



HAL
open science

Les collections photographiques, guide de conservation préventive

Bertrand Lavédrine, Jean-Paul Gandolfo, Sibylle Monod

► To cite this version:

Bertrand Lavédrine, Jean-Paul Gandolfo, Sibylle Monod. Les collections photographiques, guide de conservation préventive. ARSAG, 2000, 978-2951610309. <hal-02917831>

HAL Id: hal-02917831

<https://hal.science/hal-02917831v1>

Submitted on 22 Aug 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

Bertrand Lavédrine *avec la collaboration*
de Jean-Paul Gandolfo et de Sibylle Monod



Les collections photographiques
Guide de conservation préventive

Bertrand Lavédrine
avec la collaboration
de Jean-Paul Gandolfo
et de Sibylle Monod

**Les collections
photographiques**
Guide de conservation
préventive

Photo de couverture
Jean-Paul Gandolfo
Conception graphique
Bruno Doan, Atelier Baie

ISBN : 2-9516103-0-0.

© Arsag, Paris, 2000

Tous droits réservés, en particulier l'édition ou la reproduction par tous procédés
actuels ou futurs, connus ou inconnus.

à Françoise Flieder

*Directeur de recherche émérite au CNRS,
qui a créé et dirigé le Centre de recherches sur la conservation
des documents graphiques de 1963 à 1998*

De nombreux amis et collègues ont contribué à la réalisation de cet ouvrage par les encouragements et les conseils qu'ils nous ont prodigués, ou les informations qu'ils nous ont communiquées, qu'ils soient ici chaleureusement remerciés :

Françoise Flieder (*directeur de recherche émérite au CNRS*) ;
Christine Capderou, Floréal Daniel, Chantal Garnier,
Brigitte Gauché, Martine Gillet, Malalarina Rakotonirainy,
Léon-Bavi Vilmont (*Centre de recherches sur la conservation
des documents graphiques, Paris*) ;
Jeanne Beausoleil (*musée Albert-Kahn, Boulogne*) ;
Ségolène Bergeon (*ministère de la Culture*) ;
Anne Cartier-Bresson (*Atelier de restauration et de conservation
de photographies de la Ville de Paris*) ;
Gérard Cathaly (*Bibliothèque nationale de France*) ;
Gulia Cuccinella-Briant (*restauratrice, Paris*) ;
Martine Dancer (*musée d'Art moderne de Saint-Étienne*) ;
Claude Goulard (*Paris*) ;
Jean-François Joly (*photographe*) ;
Suzanne Laval (*CNRS*) ;
Monique Plon (*Paris*) ;
Michel Quéting (*Archives nationales, Paris*) ;
Benoît Riandey (*Institut national des études démographiques*) ;
Annie Thomasset (*restauratrice, Paris*) ;
Jean-José Wanègue (*Digipress, France*) ;
Rudolf Gschwind (*université de Bâle, Suisse*) ;
Peter Adelstein, Jean-Louis Bigourdan, Doug Nishimura, James Reilly
(*Image Permanence Institute, Rochester, États-Unis*) ;
Deborah Gribbon, Marc Harnly (*Getty Museum, États-Unis*) ;
Cecily M. Grzywacz (*Getty Conservation Institute, États-Unis*) ;
Debbie Hess-Norris (*University of Delaware, États-Unis*) ;
Constance McCabe (*National Gallery, Washington, États-Unis*) ;
John Grace (*Archives nationales du Canada*) ;
Claire Benoît (*musée du Vieux-Port, Montréal, Canada*) ;
Laurier Lacroix (*université du Québec à Montréal, Canada*) ;
Jean Tétreault (*Institut canadien de conservation, Ottawa, Canada*).

1 | Connaître

La fragilité des photographies	25
LES ALTÉRATIONS DE L'IMAGE	28
La photographie en noir et blanc	28
La photographie en couleurs	33
LES ALTÉRATIONS DU LIANT	37
Les micro-organismes et les insectes	37
Les altérations physiques	37
LES ALTÉRATIONS DES SUPPORTS	38
Les supports transparents	38
Les supports opaques	44
Les normes	53
LES NORMES RELATIVES AU TRAITEMENT ET À LA CONSERVATION DES PHOTOGRAPHIES	53
LES NORMES POUR ÉVALUER LA STABILITÉ DES MATÉRIAUX	53
L'évaluation de l'espérance de vie	56
L'évaluation de la stabilité à la lumière	58
L'évaluation de la qualité des contenants utilisés pour l'archivage	59
LES NORMES SUR LA CONSERVATION DES COLLECTIONS	60

2 | Protéger

Les contenants	65
LES MATÉRIAUX DE CONTACT (NIVEAU I)	65
La sélection des matériaux	65
La création d'un micro-environnement	71
Le type de conditionnement	76
LES MATÉRIAUX DE PROXIMITÉ (NIVEAU II)	80
La sélection des matériaux	80
La création d'un micro-environnement dans un meuble	83
LES LOCAUX (NIVEAU III)	85
La conception d'un local d'archivage	86
Le génie climatique	89
La prévention contre le feu	95
La qualité de l'air	105
LES CONDITIONS CLIMATIQUES	105
L'humidité	106
La température	117
LA PURETÉ DE L'AIR	121
La pollution	121
Les recommandations	125
La purification de l'air	126
La mesure des polluants	128

Le suivi des collections	135
L'ORGANISATION DES PRIORITÉS EN CONSERVATION	136
L'analyse des risques et la planification des urgences	138
La surveillance et la maintenance	139
La restauration	145
Le prêt et le transit	147
L'INTERVENTION APRÈS UN SINISTRE	149
Les dégâts des eaux	150
Les micro-organismes	154
Les insectes	164

3 | Exposer

La lumière	171
QUALIFIER LA LUMIÈRE	171
La température de couleur	171
L'indice de rendu des couleurs (IRC)	173
QUANTIFIER LA LUMIÈRE	173
L'intensité lumineuse	174
Le flux lumineux	174
L'éclairage	174
La luminance	175
La lumination	175
La quantité de rayons ultraviolets	175
L'efficacité lumineuse et la quantité de rayons infrarouges	176
LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE	176
Les lampes à incandescence	176
Les lampes à décharge	177
L'éclairage par fibre optique	179
Les flashes	180
Les photocopieurs et les scanners	180
Le montage et l'exposition	181
LES RECOMMANDATIONS POUR L'ÉCLAIRAGE	181
L'action nocive de la lumière	181
La composition spectrale	183
L'intensité lumineuse et la lumination	184
La projection de diapositives	185
LES SALLES D'EXPOSITION	186
Le confort visuel	186
L'environnement	187
LES APPAREILS DE CONTRÔLE	187
La mesure de la température de couleur	187
La mesure de l'éclairage	187
La mesure de la quantité de rayons ultraviolets	188
La mesure du rayonnement infrarouge	188
La mesure de la lumination, les dosimètres	188

LA FILTRATION DE LA LUMIÈRE	189
Les filtres pour rayons ultraviolets	189
Les filtres pour rayons infrarouges	192
LE MONTAGE POUR UNE EXPOSITION	192
Le montage sous passe-partout	192
Le contrecollage	195
L'encadrement	195

4 | Diffuser

Les supports traditionnels de substitution	201
LA DUPLICATION DES PHOTOGRAPHIES	202
Le format	202
Le pouvoir résolvant	203
Les dispositifs de reproduction	203
Les techniques de restitution	205
LA MICROGRAPHIE	207
Les formats	207
Les procédés	209
La pérennité des microformes	209
Les supports numériques	211
LA CONSERVATION DE L'ACCÈS À L'INFORMATION	212
Le transfert	214
L'émulation	215
L'authenticité	216
LA CRÉATION DES FICHIERS IMAGES	217
LE STOCKAGE SUR BANDES MAGNÉTIQUES	219
La structure des bandes magnétiques	220
La dégradation du signal	220
La dégradation du liant et du support	221
La conservation des supports magnétiques	222
LE STOCKAGE SUR DISQUES OPTIQUES	223
La structure des disques optiques numériques	224
Les dégradations physiques des CD	229
Les dégradations chimiques des CD	229
La conservation des CD	230
LA MICROGRAPHIE ET LE NUMÉRIQUE	233

Informations techniques et pratiques

Le traitement des photographies pour un archivage de longue durée	237
LA PHOTOGRAPHIE EN NOIR ET BLANC	237
Le révélateur	238
Le bain d'arrêt	238
Le fixage	239
Le contrôle du fixage : dosage qualitatif des sels d'argent résiduels	242
Le lavage	242
Le contrôle du lavage	244
Les virages	247
Le contrôle du virage	250
Le tannage	251
L'affaiblissement	251
Le séchage	251
La retouche	253
Le marquage	253
Les vernis	253
LA PHOTOGRAPHIE EN COULEURS (procédés chromogènes)	254
LES IMPRESSIONS EN SORTIE D'ORDINATEUR	255
Impression par jet d'encre	255
Impression par copie électrostatique	257
Impression par transfert thermique	258
Impression par sublimation thermique	258
Annexes	259
Annexe 1 : formulaire	259
Annexe 2 : le traitement de l'eau	263
Annexe 3 : éléments à insérer dans un plan d'urgence, <i>d'après un modèle du NorthEast Document Conservation Center (États-Unis)</i>	265

Vocabulaire de base	269
----------------------------	-----

Lexique français/anglais	285
---------------------------------	-----

Index	288
--------------	-----

Bibliographie	295
----------------------	-----

Lucie Favier

*Inspecteur général honoraire
des Archives de France*

L'intérêt pour les collections photographiques n'est plus une nouveauté, mais il s'affirme de jour en jour : celles-ci apportent en effet un témoignage irremplaçable sur la vie, les lieux, les modes, les découvertes, le passé proche ou lointain, notre présent enfin. Combien de descriptions, aussi détaillées soient-elles, resteraient incomplètes sans l'image qui les accompagne et les traduit à nos yeux.

Mais le document photographique, par sa nature même, est fragile et susceptible de dégradation, hors de toute atteinte extérieure car il comporte les éléments de son autodestruction.

En 1990, Bertrand Lavédrine a publié aux Presses du CNRS un ouvrage consacré à la conservation des photographies, qui a connu un réel succès et qui est maintenant épuisé. Aujourd'hui, l'auteur nous offre une véritable somme intitulée : *Les collections photographiques, guide de conservation préventive*. Bien conserver vaut mieux que restaurer : la restauration des photographies est onéreuse, parfois aléatoire, et trop souvent des pertes irréparables doivent être constatées alors qu'un certain nombre de mesures simples, bien appliquées, auraient pu éviter de telles catastrophes.

