filtre à charbon portatif	60		Blades <i>et al.</i> (2000)
Salle non étanche sans filtre à charbon portatif	<LD		Blades <i>et al.</i> (2000)
Musée avec système de CVC et filtres à gaz, N = 1,3/h, recirculation de 80 %	100	Museum of London (R.-U.)	Cassar <i>et al.</i> (1999)
Musée avec système de CVC (sans filtre spécial)	180 - 340	Groningen Museum, Pays-Bas, zone urbaine, été	Ankersmit <i>et al.</i> (2000), Ankersmit (2001)
Musée avec système de CVC (sans filtre spécial)	14 - 64	Groningen Museum, Pays-Bas, zone urbaine, automne	Ankersmit <i>et al.</i> (2000), Ankersmit (2001)
Musée avec système de CVC (sans filtre spécial)	22 - 110	Bonnefanten Museum, Pays-Bas, zone industrielle, été	Ankersmit <i>et al.</i> (2000), Ankersmit (2001)
Musée avec VN	73 - 180	Tromp's Huys, Pays-Bas, région côtière, été	Ankersmit <i>et al.</i> (2000), Ankersmit (2001)
Musée avec VN	200 - 450	Huize Doorn, Pays-Bas, zone agricole, été	Ankersmit <i>et al.</i> (2000), Ankersmit (2001)
Musée avec VN	44 - 82	Huize Doorn, Pays-Bas, zone agricole, automne	Ankersmit <i>et al.</i> (2000), Ankersmit (2001)

ANNEXE 5. COEFFICIENTS DE PERMÉABILITÉ DE DIVERS PRODUITS À DES GAZ PRÉCIS

 $(\text{cm}^3 (\text{TPR}) \text{ cm cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1} 10^{13})^a$

Produits	Oxygène à 25 °C	Eau à 25 °C	H ₂ S à 20 °C	Ammoniac à 20 °C
Feuilles fines (pour sacs, enveloppes, encapsulation)				
Film d'aluminium thermofusible (Marvelseal par exemple)	0	0	0	0
Éthylène alcool de vinyle (EVOH)	0,0002	-	-	-
Poly(chlorure de vinylidène) (PVDC, Saran)	0,0038 ^b	0,027	7,0 ^b	-
Cellulose régénérée (cellophane, hydrate de cellulose)	0,0067	19000	0,43	130 ^c
Polyamide 6,6 (Dartek, Nylon 6,6)	0,029 ^b	210 ^b	-	-
Poly(éthylène téréphtalate) (PET, Mylar A, Hostaphan)	0,03	98	0,14	1,1
Polyéthylène, haute densité (0,964 g cm ⁻³), (PEHD)	0,3	9	6,5	8
Acétate de cellulose, plastifiée	0,59 ^b	5500 ^b	4,6 ^b	-
Polypropylène, basse densité (0,907), cristallinité 50 %	1,7 ^b	51 ^b	2,4	6,9
Polyéthylène, basse densité (0,914), (PEBD)	2,2	68	27	21
Feuilles épaisses (pour caisses, fenêtres, supports)				
Verre ou métal	0	0	0	0
Polyamide 6,6 (Dartek, Nylon 6,6)	0,029 ^b	210 ^b	-	-
Poly(chlorure de vinyle), non plastifié (PVC)	0,034	210	0,14	3,7
Poly(méthyle-méthacrylate)	0,12 ^d	480	-	-
Polyéthylène, haute densité (0,964), (PEHD)	0,3	9	6,5	8
Polycarbonate (Lexan)	1,1 ^b	1100 ^b	-	-
Polypropylène, basse densité (0,907), cristallinité 50 %	1,7 ^b	51 ^b	2,4	6,9
Polystyrène, orienté bi-axialement	1,9	840	-	-
Polyéthylène, basse densité (0,914), (PEBD)	2,2	68	27	21
Poly(chloroprène) (Neoprene G)	3	840	-	-
Polytétrafluoréthylène (PFTE, Teflon)	3,2	13	-	-
Acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS)	4	-	-	-

Notes :

a : Données principalement tirées de Pauly (1989); TPR : température (273,15 K) et pression ($1,013 \times 10^5$ Pa) de référence. Plus la valeur du coefficient est faible, plus l'étanchéité est forte et, comme l'indique l'unité, plus la pellicule ou le panneau est épais, supérieure est l'étanchéité. Ces données excluent la possibilité de petites perforations dans la pellicule et excluent l'étanchéité des produits faits de mousse. Les pellicules-barrières stratifiées ou composées atteignent une étanchéité au moins égale à celle du plus étanche des matériaux entrant dans leur composition. Voir aussi l'étanchéité des pellicules de plastique à l'oxygène dans Ankersmit *et al.* (2000).

b : Étanchéité mesurée à 30 °C

c : Étanchéité mesurée à 25 °C

d : Étanchéité mesurée à 34 °C.

ANNEXE 6. VITESSE DE DÉPÔT DE DIVERS POLLUANTS SUR DIFFÉRENTES SURFACES

Polluants aéroportés	Produits	Vitesse de dépôt (m/h)	Renvois
Dioxyde d'azote	Produits divers	0,01 - 4	Cass <i>et al.</i> (1989)
	Papier tamponné (CaCO ₃)	0,1	Lanting (1990)
	Papier de chiffon	0,1	Lanting (1990)
	Tissu de coton (blanchi)	0,1	Lanting (1990)
Dioxyde de soufre	Tissu de coton (blanchi)	0,3	Lanting (1990)
	Tapis en laine	0,3 - 0,7	Crawshaw (1978)
	Papier tamponné (CaCO ₃)	0,7	Lanting (1990)
	Papier de chiffon	0,7	Lanting (1990)
	Papiers peints	6 - 20	Spedding et Rowlands (1970)
	Charbon activé	30	Payrissat et Beilke (1975)
	Ciments	60 - 90	Judeiki et Stewart (1976)
	Verre	0,02	Sabersky <i>et al.</i> (1973)
Ozone	Produits divers	0,02 - 4	Cass <i>et al.</i> (1989), Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Frêne (non traité)	0,03	Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Frêne verni	0,3	Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Linoléum	0,1 - 0,3	Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Acier inoxydable	0,3 - 0,5	Cass <i>et al.</i> (1989), Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Feuille de polyéthylène	0,4	Sabersky <i>et al.</i> (1973)
	Tapis (nylon, oléfine)	1 - 30	Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Gypse peint	1 - 20	Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Diverses surfaces intérieures	1,8 (moyenne)	Lee <i>et al.</i> (1999)
	Papier de chiffon	2	Lanting (1990)
	Tissu de coton (blanchi)	7	Lanting (1990)
	Gypse non peint	30	Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Papier blanc	>50	Kleno <i>et al.</i> (2001)
	Particules de 0,1 µm ^a	0,4	Slinn <i>et al.</i> (1978)
Particules de 1,0 µm	Surfaces marines et terrestres	0,3	Slinn <i>et al.</i> (1978)
Particules de 10 µm	Surfaces marines et terrestres	40	Slinn <i>et al.</i> (1978)

Note :

a : Pour des précisions sur la vitesse de dépôt comme fonction du diamètre des particules, voir la figure 7.

ANNEXE 7. MÉTHODES DE MESURE DES FUITES D'AIR

Essai au gaz traceur ^a	Gaz traceur	Remarques	Renvois
	Dioxyde de carbone (CO ₂)	Exige un trou.	Brimblecombe et Ramer (1983)
	Dioxyde de carbone (CO ₂)	N'exige pas de trou, produit commercial.	Keepsafe (2002a)
	Oxyde nitreux (N ₂ O)	Exige un trou.	Cassar et Martin (1994)
	Oxygène (O ₂)	Exige un trou.	Brimblecombe et Ramer (1983), Daniel et Maekawa (1992)
	Hexafluorure de soufre (SF ₆)	Souvent utilisé dans les bâtiments, exige un trou.	ASHRAE (2001)
	Eau (H ₂ O)	N'exige pas de trou, problème de la forte capacité d'absorption d'humidité par les matériaux composant l'enceinte	Daniel et Maekawa (1992), Padfield (1966), Thomson (1977)
Essai de pressurisation à l'air	Remarques	Renvois	
	Valeurs basées sur la moyenne des essais de pressurisation positifs et négatifs	Cassar et Martin (1994), Padfield (1966), Toishi et Koyano (1988), Michalski (1994b)	
Prévision théorique	Remarques	Renvois	
	Tableaux de fuites simplifiés fournis pour une enceinte de 0,1, 1 et 10 mètres cubes, exprimée en fonction de la largeur des fentes, du diamètre des trous et de la perméabilité des parois.	Michalski (1994b)	

Note :

- a : Les données devraient être normalisées en fonction d'un gaz de référence ou un mélange de gaz comme l'air (78 % azote, 21 % oxygène et 1 % argon), autrement, le gaz traceur utilisé doit être précisé. La valeur devrait être exprimée en unités de renouvellement d'air par jour (1/jour ou jour⁻¹).

ANNEXE 8. DIRECTIVES SUR L'ÉCLAIREMENT

ANNEXE 8A. DIRECTIVES SUR L'ÉCLAIREMENT POUR LES MUSÉES, LES BIBLIOTHÈQUES ET LES ARCHIVES

Catégorie	DMENO ^a	Objectifs de préservation ^b		
		1000 ans	100 ans	10 ans
Forte sensibilité ISO 1, 2, 3	ISO 2 : 1,0 Mlx h (million lux heure)	50 lux pour 20 h/an	50 lux pour 25 jours/an 500 lux pour 25 h/an ^c	50 lux pour 250 jours/an 500 lux pour 25 jours/an
Sensibilité moyenne ISO 4, 5, 6	ISO 4 : 10 Mlx h	50 lux pour 25 jours/an 500 lux pour 20 h/an	50 lux pour 250 jours/an 500 lux pour 25 jours/an	340 lux pour 365 jours/an 500 lux pour 250 jours/an
Faible sensibilité ISO 7, 8, et plus	ISO 7 : 300 Mlx h	100 lux pour 365 jours/an 500 lux pour 75 jours/an	1000 lux pour 365 jours/an ^d (500 lux/an pour un objectif de 200 ans)	

Notes :

- a : La DMENO est basée sur l'échelle de gris 4 (norme British Standard BS1006) (Michalski, 1987). Certaines équivalences à l'échelle de bleu de l'ISO pour certains matériaux et matières colorantes sont fournies à l'Annexe 8B.
- b : Nombre d'années avant d'observer un effet nuisible minimal. Les illuminations admises sont basées sur une exposition à la lumière de 8 heures par jour, avec filtration UV. On peut également retenir des objectifs de préservation intermédiaires. De plus, on peut tenir compte des variations de l'éclairement par rapport aux durées d'exposition (50 lux pour 300 jours/an = 100 lux pour 150 jours/an).
- c : Si l'objet qui doit être montré présente soit des surfaces foncées soit une absence de contrastes, ou que les observateurs sont âgés ou qu'une tâche difficile doit être effectuée, on peut multiplier les niveaux d'éclairement d'un facteur pouvant atteindre 10 : environ 500 lux (2 de 4 facteurs de visibilité) (Michalski, 1997).
- d : La pratique d'opter pour des éclairagements supérieurs à 500 lux peut inciter certains musées mal renseignés à utiliser des niveaux d'éclairement excessivement forts sans entreprendre une évaluation en bonne et due forme du risque d'altération des couleurs de la collection. La DMENO des matières colorantes à demi-altérées augmente d'un ordre de grandeur (c.-à-d. qu'une matière colorante à demi-altérée de sensibilité ISO 2 passe à ISO 4). Il faut environ 10 effets nuisibles cumulés pour causer une perte de couleur de 50 % (il faut donc 100 ans pour qu'une matière colorante assortie d'un objectif de préservation de 10 ans pâlisse de moitié); une perte de couleur de 90 % devrait survenir au bout de 18 à 20 effets nuisibles (une matière colorante assortie d'un objectif de préservation de 10 ans aura pratiquement complètement pâli au bout d'environ 500 ans). Si un éclairage de 50 lux est utilisé dans le cas de tous les objets, pendant 8 heures par jour, tous les jours, les matières colorantes très sensibles présenteront une perte de couleur de 50 % après 20 ans, celles qui sont moyennement sensibles, après 200 ans, et les moins sensibles, après 6000 ans.

ANNEXE 8B. ÉQUIVALENCES À L'ÉCHELLE DE BLEU DE L'ISO POUR CERTAINS MATÉRIAUX ET MATIÈRES COLORANTES

Catégorie	DMENO	Matériaux (Michalski, 1997, 1999) ^a
Forte sensibilité ISO 1, 2, 3	ISO 2 : 1,0 Mlx h (million lux heure)	- La plupart des extraits de plantes, donc la plupart des teintures traditionnelles vives et des laques dans tous les médiums : jaunes, orange, verts, pourpres, bien des rouges, bleus. - Extraits d'insectes, comme la laque (jaune), cochenille (carmin), dans tous les médiums. - La plupart des premières matières colorantes synthétiques comme les anilines, dans tous les médiums. - Maintes matières colorantes synthétiques peu coûteuses, dans tous les médiums. - La plupart des feutres, y compris les noirs. - La plupart des teintures utilisées pour colorer le papier au cours du XX^e siècle. - La plupart des épreuves en couleurs lorsque « couleurs » fait partie de l'appellation.
Sensibilité moyenne ISO 4, 5, 6	ISO 4 : 10 Mlx h	- Quelques extraits de plantes, notamment l'alizarine (rouge de garance) comme teinture pour la laine ou comme laque dans tous les médiums. La sensibilité varie selon le médium et peut être faible, selon la concentration, le substrat et le mordant. - La couleur de la plupart des fourrures et des plumes. - La majorité des épreuves en couleurs lorsque « chrome » fait partie de l'appellation (épreuves cibachromes).
Faible sensibilité ISO 7, 8, et plus	ISO 7 : 300 Mlx h	- Palettes d'artiste dites « permanentes » (mélange de peintures réellement permanentes et de peintures à faible sensibilité à la lumière, p. ex., ASTM D4303 Catégorie I; Winsor et Newton AA). - Couleurs structurelles des insectes (avec blocage UV). - Quelques extraits de plantes, notamment l'indigo sur la laine. - Épreuves argentiques en noir et blanc, sur papier non plastifié, et seulement avec blocage UV complet. - Maints pigments modernes de haute qualité mis au point pour usage à l'extérieur, pour les automobiles.

Note :

- a : Voir aussi Ashley-Smith *et al.* (2002) pour d'autres catégorisations des équivalences de l'échelle de l'ISO.

GLOSSAIRE

Les termes suivants sont définis selon l'usage qu'on en fait dans l'ouvrage ou selon l'usage dans le domaine de la préservation. Certains termes pourraient avoir des sens élargis ou d'autres sens dans d'autres domaines.

Acide gras (*fatty acid*)

Acide carboxylique qui contient une longue chaîne d'hydrocarbures sans liaisons doubles (acide gras saturé), avec une liaison double (acide gras mono-insaturé) ou encore avec deux liaisons doubles ou plus (acide gras polyinsaturé) dérivé de matières grasses ou d'huiles d'origine animale ou végétale.

Aéroporté

Voir *Polluant aéroporté*.

Aérosol (*aerosol*)

Suspension de fines particules solides ou liquides dans l'air ou dans un gaz, formant ainsi un brouillard ou de la fumée; un système colloïdal dont le milieu de dispersion est un gaz (habituellement l'air), les particules dispersées pouvant être solides ou liquides.

Agent de détérioration (*agent of deterioration*)

Les neuf types d'agents de détérioration renvoient à divers agents actifs qui menacent les collections. Ces agents sont les forces physiques directes, le vol (y compris le vandalisme et les pertes involontaires), le feu, l'eau, les ravageurs (insectes, animaux nuisibles, moisissures, etc.), les polluants, les rayonnements, et la température et l'HR contre-indiquées.

Air ambiant (*ambient air*)

Dans le présent document, l'air ambiant désigne l'air qui entoure un objet. Dans d'autres domaines, l'expression renvoie souvent à l'air extérieur ou, plus précisément, à l'air qui subit des variations météorologiques et climatiques, et qui est contaminé par les gaz d'échappement des automobiles et des camions et par les fumées dégagées par les centrales d'énergie et les incinérateurs.

Analyse des coûts et avantages

(*cost-benefit analysis*)

Méthode d'analyse qui permet d'évaluer différents scénarios selon leur coût probable et les avantages qu'ils sont susceptibles d'engendrer. Cet outil facilite la prise de décisions. Il comporte des étapes clés comme la formulation de critères pondérés, l'évaluation de différentes options (stratégies de contrôle) par rapport à ces critères et l'évaluation des conséquences négatives que pourraient avoir les options envisagées.

Anthropique (*anthropogenic*)

Incidence des êtres humains sur leur milieu, altération due à leur présence ou à leurs activités.

Attrition physique (*physical attrition*)

Geste ou procédé qui suppose un frottement ou une usure par friction; plus précisément, il s'agit de l'usure réciproque que présentent des fragments de roche libres ou des particules sous l'effet des déplacements causés par le vent (frottements, broyage, chocs et abrasions) et qui causent une perte conséquente de taille et un arrondissement de la forme.

Carbonyle (*carbonyl*)

Composé formé d'un atome de carbone et d'un atome d'oxygène unis par une liaison double (C=O); on retrouve les carbonyles dans les aldéhydes, les cétones, les acides carboxyliques et leurs dérivés. Ce terme est cependant à éviter parce qu'il désigne aussi certains groupes chimiques (p. ex. cétones et polypeptides) lesquels, en autant qu'on le sache, n'ont pas d'effets nuisibles sur les objets.

Catalyseur (*catalyst*)

Substance utilisée en petite quantité pour accélérer une réaction chimique et qui, théoriquement, est inchangée sur le plan chimique au terme de la réaction.

Cellulose

Voir *Matériaux à base de cellulose*.

Coefficient de transfert de matière

(*mass transfer coefficient*)

Voir *Vitesse de dépôt*.

Collection (*collection*)

Objets regroupés parce qu'ils présentent certaines caractéristiques communes ou qu'ils doivent être traités en un groupe. Un ensemble d'objets qui se trouvent au même endroit peut être appelé, dans une certaine mesure, une collection.

Composé organique volatil (COV)

(*Volatile organic compounds, VOC*)

Classe de composés chimiques qui contiennent au moins un atome de carbone et qui sont présents sous forme gazeuse à la température ambiante (c.-à-d. dont le point d'ébullition inférieur se

situé entre 50 °C et 100 °C et les limites supérieures, entre 240 °C et 260 °C). (Cette définition est basée sur les méthodes d'échantillonnage des COV.) En général, le terme désigne les solvants organiques, certains produits ajoutés aux peintures, les propulseurs des aérosols, les carburants (comme l'essence et le kérosène), les distillats de pétrole, les produits de nettoyage à sec et une foule d'autres produits industriels et de consommation, depuis les fournitures de bureau aux matériaux de construction. De plus, les COV sont dégagés naturellement par certaines plantes et arbres. Le terme COV est à éviter dans le contexte de la préservation des biens culturels dans la mesure où maints composés organiques volatils, en autant qu'on le sache, n'ont pas d'effets nuisibles sur les objets. En fait, la plupart des COV – à l'exception des amines, des aldéhydes et des acides carboxyliques – sont considérés inoffensifs dans un musée conventionnel. L'abréviation COVT signifie COV totaux.

Concentration de saturation

(*equilibrium concentration*)

Concentration maximale de la vapeur dégagée par un matériau dans une enceinte absolument étanche; les taux d'émission et de sorption de la vapeur sont égaux. Appelée aussi concentration d'équilibre.

Concentration d'équilibre

(*steady-state concentration*)

Concentration de composés aéroportés qui s'accumulent dans une enceinte en raison du cumul des divers paramètres intervenants dans le transfert des composés comme le taux d'émission, le taux de sorption et le taux de renouvellement d'air.

CSENO (concentration sans effets nuisibles observables) (NOAEL, no observed adverse effect level)

Concentration maximale mesurée d'un polluant qui ne produit pas d'effet nuisible sur une propriété chimique ou physique d'un matériau dans le contexte d'une expérience précise (méthode analytique, durée d'exposition, température, HR, etc.). Certains effets peuvent se produire à cette concentration, mais ils ne sont pas considérés comme nuisibles ni comme précurseurs d'effets nuisibles. Voir *Effet nuisible*.

Dépôt

Voir *Vitesse de dépôt*.

Dépoussiéreur électrique (electrostatic precipitator)

Type de système antipollution qui emploie des champs haute tension pour diffuser une charge électrique et ainsi charger les particules. Les particules chargées s'accumulent sur une plaque réceptrice mise à la terre et y forment une couche de poussière qui est éliminée, en partie du moins, régulièrement par des moyens mécaniques.

Détérioration ou dégradation

(*deterioration ou degradation*)

Altération de l'état physique et chimique d'un objet. Voir aussi *Agent de détérioration*.

Diamètre aérodynamique (aerodynamic diameter)

Le diamètre d'une sphère de densité unitaire qui aurait la même caractéristique aérodynamique que la particule à l'étude; caractéristique aérodynamique d'une particule de forme irrégulière exprimée en fonction du diamètre d'une particule parfaite. La taille et la forme des particules de même diamètre aérodynamique peuvent varier.

DMENO (dose minimale avec effets nuisibles observables) (LOAED, lowest observed adverse effect dose)

Dose cumulée (concentration x durée) à laquelle les premiers signes des effets nuisibles d'un polluant sont observés (mesurés) sur les propriétés d'un matériau. Lorsque la CSENO (concentration d'un polluant sans effets nuisibles observables) ne peut être calculée avec certitude ou ne peut l'être facilement, on peut établir une dose en multipliant la concentration du polluant par le temps écoulé avant d'observer les premiers signes d'un effet nuisible. Voir *Effet nuisible*.

Domages (damage)

Voir *Perte de valeur*.

Dose

Dans le présent document, la dose correspond à la concentration d'un polluant multipliée par la durée d'exposition. En toxicologie, le terme signifie également la quantité (poids ou volume) d'un produit chimique ou biologique absorbé ou inhalé par un être vivant. Voir aussi *DMENO*.

Effet nuisible (adverse effect)

Premier changement perceptible à l'œil nu; une propriété chimique ou physique d'un matériau ou d'un objet qui est habituellement considérée comme anormale ou indésirable. Le terme est souvent employé dans le domaine de l'analyse des risques pour la santé, de la sécurité et des politiques sur l'environnement.

Effet synergétique (*synergistic effect*)

Phénomène selon lequel l'effet résultant de l'action combinée de deux composés distincts est supérieur à celui résultant de l'addition de leurs actions indépendantes. Le phénomène opposé s'appelle effet antagoniste, c'est-à-dire que l'effet combiné est inférieur à l'effet additionné.

Enceinte (*enclosure*)

Assemblage de produits qui délimitent un espace précis (p. ex. sac de plastique, vitrine, armoire de rangement ou caisse de transport).

Enquête (*investigation*)

Démarche visant à prévenir les dommages subis par les objets ou à en trouver la ou les causes. Il inclut la collecte et l'analyse d'information sur le milieu physique et chimique dans lequel se trouvent les objets, sur les activités humaines et sur la nature des objets. Quand il y a lieu, l'enquête devrait donner lieu aux recommandations qui s'imposent.

Évaluation de la préservation

(*preservation assessment*)

Évaluation du niveau de protection qu'exige un objet ou une collection. Dans ce document, l'évaluation est basée sur des outils d'évaluation des risques (CSENO et DMENO) et est habituellement exprimée en fonction du taux de détérioration causée par les agents de détérioration comme les polluants. Voir *Évaluation des risques*.

Évaluation des risques (*risk assessment*)

L'évaluation des risques suppose l'évaluation des agents de détérioration présents dans un milieu ainsi que l'évaluation des effets nuisibles qu'ils pourraient avoir sur la collection. Il est possible d'évaluer sur une micro-échelle le risque qu'un polluant précis ait des effets nuisibles sur un matériau. Pour ce faire, on compare la DMENO ou la CSENO du système polluant-matériau à l'étude avec la concentration du polluant dans le milieu où se trouve l'objet. L'évaluation des risques peut aussi se faire sur une macro-échelle dans le cas d'une collection mixte. Le cas échéant, elle est fondée sur le matériau le plus sensible ou le plus représentatif ainsi que sur les principaux polluants aéroportés. Voir aussi *Évaluation de préservation*.

Filtre à lit fixe (*fixed-bed filter*)

Les filtres à lit fixe contiennent un assemblage de sorbants fins disposés en couches successives. Ces sorbants fins sont étroitement liés par un montage tridimensionnel de fibres collantes disposées sur des supports non tissés ou sur des structures en mousse polyuréthane à alvéoles ouvertes (figure 32).

Gaz sulfureux oxydés (S⁺) (*oxidized sulphur gases*)

Composés sulfureux qui présentent un atome de soufre à l'état d'oxydation de +4 ou +6, comme le SO₂ et le H₂SO₄ respectivement.

Gaz sulfureux réduit (S⁻) (*reduced sulphur gases*)

Composé sulfureux présentant un atome de soufre à l'état d'oxydation de -2, comme le sulfure d'hydrogène (H₂S), le bisulfure de carbone (CS₂) et le sulfure de carbonyle (OCS), ou encore de -1, comme le disulfure de diméthyle (CH₃SSCH₃).

Grandeur

Voir *Ordre de grandeur*.

Gradient spatial (*spatial gradient*)

Taux d'augmentation ou de diminution d'une valeur physique ou chimique dans l'espace.

Humidité relative (HR) (*relative humidity, RH*)

Rapport entre la quantité de vapeur actuelle dans un volume d'air donné et la quantité nécessaire, à température égale, pour saturer cet air, exprimé en pourcentage. Par exemple, la valeur de saturation de l'air à 20 °C est 17,30 g m⁻³; si la quantité actuelle d'air présente est de 8,65 g m⁻³, l'HR est de 50 %.

Hydrolyse (*hydrolysis*)

Terme de souche grecque composé des éléments hydro (= eau) et lyse (= casser ou diviser). Il s'agit de la réaction chimique avec l'eau qui provoque la scission d'une liaison chimique. Cette altération affaiblit ou rompt les liaisons moléculaires, causant fragilisation et décoloration. Dans certains cas, l'hydrolyse est catalysée par des acides, des substances alcalines ou des enzymes, selon le type de réaction. Les liaisons chimiques des polymères dans les couches de liant des bandes magnétiques sont hydrolysables; le cas échéant, on obtient de l'alcool et des acides. D'autres substances organiques fortement hydrolysables sont énumérées dans le tableau 2, à l'entrée vapeur d'eau.

Liquide

Voir *Produit liquide*.

Loi de Pareto (*Pareto's principle*)

Vilfredo Pareto (1848-1923) était un économiste italien qui a constaté, en 1906, que 20 % de la population italienne détenaient 80 % de la richesse cumulée du pays. Avec le temps et l'application à divers contextes, ce principe a fini par être désigné loi de Pareto ou règle des 80-20. Le partage 80-20 souligne que le rapport entre les efforts et les résultats n'est pas équilibré. En gestion, cette règle est une approche heuristique pratique lorsque l'on veut établir s'il vaut la peine d'augmenter les efforts, les sommes d'argent et le temps consacrés compte tenu des résultats obtenus.

Matériau (*material*)

Composant d'un objet ou d'un produit p. ex. cuivre, calcium, chêne, coton. Voir aussi *Objet* et *Produit*.

Matériau à base de cellulose

(*cellulose-based material*)

Hydrate de carbone complexe qui constitue la membrane des cellules de toutes les plantes. Le bois, le coton et autres matériaux fibreux sont les principales sources de cellulose. La cellulose est la matière première servant par exemple à la fabrication du papier, de la rayonne et des vernis et pellicules à base de cellulose.

Matériau crustal (*crustal particles*)

Particules dégagées directement par une surface non industrielle (p. ex. routes pavées et circulation, construction, activités agricoles, vents très forts) et par certains procédés industriels.

Matériau sorbant (*sorptive material*)

Voir *Sorbant*.

MEPS (micro-extraction en phase solide)

(*SPME, solid-phase micro extraction*)

Procédé mis au point pour répondre au besoin de préparer rapidement des échantillons tant en laboratoire que sur le terrain. Une petite quantité de l'extractant de la phase solide est exposée dans le milieu à l'étude pendant une période de temps définie au préalable. La MEPS est compatible avec la séparation et détection analytique par chromatographie gazeuse ou par chromatographie liquide à haute performance (CLHP).

Milieu anoxique (*anoxic environment*)

Milieu pauvre en oxygène. Les termes milieu anaérobie, à concentration réduite en oxygène et sans oxygène en sont synonymes.

Musée (*museum*)

Bâtiment qui abrite des objets ou des collections. Le terme inclut les galeries d'art, les archives, les bibliothèques, les églises, les maisons historiques et les maisons privées.

Nucléation (*nucleation*)

Réaction des composés gazeux ou formés de particules fines qui réagissent entre eux et forment des agrégats des mêmes molécules (homogènes) ou de molécules différentes (hétérogènes).

Objectif de préservation (*preservation target*)

Désigne le but ou l'objet du niveau de préservation accordé aux objets. L'objectif de préservation correspond à la période de temps durant laquelle les objets ou la collection ne devraient courir aucun risque ou un minimum de risque. Dans ce document, le risque de détérioration minimal est dérivé de la DMENO. Cette méthode permet l'extrapolation de la concentration maximale de polluants pendant la période visée pour garantir un risque de détérioration minimal. Dans quelques cas, on peut employer une méthode basée sur la CSENO, à condition de disposer des données nécessaires et que ce soit faisable. La CSENO correspond à la concentration maximale d'un polluant sans que l'objet présente d'effets nuisibles observables. Le cas échéant, l'objectif de préservation est dit de dommages nuls pendant une durée d'exposition non définie. Voir *DMENO* et *CSENO*.

Objectif environnemental (*performance target*)

Objectif environnemental basé sur la concentration maximale moyenne d'un polluant ou d'un ensemble de polluants entourant les collections dans une salle ou dans une enceinte, calculé au moyen de méthodes de surveillance quantitatives et semi-quantitatives. L'objectif peut aussi correspondre à une série de spécifications.

Objet ou matériau organique

(*organic object or material*)

Objet ou matériau formé de composés qui renferment des atomes de carbone, à l'exception du dioxyde de carbone et du monoxyde de carbone. Les matériaux organiques peuvent être d'origine naturelle ou de fabrication humaine. À l'origine, le terme désignait les matériaux dérivés d'organismes vivants (c.-à-d. plantes et animaux).

Objet (ou bien culturel) (*object or cultural property*)

Objets qui sont considérés par la société, ou par certains de ses membres, comme ayant une importance historique, artistique, sociale ou scientifique. Les objets peuvent être composés d'un ou de plusieurs matériaux. Il s'agit des biens meubles, comme les œuvres d'art, les artefacts, les livres, les archives et autres objets d'origine naturelle, historique ou archéologique ainsi que des biens immeubles comme les intérieurs architecturaux ou les structures présentant un intérêt historique ou artistique.

Ordre de grandeur (*orders of magnitude*)

Relation entre les unités du système décimal : 1 est l'unité du premier ordre, 10 est l'unité du deuxième ordre, 100 est celle du troisième ordre, etc.

Organique

Voir *Objet ou matériau organique*.

Oxydant (*oxidant*)

Terme qualitatif qui renvoie à tous les gaz à l'état de traces dont la capacité d'oxydation est supérieure à celle de l'oxygène, par exemple l'ozone, le chlore, le nitrate de peroxyacétyle (PAN), les peroxydes, l'acide sulfurique et l'acide nitrique.

Oxydation (*oxidation*)

À l'origine, le terme signifiait la réaction qui aboutit à la combinaison de l'oxygène avec une autre substance; aujourd'hui, le sens est élargi et le terme désigne toute réaction qui aboutit à un transfert d'électrons.

Perte de valeur (*loss of value*)

Perte conséquente d'attribution ou de valeur de l'objet. La perte peut être esthétique, scientifique, historique, symbolique, monétaire, spirituelle, etc. La notion de perte de valeur est subjective (c.-à-d. qu'elle varie selon l'observateur et l'époque).

Photo-oxydation (*photo-oxidation*)

Réactions d'oxydation issues de l'action d'énergies rayonnantes (comme les rayons UV et visibles), c'est-à-dire la perte d'un ou de plusieurs électrons par une espèce chimique après photo-excitation de cette espèce et la réaction d'une substance avec l'oxygène en présence d'énergies rayonnantes (appelée aussi photo-oxygénation). Les réactions qui ne présentent aucune excitation électronique du substrat ou de l'oxygène sont parfois appelées oxydations photo-amorcées.

Photo-réduction (*photo-reduction*)

Réactions de réduction issues de l'action d'énergies rayonnantes, c'est-à-dire l'ajout d'un ou de plusieurs électrons à une espèce photo-excitée ainsi que l'hydrogénation photo-chimique d'une substance.