Pour conserver les collections dans de bonnes conditions, il faut bien connaître le matériau photographique : nature du support, techniques de reproduction et de fixation conditionnent le devenir du cliché photographique et les mesures à prendre pour assurer sa pérennité. La composition des conte-

nants n'est pas indifférente, contenant et contenu doivent être compatibles. Une liste des normes applicables doit permettre au conservateur de se guider dans ce véritable labyrinthe.

Protéger est la première règle de prévention en conservation, et le premier matériel est le papier. Il faut tenir compte de l'environnement : température, humidité relative, pollution. L'auteur sait que tout le monde ne dispose pas de moyens identiques et il adapte ses conseils aux possibilités matérielles de chacun, de la boîte au local d'archives. S'il conseille de conserver les films cinématographiques en chambres froides, il attire l'attention sur les difficultés apportées pour la consultation. Protéger suppose encore de prévoir les différents types de danger : le feu, l'eau, les infestations. Seul un suivi attentif peut assurer la sécurité des collections.

Cependant, conserver n'est pas un but en soi. Si l'on conserve, c'est pour utiliser : exposer et diffuser, tel est aussi le rôle du conservateur. Toute présentation de documents obéit à des règles strictes, mais ces règles sont encore plus contraignantes pour les photographies : techniques de montage, éclairage, environnement.

Quant à la diffusion, elle passe généralement par des techniques de substitution dont les supports sont la duplication ou la micrographie ou encore les supports numériques apparus plus récemment : bandes magnétiques, disques optiques. Ici, chaque type de support a ses propres normes et ses impératifs particuliers.

Informations techniques et pratiques sont enfin rassemblées en un précieux aide-mémoire, tandis qu'un lexique franco-anglais est destiné à faciliter aussi bien les échanges entre conservateurs que la bonne compréhension des ouvrages de référence cités dans une abondante bibliographie.

Ainsi conçu, l'ouvrage se présente comme un véritable guide, un manuel de base que chaque conservateur aura intérêt à garder à portée de main pour s'y référer en cas de problème, certes, mais aussi avant toute décision stratégique et dans la gestion quotidienne des collections. Bien des amateurs y trouveraient aussi des conseils pour éviter les erreurs souvent commises de bonne foi mais qui risquent d'endommager définitivement des souvenirs auxquels ils sont attachés.

Il m'appartient maintenant de remercier, au nom de tous les futurs lecteurs de cet ouvrage, Bertrand Lavédrine, Jean-Paul Gandolfo et Sibylle Monod, pour l'immense documentation ici rassemblée et organisée en un ensemble cohérent et aisément accessible, pour la clarté de leur exposé et pour la qualité de leur jugement.

Georges Brunel

*Conservateur général du patrimoine
de la Ville de Paris*

Quel que soit le motif, jouissance esthétique, intérêt plus ou moins teinté de nostalgie pour des témoignages du passé, recherche de sources documentaires qui complètent l'écrit, toujours est-il que les fonds photographiques sont aujourd'hui l'objet d'une curiosité et d'une attente toujours plus grandes. Les expositions de photographies se sont multipliées depuis une trentaine d'années, et de même les demandes de consultation. Or la photographie est, selon la formule de Jean-Marie Schaeffer, une « image précaire ». Les réactions chimiques que l'on a mises en œuvre pour aboutir à ces feuilles qu'ensuite nous regardons négligemment sont aussi nombreuses que compliquées ; les résultats qu'elles produisent, et que nous appelons des photographies, sont d'une constitution bien plus fragile qu'une peinture, une sculpture ou un dessin vieux de deux ou trois siècles. Mais il s'attache à la photographie l'idée d'une production mécanique et d'un objet banal ; sa légèreté même semble la vouer à l'insignifiance ; il est rare qu'elle fasse l'objet de la considération que l'on porte habituellement à la statue ou au tableau ancien. C'était même une attitude exceptionnelle jusqu'à une date récente, y compris chez bien des responsables de collections.

Cette nature essentiellement instable et délicate des photographies est expliquée de la manière la plus nette dans les premiers chapitres du livre que nous avons ici. Il fallait

évidemment commencer par ce point. On saura gré aux auteurs d'avoir ménagé ceux des lecteurs dont la formation scientifique est lacunaire en rendant aussi claires que possible les indispensables explications relatives à la nature des matériaux et aux altérations qui les menacent. Toute la suite est la conséquence de ces pages : comment faire pour que des images si promptes à s'évanouir subsistent et se transmettent en gardant, avec leur consistance matérielle, leur poids d'émotion ou leur richesse d'informations? Les aspects de la conservation sont envisagés avec méthode : la préservation matérielle, la communication, la diffusion. La préservation n'offre pas beaucoup de choix ; la communication et la diffusion oui, parce qu'elles peuvent entrer en conflit avec la préservation.

Le problème de la communication est abordé avec lucidité. Rien ne sert de faire comme s'il n'y avait pas de contradiction entre la conservation et la communication, ou comme s'il était facile d'en venir à bout. Elle existe, au contraire, et il arrive qu'elle soit insurmontable. Le détail technique est expliqué avec beaucoup de clarté. En gros, on peut dire que les problèmes sont de deux sortes. Les uns tiennent aux risques que les manipulations font courir aux œuvres ; les autres tiennent à leurs réactions à la lumière et à l'atmosphère.

Les pages consacrées à la diffusion et, en particulier, aux divers procédés qui permettent de reproduire les photographies méritent une attention particulière. Les auteurs ont eu le courage de ne pas prendre la posture, en apparence rigoureuse et honnête, qui consiste à dire : il faut montrer les originaux, le public a le droit de voir les originaux. Tout d'abord, de quel public s'agit-il, et que vient-il voir? Dans beaucoup de cas, probablement la majorité, il cherche des informations sur ce que la photographie représente. Quel spectacle offrait la rue de Rivoli quand on perçait les tunnels du métro? Quelle était la mine de

l'homme qui a assassiné Paul Doumer ? La très grande majorité des consultations, dans des collections de photographies comme celles de la Bibliothèque nationale de France ou du musée Carnavalet, sont de ce type. Ce sont des demandes auxquelles une réplique peut répondre, à condition, cela va de soi, d'être d'une bonne qualité. Il va également de soi qu'il faut que la nature du document communiqué soit bien expliquée, au cas où il pourrait y avoir une équivoque. La duplication de collections trop sollicitées n'est pas un pis-aller : c'est un devoir impératif.

Les notions qui ont cours pour les œuvres d'art ne peuvent servir dans d'autres domaines sans que l'on risque de tomber dans des absurdités. Personne ne songerait à dire qu'il faut avoir entre les mains le manuscrit de *La Chartreuse de Parme* pour lire ce roman. Sans prendre un cas aussi radical, on peut connaître convenablement *Le Penseur* de Rodin et jouir de ses qualités formelles en regardant l'une des multiples épreuves originales qui en existent, et même l'un de ses innombrables moulages. Il faut donc pratiquer ici plusieurs distinctions.

La première, sans doute la plus simple, est celle des œuvres et des documents. On pourrait convenir d'appeler œuvre tout ce qui présente de l'intérêt, non seulement dans les informations transmises, mais aussi dans le support servant à la transmission. Il est certain qu'une peinture, une sculpture ou un dessin (dans le sens où l'on disait autrefois « dessin de maître ») sont des œuvres, et que s'ils ont de l'intérêt par ce qu'ils montrent, comme par exemple un portrait renseigne sur les traits d'un personnage disparu, un paysage sur l'aspect d'un site qui a changé, ils en ont aussi par ce qu'ils sont en tant qu'objet. Au contraire, l'intérêt du document s'épuise dans les informations qu'il transmet. On objectera que la forme physique des documents, surtout ceux qui sont très anciens, a elle aussi de l'intérêt ; c'est ce qu'explique Riegl dans *Le Culte*

moderne des monuments. Il ne faut donc pas considérer que tel ou tel objet est par nature un document ou une œuvre ; il peut être l'un ou l'autre selon la manière dont on le regarde. En revanche, on ne peut pas l'envisager sous les deux aspects dans le même moment : si on regarde une certaine sculpture pour y trouver les traits de la duchesse de Bourgogne, petite-fille de Louis XIV, on se détourne, fût-ce momentanément, des qualités plastiques de la statue de Coysevox qui la représente.

La seconde distinction est en fait une autre manière de formuler la première. Elle consiste à séparer dans l'objet que l'on considère le texte et le support. Constitue un texte tout ce qui peut s'extraire de l'objet et se reproduire sans tenir compte des particularités matérielles de celui-ci. Le texte peut s'incarner dans n'importe quel support, et l'on peut lire le texte du *Père Goriot* sans avoir garde au format des pages ou du caractère servant à l'impression.

La question devient délicate quand il s'agit d'expositions. Dans ce cas, on ne montre pas (ou pas seulement) les photographies pour ce que l'on peut y voir, mais pour l'objet que constitue l'épreuve elle-même et ses qualités plastiques. À ce moment-là, peut-on se dispenser de montrer les originaux ? La réponse n'est pas si simple qu'il paraît. Tout compte fait, beaucoup de qualités d'un ordre purement formel peuvent être transmises par une reproduction. Les amateurs d'autrefois le savaient parfaitement. On faisait faire des copies de statues antiques et de peintures célèbres de la Renaissance afin d'en orner les maisons royales, et de les proposer aux élèves des écoles de peinture et de sculpture pour se former. Au milieu du XIX^e siècle, encore, Charles Blanc projetait l'ouverture d'un musée de copies, et en commença la réalisation.

On constate en outre en lisant ce *Guide de conservation* que le problème de la reproduction en matière de photographie

ne consiste pas seulement à savoir si l'on montre des originaux ou des reproductions. Il y a mille espèces de reproductions, et l'usage des filtres et la manipulation des images numériques ouvrent des possibilités vertigineuses, puisque l'on peut copier des photographies en éliminant ou en corrigeant certains défauts des épreuves que l'on copie. On peut, chose troublante, fabriquer des copies qui soient, d'une certaine manière, meilleures que les originaux. On entre ici dans un domaine scabreux. Récupérer des nuances que l'affaiblissement d'une image ne permet plus à l'œil de percevoir est, à ce qu'il semble, parfaitement légitime. Il apparaît à la lecture de ce livre que la technique photographique est arrivée à un extraordinaire degré de raffinement ; plus les procédés sont perfectionnés, plus il importe de se montrer exigeant à l'égard de ce que l'on produit, et de ne tromper en aucun cas le public.