Politique de préservation (*preservation policy*)

Buts et principes adoptés par chaque établissement en ce qui a trait au rendement général des mesures de préservation des collections. La politique oriente les interventions.

Polluant (*pollutant*)

En préservation, le terme désigne un gaz, une vapeur, un liquide ou une particule solide, d'origine anthropique ou naturelle, qui a des effets nuisibles connus sur les biens culturels. Les effets nuisibles sont notamment associés aux réactions chimiques entre le polluant et l'un ou plusieurs des composants de l'objet. Il peut également s'agir de composés qui se déposent sur les biens culturels ou qui en migrent et qui causent des effets nuisibles (voir *Effet nuisible*). Les polluants parviennent aux objets par trois mécanismes : ils sont portés par l'air (polluant aéroporté), ils passent d'un matériau à un autre en un point de contact (le matériau dont émane le polluant peut être soit un objet, soit un matériau) ou ils font partie intégrante de l'objet. Dans ce dernier cas, il n'est pas question de transfert massif puisque le polluant est intégré à l'objet même ou qu'il est le produit d'une dégradation interne.

Polluant aéroporté (*airborne pollutant*)

Dans le contexte de la préservation, un polluant aéroporté désigne n'importe quel gaz, vapeur, liquide ou particule, d'origine anthropique ou naturelle, transporté par l'air et qui a des effets nuisibles connus sur les biens culturels. Implicitement, le qualificatif « aéroporté » renvoie au mécanisme qui permet au polluant de parvenir jusqu'à l'objet. Voir aussi *Effet nuisible* et *Polluant*.

Polluant-matériau

Voir *Système polluant-matériau*.

Polluant-objet

Voir *Système polluant-objet*.

Polluants primaires (*primary pollutants*)

Désigne les types de polluants dégagés directement par certaines sources comme le SO₂ et le NO dégagés par la combustion, les cendres résultant d'une éruption volcanique ou l'acide acétique émanant du bois. Voir aussi *Polluants secondaires*.

Polluants secondaires (*secondary pollutants*)

Polluants qui ne sont pas dégagés directement par une source. Ils se forment dans l'air sous l'effet de la réaction ou de l'interaction des polluants primaires. L'ozone, un des nombreux polluants secondaires qui forment le smog photochimique, en est un exemple. Il faut noter que certains polluants peuvent être à la fois primaires et secondaires (c.-à-d. qu'ils sont à la fois dégagés directement et formés par la combinaison d'autres polluants primaires).

Préservation

Voir *Objectif de préservation et Politique de préservation*.

Principaux polluants aéroportés

(*key airborne pollutants*)

Les principaux polluants aéroportés sont ainsi désignés en raison de leur source et de leur réactivité et parce que leur concentration admissible est égale ou inférieure à celle des autres polluants classés dans le même groupe chimique. En préservation, les principaux polluants sont l'acide acétique, le sulfure d'hydrogène, le dioxyde d'azote, l'ozone, les particules fines, le dioxyde de soufre et la vapeur d'eau. Voir aussi *Polluant aéroporté*.

Principe de réciprocité (linéaire)

(*[linear] reciprocity principle*)

À dose constante (concentration d'un polluant x durée d'exposition), l'effet nuisible est égal. C'est-à-dire, les doses de $450 \mu\text{g m}^{-3}$ pour 1 an, de $45,0 \mu\text{g m}^{-3}$ pour 10 ans, de $4,50 \mu\text{g m}^{-3}$ pour 100 ans devraient toutes produire le même effet. On peut faire une analogie avec l'intensité lumineuse et la vitesse d'obturation en photographie, lorsqu'une ouverture de 1/25 seconde à une distance focale de f11 donne la même densité qu'une ouverture de 1/100 seconde à une distance focale de f5,6. Le principe de linéarité ne s'applique pas toujours dans des conditions extrêmes.

Produit (*product*)

Un produit est formé d'un ou de plusieurs matériaux. Il est issu d'un procédé de fabrication ou de transformation et est destiné à l'entretien ou au rangement des collections ou des objets p. ex. les panneaux agglomérés qui contiennent des particules de bois et de la colle. Pour permettre un choix adéquat parmi les produits disponibles, ceux-ci sont souvent dits inertes, stables, sûrs (présentant un risque faible ou aucun risque) ou appropriés. Ces termes ne sont pas normalisés, mais le terme « inerte » renvoie presque toujours à une très forte stabilité du produit qui n'est habituellement pas obligatoire en conservation.

Produit liquide (*liquid product*)

Produit utilisé dans un édifice ou une enceinte qui a une forte teneur en liquide caractérisée par une concentration relativement élevée en eau ou en émissions de COV, ou les deux, pendant et immédiatement après l'application, suivie d'émissions nettement moindres (p. ex. adhésifs, produits de nettoyage, revêtements, cires de plancher, cires en aérosol et bouche-fentes à la silicone).

Réciprocité linéaire

Voir *Principe de réciprocité linéaire*.

Risque

Voir *Évaluation des risques*.

Séjour

Voir *Temps de séjour*.

Smog (*smog*)

Littéralement, il s'agit d'un mélange de fumée et de brouillard parfois appelé « brumée »; une combinaison des mots anglais « smoke » et « fog ». Le terme est employé pour désigner des problèmes causés par la pollution, notamment la perte de visibilité. On distingue le smog acide, associé à la présence de SO_2 et de particules, et le smog photochimique causé par une augmentation des concentrations d'ozone, son principal composant, lorsque les polluants précurseurs (COV et NO_x) réagissent en présence de rayonnements ultraviolets. Le smog acide se produit généralement par temps froid, en raison des conditions météorologiques et de l'utilisation intensive des systèmes de chauffage à base de combustibles fossiles. Avec le déclin des émissions de SO_2 depuis quelques décennies, ce sont désormais les particules qui contribuent le plus à la formation de smog en hiver.

Sorbant (*sorbent*)

Matériau qui a une fonction de sorption. Il capte certains éléments présents dans l'air ambiant et les emprisonne soit par affinité, soit par réaction. Le terme désigne aussi un matériau utilisé pour capter les gaz et les vapeurs pendant l'échantillonnage de l'air. Un sorbant peut fonctionner par absorption (interactions essentiellement concentrées dans les pores de matériaux solides) ou par adsorption (interactions concentrées sur les surfaces solides). On peut aussi distinguer, parmi les procédés en cause, la chimisorption (liaison chimique avec le substrat) et la physisorption (attraction physique, par exemple par des forces électrostatiques faibles). La désorption peut aussi se produire dans certaines conditions, si les gaz sorbés n'ont pas précédemment réagi et si la concentration de polluants dans l'air ambiant diminue.

Sorber (*sorb*)

Imbiber ou retenir par adsorption ou absorption.
Voir *Sorbant*.

Spécification (*specification*)

Description précise des exigences techniques associées au rendement des diverses caractéristiques d'un bâtiment, d'accessoires portatifs ou de procédures.

Stratégie de contrôle (*control strategy*)

Série de mesures coordonnées visant à abaisser la concentration présente d'un ou de nombreux agents de détérioration ou à en atténuer les effets nuisibles sur les objets. Ces mesures peuvent être basées sur des exigences définies à l'avance. Dans le présent document, l'approche retenue est systématique : éviter, bloquer, diluer, filtrer ou sorber, atténuer les réactions et écourter la durée d'exposition.

Système de CVC (*HVAC system*)

Système de chauffage, de ventilation et de climatisation. Le terme englobe toutes les surfaces intérieures du système de circulation de l'air d'un établissement en ce qui a trait aux espaces régulés ou aux espaces occupés, ou les deux.

Système polluant-matériau

(*pollutant-material system*)

Rapport réciproque ou interaction entre un polluant précis et un matériau précis, (objet complet ou élément de celui-ci).

Système polluant-objet (*pollutant-object system*)

Même définition que le système polluant-matériau, sauf que l'accent est mis sur le caractère muséologique de l'objet.

Taux de renouvellement d'air (*air replacement ratio*)

Taux auquel l'air provenant de l'extérieur remplace l'air intérieur dans un espace donné (une salle ou une enceinte).

Temps de séjour (*suspension time*)

Période moyenne pendant laquelle un polluant, après son émission ou sa resuspension, demeure dans l'air ambiant ou est transporté dans l'atmosphère sans subir de conversion chimique. Aussi appelé temps de résidence dans l'atmosphère.

Tirage (*stack pressure*)

Différence de pression attribuable à une différence de température qui cause un déplacement d'air dans une enceinte ou un conduit.

Vieillesse accélérée (*accelerated ageing*)

Essai de détérioration thermique effectué sur les matériaux pour estimer la perte de propriétés physiques ou chimiques sur une période prolongée.

Vitesse de dépôt (ou coefficient de transfert de matière) (*deposition velocity or mass transfer coefficient*)

Mesure de la vitesse à laquelle un polluant se dépose sur un matériau. Généralement exprimée en mètre par seconde (m/s) ou par heure (m/h). À titre d'illustration, visualiser le temps qu'une particule prend pour chuter d'un mètre. Si deux heures s'écoulent avant que la particule ne se dépose à la surface du matériau, sa vitesse de dépôt est de 0,5 m/h (1 m/2 h). Ce chiffre est calculé en effectuant des expériences et est retenu comme valeur constante pour simplifier la modélisation. D'un point de vue technique, la différence tient au fait que la vitesse de dépôt renvoie uniquement au transfert de matière de l'air ambiant à la surface du matériau tandis que le coefficient de transfert de matière renvoie aux deux directions. Sa valeur est positive ou négative selon que le transfert se fait de l'air ambiant au matériau ou l'inverse.

RENOIS

Tous les liens cités ont été consultés en décembre 2003.

ACS (American Chemical Society) et Resource for the Future. *Understanding Risk Analysis: A Short Guide for Health, Safety, and Environmental Policy Making*, édition Internet (1998), p. 6-27.
<http://www.rff.org/misc_docs/risk_book.pdf>.

Adams, S., P. Brimblecombe et Y.H. Yoon.
« Comparison of Two Methods for Measuring the Deposition of Indoor Dust », *The Conservator*, n° 25 (2001), p. 90-94.

Adelstein, P.Z., J.M. Reilly, D.W. Nishimura et K.M. Cupriks. « Hydrogen Peroxide Test to Evaluate Redox Blemish Formation on Processed Microfilm », *Journal of Imaging Technology*, n° 17 (1991), p. 91-98.

Adelstein, P.Z., J.M. Reilly, D.W. Nishimura, C.J. Erbland et J.L. Bigourdan. « Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part V - Recent Findings », *SMPTE Journal* (1995), p. 439-447.

AEE (Agence européenne pour l'environnement). *Corinair 1990*, dernière mise à jour en novembre 2001.

Aero-Laser. *Aero-Laser GMBH*, s.d.
<<http://www.aero-laser.de/>>
(rechercher « LOZ-3 and LMA-3D detectors » dans les produits Unisearch, voir « AL-4021 » à la rubrique des produits Aero-Laser GMBH).

Air Pollution Training Institute. « Control Techniques », *Module 6: Air Pollutants and Control Techniques, Basic Concepts in Environmental Sciences*, 2000.
<http://www.epin.ncsu.edu/apti/ol_2000/module6/mod6fram.htm>.

Alberta Environmental Protection.
Air Quality in Alberta; April to June 1998, 1998.
<<http://www3.gov.ab.ca/env/air/airqual/98AprJun.rep.pdf>>.

Allegrini, I. et F. De Santis. « Measurement of Atmospheric Pollutants Relevant to Dry Acid Deposition », *Critical Review in Analytical Chemistry*, n° 21(1989), p. 237-255.

Ankersmit, H.A. Institut néerlandais du patrimoine culturel, communication personnelle, 2001.

Ankersmit, H.A., G. Noble, L. Rodge, D. Stirling, N.H. Tennent et S. Watts. « The Protection of Silver Collections from Tarnishing », dans *Tradition and Innovation: Advances in Conservation*, sous la direction de A. Roy et P. Smith, Londres, 2000, p. 7-13.

APT / AIC (Association for Preservation Technology International / American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works). « New Orleans Charter for Joint Preservation of Historic Structures and Artifacts », *APT Communiqué*, n° 21(2) (1992).
<<http://palimpsest.stanford.edu/bytopic/ethics/neworlea.html>>.

Arizona Instrument. *Jerome 632-X Hydrogen Sulfide Analyzer*, s.d.
http://www.azic.com/products_631.aspx.

Arney, J. S., A. J. Jacobs et R. Newman. « The Influence of Oxygen on the Fading of Organic Colorants », *Journal of AIC*, n° 18 (1979), p. 108-117.

Arrhenius, S. « Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren », *Z. Physik. Chemie*, n° 4 (1889), p. 226-248.

Ashley-Smith J., A. Derbyshire et B. Pretzel. « The Continuing Development of a Practical Lighting Policy for Works of Art on Paper and other Object Types at the Victoria and Albert Museum », dans *Prétirages de la conférence de l'ICOM-CC*, volume 1, sous la direction de R. Vontobel, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 2002, p. 3-8.

Ashley-Smith, J. *Risk Assessment for Object Conservation*, Oxford, Butterworth Heinemann, 1999, p. 72-119.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE Standard 62-2001, Atlanta, 2001a.

———. « Ventilation and Infiltration », chapitre 26 dans *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Fundamentals*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 2001b, p. 26.26-26.27.

———. « Air Contaminants », chapitre 12 dans *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Fundamentals*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 2001c.

———. « Air Cleaners for Particulate Contaminants », chapitre 25 dans *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Systems and Equipment*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 2001d, p. 25.3-25.5.

———. « Museums, Libraries, and Archives », chapitre 21 dans *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Applications*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 2003.

———. *Methods of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*, ANSI/ASHRAE Standard 52.2-1999, 1999a, p. 35-39.

———. « Control of Gaseous Indoor Air Contaminants », chapitre 44 dans *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Applications*, ASHRAE Handbook, Atlanta, 1999b, p. 44.1-44.21.

ASTM (American Standard Testing Methods). « Standard Practice for Planning the Sampling of the Ambient Atmosphere », ASTM D1357-95, dans *Water and Environmental Technology*, Annual Book of ASTM Standards, volume 11.03, West Conshohocken (Pennsylvanie), 2001a, p.15-18.

———. « Standard Practice for Sampling Workplace Atmospheres to Collect Gases or Vapors with Solid Sorbent Diffusive Samplers », ASTM D4597-95, dans *Water and Environmental Technology*, Annual Book of ASTM Standards, volume 11.03, West Conshohocken (Pennsylvanie), 2001b, p. 289-292.

———. « Standard Test Method for Measurement of Formaldehyde in Indoor Air (Passive Sampler Methodology) », ASTM D5014-94, dans *Water and Environmental Technology*, Annual Book of ASTM Standards, volume 11.03, West Conshohocken (Pennsylvanie), 2001c, p.373-378.

———. « Standard Test Method for Measurement of Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction) », ASTM D1607-91, dans *Water and Environmental Technology*, Annual Book of ASTM Standards, volume 11.03, West Conshohocken (Pennsylvanie), 2001d, p.19-23.

Bacci, M, M. Picollo, S. Porcinai et B. Radicati. « Tempera-Painted Dosimeters for Environmental Indoor Monitoring: A Spectroscopic and Chemometric Approach », *Environmental Science & Technology*, n° 34 (2000), p. 2859-2865.

Backlund, P., B. Fjellstrom, S. Hammarback et B. Maijgren. « The Influence of Humidity on the Reaction of Hydrogen Sulphide with Copper and Silver », *Arkiv for Kemi*, n° 26 (1966), p. 267-277.

Bastidas, J.M., A. López-Delgado, E. Cano, J.L. Polo et F.A. López. « Copper Corrosion Mechanism in the Presence of Formic Acid Vapour for Short Exposure Times », *Journal of Electrochemistry Society*, n° 147 (2000), p. 999-1005.

Bayer, C. « Fungal Growth May Contribute to VOC Emissions in Indoor Air », *Indoor Air Quality* (décembre 1993), p. 6-7.

Bégin, P., S. Deschatelets, D. Grattan, N. Gurnagul, J. Iraci, E. Kaminska, D. Wood et X. Zou. « The Effect of Air Pollutants on Paper Stability », *Restaurator*, n° 20 (1999), p. 1-21.

Bellan, L.M., L.G. Salmon et G.R. Cass. « A Study on the Human Ability to Detect Soot Deposition onto Works of Art », *Environmental Science and Technology*, n° 34 (2000), p. 1946-1952.

Bennett, H.E., R.L. Peck, D.K. Burge et J.M. Bennett. « Formation and Growth of Tarnish on Evaporated Silver Films », *Journal of Applied Physics*, n° 40 (1969), p. 3351-3360.