La conservation et la restauration des collections, quelle que soit la nature des œuvres ou des objets qui les composent, doivent s'envisager sous plusieurs aspects. Il est important de bien les distinguer. Le vocabulaire dont on se sert en cette matière est loin d'être exempt d'ambiguïtés. Ce n'est pas par des décisions qu'on remédiera à cette situation : là-dessus, l'usage est souverain. Il importe du moins d'être conscient des pièges que nous tend le langage. On s'arrêtera sur le mot de restauration, qui est justement l'un de ces termes équivoques. Selon le contexte, il désigne en effet l'ensemble des soins qui concourent à la conservation matérielle des collections, ou bien une forme particulière de ces soins. C'est dire que l'on doit distinguer un sens large et un sens spécialisé du mot restauration.

En dehors du milieu des spécialistes, restauration a un sens large et passablement imprécis. On désigne par là tout ce qui relève de l'entretien matériel des collections et en

particulier les opérations de « remise en état ». La distinction entre restauration et réparation ne s'impose pas d'elle-même et elle ne s'est pas produite de la même manière ni à la même époque selon les domaines. L'idée que l'activité consistant à produire des œuvres ou des objets d'art et celle qui consiste à remédier aux dommages que ces objets ou ces œuvres ont subis dans la suite des temps relèvent de deux métiers différents, n'a guère plus de deux siècles et n'est pas universellement acceptée ; bien souvent, elle fait l'objet de professions verbales, sans être du tout comprise dans les conséquences qu'elle implique. Il suffit de songer à des secteurs comme ceux du meuble ou du livre pour se rendre compte à quel point la confusion entre restaurateur et artisan, entre restauration et « métiers d'art » est incrustée dans les esprits ; le témoignage en est annuellement apporté, à grand fracas et à grands frais, par les Salons dits du patrimoine.

Dans son sens spécialisé, restauration désigne les opérations dont le but est d'améliorer l'état des objets dégradés en rendant plus clair, et éventuellement plus agréable ou moins rebutant, leur aspect. La restauration ainsi entendue est une opération à caractère esthétique, non pas comme on parle de chirurgie esthétique, mais dans le sens de « ce qui a rapport avec la perception ». La restauration met, en principe, les objets dans l'état le plus favorable pour que leurs significations culturelles aussi bien que leurs qualités formelles soient perçues correctement. Dans la pratique, entrent dans la catégorie de la restauration au sens spécialisé les nettoyages (lorsqu'ils ne répondent pas à la nécessité d'enlever des produits nocifs) et les intégrations, ou comblements de lacunes.

Ainsi entendue, la restauration n'est jamais nécessaire ; tout au plus peut-on dire qu'elle est très souhaitable pour des objets que l'on expose, dans la mesure où (en principe) elle

aide le public à comprendre ce qu'il regarde et, éventuellement, à en retirer une jouissance. Mais si l'on se soucie d'abord de faire en sorte que les objets ne disparaissent pas, en tout cas pas trop vite, et que les générations à venir recueillent les collections dont nous avons hérité ou que nous avons constituées, il faut alors prendre des mesures indispensables, qui sont d'une nature tout à fait différente de ce que l'on désigne par restauration, au sens spécialisé. Ces mesures entrent à leur tour dans deux catégories, selon que l'on agit sur les œuvres et les objets eux-mêmes ou le milieu dans lequel ils sont conservés.

Faire adhérer de nouveau les parties constituantes des objets quand elles tendent à se séparer, éliminer ou atténuer les contraintes internes auxquelles elles sont soumises, ôter les anciennes réparations quand elles ont introduit dans les originaux des substances aux effets néfastes, ce sont les opérations d'une conservation que l'on pourrait appeler active ; elle est comparable à l'acte chirurgical qui libère un organe des formations parasites qui le tourmentent et le remettent en état de fonctionner normalement. Il est donc logique de parler de conservation curative. On doit reconnaître que l'expression est peu usitée, mais c'est dommage, car elle a le mérite d'être claire.

Agir sur le milieu est une activité qui relève d'un ordre différent, celui de la prévention ; aussi le terme de conservation préventive est-il entré dans l'usage, comme celui de médecine préventive. Ici, il ne s'agit plus de toucher aux objets. La conservation préventive s'occupe de bien autre chose : l'architecture des bâtiments qui abritent les collections, bibliothèques, dépôts d'archives, musées ou dépôts archéologiques, la chaleur et l'humidité qui y règnent, la façon dont la lumière y pénètre, les matériaux avec lesquels les objets sont

en contact (étagères, boîtes, etc.), les manipulations auxquelles ils sont soumis lorsqu'on les communique ou qu'on les expose, et ainsi de suite. L'ouvrage que nous avons ici s'occupe très précisément de cela.

Avoir pris ce parti et s'y être tenu est un grand mérite. Si le mot de restauration est ambigu et d'un emploi délicat, quel que soit le domaine dont on s'occupe, il l'est particulièrement dans celui de la photographie. Le piège ne consiste pas seulement dans la confusion entre le sens large et le sens spécialisé du mot de restauration ; il s'y ajoute tout le problème de la place qui revient aux objets de la photographie dans ce que l'on appelle le patrimoine. Œuvres ou documents ? Objets artistiques qu'il faut traiter en tenant compte de leurs qualités formelles et des intentions supposées d'un auteur ? Enregistrements anonymes d'une réalité volatile, dont l'authenticité fait tout le prix, et dont la valeur de témoignage est à respecter intégralement ? Ces questions ne sont pas nouvelles, mais elles font encore l'objet de débats. Il y a une grande sagesse à n'y être pas entré, ou plutôt à les avoir envisagées d'abord sous l'angle des problèmes que la conservation doit affronter.

Plus que jamais, avec la photographie, il apparaît que les questions de conservation et de restauration ne peuvent pas être envisagées d'une manière correcte sans une réflexion critique de tous les instants. On ne méditera jamais assez la phrase de Rabelais : « Science sans conscience n'est que ruine de l'âme. »



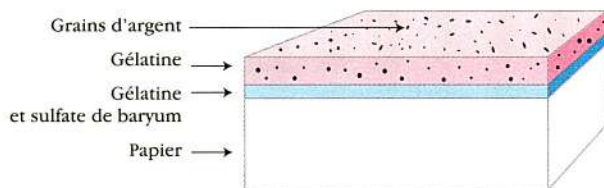
A hand wearing a white, textured glove holds a dark, rectangular object with a rough, fibrous texture. The object is positioned on the left side of the frame. The background is a bright, white surface that transitions into a dark, black area at the top and bottom. The word "Connaître" is printed in a bold, black, sans-serif font in the center of the white area.

Connaître

La fragilité des photographies

Illustration 1

Structure schématique d'un tirage photographique sur papier baryté.



On peut schématiser la structure des photographies sous la forme d'une superposition de couches. Le support est la couche la plus épaisse, sa fonction est d'assurer la tenue mécanique de l'image photographique qui est couchée sur une de ses faces. Il peut être transparent (film) ou opaque (épreuve), constitué à partir de papier, de verre ou d'un polymère synthétique. Ce support est recouvert d'une couche transparente, il s'agit le plus souvent de gélatine qui joue le rôle de liant pour l'image qu'elle contient. Celle-ci est composée d'un matériau qui diffracte ou diffuse la lumière, généralement de l'argent dans une photographie en noir et blanc, et des colorants pour les images en couleurs. Il existe aussi des images constituées de microbulles d'azote (les microfiches vésiculaires), de pigments (procédés pigmentaires : « au charbon », carbro...), de composés non argentiques tels que le platine, le palladium...

Il est dans l'ordre des choses que les objets que nous aimons contempler, palper, exposer, viennent à s'endommager, voire à disparaître. Si nous sommes impuissants face à cette évolution irréversible, liée à la flèche du temps, qui modifie l'aspect et la structure de bien des œuvres, connaître leur fragilité nous permet d'agir sur leur devenir en respectant quelques principes élémentaires de conservation.

La détérioration d'une photographie peut être d'ordre chimique, physique ou biologique. Les dégradations physiques et biologiques sont souvent brutales et donc immédiatement perceptibles. Les processus chimiques sont plus lents, ils se déroulent de façon continue et irréversible, sans que l'évolution en soit bien visible ; et quand elle le devient, le mal est trop avancé. Dès lors, il est important de repérer dans les collections les dégradations en cours ou celles qui risquent de se déclarer rapidement. Les symptômes en sont connus, et ce chapitre est destiné à permettre au responsable d'un fonds de les identifier aisément.

Tableau 1

Altérations des photographies.

<i>symptôme</i>	<i>origine</i>
taches, décolorations	traitement/environnement (<i>illustrations 2, 6, 8, 10, 11, 12, 15, 17, 20, 28, 41, 42, 70, 108, 118</i>)
développement de micro-organismes	environnement (<i>illustrations 3, 91</i>)
craquelures, soulèvements, écaillages	montage/environnement (<i>illustrations 4, 5, 65, 119</i>)
déformations	environnement (<i>illustrations 20, 23, 58</i>)
cassures, rayures	manipulations (<i>illustrations 5, 26</i>)

Illustration 2

Tirage au gélatino-bromure d'argent détérioré par des agents oxydants (peroxydes). La coloration jaune est due à une modification de la structure du dépôt argentique qui se convertit partiellement en argent colloïdal. (Photographie de Jean-François Joly)

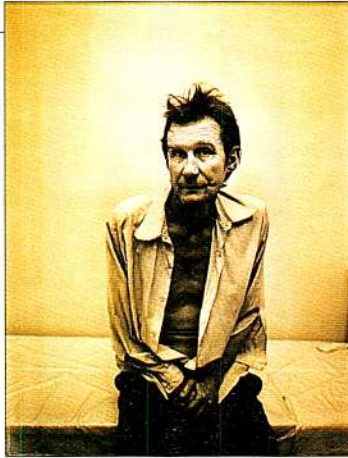


Illustration 3

Bobine de film cinématographique attaquée par les moisissures.



Illustration 4

Décollement et perte de la couche image sur un tirage du XIX^e siècle. Des variations thermo-hygrométriques excessives peuvent être à l'origine de ces altérations. (Collection Pillet, Collège de France)



Illustration 5

Cassures sur papier baryté, provoquées par une manipulation maladroite.