Bernard, N.L., M.J. Gerber, C.M. Astre et M.J. Saintot. « Ozone Measurement with Passive Samplers: Validation and Use for Ozone Pollution Assessment in Montpellier, France », *Environmental Science & Technology*, n° 33 (1999), p. 1217-1222.

Bernard, N.L., C.M. Astre, B. Vuillot, M.J. Saintot et M. Gerber. « Measurement of Background Urban Nitrogen Dioxide Pollution Levels with Passive Samplers in Montpellier, France », *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, n° 7 (1997), p. 165-178.

Biddle W. « Art in Cornell Museum Coated by Chemical Used in Steam Lines », *The New York Times* (29 juillet 1983), p. B-1 et B-2.

Blades, N. « Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide Measurement at the British Library and National Library of Wales, 1995-1996 », dans *Deterioration and Conservation of Vegetable Tanned Leather; Environment Leather*, projet EV5V-CT94-0514, Protection and Conservation of European Cultural Heritage Research Report Number 6, Copenhagen, L. P. Nielsen Offset Desktop Bogtryk, 1997, p. 23 et 31.

Blades, N., T. Oreszczyn, B. Bordass et M. Cassar. *Guidelines on Pollution Control in Museum Buildings*, Londres, Museums Association, 2000, p. 20-21.

Bosworth, J. « Retrofitting Old Exhibit Cases: A Search for Economic and Safe Cabinetry », *Exhibitionist*, n° 20 (2001), p. 20-24.

Bower, J. « Air Filters », *East West* (septembre-octobre 1991), p. 28.
<<http://www.hhinst.com/Artairfilters.html>>.

Bowser, D. et D. Fugler. « Indoor Ozone and Electronic Air Cleaners », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, volume 2, sous la direction de H. Levin, Santa Cruz, 2002, p. 670-675.

Brimblecombe, P. « Pollution Studies », dans *Deterioration and Conservation of Vegetable Tanned Leather; Environment Leather*, projet EV5V-CT94-0514, Protection and Conservation of European Cultural Heritage Research Report Number 6, Copenhagen, L.P. Nielsen Offset Desktop Bogtryk, 1997, p. 25-30.

———. « The Balance of Environmental Factors Attacking Artifacts », dans *Durability and Change: The Science, Responsibility, and Cost of Sustaining Cultural Heritage*, sous la direction de W.E. Krumbein, P. Brimblecombe, D.E. Cosgrove et S. Staniforth, Toronto, John Wiley & Sons, 1994, p. 67-79.

Brimblecombe, P. et B. Ramer. « Museum Display Cases and the Exchange of Water Vapour », *Studies in Conservation*, n° 28 (1983), p. 179-188.

Brimblecombe, P., D. Shooter et A. Kaur. « Wool and Reduced Sulphur Gases in Museum Air », *Studies in Conservation*, n° 37 (1992), p. 53-60.

Brokerhof, A.W. et M. Van Bommel. « Deterioration of Calcareous Materials by Acetic Acid Vapour: A Model Study », dans *Prétiages de la conférence de l'ICOM-CC*, volume 2, sous la direction de J. Bridgland, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 1996, p. 769-775.

Brown, T. « Show-Case Induced Cadmium Corrosion », dans *Abstract of Showcases and Web-Based Services*, résumés de la réunion du Conservation Science Group du Royaume-Uni, 1998.
<<http://www.chemsoc.org/networks/csn/abstracts.htm>>.

Byne, G. StG. « The Corrosion of Shells in Cabinets », *Journal of Conchology*, n° 9 (1899), p. 172-178, 253-254.

Calmes, A. « Charters of Freedom of the United States », *Museum*, n° 146 (1985), p. 99-101.

Camuffo, D., R. Van Grieken, H.-J. Busse, G. Sturaro, A. Valentino, A. Bernardi, N. Blades, D. Shooter, K. Gysels, F. Deutsch, M. Wieser, O. Kim et Oliver U. Ulrych. « Environmental Monitoring in Four European Museums », *Atmospheric Environment*, n° 35 (supplément 1) (2001), p. S127-S140.

Caple C. *Conservation Skills: Judgement, Methods and Decision Making*, New York, Routeledge, 2000, p. 170-181.

Carroll, J.F. et J.M. Calhoun. « Effect of Nitrogen Oxide Gases on Processed Acetate Film », *Journal of the SMPTE*, n° 64 (1955), p. 501-507.

Cass, G.R., J.R. Druzik, D. Grosjean, W.W. Nazaroff, P.M. Whitmore et C.L. Whittman. *Protection of Works of Art from Atmospheric Ozone*, Research in Conservation #5, Marina del Rey, The Getty Conservation Institute, 1989, p. 34 et 70.
<<http://www.getty.edu/conservation/resources/ozone.pdf>>.

———. *Protection of Works of Art from Photochemical Smog*, rapport final, Pasadena (Californie), The Getty Conservation Institute, 1988, p. 228-255.

Cassar, M., N. Blades et T. Oreszczyn. « Air Pollution Levels in Air-Conditioned and Naturally Ventilated Museums: A Pilot Study », dans *Prétiages de la conférence de l'ICOM-CC*, volume 1, sous la direction de J. Bridgland, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 1999, p. 31-37.

Cassar, M. et G. Martin. « The Environmental Performance of Museum Display Cases », dans *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, sous la direction de A. Roy et P. Smith, Londres, Institut international pour la conservation des objets d'art et d'histoire, 1994, p. 171-173.

Cavallo D, D. Alcini, M. De Bortoli, D. Carrettoni, P. Carrer, M. Bersani et M. Maroni. « Chemical Contamination of Indoor Air in Schools and Office Buildings in Milan, Italy », dans *Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air '93*, volume 2, sous la direction de P. Kalliokoski, J. Jantunen et O. Seppanen, Helsinki, 1993, p. 45-50.

CEN (Comité européen de normalisation). *Filtres à air de ventilation générale pour l'élimination des particules - Détermination des performances de filtration*, EN 779, Bruxelles, 2002.

Cermakova, D. et Y. Vlchкова. « Metallic Corrosion in an Atmosphere Polluted with Formaldehyde », dans *Proceedings of the Third International Congress on Metallic Corrosion*, Moscou, 1966, p. 497-508.

Chahine, C. « Acidic Deterioration of Vegetable Tanned Leather », dans *Leather: Its Composition and Changes with Time*, sous la direction de C. Calnan et B. Haines, Northampton, The Leather Conservation Center, 1991, p. 75-79.

Charcoal Cloth Limited. « Adsorptive Performance of ACC on Some Specific Vapours », renseignements fournis par l'entreprise, 1990.

Chaumier, S. « Un traitement curatif de désinsectisation par anoxie sous atmosphère inerte : au musée-atelier textile du feutre de Mouzon », *La lettre de l'OCIM*, n° 58 (1998), p. 23-25.

Claridge, M. « Photocopiers: an Office Hazard », *Environmental Health* (septembre 1983), p. 246-247.

Clarke, S.G. et E.E. Longhurst. « The Corrosion of Metals by Acid Vapours from Wood », *Journal of Applied Chemistry*, n° 11 (1961), p. 435-443.

Clean Air Network. *Fast Facts on Power Plants*, Washington (DC), 2000.

Conservation by Design Limited, UK. *Dancheck Film Indicators*, s.d. <<http://www.conservation-by-design.co.uk/dancheck.html>>.

Cooke, R.U. et G.B. Gibbs. *Crumbling Heritage: Studies of Stone Weathering in Polluted Atmospheres*, Swindon, Royaume-Uni, National Power plc, 1994, p. 48-49.

Cooler Heads Coalition. *Global Warming: Information Page*. <<http://www.globalwarming.org/>>.

Crawshaw, G.H. « Floorcoverings: The Role of Wool Carpets in Controlling Indoor Air Pollution », *Textile Institute and Industry*, n° 16 (janvier 1978), p. 12-15.

Dahlin, E., J.F. Henriksen et O. Anda. « Assessment of Environmental Risk Factors in Museums and Archives », *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, n° 10 (1997), p. 94-97.

Daniel, F., F. Flieder et F. Leclerc. « Étude de l'effet de la pollution sur des papiers déacidifiés », dans *Les documents graphiques et photographiques. Analyse et conservation*, Travaux du CRCDG, Paris, Archives nationales; La Documentation française, 1991, p. 37-72.

———. « Étude de l'effet de la pollution sur des papiers déacidifiés », dans *Les documents graphiques et photographiques: Analyse et conservation*, Travaux du CRCDG, Paris, Archives nationales; La Documentation française, 1988, p. 53-93.

Daniel, V. et S. Maekawa. « The Moisture Capacity of Museum Cases », dans *Materials Research Society Symposium Proceedings*, volume 267, sous la direction de P. B. Vandiver, J.R. Druzik, G.S. Wheeler et I.C. Freestone, Pittsburgh, Materials Research Society, 1992, p. 453-458.

Daniel, V.D. et S. Ward. « A Rapid Test for the Detection of Substances which Will Tarnish Silver », *Studies in Conservation*, n° 27 (1998), p. 58-60.

Davies, T.D., B. Ramer, G. Kaspyzok et A.C. Delany. « Indoor/Outdoor Ozone Concentrations at a Contemporary Art Gallery », *Journal of the Air Pollution Control Association*, n° 31 (1984), p. 135-137.

De W. Rogers, G. et C.G. Costain. « Contamination of a Collection by a Demineralizer / Aerosol Humidifier System », *Journal of IIC-GC*, n° 5 (1980), p. 22-24.

De Santis, F., I. Allegrini, P. Di Filippo et D. Pasella. « Simultaneous Determination of Nitrogen Dioxide and Peroxyacetyl Nitrate in Ambient Atmosphere by Carbon-Coated Annular Diffusion Denuder », *Atmospheric Environment*, n° 30 (1996), p. 2637-2646.

Dingle, P., P. Olden, S. Hu et F. Murray. « A Study of Formaldehyde in a New Office Building », dans *Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air '93*, volume 2, sous la direction de P. Kalliokoski, J. Jantunen et O. Seppanen, Helsinki, 1993, p. 51-55.

Donovan, P.D. et T.M. Moynihan. « The Corrosion of Metal by Vapours from Air-Drying Paints », *Corrosion Science*, n° 5 (1965), p. 803-814.

Donovan, P.D. et J. Stringer. « The Corrosion of Metals by Organic Acid Vapours », dans *Proceedings of the 4th International Congress on Metallic Corrosion*, sous la direction de N.E. Hammer, Houston (Texas), National Association of Corrosion Engineers, 1972, p. 537-543.

Down, J.L., M.A. MacDonald, J. Tétreault et R.S. Williams. « Adhesive Testing at the Canadian Conservation Institute — An Evaluation of Selected Poly(Vinyl Acetate) and Acrylic Adhesives », *Studies in Conservation*, n° 41 (1996), p. 19-44.

Drisko, K., G.R. Cass, P.M. Whitmore et J.R. Druzik. « Fading of Artists' Pigments Due to Atmospheric Ozone », dans *Wiener Berichte über Naturwissenschaft in der Kunst*, sous la direction de A. Vendl, B. Pichler, J. Weber et G. Banik, Vienne, Verlag ORAC, 1985/86, p. 66-89.

Druzik, J. « Communication on ozone generators », liste d'envoi en conservation, message reçu le 29 mars 1999. <<http://palimpsest.stanford.edu/byform/mailling-lists/cdl/1999/0425.html>>.

Druzik, J.R., M.S. Adams, C. Tiller et G.R. Cass. « The Measurement and Model Predictions of Indoor Ozone Concentrations in Museums », *Atmospheric Environment*, n° 24A (1990), p. 1813-1823.

Duncan, S.J. et V.D. Daniels. *Studies on the Deterioration of Museum Objects by the Release of Formaldehyde from Storage and Display Materials*, rapport interne, Londres, British Museum Department of Conservation, 1986.

Dupont, A-L. et J. Tétreault. « Exposure of Cellulose to Carboxylic Acid Compounds Emitted from Acidic Box », données non publiées, Ottawa, Institut canadien de conservation, 2000a.

———. « Study of Cellulose Degradation in Acetic Acid Environments », *Studies in Conservation*, n° 45 (2000b), p. 201-210.

EC (Environnement Canada). *Qualité de l'air urbain*, Bulletin EDE n° 99-1, printemps 1999. <http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/Indicators/Pdf_file/99-1_f.pdf>.

———. *Normes nationales de qualité de l'air ambiant : proposition de décisions concernant les particules en suspension dans l'air et l'ozone*, 1997. <<http://www.ec.gc.ca/air/qual/matterf.html>>.

———. *Bulletin des tendances et des variations climatiques*. <<http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/>>.

EC (Environnement Canada) et SC (Santé Canada). *Objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant sur l'ozone troposphérique : rapport d'évaluation scientifique* (document paru uniquement en anglais), Hull, Environnement Canada, 1999, p. 7-1-7-32. <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite_air/publications/ozone_tropospherique/sommaire/tdm.htm>.

Edwards, C.J., F. Lyth Hudson et J.A. Hockey. « Sorption of Sulphur Dioxide by Paper », *Journal of Applied Chemistry*, n° 18 (1968), p. 146-148.

EMEP (Co-operative Program for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe). *Emission Maps and Trends for Each Country*, s.d. <http://reports.eea.eu.int/technical_report_2002_91/en/tab_abstract_RLR>.

Environmental Sensors Co. *Formaldehyde Z-300*. <http://www.environmentalsensors.com/Environmental_Sensors/Z_Models/Z_Formaldehyde.html>

EPA (Environmental Protection Agency, États-Unis). *Ozone Generators that Are Sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences*, 2001a. <<http://www.epa.gov/iaq/pubs/ozongen.html>>.

———. *Latest Findings on National Air Quality: 2000 Status and Trends*, EPA- 454/K- 01-002, Research Triangle Park, 2001b, p. 6-13. <<http://www.epa.gov/oar/aqtrnd00/brochure/00brochure.pdf>>.

———. *National Air Quality and Emissions Trends Report*, 1999, EPA- 454/R- 01-004, Research Triangle Park, 2001c, p. 24-50. <<http://www.epa.gov/oar/aqtrnd99/>>.

———. *Candles and Incense as Potential Sources of Indoor Air Pollution: Market Analysis and Literature Review*, EPA- 600/R-01-001, Research Triangle Park, 2001d. <<http://www.epa.gov/ordntrnt/ORD/NRMRL/Publications/600R01001.htm>>.

———. *National Air Pollutant Emission Trends, 1900 - 1998*, EPA- 454/R- 00-002, Research Triangle Park, 2000, p. ES-3, ES-5, 2.3, 2.12, 3-27, 3-29.

———. *Guidance for Using Continuous Monitors in PM_{2.5} Monitoring Networks*, EPA-454/R-98-012, Research Triangle Park, 1998.
<<http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/r-98-012.pdf>>.

———. *National Air Pollutant Emission Trends, 1900-1995*, EPA-454/R-96-007, Research Triangle Park, 1996, p. 2. Sommaire affiché à l'adresse suivante (en anglais) :
<<http://www.epa.gov/oar/emtrnd95/execsumm.html>>.

———. *Figure 1 Top Ten Source Sub-Sectors for Europe*, 1990.
<<http://reports.eea.eu.int/92-9167-036-7/en/page005.html>>.

Eremin, K. et P. Wilthew. « Monitoring Concentrations of Organic Gases within the National Museums of Scotland », *SSCR Journal*, n° 9 (1998), p. 15-19.

Eremin, K., S. Adams et J. Tate. « Monitoring of Deposited Particles Levels within the Museum of Scotland: During and After Construction », *The Conservator*, n° 24 (2000), p. 15-23.

Erhardt, D. et M. Mecklemburg. « Relative Humidity Re-Examined », dans *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, sous la direction de A. Roy et P. Smith, Londres, Institut international pour la conservation des objets d'art et d'histoire, 1994, p. 32-38.

Erickson, H. *Report on NO_x at the HRHRC*, 1990.
<<http://www.ph.utexas.edu/~erickson/nox@hrc.html>>.

Eriksson, P., L.-G. Johansson et H. Strandberg. « Initial Stages of Copper Corrosion in Humid Air Containing SO₂ and NO₂ », *Journal of Electrochemical Society*, n° 140 (1993), p. 53-59.

Feldman, L.H. « Discoloration of Black and White Photographic Prints », *Journal of Applied Photographic Engineering*, n° 7 (1981), p. 1-9.

Feller, R.L. *Accelerated Ageing: Photochemical and Thermal Aspects*, Research in Conservation #4, The Getty Conservation Institute, 1994.
<<http://www.getty.edu/conservation/resources/20%reports.html>>.