Illustration 6

Négatif sur verre au gélatino-bromure d'argent. La coloration jaune orangé est probablement due à un traitement d'intensification opéré par le photographe pour renforcer les valeurs d'un négatif sous-exposé. (Photographie de E. Degas, © BNF)

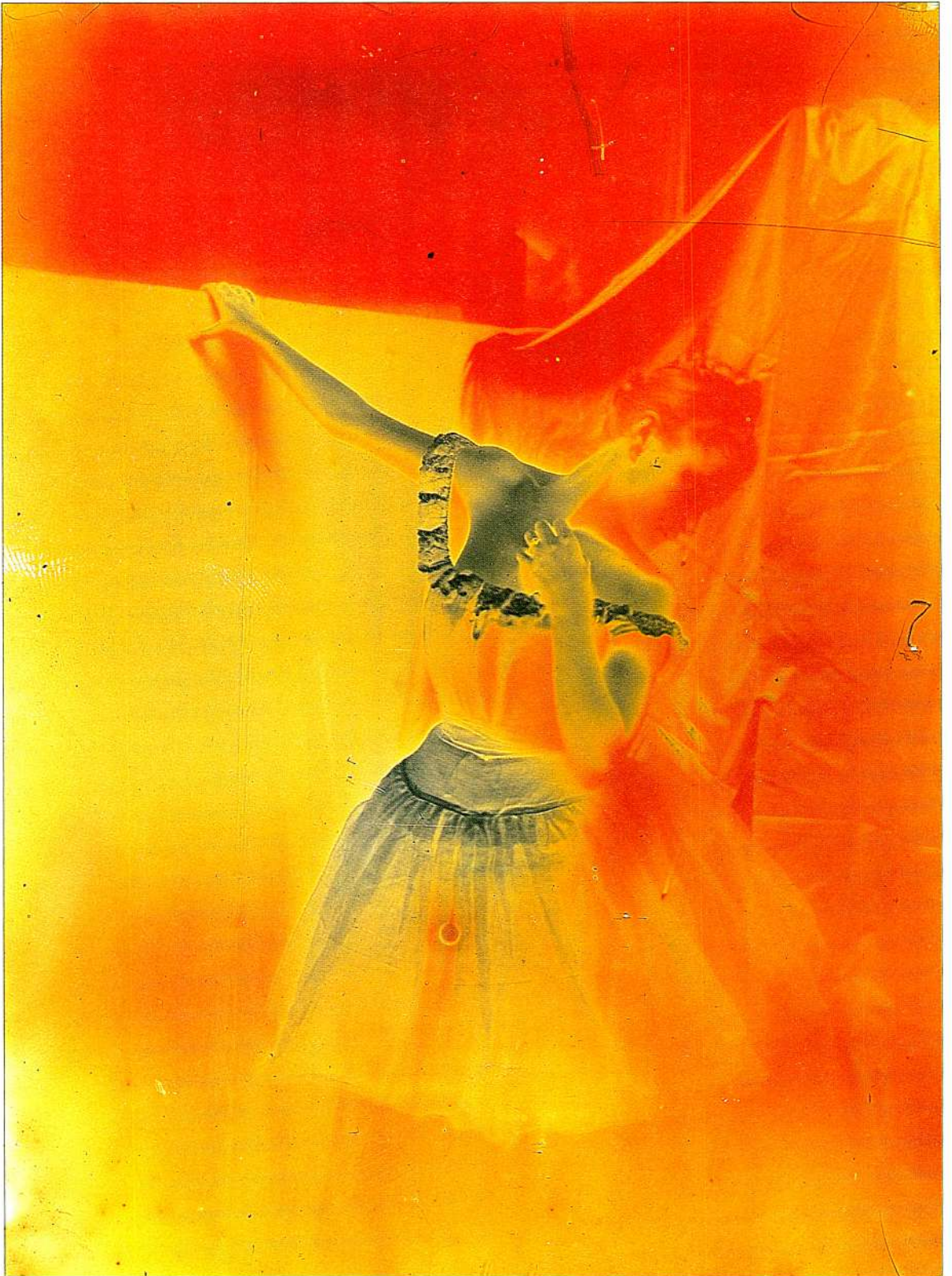


Illustration 7

Processus d'altération du dépôt argentique d'une photographie moderne en noir et blanc.

Cette structure en forme d'amas de filaments, et visible au microscope électronique, est caractéristique des photographies développées. Quand il s'oxyde, l'argent (noté Ag^0) perd un électron et se transforme en ion (Ag^+) incolore. Ces ions argent peuvent se déplacer aisément dans la gélatine et réagir avec les gaz atmosphériques pour former du sulfure, de l'oxyde d'argent ou de l'argent colloïdal, générant ainsi l'apparition d'un voile coloré.

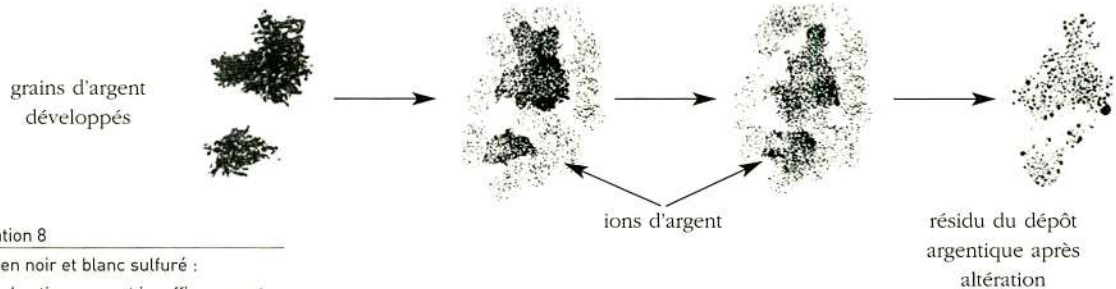


Illustration 8

Tirage en noir et blanc sulfuré : lorsque les tirages sont insuffisamment lavés et conservés dans un milieu humide, l'image s'affaiblit et jaunit.

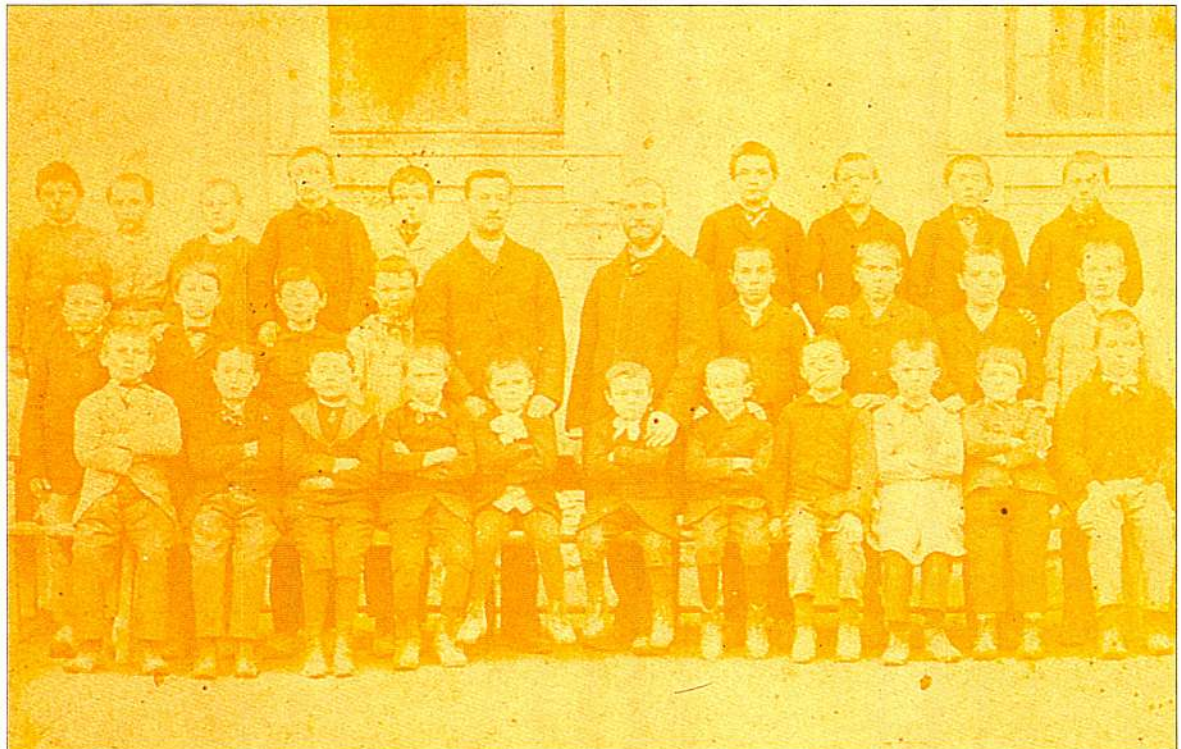
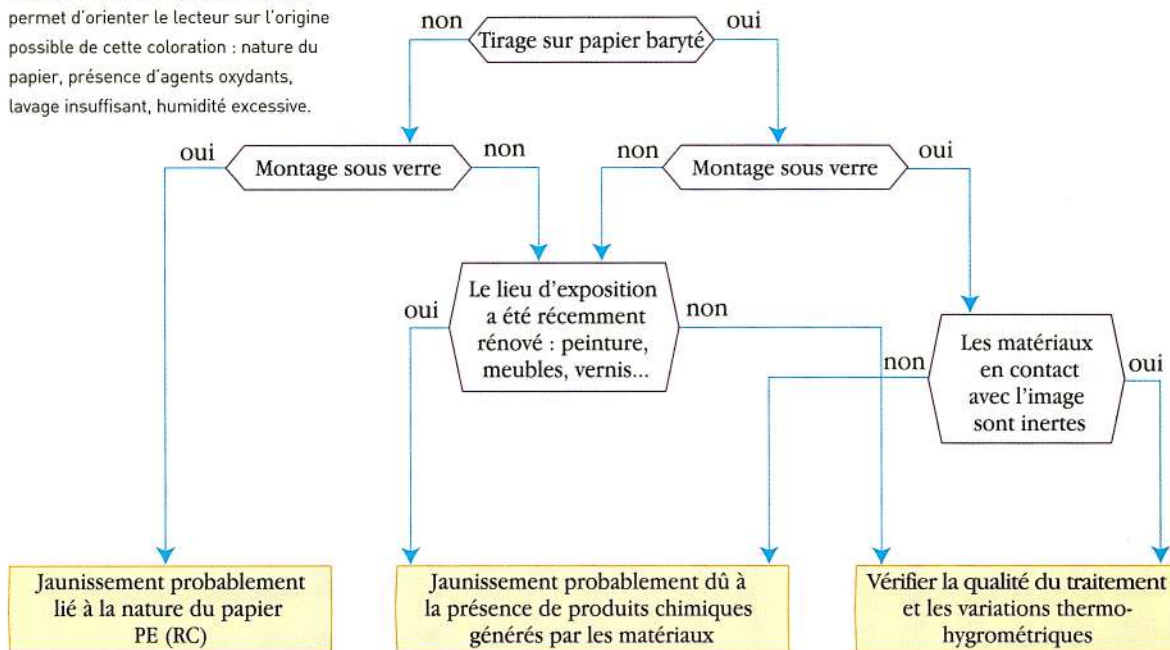


Illustration 9

L'apparition, au cours d'une exposition, d'une coloration jaune sur des tirages, peut avoir diverses causes. Ce schéma permet d'orienter le lecteur sur l'origine possible de cette coloration : nature du papier, présence d'agents oxydants, lavage insuffisant, humidité excessive.



structures, qui caractérisent les images photographiques et leur donnent toute leur précision, les rendent particulièrement vulnérables. De nombreux composés chimiques sont susceptibles de réagir avec l'image argentique, il s'opère alors une oxydation qui peut avoir diverses conséquences pour l'image : affaiblissement, apparition de taches colorées, etc.

L'affaiblissement de l'image

Dans les images modernes, la couche de gélatine assure une certaine protection contre les agressions externes : sans elle, les images se terniraient rapidement comme ce fut le cas pour les daguerréotypes ou les papiers salés. Associés à une certaine humidité, les polluants acides ou oxydants peuvent pénétrer la gélatine et, avec le temps, induire un affaiblissement de l'image argentique qui se traduit, dans les parties claires, par la disparition, plus ou moins prononcée, des détails. Quand l'attaque est plus générale, le contraste s'atténue.

La sulfuration et la formation d'un voile

La sulfuration a souvent pour origine un lavage insuffisant : le fixateur qui subsiste se décompose en présence d'humidité pour former avec l'argent du sulfure d'argent coloré. Cette altération touche de façon plus marquée les demi-teintes de l'image qui revêtent des colorations chaudes pouvant aller du jaune au brun.

L'emploi d'un bain trop usagé a un effet plus insidieux : les complexes argentiques insolubles qui demeurent se décomposent à la longue en argent et en sulfure d'argent. Les parties claires de la photographie (par exemple les ciels ou les marges d'une épreuve) se colorent. Lorsque le temps de

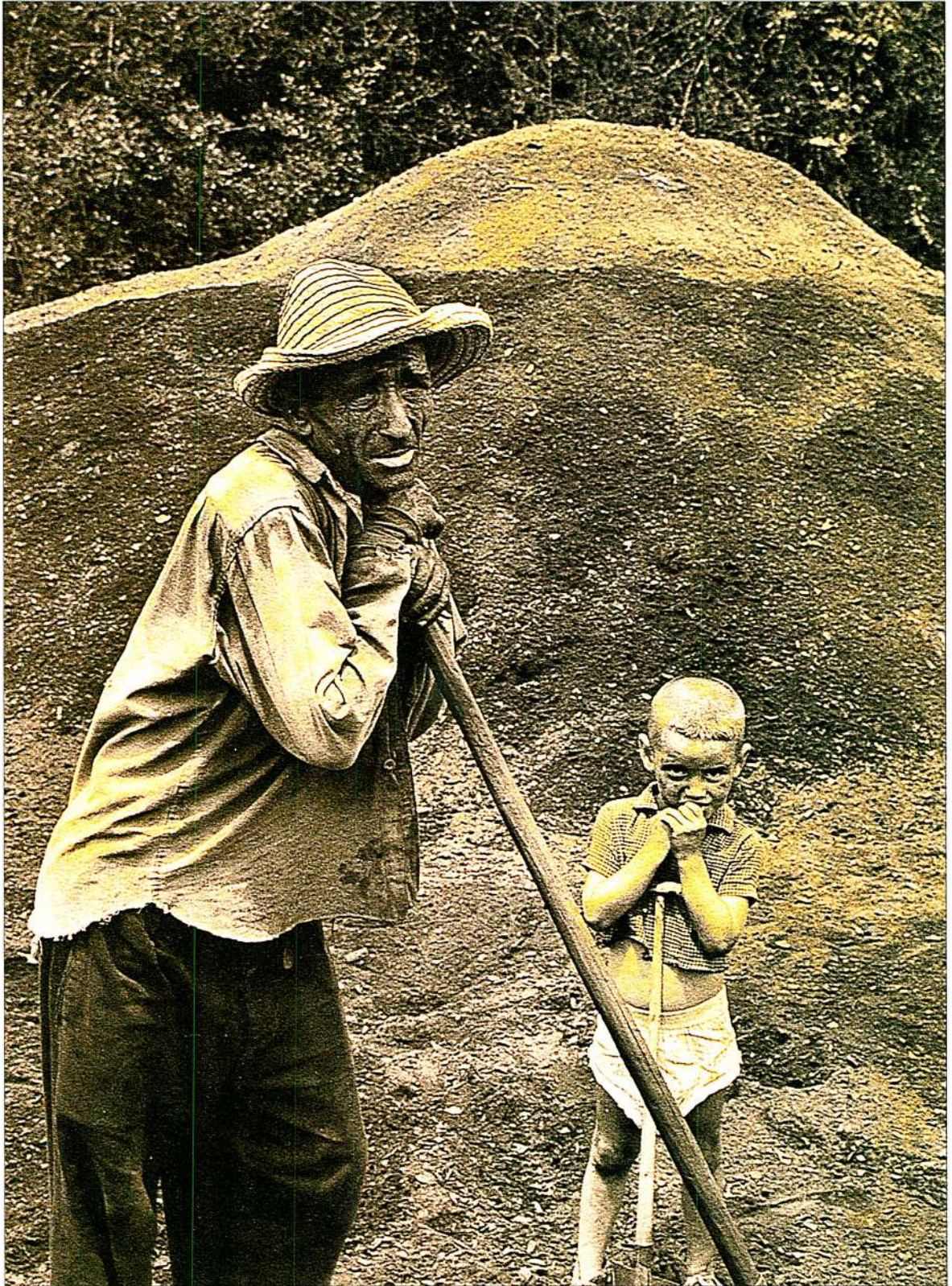


Illustration 10

Tirage au gélatino-bromure d'argent détérioré par des peroxydes. Seules certaines densités ont été endommagées.

[Photographie de Roger Pic :

Cuba, le charbonnier et son fils]

fixage de l'image est trop court, il reste des sels d'argent sensibles qui ne tardent pas à réagir à la lumière pour former un voile ou des taches colorées (de jaune à rouge). Généralement leur apparition suit de peu le traitement, ce qui alerte le photographe sur la précarité de son fixage¹.

Le jaunissement

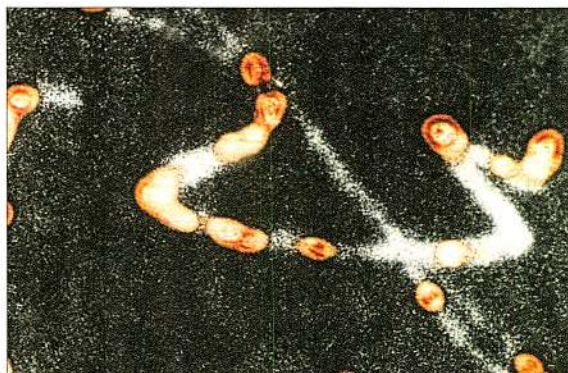
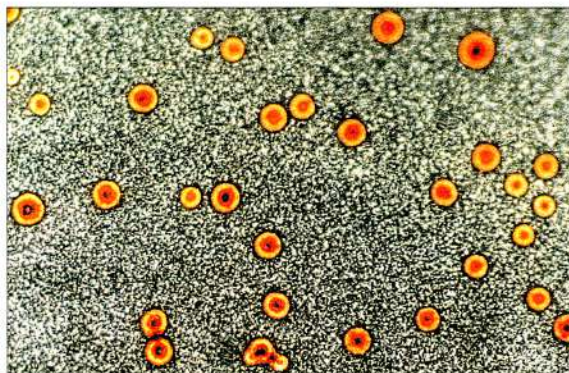
Les symptômes sont proches de ceux de la sulfuration : les demi-teintes, et parfois la surface de l'image, se couvrent d'un voile brun-jaune qui peut être d'une couleur très vive. Cette coloration est due à la formation d'une couche d'argent colloïdal. Pour les tirages sur papiers barytés, ce phénomène survient lorsqu'ils sont exposés à des polluants oxydants comme le peroxyde d'hydrogène, dégagé par des plastiques, des peintures, des vernis, des cartons de mauvaise qualité, etc. Certains tirages parfaitement lavés sont très sensibles à ce genre d'altération (voir p. 244). Seul un virage, au polysulfure ou à l'or par exemple, peut les en protéger efficacement. Pour les tirages sur papier plastifié, le jaunissement apparaît fréquemment sur des images montées sous verre et exposées à la lumière². La cause n'est pas clairement établie, mais on suspecte une action combinée de la lumière, de l'oxygène et du dioxyde de titane introduit comme pigment blanc dans le support papier (voir p. 47). Lorsque le tirage est exposé encadré, il se forme des produits oxydants très actifs qui sont piégés dans le montage.

Les taches d'oxydoréduction

Ce sont de petits points rougeâtres, dont le diamètre varie d'un à plusieurs millimètres ; observées à la loupe, ces taches apparaissent sous forme d'anneaux concentriques dotés, en lumière rasante, de reflets argentés. Si ces altérations ont été souvent signalées sur des microfiches conservées dans l'obscurité, on a plus récemment mis en évidence l'apparition de ces

Illustration 11

Taches d'oxydoréduction sur des microfilms, vues au microscope.