Ferek, R.J. et P.A. Covert. « Intercomparison of Measurement of Sulfur Dioxide in Ambient Air by Carbonate-Impregnated Filters and Teco Pulsed-Fluorescence Analyzers », *Journal of Geophysical Research*, n° 102 (1997), p. 16267-16272.

Fiala, J., L. Cernikovský, L. Kozakovic, J. Stedman et K. Stevenson. *Air Quality in the Phare Countries 1997*, Copenhagen, Agence européenne pour l'environnement, 2002, p. 19-23.
<http://reports.eea.eu.int/topic_report_2001_16/en>.

Fiaud, C. et J. Guinement. « The Effect of Nitrogen Dioxide and Chlorine on the Tarnishing of Copper and Silver in the Presence of Hydrogen Sulfide », *Proceedings of the Electrochemical Society*, n° 86 (1986), p. 280-304.

Franey, J. « Degradation of Copper and Copper Alloys by Atmospheric Sulfur », dans *Degradation of Metals in the Atmosphere*, ASTM STP 965, sous la direction de S.W. Dean et T.S. Lee, Philadelphie, American Society for Testing and Materials, 1988, p. 306-315.

Franey, J.P., T.E. Graedel et G.W. Kammlott. « The Sulfiding of Copper by Trace Amounts of Hydrogen Sulfide », dans *Proceedings of International Symposium on Atmospheric Corrosion*, sous la direction de W.H. Ailor, New York, Wiley-Interscience Publication, 1980, p. 383-392.

Franey, J.P., G.W. Kammlott et T.E. Graedel. « The Corrosion of Silver by Atmosphere Sulfurous Gases », *Corrosion Science*, n° 25 (1985), p. 133-143.

Gibson L.T. et A.W. Brokerhof. « A Passive Tube-Type Sampler for the Determination of Formaldehyde Vapours in Museum Enclosures », *Studies in Conservation*, n° 46 (2001), p. 289-303.

Gibson, L.T., B.G. Cooksey, D. Littlejohn et N.H. Tennent. « A Diffusion Tube Sampler for the Determination of Acetic Acid and Formic Acid Vapours in Museum Cabinets », *Analytica Chimica Acta*, n° 341 (1997a), p. 11-19.

———. « Determination of Acetic Acid and Formic Acid Vapour Concentrations in the Museum Environment by Passive Sampling », *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, n° 10 (1997b), p. 108-112.

Graedel, T.E. « Copper Patinas Formed in the Atmosphere: II. A Qualitative Assessment of Mechanisms », *Corrosion Science*, n° 27 (1987a), p. 721-740.

———. « Copper Patinas Formed in the Atmosphere: III. A Semi-Quantitative Assessment of Rates and Constraints in the Greater New York Metropolitan Area », *Corrosion Science*, n° 27 (1987b), p. 741-769.

———. « Concentrations and Metal Interactions of Atmospheric Trace Gases Involved in Corrosion », dans *Proceedings of the Ninth International Congress on Metallic Corrosion*, Congrès international de corrosion métallique, 1984, p. 396-401.

Graedel, T.E., J.P. Franey, G.W. Kammlott. « Ozone- and Photon-Enhanced Atmospheric Sulfidation of Copper », *Science*, n° 224 (1984), p. 599-601.

Graedel, T.E., G.W. Kammlott et J.P. Franey. « Carbonyl Sulfide: Potential Agent of Atmospheric Sulfur Corrosion », *Science*, n° 212 (1981), p. 663-665.

Graedel, T.E., J.P. Franey, G.J. Gualtieri, G.W. Kammlott et D.L. Malm. « On the Mechanism of Silver and Copper Sulfidation by Atmospheric H₂S and OCS », *Corrosion Science*, n° 25 (1985), p. 1163-1180.

Green, L.R. *Investigation of Sulphide Corrosion of Bronze: Stage II: Source of Hydrogen Sulphide*, Report, 1992/14, Londres, The British Museum, 1992.

Green, L.R. et D. Thickett. « Testing Materials for Use in the Storage and Display of Antiquities: A Review Methodology », *Studies in Conservation*, n° 40 (1995), p. 145-152.

Griffith, D.W.T. et B. Galle. « Flux Measurement of NH₃, N₂O and CO₂ Using Dual Beam FTIR Spectroscopy and the Flux-Gradient Technique », *Atmospheric Environment*, n° 34 (2000), p. 1087-1096.

Grosjean, D. « Ambient Levels of Formaldehyde, Acetaldehyde, and Formic Acid in Southern California: Results of a One-Year Base-Line Study », *Environmental Science & Technology*, n° 25 (1991), p. 710-715.

———. « Aldehydes, Carboxylic Acids and Inorganic Nitrate during NSMC », *Atmospheric Environment*, n° 22 (1988), p. 1637-1648.

Grosjean, D., E. Grosjean et E.L. Williams II. « Fading of Artists' Colorants by Mixture of Photochemical Oxidants », *Atmospheric Environment*, n° 27A (1993), p. 765-772.

Grosjean, D., P.M. Whitmore, C. Pamela De Moor, G.R. Cass et J.R. Druzik. « Fading of Alizarin and Related Artists' Pigments by Atmospheric Ozone: Reaction Products and Mechanisms », *Environmental Science and Technology*, n° 21 (1987), p. 635-643.

Grzywacz, C.M. et N.H. Tennent. « Pollution Monitoring in Storage and Display Cabinets: Carbonyl Pollutant Levels in Relation to Artifact Deterioration », dans *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, sous la direction de A. Roy et P. Smith, Londres, Institut international pour la conservation des objets d'art et d'histoire, 1994, p. 164-170.

Harrison, R.M. « Chemistry of the Troposphere », dans *Pollution: Causes, Effects and Control*, troisième édition, sous la direction de R.M. Harrison, Cambridge, The Royal Society of Chemistry, 1996, p. 169-193.

Havermans, J. « Effects of SO₂ and NO_x on the Accelerated Ageing of Paper », *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, n° 10 (1997), p. 128-133.

Hewings, J. *Air Quality Indices: A Review*, Pollution Probe, 2001, p. 15-27.
<<http://www.pollutionprobe.org/Reports/AQIReport.pdf>>.

Hisham, M.W.M. et D. Grosjean. « Air Pollution in Southern California Museums: Indoor and Outdoor Levels of Nitrogen Dioxide, Peroxyacetyl Nitrate, Nitric Acid and Chlorinated Hydrocarbons », *Environmental Science & Technology*, n° 25 (1991a), p. 857-862.

———. « Sulfur Dioxide, Hydrogen Sulfide, Total Reduced Sulfur, Chlorinated Hydrocarbons and Photochemical Oxidant in Southern California Museums », *Atmospheric Environment*, n° 25A (1991b), p. 1497-1505.

Hjellbrekke, A-G. *Ozone Measurements 1998*, EMEP/CCC-Report 5/2000, EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe, 2000, p. 17, 53-69.
<<http://www.nilu.no/projects/ccc/reports/>>.

Hoevel, C.L. « A Study of the Discoloration Products Found in White Lead Paint Films », dans *The 1985 Book and Paper Group Annual*, sous la direction de J. Abt, Washington (DC), The Book and Paper Group, 1985, p. 35-42.

Hollinshead, P.W., M.D. Wan Ert, S.C. Holland et K. Velo. *Deteriorating Negatives: A Health Hazard in Collection Management*, Arizona State Museum, 1987. <http://www.statemuseum.arizona.edu/coll/phot_neg_hazard.doc>.

Howarth, K. « Handling and Care of Modern Audio Tape », dans *Proceedings of Care of Photographic Moving Image & Sound Collections*, sous la direction de S. Clark, York, Institute of Paper Conservation, 1998, p. 172-176.

ICC (Institut canadien de conservation). *Le programme du processus de hiérarchie analytique*, 2003. <www.cci-icc.gc.ca/links/pollutants/ahp/default_f.asp>.

Image Permanent Institute. *User's Guide for A-D Strips: Film Base Deterioration Monitors*, Rochester, Rochester Institute of Technology, 1997.

ISA (Instrument Society of America). *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants*, ISA Standard S71.04-1985, Research Triangle Park, International Society for Measurement and Control, 1986.

Iversen, T. et J. Kolar. *Kvavedioxids effekter pa papper* (Effet du dioxyde d'azote sur le papier), FoU-Projektet for papperskonservering, rapport 5, Stockholm, Riksarkivet, 1991, p. 9-27.

Jaffe, L.S. « The Effects of Photochemical Oxidants on Materials », *Journal of the Air Pollution Control Association*, n° 17 (1967), p. 375-378.

Jarnstrom, H. et K. Saarela. « Indoor Air Quality and Material Emissions in New Buildings », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, volume 2, sous la direction de H. Levin, Santa Cruz, Indoor Air 2002, p. 201-206.

Jensen, B., P. Wolkoff, C.K. Wilkins et P.A. Clausen. « Characterization of Linoleum. Part I: Measurement of Volatile Organic Compounds by Use of the Field and Laboratory Emission Cell, FLEC », dans *Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air '93*, volume 2, sous la direction de P. Kalliokoski, J. Jantunen et O. Seppanen, Helsinki, Conférence internationale sur la qualité de l'air intérieur et le micro-climat, 1993, p. 443-448.

Johansson, E., C. Leygraf et B. Rendahl. « Characterisation of Corrosivity in Indoor Atmospheres with Different Metals and Evaluation Techniques », *British Corrosion Journal*, n° 33 (1998), p. 59-66.

Johansson, E., B. Rendahl, V. Kucera, C. Leygraf, D. Knotkova, J. Vlckova et J. Henriksen. « Comparison of Different Methods for Assessment of Corrosivity in Indoor Environments », *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, n° 10 (1997), p. 92-94.

Johansson, L.-G., O. Lindqvist et R.E. Mangio. « Corrosion of Calcareous Stones in Humid Air Containing SO₂ and NO₂ », *Durability of Building Materials*, n° 5 (1988), p. 439-449.

Jones, N.C., C.A. Thornton, D. Mark et R.M. Harrison. « Indoor/Outdoor Relationships of Particulate Matter in Domestic Homes with Roadside, Urban and Rural Locations », *Atmospheric Environment*, n° 34 (2000), p. 2603-2612.

Judeiki H.S. et T.B. Stewart. « Laboratory Measurement of SO₂ Deposition Velocities on Selected Building Materials and Soils », *Atmospheric Environment*, n° 10 (1976), p. 769-776.

K & M ChromAir. *ChromAir Direct Read Passive Monitoring Badges*, s.d. <<http://www.kandmenvironmental.com/Products.html>>.

Kadokura, T., K. Yoshizumi, M. Kashiwagi et M. Saito. « Concentration of Nitrogen Dioxide in the Museum Environment and Its Effects on the Fading of Dyed Fabrics », dans *The Conservation of Far Eastern Art*, Preprints of the Contributions to the Kyoto Congress, sous la direction de J.S. Mills, P. Smith et K. Yamasaki, Londres, Institut international pour la conservation des objets d'art et d'histoire, 1988, p. 87-89.

Kames, J. McLeod Russel Filter AG, Suisse, communication personnelle, 2002.

Kames, J. « Filtration Systems in Cultural and Heritage Collections », dans *Indoor Air Quality and Climate in Cultural and Heritage Institutions*, atelier 21, Espoo, Finlande, Healthy Buildings 2000, 2000. <<http://www.hb2000.org/workshop21.html>>.

Keepsafe Systems. *Case Leakage Tester*, 2002a. <<http://www.microclimate.ca/product%20data/caseleakage.htm>>.

———. *Micro Climate Technology*, 2002b.

<<http://www.microclimate.ca/product%20data/mcg%20overview.htm>>.

Kepner, C.H. et B.B. Tregoe. *The Rational Manager: A Systematic Approach to Problem Solving and Decision Making*, seconde édition, New Jersey, Kepner-Tregoe Inc., 1976, p. 174-206.

Kildeso, J., J. Vallarino, J.D. Spengler, H.S. Brightman et T. Schneider. « Dust Build-Up Surfaces in the Indoor Environment », *Atmospheric Environment*, n° 33 (1999), p. 699-707.

Kirchner, S., A.M. Laurent, B. Collignan, Y. Le Moullec, O. Ramalho, J.G. Villenave et J.P. Flori. « Impact of the Urban Pollution on the Indoor Environment — Experimental Study on a Mechanical Ventilation Dwelling », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, volume 1, sous la direction de H. Levin, Santa Cruz, Indoor Air 2002, 2002, p. 164-169.

Kleno, J.G., P.A. Clausen, C.J. Weschler et P. Wolkoff. « Determination of Ozone Removal Rates by Selected Building Products Using the FLEC Emission Cell », *Environmental Science & Technology*, n° 35 (2001), p. 2548-2553.

Kontozova, V., F. Deutsch, R. Godoi, A. F. Godoi, P. Joos et R. Van Grieken. « Characterisation of Air Pollutants in Museums Showcases » dans *art2002*, 7th International Conference on Non-Destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage, 2002.
<www.uia.ac.be/u/vgrieken/pages/Kontozovacorr.pdf>.

Kozdron-Zabiegala, B., J. Namiesnik et A. Przyjazny. « Use of Passive Dosimeters for Evaluation of the Quality of Indoor and Outdoor Air », *Indoor Environment*, n° 4 (1995), p. 189-203.

Kozziel, J.A., J. Noah et J. Pawliszyn. « Filed Sampling and Determination of Formaldehyde in Indoor Air with Solid-Phase Microextraction and On-Fiber Derivatization », *Environmental Science & Technology*, n° 35 (2001), p. 1481-1486.

Kruse, K., L. Madso, A. Skogstad, W. Eduard, F. Levy, K. Skulberg et K. Skyberg. « Characterization of Particle Types in Modern Offices », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, volume 1, sous la direction de H. Levin, Santa Cruz, Indoor Air 2002, 2002, p. 880-884.

Kuhn, U., S. Rottenberger, T. Biesenthal, C. Ammann, A. Wolf, G. Schebeske, A. Gut, F.X. Meixer, P.S. T. Oliva, T.M. Tavares et J. Kesselmeier. « Exchange of Short-Chained Monocarboxylic Acids between Biosphere and the Atmosphere at a Remote Tropical Forest in Amazonia », dans *Volatile Organic Compounds (VOC) Produced by Plants*, PhytoVOC 2001, 2001.
<<http://phytovoc.cefe.cnrs-mop.fr/abstracts.htm>>.

Kukadia, V., J. Palmer, J. Littler, R. Woolliscroft, R. Watkins et I. Ridley. « Air Pollution Levels Inside Buildings in Urban Areas: A Pilot Study », dans *Proceedings of CIBSE/ASHRAE Joint National Conference Part Two*, volume 1, 1996, p. 322-332.

Ladisch, C.M. et S.-L. Rau. « The Effect of Humidity on the Ozone Fading of Acid Dyes », *Textile Chemist and Colorist*, n° 29 (1997), p. 24-28.

Lafontaine, R.H. *Le gel de silice*, Bulletin technique n° 10, Ottawa, Institut canadien de conservation, 1984.

Lal Gauri, K., A.N. Chowdhury, N.P. Kulshreshtha et A.R. Punuru. « The Sulfations of Marble and the Treatment of Gypsum Crusts », *Studies in Conservation*, n° 34 (1989), p. 201-206.

Lanting, R.W. « Air Pollution in Archives and Museums: Its Pathway and Control », dans *Preprint of Indoor Air 90*, Ottawa, Conférence internationale sur la qualité de l'air intérieur et le micro-climat, volume 3, 1990, p. 665-670.

Larsen, R. « Deterioration and Conservation of Vegetable Tanned Leather », *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, n° 10 (1997), p. 54-61.

Lee, K., J. Vallarino, T. Dumyahn, H. Ozkaynak et J.D. Spengler. « Ozone Decay Rates in Residences », *Journal of the Air and Waste Management Association*, n° 49 (1999), p. 1238-1244.

Lechnitz, K. *Detector Tube Handbook: Air Investigations and Technical Gas Analysis with Dräger Tubes*, septième édition, Lübeck, Dräger, 1989.

Leissner, J. « Assessment and Monitoring the Environment of Cultural Property », *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, n° 10 (1997), p. 5-49.

Leveque, M.A. « The Problem of Formaldehyde — A Case Study », dans *Preprint of the Annual Meeting of the AIC*, sous la direction de A.G. Brown, Williamsburg, The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1986, p. 56-65.

Leyshon, L.J. et C. Holstead. « Reaction of Sulphur Dioxide with Image Transfer Azo-Naphthol Dyes », *Journal of Photographic Science*, n° 36 (1988), p. 107-114.