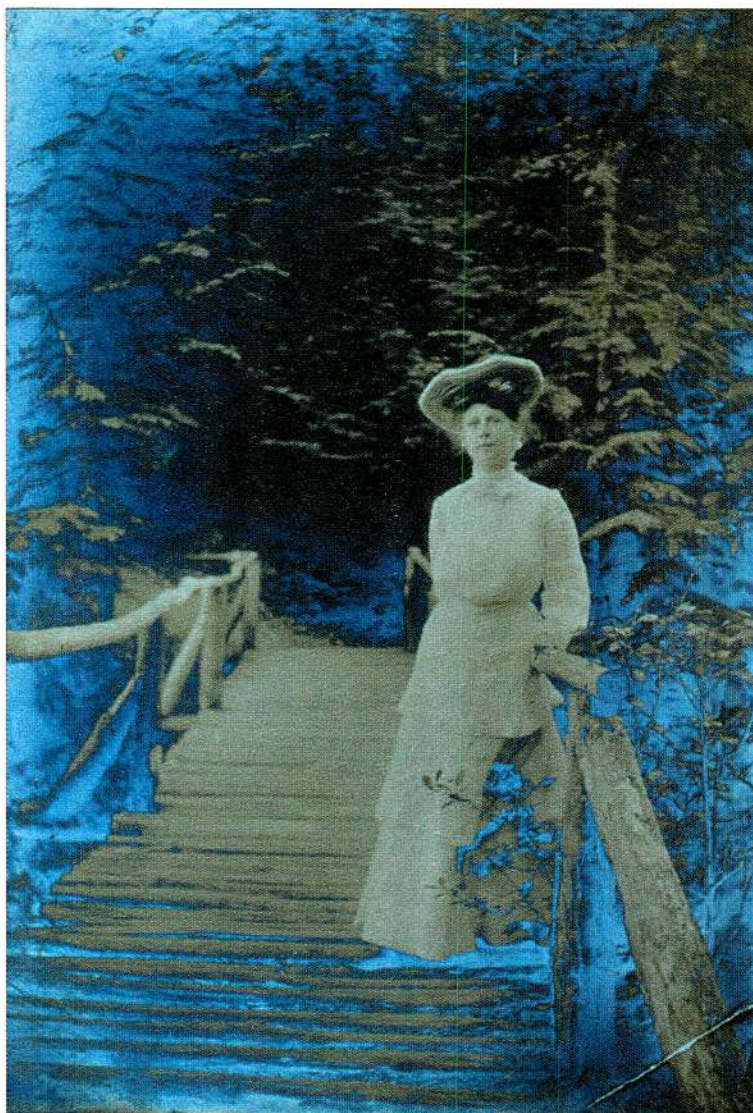
taches sur des papiers PE (RC) exposés sous verre dans des galeries. Là encore, elles sont attribuées à la présence de peroxydes qui émaneraient, pour les microfiches, d'un matériau de mauvaise qualité stocké à proximité et, pour les papiers PE (RC), à la nature de leurs constituants (voir p. 47).

Le miroir d'argent

Le miroir d'argent, qui donne à l'image l'aspect miroitant d'une surface argentée, est visible sur les parties sombres de la photographie lorsqu'on les examine en lumière diffuse (en éclairant ou en observant latéralement l'image). C'est une fine couche d'argent détachée des filaments et qui, sous

Illustration 12

Miroir d'argent sur un tirage au gélatino-bromure d'argent.



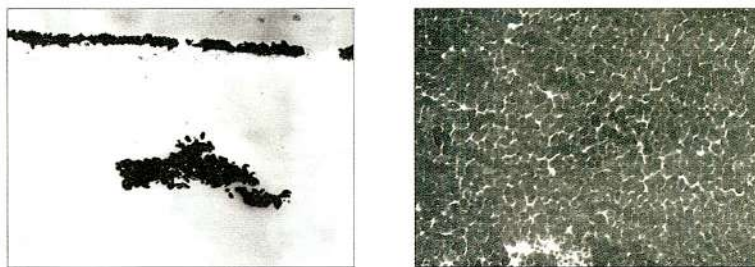
l'influence de la pollution, a migré pour venir se déposer en surface. Le processus s'opère en deux temps. Il y a d'abord oxydation du grain d'argent qui forme l'image, puis les ions ainsi formés migrent dans la gélatine et viennent se réduire en argent métallique au contact de l'atmosphère, à la surface de la couche de gélatine. Ce dépôt métallique est composé d'argent colloïdal (Illustrations 7 et 13).

La photographie en couleurs

Les photographies en couleurs chromogènes sont composées de colorants organiques jaune, magenta et cyan, présents sous la forme de nuages sphériques de quelques dixièmes de microns de diamètre, et répartis dans (au moins) trois couches de gélatine superposées. Ces photographies paraissent moins sensibles aux émanations et aux polluants que les images argentiques. En revanche, la lumière a des effets dévastateurs.

Illustration 13

À gauche, vue au microscope électronique à transmission d'une coupe d'un tirage avec, dans la partie supérieure, le dépôt d'argent qui forme le miroir d'argent [agrandissement : 45 000] ; à droite, vue de la surface du miroir d'argent.



À cela s'ajoute le problème de l'affaiblissement des colorants au cours du temps, même lorsqu'ils sont conservés dans l'obscurité. Les premières générations de photographies en couleurs se sont révélées particulièrement fragiles ; les progrès réalisés par les fabricants dans les années 1980 ont permis d'introduire des produits plus durables mais qui restent encore sensibles aux conditions environnementales. La vitesse de cet affaiblissement varie selon la structure chimique des colorants. Les colorants azométhiniques, propres aux procédés chromogènes (traitements E6, C41, etc.) se dégradent plus vite dans l'obscurité que ceux des tirages à imbibition (*Dye-Transfer*) ou que les colorants azoïques des procédés à blanchiment de colorants (*SDB : silver dye bleach*), connus sous la marque Cibachrome ou Ilfochrome Classique. La majorité des fabricants (Agfa, Kodak, Fuji, Polaroid, etc.) réalisent, dans leurs laboratoires, des tests de vieillissement accéléré, et depuis plusieurs années utilisent la loi d'Arrhenius (voir p. 56) pour évaluer la durabilité des films et des tirages en couleurs (ISO 10977). Bien que cette procédure soit longue et complexe, elle se montre bien supérieure aux anciennes méthodes normalisées, ainsi que l'ont confirmé plusieurs études.

Tableau 2

Extrapolation de la stabilité de films cinématographiques en couleurs. (Travaux du CRC DG, 1983)

film négatif	colorant le plus fragile	t10 %*	intervalle de confiance de 95 %
Eastman 5293	jaune	59 ans	42-83 ans
Fujicolor 8527	cyan	23 ans	13-41 ans
Gevacolor 682	cyan	8 ans	3-24 ans

* Temps prévu à 21 °C et 40 % HR pour atteindre une perte de densité de 10 % du colorant le plus fragile mesurée sur une plage gris neutre.

Illustration 14

Structure schématique d'une photographie en couleurs à développement chromogène.

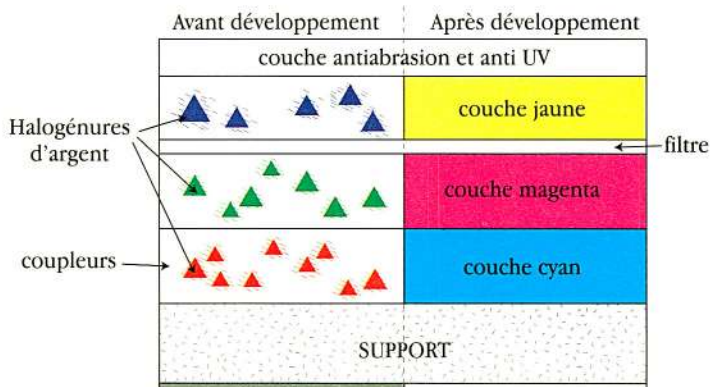


Illustration 15

Diapositive Anso après un vieillissement naturel. Le colorant cyan s'est dégradé.



Illustration 16

Photographie en couleurs originale ❶, puis au cours du vieillissement après une dégradation correspondant respectivement à 10 % ❷, 20 % ❸, 30 % ❹ de perte de densité optique du colorant cyan.



❶



❷



❸



❹

L'affaiblissement des colorants et l'apparition d'une dominante

Les colorants sont d'autant plus vite dégradés que les conditions de traitement et de conservation (température, humidité, éclairage) sont défavorables. L'affaiblissement des couleurs s'accompagne de l'apparition d'une dominante : les trois colorants jaune, magenta et cyan ne disparaissent pas à la même vitesse, ce qui introduit dans le rendu coloré un déséquilibre auquel l'œil est particulièrement sensible. La perception de la dégradation d'une image en couleurs dépendra beaucoup du sujet : sur une photo représentant un sous-bois d'automne, l'altération est beaucoup moins facile à déceler que sur un portrait où une dominante sera vite perceptible. Il n'y a donc pas de seuil absolu, et si certaines images satisfont les observateurs malgré une perte de 40 % de la densité optique, on admet généralement qu'un écart de 30 % (mesuré sur une plage de densité initiale de 1,0) et une variation de 15 % de la balance des couleurs sont les limites au-delà desquelles la photographie est manifestement altérée³. On estime que dans des conditions standards de stockage dans l'obscurité, avec les émulsions couleurs modernes, il faut une quarantaine d'années avant d'observer une dégradation significative. La durée de vie d'une photographie en couleurs exposée à la lumière est directement liée à l'intensité de l'éclairage et à la richesse de son spectre UV. Il faut remarquer que les colorants fragiles à la lumière ne sont pas nécessairement ceux qui s'altèrent le plus vite dans l'obscurité, et que les effets sur l'aspect de l'image en seront donc différents.

Illustration 17

Décoloration et jaunissement d'un tirage chromogène, tirage Kodacolor de 1954.



Le jaunissement des parties claires (procédés chromogènes)

Au cours du temps, certains tirages acquièrent un voile jaune ou orangé particulièrement visible dans les parties claires. Ce sont les coupleurs résiduels (molécules initiatrices des matières colorantes) qui, en se décomposant, forment des produits chromophores. Le coupleur du colorant magenta semble être en grande partie responsable de ce phénomène⁴.

LES ALTÉRATIONS DU LIANT

La cohésion d'une image photographique est assurée par un liant organique comme la gélatine, l'albumine ou le collodion (qui est du nitrate de cellulose). Depuis le XIX^e siècle, l'utilisation de la gélatine a seule perduré grâce à ses propriétés physiques et chimiques remarquables. Afin d'éviter que lors du traitement, la gélatine ne se dissolve dans un bain trop chaud, le fabricant améliore ses propriétés en la tannant. La gélatine garde toutefois son caractère hygroscopique et reste en équilibre avec l'humidité ambiante ; la couche a tendance à se dilater ou à se rétracter lorsque le taux d'humidité augmente ou diminue. Ces variations dimensionnelles soumettent le support à des tractions latérales qui se traduisent souvent par l'enroulement des papiers. Pour éviter ce phénomène de « tuilage » sur les films, on ajoute au dos une couche de gélatine dont la fonction est de contrarier la tension créée par la couche image.

Illustration 18

Certains insectes se nourrissent de la gélatine et laissent des sillons à contours irréguliers sur les photographies.



Les micro-organismes et les insectes

L'hygroscopicité de la gélatine la rend également vulnérable aux attaques des micro-organismes. Des boursouflures grises, de petits dépôts ponctuels entourés de filaments parfois colorés, accompagnés d'une disparition localisée de l'image, peuvent être l'indication d'un développement mycélien. Une telle contamination est alarmante puisqu'elle menace l'image de dégradations irréversibles et rapides. Les dégâts peuvent se propager à toute la surface jusqu'à la destruction totale de la photographie, liant et support. L'attaque n'est pas immédiatement visible à l'œil, mais au microscope, il est souvent possible de repérer des mycéliums qui, après prélèvement et mise en milieu de culture, indiqueront si les champignons sont actifs, et à quelle espèce ils appartiennent. On peut identifier rapidement les altérations dues à des insectes (poisons d'argent, blattes, etc.) ou à leurs larves : se nourrissant de protéines (gélatine, albumine), ils y laissent des sillons ou des galeries à contours irréguliers.

Les altérations physiques

La présence de poussières et de particules solides adhérant électrostatiquement à l'intérieur des pochettes est une source fréquente d'abrasion des phototypes. Ce phénomène est particulièrement préjudiciable aux négatifs : le tirage reproduira la trace de ces dégradations superficielles de la dorsale, sous forme de lignes noires.

Le changement d'aspect de surface d'une image peut être gênant esthétiquement. Il arrive qu'un tirage ayant été glacé perde localement sa brillance quand il est humidifié. C'est quelquefois le cas lors du montage si l'on utilise un adhésif aqueux. À l'inverse, un tirage satiné peut acquérir, par endroits, un aspect brillant s'il est conservé dans une pochette en plastique : soumise à une forte pression, en présence d'humidité, la face image adhère

au plastique, et devient brillante en se décollant. Enfin, des variations thermohygro-métriques importantes peuvent provoquer sur certains tirages l'apparition de craquelures.

LES ALTÉRATIONS DES SUPPORTS

Les supports transparents

On recense trois types de supports transparents courants en photographie : le verre, les esters de cellulose et le polyester. Le verre, introduit à partir de 1850, est non seulement un support fragile mais il arrive aussi qu'il se décompose en laissant apparaître en surface un voile blanchâtre ou un dépôt. Son usage se réduit aujourd'hui à des applications de photographie scientifique.

Illustration 19

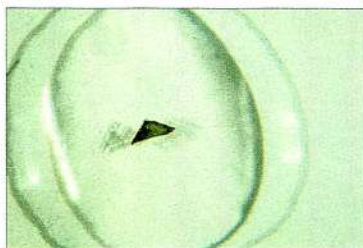
Identification des supports en nitrate : test à la diphénylamine.



❶

❶ Sur une lamelle de verre on dépose à l'aide d'une pipette une goutte de solution de diphénylamine à 0,5 % dans de l'acide sulfurique [attention ! acide dangereux, à manipuler avec précaution].

❷ Sur cette goutte on place avec une pince un minuscule fragment – moins d'un millimètre carré – du support à analyser. ❸ En présence de nitrate de cellulose, il se forme dans les minutes qui suivent une coloration bleue intense. Cette méthode réclame un microprélèvement et peut être effectuée sous une loupe binoculaire. Certains supports en acétate peuvent provoquer une coloration bleue due à un substratum en nitrate de cellulose. Pour éviter une possible erreur d'interprétation, on peut procéder à l'élimination par grattage à l'aide d'un scalpel des couches de gélatine.



❷



❸

Le nitrate de cellulose

Le remplacement du verre par un matériau souple et transparent a donné lieu à de nombreuses recherches qui ont mis à profit, avec plus ou moins de bonheur, toutes les découvertes de la chimie des polymères, en particulier entre 1895 et 1960. Les dérivés de la cellulose ont été les premiers employés. Il suffit en effet d'estérifier la cellulose par de l'acide nitrique, acétique, propionique ou butyrique pour produire du nitrate, du diacétate, de l'acétopropionate ou de l'acétobutyrate de cellulose. Le nitrate de cellulose (CN), découvert en 1846 par C. Schönbein, est utilisé dans les années 1869 par les frères Hyatt pour remplacer l'ivoire dans la fabrication d'objets usuels. Il faudra attendre encore une vingtaine d'années avant que cette découverte ne soit exploitée industriellement pour les supports photographiques. George Eastman, le fondateur de Kodak, fabrique, à partir de 1889, des bandes de grande longueur. Il devient alors possible de remplacer les lourdes plaques de verre par des pellicules légères et flexibles. Ce support trouvera un prodigieux débouché avec l'invention du cinématographe en 1895. Malgré d'excellentes propriétés, le nitrate de cellulose a un inconvénient majeur, sa grande inflammabilité. Pour des raisons de sécurité (incendie), le nitrate sera interdit en 1951. Avec le temps, un autre problème grave allait apparaître dans les collections : la tendance du nitrate de cellulose à s'autodégrader en libérant de l'acide nitrique. Et si certains supports en nitrate sont en excellent état après plus de cent ans, d'autres ne sont plus qu'un amas informe de matière produisant des émanations acides. On peut distinguer cinq étapes dans la décomposition des supports photographiques en nitrate de cellulose (Tableau 5).

Tableau 3

Évolution des principaux supports photographiques.

année*	support
1837	papier
1839	cuivre
1847	verre
1885	papier baryté
1889	nitrate de cellulose
1923	diacétate de cellulose
1930	acétobutyrate de cellulose
1948	triacétate de cellulose
1955	polyester (PET)
1970	papier PE (RC)
1979	polyester « voided »
1996	polyester (PEN)

* Date approximative d'introduction sur le marché de la photographie.

Tableau 4

Les supports des photographies contemporaines.

type de photographie	nature des supports
film négatif ou inversible	<ul style="list-style-type: none"> • triacétate de cellulose • polyesters (PET, PEN)
microformes	<ul style="list-style-type: none"> • polyester • (triacétate de cellulose)*
tirages papier	<ul style="list-style-type: none"> • papier baryté • papier PE (RC) • polyester opaque

* Tend à disparaître.

Il est donc important d'identifier et de stocker à part, dans des conditions adaptées, les films et les photographies sur support en nitrate de cellulose. L'examen des dates de fabrication, d'un certain nombre d'informations présentes sur le film et des détériorations peut permettre de reconnaître à quel type de support on a affaire. Sinon il faudra procéder à des analyses en ayant recours dans la mesure du possible à des méthodes non destructives. Le test à la diphénylamine donne une première indication à partir d'un microprélèvement (Illustration 19). Le test de flottaison ou le test à la flamme ont été abandonnés, les résultats qu'ils fournissent étant moins fiables. Ce travail d'analyse peut être confié à un laboratoire.

Le triacétate de cellulose

Le nitrate de cellulose, trop dangereux, est interdit dans les années 1950 et se développe alors l'utilisation des acétates de cellulose (CA) di et triacétate de cellulose, supports ininflammables dits « supports de sécurité ». Seul l'usage du triacétate de cellulose perdure aujourd'hui. Vers la fin des années 1980, on constate qu'après une trentaine d'années⁵ de stockage, de nombreux films cinématographiques en triacétate exhalent une odeur caractéristique de vinaigre, phénomène rapporté sous le nom de « syndrome du vinaigre » (l'odorat, très sensible à l'acide acétique, peut détecter des concentrations inférieures à 1 ppm). Ce phénomène qui s'était manifesté dès 1954 dans des archives cinématographiques en Inde, n'avait guère attiré l'attention à l'époque.

Le triacétate de cellulose s'hydrolyse en libérant peu à peu, sous forme d'acide acétique, les groupements acétate qui lui avaient été greffés. Plusieurs processus agissent en synergie sans qu'il soit toujours possible de les distinguer : l'hydrolyse peut être accompagnée ou suivie d'une oxydation par des peroxydes. Le dégagement d'acide acétique s'accompagne de coupures dans les macromolécules, d'où résulte une fragilisation du support. L'acide libéré dans l'atmosphère favorise la propagation de ce phé-

nomène aux films stockés à proximité. Cette altération semble inéluctable, et d'autant plus rapide que l'humidité est élevée. Le dégagement d'acide acétique est suivi d'une fragilisation et d'une déformation du polymère. On observe aussi une rétraction du support, liée à la fois à une perte de plastifiant, à l'évaporation des solvants résiduels et à la diminution de la longueur des chaînes du polymère. Cette rétraction qui peut atteindre 0,7 % en dix ans⁶, voire dans les cas extrêmes 10 %, est repérable par les plis de la couche image et de la couche *anti-curl* de part et d'autre du support. La perte de plastifiant se traduit souvent par l'apparition de bulles sous la couche image, ou par une cristallisa-

tion sous forme de petites taches blanchâtres en surface (Tableau 5). La coloration en bleu ou en rose de la dorsale du film est une conséquence directe de la production d'acide acétique. L'acidité régénère le colorant de la couche anti-halo qui, grâce au pH fortement alcalin du révélateur, avait été rendue incolore au cours du développement du film⁷.

La durée de vie des supports actuels ou plus anciens a pu être extrapolée à partir de tests de vieillissement accéléré, en appliquant la relation d'Arrhenius.

Illustration 20

Films en nitrate de cellulose dégradés,
provenant du fonds Harcourt (ministère
de la Culture et de la Communication).



On a montré de façon précise qu'il existe un seuil d'acidité au-delà duquel la dégradation s'accélère (Illustration 21). À partir de ces divers résultats, des abaques ont été établis, qui permettent d'évaluer approximativement, en fonction de la température de stockage et de l'humidité relative, le temps qui se déroulera avant l'apparition du syndrome du vinaigre. Ainsi, à 21 °C, 60 % HR, il faudra attendre 30 ans, à 21 °C, 30 % HR, 70 ans et à 13 °C, 30 % HR, 200 ans (Illustration 22).

Aux problèmes que l'on rencontre avec les collections sur nitrate de cellulose s'ajoutent donc ceux qui sont posés par les supports en triacétate, et dont les conséquences risquent d'être encore plus graves. Le triacétate est toujours largement fabriqué et utilisé, et la prise de conscience de ce problème est loin d'être générale.

Le polyester

Polyester est un terme générique utilisé pour une famille de polymères. En photographie, le mot polyester désigne soit le poly(téréphtalate d'éthylène) soit le poly(naphtalate d'éthylène). Le poly(téréphtalate d'éthylène), ou PET, a été découvert en 1941 et est utilisé dans l'industrie photographique depuis 1955. Selon les fabricants, il est connu sous les marques Estar (Eastman Kodak), Mylar (DuPont de Nemours),

Tableau 5

Les différents stades d'altération des supports en ester de cellulose.