Little, B.J., P.A. Wagner et Z. Lewandowski. « The Role of Biomineralization in Microbiologically Influenced Corrosion », dans *Corrosion 98*, NACE International, 1998, p. 294/1-294/18.

Lobnig, R.E., D.J. Siconolfi, J. Maisano, G. Grundmeier, H. Streckel, R.P. Frankenthal, M. Stratmann et J.D. Sinclair. « Atmospheric Corrosion of Aluminum in the Presence of Ammonium Sulfate Particles », *The Journal of the Electrochemical Society*, n° 143 (1996a), p. 1175-1181.

Lobnig, R.E., D.J. Siconolfi, L. Psota Kely, G. Grundmeier, R.P. Frankenthal, M. Stratmann et J.D. Sinclair. « Atmospheric Corrosion of Zinc in the Presence of Ammonium Sulfate Particles », *The Journal of the Electrochemical Society*, n° 143 (1996b), p. 1539-1546.

Lobnig, R.E., R.P. Frankenthal, D.J. Siconolfi et J.D. Sinclair. « The Effect of Submicron Ammonium Sulfate Particles on the Corrosion of Copper », dans *Corrosion and Reliability of Electronic Materials and Devices*, Pennington, The Electrochemical Society Inc., 1993, p. 336-356.

López-Delgado, A., E. Cano, J.M. Bastidas et F.A. López. « A Laboratory Study of the Effect of Acetic Acid Vapor on Atmospheric Copper Corrosion », *Journal of Electrochemistry Society*, n° 145 (1998), p. 4140-4147.

Lorenzen, J.A. « Atmospheric Corrosion of Silver », dans *Proceedings of the 17th Annual Technical Meeting of the Institute of Environmental Sciences*, Los Angeles, Institute of Environmental Sciences, 1971, p. 110-116.

Luke, W.T. « Evaluation of a Commercial Pulsed Fluorescence Detector for the Measurement of Low-Level SO₂ Concentrations During the Gas-Phase Sulfur Intercomparison Experiment », *Journal of Geophysical Research*, n° 102 (1997), p. 16255-16265.

Lynn, Y., G. Salmon et G.R. Cass. « The Ozone Fading of Traditional Chinese Plant Dyes », *Journal of AIC*, n° 39 (2000), p. 245-257.

Lyth Hudson, F. « Acidity of 17th and 18th Century Books in Two Libraries », *Paper Technology*, n° 8 (1967), p. 189, 190 et 196.

Maekawa, S. (dir.). *Oxygen-Free Museum Cases*, Research in Conservation, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 1998.
<<http://www.getty.edu/conservation/resources/reports.html>>.

Manahan, S.E. *Environmental Chemistry*, sixième édition, Boca Raton, Lewis Publishers, 1994, p. 390.

Marshall, G.B. et N.A. Dimmock. « Determination of Nitric Acid in Ambient Air Using Diffusion Denuder Tubes », *Talanta*, n° 39 (1992), p. 1463-1469.

Martin, G. « Air Exchange Rates in Display Cases — A Standard? », dans *Proceedings of the Third Indoor Air Pollution Meeting*, sous la direction de M. Ryhl-Svendsen, Indoor Air Quality Working Group, 2000.
<http://iaq.dk/iaq/iaq2000/2000_04.htm>.

Matthews, T.G., T. J. Reed, B. J. Tromberg, C.E. Daffron et A.R. Hawthorne. « Formaldehyde Emission from Combustion Source and Solid Formaldehyde-Resin-Containing Products: Potential Impact on Indoor Formaldehyde Concentrations », dans *Formaldehyde: Analytical Chemistry Toxicology*, sous la direction de V. Turoski, Washington (DC), American Chemical Society, 1985, p. 131-150.

Mazurkiewicz, G. *CEA Instruments, Inc. Formaldehyde Monitor*, 2001.
<<http://www.achrnews.com/CDA/ArticleInformation/products/BNPPProductItem/0,6080,21157,00.html>>.

MEO (ministère de l'Environnement de l'Ontario). *Qualité de l'air Ontario*, ministère de l'Environnement, 1999, p. 24-25.
<<http://www.ene.gov.on.ca/air-fr.htm>>.

———. *A Compendium of Current Knowledge on Fine Particle Matter in Ontario*, 1995, p. III.2-III.14.
<<http://www.ene.gov.on.ca/envision/env%5Freg/er/documents/pa9e0008/list.htm>>.

Parmar, S.S. et D. Grosjean. « Sorbent Removal of Air Pollutants from Museum Display Cases », *Environmental International*, n° 17 (1991), pp. 39-50.

Pauly, S. « Permeability and Diffusion Data », dans *Polymer Handbook*, troisième édition, sous la direction de J. Brandrup et E. H. Immergut, New York, John Wiley & Sons, 1989, p. VI-437-VI-445.

Payrissat, M. et S. Beilke. « Laboratory Measurements of the Uptake of Sulfur Dioxide by Different European Soils », *Atmospheric Environment*, n° 9 (1975), p. 211-217.

Perkins, L. « A Model for Humidity Control Using Gore-Tex Silica Tiles », p. 100-105 dans *The Book and Paper Group Annual, Volume 6* (sous la direction de R. Espinosa), Washington (DC), Book and Paper Group of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1987.

Persson, D. et C. Leygraf. « Metal Carboxylate Formation during Indoor Atmospheric Corrosion of Cu, Zn, and Ni », *Journal of Electrochemistry Society*, n° 142 (1995), p. 1468-1477.

Pibbs, H. « Microenclosures for Framed Collections », *Exhibitionist*, n° 20 (2001), p. 37-40.

Pilz, M. « Umweltsituation im Grunen Gewolbe Dresden: Charakterisierung mit Hilfe von Glassensoren », *Restauero*, n° 106 (2000), p. 422-426.

Pope, D., H.R. Gibbens et R.L. Moss. « The Tarnishing of Ag at Naturally-Occurring H₂S and SO₂ Levels », *Corrosion Science*, n° 8 (1968), p. 883-887.

Popp, C.J. et R.S. Martin. *Reactive Atmospheric Organic Compounds in the El Paso, Texas-Ciudad Juarez, Mexico Airshed*, SCERP project number: AQ94-23, San Diego, Southwest Center for Environmental Research and Policy, 1999.
<http://www.scerp.org/scerp/projects/AQ94_2.3.html>.

Purafil. *Media Technical Brochure*, Doraville, Purafil Inc., 1999, p. 8.
<<http://www.afslasvegas.com/purafil/catalog2/literature/assets/pdf/pur/mediatec.htm>>.

———. *Onguard Atmospheric Corrosion Monitor*, Doraville, Purafil, 1998a.
<<http://www.afslasvegas.com/purafil/catalog2/literature/assets/pdf/pur/onguard1.htm>>.

———. *Purafil's Technical Services Support*, Doraville, Purafil, 1998b.
<<http://www.afslasvegas.com/purafil/catalog2/literature/assets/pdf/pur/techsrv1.htm>>.

Raphael, T., N. Davis et K. Brookes. *Exhibit Conservation Guidelines: Incorporating Conservation into Exhibit Planning, Design and Fabrication*, CD-ROM, National Park Service des États-Unis, 1999, p. C.3, C.4, 3:7, 5:A, 5:H.

Reilly, J. *IPI Storage Guide for Acetate Film: Instructions for Using the Wheel, Graphs, and Table: Basic Strategy for Film Preservation*, Rochester (NY), Rochester Institute of Technology, Image Permanence Institute, 1993.

Reilly, J.M. *Storage Guide for Color Photographic Materials: Caring for Color Slides, Prints, Negatives, and Movie Films*, Albany, The University of the State of New York, 1998, p. 12 et 19-23.

Reilly, J. M., D. W. Nishimura, et E. Xinn. *New Tools for Preservation: Assessing Long-term Environmental Effects on Library and Archives Collections*, Washington (DC), The Commission on Preservation and Access, 1995, p. 7, 21-29.

Reilly, J.M., E. Zinn et P. Adelstein. *Atmospheric Pollutant Aging Test Method Development*, rapport final présenté à l'American Society for Testing and Materials, Rochester, Image Permanence Institute, 2001, p. 52-97.

Reiner, T., O. Mohler et F. Arnold. « Measurement of Acetone, Acetic Acid, and Formic Acid in the Midlatitude Upper Troposphere and Lower Stratosphere », *JGR-Atmosphere*, n° 104 (1999), p. 13943.

Riederer, J. « Environmental Damage to Museum Objects », *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, n° 10 (1997), p. 118-121.

Rodgers, J. « Preservation and Conservation of Video Tape », dans *Preprint of Care of Photographic Moving Image & Sound Collections*, sous la direction de S. Clark, York, Institute of Paper Conservation, 1998, p. 6-10.

Roemich, H, communication personnelle, Glass sensors available at the Fraunhofer-Institut für Silicatforschung, Wertheim-Bronnbach, Allemagne, 2002.

Ryhl-Svendsen, M. *Indoor Air Pollution in Museums: Detection of Formic and Acetic Acid Emission from Construction Materials by SPME-GC/MS*, thèse de maîtrise, Copenhague, École de conservation, Académie royale des beaux-arts du Danemark, 2000, p. 66-86.

———. *Concentration Converters, IAQ in Museums and Archives*, 2001.
<http://iaq.dk/papers/conc_calc.htm>.

Ryhl-Svendsen, M. et J. Glastrup. « Acetic and Formic Acid Concentrations in the Museum Environment Measured by SPME-GC/MS », *Atmospheric Environment*, n° 36 (2002), p. 3909-3916.

Ryan, J., D. McPhail, P. Rogers et V. Oakley. « Glass Deterioration in the Museum Environment », *Chemistry and Industry*, n° 13 (1993), p. 498-501.

Saaty, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*, Pittsburgh, RWS Publications, 1990, p. 1-35.

Sabersky, R.H., D.A. Sinema et F.H. Shair. « Concentrations, Decay Rates, and Removal of Ozone and Their Relation to Establishing Clean Indoor Air », *Environmental Science & Technology*, n° 7 (1973), p. 347-353.

Saito, M., S. Goto et M. Kashiwagi. « Effect of the Concentration of NO₂ Gas to the Fading of Fabrics Dyed with Natural Dyes », *Scientific Papers on Japanese Antiques and Art Crafts*, n° 39 (1994), p. 67-74.

———. « Effect of the Composition of NO₂ Gas to the Fading of Plants Dyes », *Scientific Papers on Japanese Antiques and Art Crafts*, n° 38 (1993), p. 1-9.

Salmon, L.G. et G.R. Cass. « The Fading of Artists' Colorants by Exposure to Atmospheric Nitric Acid », *Studies in Conservation*, n° 38 (1993), p. 73-91.

Salmon, L.G., W.W. Nazaroff, M.P. Ligocki, M.C. Jones et G.R. Cass. « Nitric Acid Concentrations in Southern California Museums », *Environmental Science Technology*, n° 24 (1990), p. 1004-1013.

Sano, C. « Indoor Air Quality in Museums: Their Existing Levels, Desirable Conditions and Countermeasures », *Journal of Japan Air Cleaning Association*, n° 38 (2000), p. 20-26.

Saunders, D. « The Environment and Lighting in the Sainsbury Wing of the National Gallery », dans *Prétirages de la conférence de l'ICOM-CC*, volume 2, sous la direction de J. Bridgland, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 1993, p. 630-635.

Saunders, D. et J. Kirby. « Light-Induced Damage: Investigating the Reciprocity Principle », dans *Prétirages de la conférence de l'ICOM-CC*, volume 1, sous la direction de J. Bridgland, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 1996, p. 87-90.

———. « Light-Induced Colour Changes in Red and Yellow Lake Pigments », *National Gallery Technical Bulletin*, n° 15 (1994), p. 79-97.

Schmith Etkin, D. *Office Furnishings/Equipment & IAQ: Health Impacts, Prevention & Mitigation*, Arlington (MA), Cutter Information Corp., 1992, p. 89-91.

Schubert, R. « A Second Generation Accelerated Atmospheric Corrosion Chamber », dans *Degradation of Metals in the Atmosphere*, ASTM STP 965, sous la direction de S.W. Dean et T.S. Lee, Philadelphie, American Society for Testing and Materials, 1988, p. 374-384.

Schubert, R et S.M. D'Egidio. « The Surface Composition of Copper with Indoor Exposures Ranging from 3 to 49 Years », *Corrosion Science*, n° 30 (1990), p. 999-1008.

Seabright, L.H. et J. Trezek. « Notes on the Prevention of White Powder Corrosion of Cadmium Plate », *Plating* (1948), p. 715-718.

Seifert, B. (1990). « Regulating Indoor Air », dans *Preprint of Indoor Air 90*, volume 5, Ottawa, Conférence internationale sur la qualité de l'air intérieur et le micro-climat, 1990, p. 35-49.

Seinfeld, J.H. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, Toronto, John Wiley & Sons, 1986, p. 37.

Seinfeld, J.H. et S. N. Pandis. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air pollution to Climate Change*, Toronto, John Wiley & Sons, 1998, p. 523-531.

Selwitz, C. *Cellulose Nitrate in Conservation*, Research in Conservation #2, Marina del Rey, The Getty Conservation Institute, 1988.
<<http://www.getty.edu/conservation/resources/reports.html>>.

Selwitz, C. et S. Maekawa. *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests*, Research in Conservation, The Getty Conservation Institute, 1998.
<<http://www.getty.edu/conservation/resources/reports.html>>.

Shashoua, Y. « Ageless Oxygen Absorber: From Theory to Practice », dans *Prétirages de la conférence de l'ICOM-CC*, volume 1, sous la direction de J. Bridgland, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 1999, p. 881-887.

Shaver, C.L. et G.R. Cass. « Ozone and the Deterioration of Work of Art », *Environmental Science and Technology*, n° 17 (1983), p. 748-752.

Simon, D., J. Bardole et M. Bujor. « Study of the Reactivity of Silver, Copper, Silver-Copper, and Silver Palladium Alloys Used in Telephone Relay Contacts », *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, CHMT-3, 1980, p. 13-16.

Slinn, W.G., N. Hasse, L. Hicks, B.B.A.W. Hogan, D. Lai, P.S. Liss, K.O. Munnich, G.A. Sehmel et O. Vittori. « Some Aspects of the Transfer of Atmospheric Trace Constituents Past the Air-Sea Interface », *Atmospheric Environment*, n° 12 (1978), p. 2055-2087.

Smith, L.E. « Factors Governing the Long-Term Stability of Polyester-Based Recording Media », *Restaurator*, n° 12 (1991), p. 201-218.

Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation. *Directive 96-4 pour l'utilisation des filtres dans les installations aérotechniques*, Berne, Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation, 1998.

Souza, S.R., P.C. Vasconcellos et L.R.F. Carvalho. « Low Molecular Weight Carboxylic Acids in an Urban Atmosphere: Winter Measurements in Sao Paulo City, Brazil », *Atmospheric Environment*, n° 33 (1999), p. 2563-2574.

Spedding, D.J. et R.P. Rowlands. « Sorption of Sulphur Dioxide by Indoor Surfaces -1: Wallpapers », *Journal of Applied Chemistry*, n° 20 (1970), p. 143-146.

Stadler-Salt, N. et P. Bertram. « Conférence sur l'état de l'écosystème des Grands Lacs 2000 : mise en œuvre des indicateurs », pour examen (rapport en anglais seulement), Burlington, Chicago, Environnement Canada, Environmental Protection Agency des États-Unis, 2000, p. 89.
<<http://www.on.ec.gc.ca/solec/implementing2000-f.html>>.

Stavroudis, C. « HEPA HEPA HEPA », *AIC Newsletter*, janvier (2002a), p. 24-25.
<<http://aic.stanford.edu/health/hepa.html>>.

———. « Never Mind the Bollocks, Here's the HEPA Chart », *WAAC Newsletter*, n° 24 (2002b), pp. 13-16.

Stigbrand, M., A. Karlsson et K. Irgum. « Direct and Selective Determination of Atmospheric Gaseous Hydrogen Peroxide by Diffusion Scubber and 1, 1'-Oxalyldiimidazole Chemiluminescence Detection », *Analytical Chemistry*, n° 68 (1996), p. 3945-3950.

Tennent N.H. et T. Baird. « The Identification of Acetate Efflorescence on Bronze Antiquities Stored in Wooden Cabinets », *The Conservator*, n° 16 (1992), p. 39-43 et 47.

Tétreault, J. « Lignes directrices pour la sélection et l'utilisation de revêtements », *Bulletin de l'ICC*, n° 28 (2001), p. 7-9.
<http://www.cci-icc.gc.ca/whats-new/news28/coatings_f.shtml>.

———. *Revêtements pour l'exposition et la mise en réserve dans les musées*, Bulletin technique n° 21, Ottawa, Institut canadien de conservation, 1999a.

———. *Vitrines en chêne : problèmes de conservation et solutions*, Note spéciale de l'ICC, Ottawa, Institut canadien de conservation, 1999b, 10 p.
<http://www.cci-icc.gc.ca/document-manager/view-document_f.cfm?Document_ID=80&menubar=NO&ref=co>.

———. « Corrosion of Zinc and Copper by Acetic Acid Vapor at 54% RH », résultats non publiés, Ottawa, Institut canadien de conservation, 1992a.

———. « La mesure de l'acidité des produits volatils », *Journal de l'IIC-CG*, n° 17 (1992b), p. 17-25.
<http://www.cci-icc.gc.ca/document-manager/view-document_f.cfm?Document_ID=81&ref=co>.

———. *VOC Emission from Silicone Sealants GE II*. Institut canadien de conservation, données non publiées, 1990.

Tétreault, J. et R.S. Williams. *Crystals on Cellulose Nitrate*, Institut canadien de conservation, données non publiées, 2002.

Tétreault, J. et E. Stamatopoulou. « Determination of Concentrations of Acetic Acid Emitted from Wood Coatings in Enclosures », *Studies in Conservation*, n° 42 (1997), p. 141-156.

Tétreault, J., J. Sirois et E. Stamatopoulou. « Study of Lead Corrosion in Acetic Acid Environment », *Studies in Conservation*, n° 43 (1998), p. 17-32.

Tétreault, J., E. Cano, M. Von Bommel, D. Scott, L. Robbiola, L. Minel et M.-G. Barthes. « Corrosion of Copper and Lead by Formaldehyde, Formic and Acetic Acids », *Studies in Conservation*, 48, 2003, p. 231-250.

Tétreault, J. et W.F. Lai. « Discoloration of Colorants by Sulfur Dioxide and Acetic Acid », résultats non publiés, Ottawa, Institut canadien de conservation, 2001.

Thickett, D. The British Museum, communication privée, 2000.

———. *Relative Effects of Formaldehyde, Formic and Acetic Acids on Lead, Copper and Silver*, The British Museum, rapport 1997/12, Londres, The British Museum, 1997.

Thickett, D., S. Bradley et L. Lee. « Assessment of the Risks to Metal Artifacts Posed by Volatile Carbonyl Pollutants », dans *Proceedings of the International Conference on Metals Conservation*, sous la direction de W. Mourey et L. Robbiola, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 1998, p. 260-264.

Thomson, G. « Stabilization of RH in Exhibition Cases: Hygrometric Half-time », *Studies in Conservation*, n° 22 (1977), p. 85-102.

Thomson, G. *The Museum Environment*, deuxième édition, Londres, Butterworths, 1986, p. 257-258.

———. « Stabilization of RH in Exhibition Cases: Hygrometric Half-Time », *Studies in Conservation*, n° 22 (1977), p. 85-102.

———. « Air Pollution: A Review for Conservation Chemist », *Studies in Conservation*, n° 10 (1965), p. 147-167.

Toishi, K. et M. Koyano. « Conservation and Exhibition of Cultural Property in the Natural Environment in the Far East », dans *The Conservation of Far Eastern Art*, sous la direction de J.S. Mills, P. Smith et K. Yamasaki, Londres, Institut international pour la conservation des objets d'art et d'histoire, 1988, p. 90-94.

Uchiyama, S. et S. Hasegawa. « A Reactive and Sensitive Diffusion Sampler for the Determination of Aldehydes and Ketones in Ambient Air », *Atmospheric Environment*, n° 33 (1999), p. 1999-2005.

Unger, M., M. Stratmann et R.E. Lobnig. « The Influence of the Amount of Ammonium Sulfate Particles on the Atmospheric Corrosion Mechanism of Copper », *Symposium on the Passivity and its Breakdown*, volume 97-26, Paris, Electrochemical Society Proceedings, 1998, p. 949-960.

Van Bogart, J.W.C. *Magnetic Tape Storage and Handling: A Guide for Libraries and Archives*, Washington (DC), The Commission on Preservation and Access, 1995, p. 28.

Van Bommel, M., B. van Elst et F. Broekens. « Emission of Organic Acids from Wooden Construction Materials in a Small Test Chamber; Preliminary Results of Optimisation of the Solid Phase Micro Extraction Technique », dans *IAP Copenhagen 2001*, sous la direction de M. Ryhl-Svendsen, Copenhagen, Indoor Air Pollution Working Group, 2001. <http://iaq.dk/iap/iap2001/2001_15.htm>.

Van den Brink, O., G.B. Eijkel et J.J. Boon. « Dosimetry of Paintings: Chemical Changes in Test Paintings as Tools to Assess the Environmental Stress in the Museum Environment », dans *Preprint of Site Effects: The Impact of Location on Conservation Treatments*, Édimbourg, Scottish Society for Conservation and Restoration, 1998, p.70-76.

Verein Deutscher Ingenieure. *Hygienic Standards for Ventilation and Air-Conditioning Systems Offices and Assembly Rooms*, VDI 6022, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, 1998.

Volent, P. et N.S. Baer. « Volatile Amines as Corrosion Inhibitors in Museum Humidification Systems », *International Journal of Museum Management and Curatorship*, n° 4 (1985), p. p. 359-364.

Wahlin, P., F. Palmgren, A. Afshari, L. Gunnarsen, O.J. Nielsen, M. Bilde et J. Kildeso. « Indoor and Outdoor Particle Measurement in a Street Canyon in Copenhagen », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, volume 1, sous la direction de H. Levin, Santa Cruz, Indoor Air 2002, 2002, p. 182-187.

Waller, C. *Sorbents for Gaseous Pollutants in Showcases: Anti-Tarnish Products for Silver*, 1999.
<<http://www.cwaller.de/sorbents.htm>>.

Waller, R. Musée canadien de la nature, communication personnelle, 2002.

———. « Internal Pollutants, Risk Assessment and Conservation Priorities », dans *Prétirages de la conférence de l'ICOM-CC*, volume 1, sous la direction de J. Bridgland, Londres, James & James Science Publishers Ltd., 1999, p. 113-118.

Wang, T.C. « A Study of Bioeffluents in a College Classroom », *ASHRAE Transactions*, n° 81 (1975), p. 32-44.

Watts, S.F. Communication présentée à la réunion, *Detection and Prevention of Indoor Air Pollution*, Institut néerlandais du patrimoine culturel, Amsterdam, Pays-Bas, 26 août 1999.

———. « The Mass Budgets of Carbonyl Sulfide, Carbon Disulfide and Hydrogen Sulfide », *Atmospheric Environment*, n° 34 (2000), p. 761-779.

Weintraub, S. « Demystifying Silica Gel », dans *Objects Specialty Group Postprints, Volume 9* (sous la direction de V. Greene), Washington (DC), Objects Specialty Group of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2002, pp. 169-194.

Weschler, C.J., H.C. Shields et D.V. Naik. « Indoor Ozone Exposures », *Journal of the Air Pollution Control Association*, n° 39 (1989), p. 1562-1568.

Weyde, E. « A Simple Test to Identify Gases which Destroy Silver Images », *Photographic Science and Engineering*, n° 15 (1972), p. 283-286.

White, K., S. Smith et P. Dingle. HEPA « Air Filtration: An Effective Method of Reducing Household PM Exposure », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, volume 1, sous la direction de H. Levin, Santa Cruz, Indoor Air 2002, 2002, p. 891-895.

Whitmore, P.M. et G.R. Cass. « The Fading of Artist' Colorants by Exposure to Atmospheric Nitrogen Dioxide », *Studies in Conservation*, n° 34 (1989), p. 85-97.

———. « The Ozone Fading of Traditional Japanese Colorants », *Studies in Conservation*, n° 33 (1988), p. 29-40.

Whitmore, P.M., G.R. Cass et J.R. Druzik. « The Ozone Fading of Traditional Natural Organic Colorants on Paper », *Journal of AIC*, n° 26 (1987), p. 45-58.

Wilhelm, H. *The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides, and Motion Pictures*, Grinnell, Preservation Publishing Company, 1993, p. 565-568.

Wilke, O., O. Jann et D. Brodner. « VOC- and SVOC- Emissions from Adhesives, Floor Coverings and Complete Floor Structures », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, volume 1, sous la direction de H. Levin, Santa Cruz, Indoor Air 2002, 2002, p. 962-967.

Williams, E.L., E. Grosjean et D. Grosjean. « Exposure of Artists' Colorants to Peroxyacetyl Nitrate », *Journal of AIC*, n° 32 (1993a), p. 59-79.

———. « Exposure of Artists' Colorants to Sulfur Dioxide », *Journal of AIC*, n° 32 (1993b), pp. 291-310.

———. « Exposure of Artist's Colorants to Airborne Formaldehyde », *Studies in Conservation*, n° 37 (1992), p. 201-210.

———. *Exposure of Deacidified Paper to Ambient Levels of SO₂ and NO₂*, GCI Scientific Program Report, Marina del Rey, The Getty Conservation Institute, 1990.

Williams, R.S. « Amines in Steam Humidification Systems », *Conservation DistList*, 2001.

<<http://palimpsest.stanford.edu/byform/mailling-lists/cdl/2001/0190.html>>.

———. « Blooms, Blushes, Transferred Images and Mouldy Surfaces: What are These Distracting Accretions on Art Works? », dans *Proceedings of the 14th Annual IIC-CG Conference*, sous la direction de J.G. Wellheiser, Ottawa, IIC - Groupe canadien, 1989, p. 65-84.

Wilson, W.K. *Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records*, NISO-TR01-1995, Bethesda (MD), National Information Standards Organization, 1995, p. 8.

WRI (World Resources Institute).

Acid Rain: Downpour in Asia?, s.d.

<<http://www.wri.org/wri/trends/acidrain.html>>.

Yamada, E., M. Kimura, K. Tomozawa et Y. Fuse.

« Simple Analysis of Atmospheric NO₂, SO₂ and O₃ in Mountain by Using Passive Samplers », *Environmental Science & Technology*, n° 33 (1999), p. 4141-4145.

Yoon, Y.H. et P. Brimblecombe. « Contribution of Dust at Floor Level to Particle Deposit within The Sainsbury Centre for Visual Arts », *Studies in Conservation*, n° 45 (2000), p. 127-137.

Yu, D., S.A. Klein, et D.T. Reindl. « An Evaluation of Silica Gel for Humidity Control in Display Cases », *WAAC Newsletter*, n° 23 (2001), p. 14-19.

Zinn, E., J.M. Reilly, P.Z. Adelstein et D.W. Nishimura. « Air Pollution Effects on Library Microforms », dans *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, sous la direction de A. Roy et P. Smith, Londres, Institut international pour la conservation des objets d'art et d'histoire, 1994, p. 195-201.

INDEX

Acétate de cellulose, acide acétique et effets
de l'eau sur 10, 17, 25, 26, 32, 41, 50, 59, 67, 71, 82, 88
effet de la température 26, 28,
source d'acide acétique 8, 10

Acide acétique 7, 10, 19, 20, 25, 40, 41, 59, 60, 87
dommages causés par 9, 26, 67, 103
acétate de cellulose 10
plomb 22, 26, 29, 31, 69
zinc 22, 26
essais pour mesurer la présence 86, 87, 88
objectifs de rendement 33, 72
produits en bois, sources 8, 10
revêtements et adhésifs, sources 8
sorption 59
sources diverses 8, 26, 59

Acide éthanoïque, *voir* Acide acétique

Acide formique 10, 20, 29, 51
dommages causés par 9, 26, 112
essais pour mesurer la présence 86, 87, 88
sources 8, 32, 104

Acide méthanoïque, *voir* Acide formique

Acide nitrique (HNO₃) 8, 9, 13, 26, 32, 104, 112

Acide propionique 104

Acide sulfurique (H₂SO₄) 8, 9, 16, 53

Acides carboxyliques (acides organiques) 8, 9, 20

Acides gras 8, 9, 51, 115
définition 143

Ad- ou Ab- sorption, *voir* Sorption

Adhésifs
émission d'acide acétique 8, 10, 41
sources de polluants 18, 53, 65, 104

Aérosol 8, 12
définition 143

Ageless 63

Agent de détérioration 25, 52, 72, 74, 79, 80, 84, 89
définition 143

Air ambiant, définition 143

Alcalin 49, 55

Aldéhydes, *voir aussi* Formaldéhyde 8, 9, 19, 20

Alumine activée 48
imprégnée de permanganate de potassium 48
voir aussi Filtres et Sorbants

Amines 8, 9, 89, 104, 115
diéthylaminoéthanol (DEAE), inhibiteur de corrosion 115
dans les systèmes d'humidification 74, 104

Ammoniac (NH₃) 12, 19, 83
dommages causés par 9, 129
essais pour mesurer la présence 87
nitrate d'ammonium 19
sources 8, 32, 43, 105
sulfate d'ammonium 108, 129

Analyse des coûts et avantages 72, 74, 79, 143

Argent, effets des composés sulfureux sur 11, 24, 25, 26,
27, 29, 34, 43, 53, 55, 66

Armoires de rangement, *voir* Enceintes

ASHRAE 45, 46, 49, 50, 91
définition 45
normes 46

Atténuation, *voir* Stratégies de contrôle

Bandes ou supports magnétiques, bandes vidéo 9, 16,
17, 28, 34, 67

Bâtiments et maisons historiques 18, 34, 43, 74

Béton 57

Bronze 9, 10, 22

Caisses de transport 39, 51

Caoutchoucs 66
effet de l'ozone sur 9, 17, 26, 67
sources de composés sulfureux 53, 74, 89, 90

Carbonyles 10
définition 143
voir aussi Acide acétique, Acide formique,
Formaldéhyde, Acides carboxyliques,
Acide propionique

- Catalyseur à l'oxyde de zinc 48
- Catalyseurs 8, 29
définition 143
- Charbon actif 48, 55, 61
linge de charbon actif 48, 55, 61
voir aussi Filtres et Sorbants
- Charte de la Nouvelle-Orléans 75
- Chlore 115
- Chlorure d'hydrogène, sources 105
- Climatisation de l'air 14, 44, 47, 91
- Coefficient de transfert de matière, *voir aussi* Vitesse de dépôt 14, 54, 57
- Combustion 8, 12, 15, 16, 20
- Composé organique volatil (COV) 20
définition 143
- Concentration d'équilibre 37, 40, 58, 82, 86
définition 144
- Concentration de saturation 57, 62, 82
définition 144
- Contact 41, 42, 49, 53, 89
- CSENO (concentration d'un polluant sans effets nuisibles observables) 21, 22, 23, 27, 29, 30, 31, 35, 69, 70, 72, 79
calcul 21
définition 144
- Cuirs 13, 16, 26, 70
- Cuivre 9, 11, 24, 29, 31, 43, 53, 73
- Dépôts acides ou Pluies acides 12, 13, 16
- Dépoussiéreur électrique 14, 49
définition 144
- Dépoussiéreur par voie humide, pulvérisateur d'eau 48, 49
- Détérioration 21, 22, 51
définition 144
taux de détérioration 21, 29, 37, 69, 80
- Diamètre aérodynamique 14, 16, 46
définition 144
- Dioxyde d'azote (NO₂) 7, 10, 11, 40, 71, 83, 135, 140
dommages causés par 9, 26, 67, 115, 127
essais pour mesurer la présence 86, 87
objectifs de rendement 33
sources 8, 32
tendances 11
- Dioxyde de carbone (CO₂) 19, 44
- Dioxyde de soufre (SO₂) 7, 13, 16, 17, 19, 24, 34, 53, 59, 60, 69, 70, 73, 135, 140
dommages causés par 9, 26, 120
essais pour mesurer la présence 86, 87, 88
objectifs de rendement 33
sources 8, 32, 105
tendances 13
- Disulfure de carbone (CS₂) 8, 9, 106
- DMENO (dose minimale de polluant avec effets nuisibles observables) 23, 24, 25, 26, 27, 31, 35, 67, 69, 70
calcul 21
définition 144
- Dommages, *voir aussi* CSENO, DMENO et
Détérioration 22, 66, 69
- Dose 23, 24, 25, 70
définition 144
voir aussi DMENO
- Eau (H₂O), vapeur 7, 17, 19, 21, 29, 33, 34, 43, 83
dommages causés par 9, 26, 89, 131
essais pour mesurer la présence 86, 88
fuite (liquide) 52
hydrolyse 52
sources 8
voir aussi Humidité relative
- Effet nuisible 21, 22, 69, 70, 71, 72, 80
critère 110
définition 144
- Effet synergétique, mélange de gaz 29, 133
- Enceintes 34, 50, 65
définition 145
enceintes en bois 31, 32, 39
étanchéité à l'air 52, 54, 55, 56
polluants de source interne 8, 10, 11, 17, 32

- Épurateurs d'air 14, 49
- Équilibre (effort, cibles) 27, 72, 79
- Essai Oddy (essai de corrosion accéléré) 88
- Éthique 67, 75, 91
- Évaluation de la préservation 1, 70, 79
définition 145
- Examen 81, 82, 83, 84
- Fiches signalétiques (sur la sécurité des produits) 53
- Filtres 16, 34
assemblage de filtres pour les enceintes 58, 59, 60
filtration à l'échelle du bâtiment 43, 45, 46, 48, 74
filtres HEPA 47, 50
gaz 45, 46, 145
méthode des taches de poussière 46, 47
particules 46
efficacité des filtres 46, 47
voir aussi Système de CVC
- Filtres à lit fixe 46, 47
définition 145
- Formaldéhyde 10, 19, 20, 29, 40
dommages causés par 9, 26, 124
essais pour contrôler la présence 86, 87
oxydation 20
sources 8, 32, 106
urée formaldéhyde 8, 43, 74
- Fuites
taux de fuite 55, 57, 58, 59, 60, 62
vitrines ou enceintes présentant des fuites 51, 55, 60, 63, 65, 75
voir aussi Taux de renouvellement d'air
- Gaz corrosifs 86, 88
- Gaz sulfureux oxydés (S⁺) 8, 9
définition 145
- Gaz sulfureux réduits (S⁻) 8, 9
définition 145
voir aussi Sulfure d'hydrogène
- Gel de silice 48, 60, 61
- Gradient spatial 37, 50
définition 145
- Huiles
matériaux, composés huileux 53
résidus huileux 29
revêtements à base d'huile (peintures ou vernis) 10, 43, 57
- Humain
activités 7, 14, 19, 43, 46, 83
fréquentation des visiteurs 14, 16, 19, 43
peluches 8, 15, 46, 51, 89
phanères 15, 46
santé 1, 19, 20, 43, 77
- Humidité relative (HR) 11, 16, 17, 18, 19, 21, 27, 28, 29, 34, 45, 50, 51, 52, 56, 60, 61, 62
définition 145
effets sur le taux de détérioration 27, 33
voir aussi Vapeur d'eau
- Hydrolyse 10, 17, 27, 28, 30, 34, 41, 51, 67, 87
définition 145
- Incertitude, prise de décisions 22, 74, 75, 76
- Indices de la qualité de l'air 81, 83
- Indice de priorité des mesures de préservation 79, 80
- Insectes 16, 20, 46, 51, 64
- Laine 8, 11, 32, 43
- Loi de Pareto 7
définition 146
- Lumière 13, 25, 28, 29, 70
altération de la couleur 9, 23, 64, 67, 70, 71, 89
lignes directrices sur l'éclairage 142
norme échelle de bleu de l'ISO 142
voir aussi Rayonnements
- Manipulation 16, 51
- Matériau à base de cellulose 17, 20
définition 146
- Matériau-barrière 30, 40, 63
blocage à l'échelle du bâtiment 43
blocage à l'échelle de l'enceinte 50
coefficient de perméabilité 139
étanchéité 51
papier d'aluminium 56
pellicules ou sacs de plastique 53, 56, 59
pellicule protectrice apposée sur les objets 30, 56
revêtements (peintures et vernis), scellage 55, 57, 84
voir aussi Taux de renouvellement d'air

- Matières colorantes 28, 29, 42, 67
 cramoisi d'alizarine 26, 30, 67
 curcumine 27, 67
 effets des polluants (affadissement, décoloration) 9, 13, 14, 20, 25, 29
 fuchsine basique 23, 28, 29, 67
 peintures à l'eau 30
- Matières colorantes sensibles 26, 67
- Métaux 9, 18, 19, 20, 22, 55, 76, 85
 plaquettes métalliques aux fins de surveillance 73, 86, 88
 voir aussi chaque métal
- Méthanal, *voir* Formaldéhyde
- Méthode de hiérarchie multicritère (MHM) 77
- Milieu, surveillance du milieu complet 88
- Milieu anoxique 63, 64, 124
 définition 146
- Micro-climat 51
 générateurs 60
 régulation du micro-milieu 42
- Moisissures 16, 18, 50, 69, 84
- Musée 39
 définition 146
- Nettoyage 15, 50, 51
 nettoyage à l'aspirateur 16, 50, 67
 produits de nettoyage 8, 10, 19, 20, 29, 84
- Nitrate de cellulose, effets de l'eau sur 9, 13, 17, 18, 19, 30, 67
- Nitrate de peroxyacétyle (PAN) 106, 125
- Normes 33, 46, 47, 72, 73
- Objets à base de carbonate de calcium (œufs, coquillages) 9, 20, 29, 89
- Objets hypersensibles 37, 50, 66, 72, 83
- Objectif de préservation 33, 60, 65, 79
 définition 146
 dommages nuls (zéro dommages) 69
 niveau naturel 69
- Objectif environnemental 33, 69, 71, 72, 78
 définition 146
- Odeurs 11, 31, 41, 43, 59, 65, 89
- Onguard 73, 86, 88
- Oxydants 13, 17, 20, 49, 55
 définition 147
- Oxydation 13, 16, 20, 27, 41, 63
 définition 147
 voir aussi Photo-oxydation
- Oxydes d'azote (NO_x) 9, 13, 51
 essais pour mesurer la présence 86, 87
 sources 8
- Oxydo-polymérisation 10, 42, 57, 74
- Oxygène (O₂) 12, 19, 20, 28, 29, 58, 61
 milieu libre d'oxygène, milieu anaérobie 63, 64
 sorbants à l'oxygène, Ageless 63, 64
- Ozone (O₃) 7, 10, 13, 14, 20, 30, 49, 67, 83, 137, 140
 dommages causés par 9, 26, 125
 essais pour mesurer la présence 87
 objectifs de rendement 33
 sources 8, 32, 107
 tendances 13, 83
- Pacific Silvercloth 55, 61
- Papier 9, 13, 17, 18, 22, 34, 53
 œuvres d'art sur papier 40
 papier acide 26, 27, 28, 30, 41, 42, 51
 papier de chiffon 26
 papier de soie 51, 55
- Papier d'aluminium, matériau-barrière 56
- Particules 7, 10, 13, 14, 24, 25, 26, 29, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 55, 60, 83, 140
 distribution de la poussière 14
 efficacité des filtres selon la taille des particules 46
 estimation du nombre d'années écoulées avant de percevoir les salissures 24
 PM_{2,5}, particules fines 14, 135
 dommages causés par 9, 14, 26, 67
 essais pour mesurer la présence 87
 objectifs de rendement 33
 sources 8, 32, 107
 PM₁₀, particules grossières 14, 63, 86, 87, 88
 sources 8, 32, 108
 particules très grossières (>PM₁₀) 14, 67, 108
- Peintures 11, 30, 89

- Perméabilité 54, 63, 139
- Peroxydes, peroxyde d'hydrogène (HOOH) 8, 9, 10, 27, 28, 51
- Photographies 9, 25, 28, 53
images argentiques, pellicules en noir et blanc 27
pigments colorés 25, 28, 53, 71
- Photo-oxydation 28, 41, 63, 72, 89
définition 147
- Photo-réduction
définition 147
- Planchers 57
- Plastifiants 30, 42, 65
- Plastiques 18, 41, 51, 54, 55, 63
- Plomb
effet de l'acide acétique 10, 22, 26, 29, 31, 41, 69, 72, 74, 84
essai à l'acétate de plomb; dépistage des composés sulfureux 53, 74, 90
- Politique en matière de préservation 35, 78
définition 147
- Polluants aéroportés 7, 8, 9, 10, 18, 29, 32, 33, 37
définition 147
essais pour mesurer la présence 85, 86, 87
fluctuation 83
voir aussi Principaux polluants aéroportés
- Polluants primaires
définition 147
- Polluants secondaires
définition 148
- Poussières et saletés, *voir* Particules
- Principaux polluants aéroportés 7, 32, 34, 60, 72, 148
concentrations dans la troposphère inférieure propre 33
concentrations dans les régions urbaines 33
voir aussi Acide acétique, Sulfure d'hydrogène, Dioxyde d'azote, Ozone, Particules, Dioxyde de soufre et Eau
- Principes
loi de Pareto 7
définition 146
principe de prudence 75
principe de réciprocité (linéaire) 24, 25, 70
définition 148
stratégies de contrôle 37, 42, 43, 45
- Produits en bois, enceintes en chêne, en cèdre 8, 10, 19, 20, 31, 32, 40, 41, 42, 43, 53, 57, 59, 60, 61, 63, 69, 74
- Produits liquides 18, 41
définition 148
voir aussi Nettoyage
- PVC (chlorure de polyvinyle) 9, 28, 42, 57, 64, 86
- Radicaux 12, 29
- Rayonnements 12, 13, 14, 25, 28, 29, 52, 70,
altération de la couleur 9, 25, 28, 70, 71, 89
lumière du soleil 25
rayonnements solaires 12
rayonnements ultraviolets (UV) 8, 9, 13, 89
voir aussi Lumière
- Réactions, atténuation 37, 38, 50, 64, 65
- Revêtements, lignes directrices 55, 57, 84, 91
- Risques 75
de détérioration 25, 26, 31, 33, 37, 42, 69, 79
évaluation 21, 31, 148
- Salissures 15, 24
- Salles 10, 11, 18, 25, 31
sources ou concentrations intérieures 32, 34, 35, 37, 103
stratégies de contrôle 40, 42
- Sels, objets imprégnés 9, 11, 14, 19, 21, 29, 68, 84, 89
- Silicone (acide, produits de scellage ou de calfeutrage) 8, 10, 32, 41, 53, 59
- Smog 11, 13
définition 148
- Sorbants 13, 35, 47, 48, 49, 51, 55, 57, 58, 60, 64, 65, 70
à eau, *voir* Gel de silice
à oxygène, *voir* Milieu anoxique
charbon actif 48, 55, 59, 60, 61
définition 148
linge de charbon actif 48
Pacific Silvercloth 55, 61

- Sources anthropiques 11, 12
 - définition 143
- Spécifications 37, 47, 48, 69, 72, 73, 74, 78
 - définition 149
- Spécimens minéraux 15, 53
- Stratégies de contrôle 34, 37, 42, 66, 78, 149
- Sulfure de carbonyle (OCS) 8, 9, 11, 24, 32, 87, 109, 131, 145
- Sulfure d'hydrogène (H₂S) 7, 11, 53, 59, 60, 73, 83, 137
 - dommages causés 9, 26, 67, 130
 - cuivre 9, 26, 67, 139
 - argent 9, 26, 67, 139
 - essais pour mesurer la présence 86, 87
 - objectifs de rendement 33
 - sources 8, 32, 108
- Surveillance 18, 34, 35, 37, 40, 42, 69, 72, 73, 78, 81
 - durée d'échantillonnage 86
 - limite de détection 87
 - méthodes d'échantillonnage 86, 87, 88
 - techniques de détection 86, 87, 88
 - tubes à diffusion 86, 87
- Système de CVC 14, 16, 43, 44, 72, 74, 83, 84
 - définition 148
 - exigences concernant les filtres 47, 48
 - inspection et entretien 43, 44
 - normes ASHRAE 52.2 et EN 779 46, 47, 48
 - volume d'air variable 44, 45
- Système en surpression 16, 45, 46, 51, 60
- Tamis moléculaires et zéolite 48
 - voir aussi* Sorbants
- Tampons
 - alcalins 8
 - à l'humidité 61
- Taux de détérioration 27, 28, 37, 64, 69, 70, 71, 72, 83
- Taux de renouvellement d'air 52, 54, 55, 57, 58, 60, 62, 65
 - définition 149
 - enceinte (vitrine) non étanche 52, 74
 - mesure 45, 141
- Taux intérieur-extérieur 83, 141
- Teintures 22, 42
 - effets des polluants sur les matières colorantes photographiques 26, 27, 28, 72
 - textiles teints comme source de composés sulfureux 17
- Température 33, 50, 51, 52, 54, 62, 63, 64, 65, 71
 - altération thermique 25, 27, 89
 - effet 21, 27, 28
 - incidence sur le smog 13
 - température froide 27
- Temps 21, 23, 24, 25, 33, 63, 65, 66, 70, 72, 73
 - durée d'exposition (temps) 33, 63
 - durée d'exposition écourtée 36, 50, 63
 - temps de séjour 15, 149
- Textiles 22, 55
- Tirage 51
 - définition 149
- Tissus 56
 - coton 26, 51, 55, 61
 - fibres et peluches 15, 46
 - matériau-barrière et sorbant 38, 55
 - sources de particules 8, 49, 50
- Unités, conversion 7
- Urée formaldéhyde, *voir* Formaldéhyde
- Valeur, perte de 22, 72, 80
 - définition 147
- Véhicules 8, 13, 16, 83
- Ventilation 19, 37, 43, 50, 65
 - forcée 43, 65
 - naturelle 37, 43, 50
 - voir aussi* Système de CVC
- Verre 39, 54, 64, 70, 88, 139
 - cadres 39
 - objets 9, 89
- Vie (utile) 25, 49, 55, 71
 - phase de détérioration avancée 10, 17
 - stade de vie (objets ou produit) 41
- Vieillessement accéléré 25, 28
 - définition 149

Visiteurs, *voir* Fréquentation et *voir* Humain

Vitesse de dépôt 14, 54
définition 149

Vitrines

conception 53, 59
étanchéité à l'air 52
voir aussi Enceintes

Vulnérabilité 22, 27

Zinc, effet de l'acide acétique sur 9, 22, 23, 26

POLLUANTS DANS LES MUSÉES ET LES ARCHIVES :

ÉVALUATION DES RISQUES, STRATÉGIES DE CONTRÔLE ET GESTION DE LA PRÉSERVATION

JEAN TÉTREAUULT

«Il vaut mieux ralentir la détérioration ou réduire le risque de détérioration des objets de valeur que de les traiter une fois endommagés ou de perdre de l'information de façon permanente.»

Polluants dans les musées et les archives offre des principes et des stratégies pour répondre aux questions «Quels sont les principaux polluants dans les musées?» et «Quels sont les moyens les plus efficaces pour remédier à la situation?». Les mesures prioritaires sont évaluées pour s'assurer que les efforts sont déployés compte tenu des ressources disponibles et des avantages possibles.

Cet ouvrage vise les objectifs suivants :

- définir les principaux polluants aéroportés présents dans les musées;
- présenter des outils basés sur le rapport entre l'exposition et les effets pour évaluer les risques que courent les collections exposées à des polluants;
- établir des directives en ce qui concerne les stratégies de contrôle qui aboutissent à des solutions à la fois souples et pratiques;
- proposer des directives pour évaluer le niveau de protection des collections;
- fournir un outil élémentaire d'analyse des coûts et des avantages qui est conforme aux principes d'exploitation et aux politiques adoptés par chaque musée;
- proposer une méthode d'enquête permettant d'évaluer le degré de préservation des collections nécessaire compte tenu des polluants et d'identifier les causes des dommages.

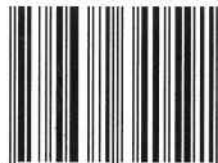
L'ouvrage est l'outil idéal pour tous (directeurs de musées, gestionnaires immobiliers et gestionnaires de collections, professionnels de la conservation, spécialistes en matériaux, concepteurs d'expositions, spécialistes des systèmes de CVC, experts-conseils en qualité de l'air intérieur et architectes, etc.) qui permet d'éclairer les décisions en matière de préservation des collections.

À propos de l'auteur

Jean Tétreault a fait ses études à l'Université de Montréal, qui lui a décerné une maîtrise en sciences (chimie analytique). En 1989, il est entré à l'Institut canadien de conservation (ICC) où il exerce actuellement la fonction de conseiller et de chercheur en matière de directives sur les conditions ambiantes, de polluants, de produits d'exposition et de mise en réserve.

M. Tétreault a présidé l'Association canadienne pour la conservation et la restauration des biens culturels de 1995 à 1997 et a été l'auteur principal des directives sur les concentrations de polluants dans les musées et les archives incluses dans le chapitre «Museums, Libraries, and Archives» du 2003 *ASHRAE Application Handbook*. Il a également présenté, au Canada et en Europe, de nombreux colloques sur les produits d'exposition et de mise en réserve.

ISBN 0-662-34059-0



9 780662 340591