<i>nitrate de cellulose</i>	<i>stade</i>	<i>acétate de cellulose</i>
Le support se colore en jaune, jaune-brun à brun foncé. L'image argentique s'oxyde, un miroir d'argent se forme.	1	Le film est en bon état. On perçoit une légère odeur d'acide acétique.
En milieu humide, l'émulsion commence à devenir poisseuse et à coller au papier ; en milieu sec, le support devient très cassant. L'odeur d'acide nitrique est prononcée.	2	Le film est en bon état. L'odeur d'acide acétique est forte.
Le support devient très fragile, des bulles de gaz se forment dans le support. L'odeur d'acide nitrique est forte. Il se dégage des oxydes d'azote. Ces gaz attaquent les objets environnants (enveloppes, films) et catalysent la détérioration du support lui-même. Toute la collection est menacée par les vapeurs acides et les risques d'incendie.	3	Les bords se courbent. Le film est légèrement cassant.
Les négatifs sont collés entre eux et à leurs enveloppes. Les pochettes et les négatifs sont difficilement séparables et manipulables. À ce stade, l'image est perdue et ces négatifs doivent être détruits pour éviter qu'ils ne continuent d'altérer le reste de la collection.	4	Le film se déforme. On constate un dépôt superficiel de plastifiant. Le film est fragilisé.
Il ne reste plus du négatif qu'une poudre brunâtre.	5	La couche de gélatine se plisse. Le film est cassant.

Illustration 21

Courbe représentant l'augmentation de l'acidité d'un support en triacétate de cellulose en fonction du temps. Le phénomène de dégradation autocatalytique se produit à un niveau d'acidité de 0,5 (ce chiffre correspond au nombre de ml d'une solution basique qu'il faudrait ajouter pour neutraliser l'acide présent – Norme ANSI IT9.1). Passé ce point, l'évolution de l'altération du support est très rapide.

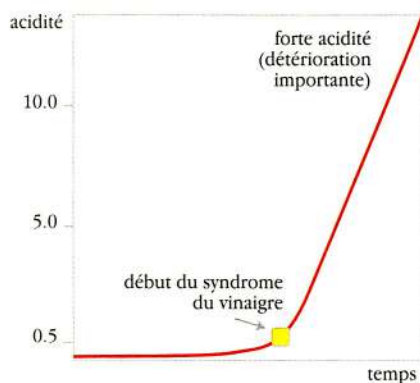
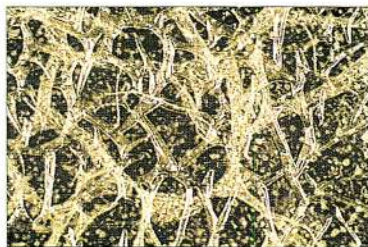


Illustration 23

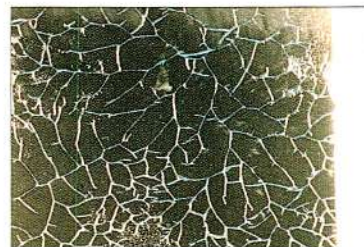
Exemples de supports en triacétate de cellulose dégradés (stade 5).



Pour fabriquer le triacétate, la cellulose est extraite du bois et traitée par de l'anhydride acétique en présence d'acide sulfurique qui joue le rôle de catalyseur. Les fonctions hydroxyle de la molécule sont remplacées par des fonctions acétate. Un plastifiant, 10 à 15 % de triphénylphosphate ou de diméthoxyéthylphthalate, est ajouté pour améliorer la stabilité dimensionnelle et la flexibilité du support. Le triacétate est préparé dans un solvant organique, le dichlorométhane. On obtient ensuite le film par étendage sur une surface lisse et évaporation du solvant. Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer la



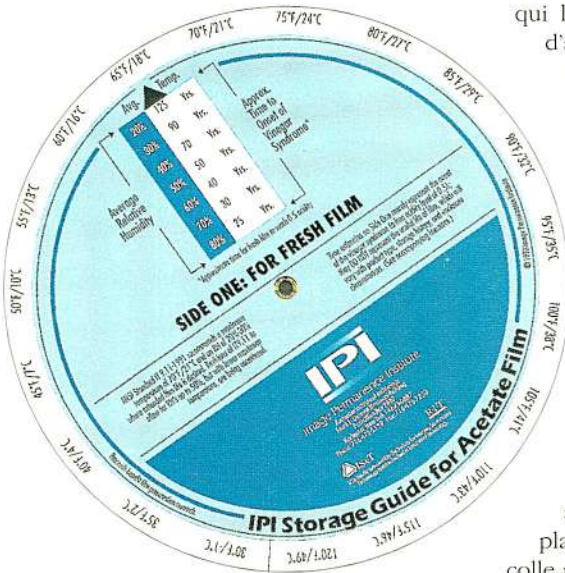
dégradation de ces supports. Les résidus de l'acide sulfurique utilisé lors du processus de fabrication ont d'abord été suspectés. Puis on s'est intéressé à la couche de substratum, à l'origine en nitrate de cellulose : l'instabilité de ce polymère conduisait à penser que sa décomposition pouvait amorcer celle du triacétate. Les solutions de traitement [révélateur, fixateur] ont également été mises en cause : leur caractère acide ou basique, associé à une température élevée, est suffisamment prononcé pour initier l'hydrolyse du triacétate, et leurs produits résiduels peuvent avoir une action néfaste à long



terme. Y. Shiganawa⁸ estime que le triphénylphosphate, plastifiant présent dans la plupart des supports en triacétate de cellulose, est l'initiateur de cette dégradation ; tout commencerait par une hydrolyse du plastifiant, il se formerait alors du diphenylphosphate, acide fort et particulièrement agressif, qui provoquerait à son tour l'hydrolyse du triacétate. M. Edge⁹, de son côté, a montré que l'hydrolyse était autocatalysée par le dégagement d'acide acétique, et que le traitement, les produits résiduels et l'environnement jouaient également un rôle important.

Illustration 22

The IPI Storage Guide for Acetate Film : cet instrument permet de prévoir, en fonction des conditions thermohygométriques, le nombre d'années avant l'apparition du syndrome du vinaigre sur des films en triacétate de cellulose.



Terphane (Rhône-Poulenc), etc. Contrairement au triacétate de cellulose qui est fabriqué à partir d'un polymère naturel, la cellulose, le polyester est entièrement synthétique. La seconde différence avec le triacétate de cellulose réside dans sa préparation. N'étant soluble dans aucun solvant, le polyester est conditionné en feuilles par extrusion au travers d'une fente, puis par étirage, ce qui lui confère une grande stabilité dimensionnelle. Le polyester est un polymère beaucoup plus stable dans le temps que le nitrate ou l'acétate de cellulose. Il a fait l'objet de diverses études qui laissent prévoir une durée de vie de plusieurs centaines d'années. Les réactions d'hydrolyse étant relativement lentes, la rétraction est limitée à 0,03 % sur une période de dix ans¹⁰. Son point faible réside dans la difficulté à faire adhérer la couche image qui, si les conditions de conservation sont médiocres, peut finir par se décoller. L'exposition à la lumière est nocive, en particulier quand le rayonnement est riche en ultraviolets : le polyester absorbe fortement à 310 nanomètres et il se produit peu à peu une perte de ses propriétés mécaniques. Mais dans des conditions standards de conservation, il y a peu de raisons que cela arrive. Il est relativement peu perméable à la vapeur d'eau et à l'oxygène, et résiste bien à la plupart des solvants organiques. En revanche, il est plus sensible à des composés basiques comme l'ammoniaque¹¹. Bien qu'il possède de meilleures propriétés mécaniques que le triacétate, certains de ses défauts en ont limité l'utilisation aux plans-films. Pendant longtemps, en effet, il n'existait pas de colle pour le montage des films cinématographiques ; en outre, le PET est électrostatique et plus difficile à enrouler en bobine et à remettre à plat que ne l'est l'acétate de cellulose¹². Enfin, en raison de sa grande résistance à la rupture, en cas de tension extrême dans une cuve de développement ou dans un projecteur de cinéma, les pièces de l'appareil risquent de céder avant que le film ne rompe¹³.

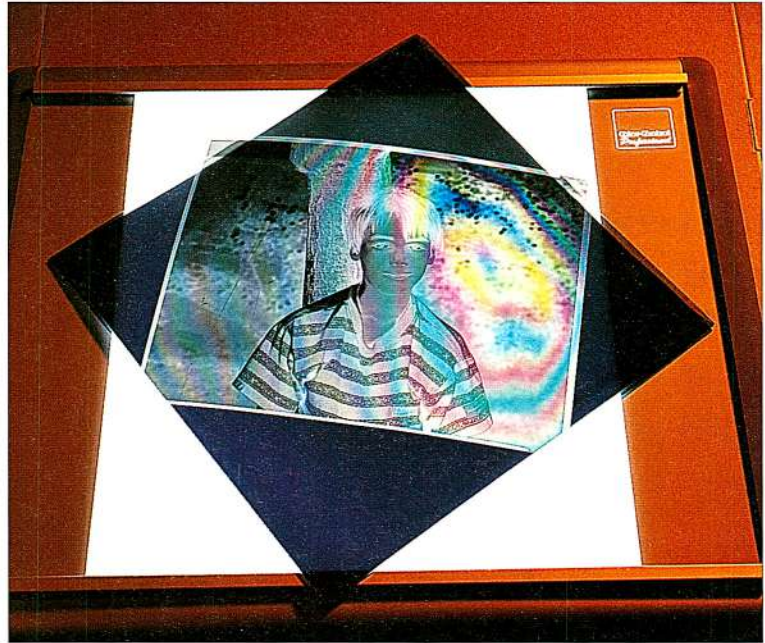
Illustration 24

Quelques-unes des propriétés optiques du polyester facilitent son identification. Le polyester conduit les rayons lumineux comme une fibre optique : en mettant un rouleau de film en polyester à plat sur une table lumineuse, on constate que la lumière est propagée à travers la tranche du film (à gauche) alors qu'un rouleau de film sur support en triacétate reste sombre (à droite).



Illustration 25

Le polyester est biréfringent : lorsqu'on place un morceau de polyester face à une source lumineuse entre deux filtres polarisants croisés, la lumière est transmise. En faisant pivoter le film, on peut voir apparaître des irisations.



La naissance en 1996 d'une nouvelle génération de films, l'*advanced photographic system* (APS), a été l'occasion pour certains fabricants d'introduire un nouveau type de polyester : le poly(naphtalate d'éthylène) (PEN), obtenu par réaction de l'éthylène glycol et de l'acide naphtalène - 2,6 - dicarboxylique. Ce polymère a la propriété de se remettre à plat beaucoup mieux que le PET et sa stabilité dans le temps devrait être du même ordre.

Les supports opaques

Le papier baryté

Le papier est le support privilégié de la photographie depuis cent cinquante ans. Les critères de choix et de préparation du papier ont longtemps été au centre des préoccupations des photographes, à une époque où ils en assumaient eux-mêmes la sensibilisation. Avec le développement industriel, dès la fin du XIX^e siècle, les praticiens sont devenus tributaires des produits manufacturés.

Le constituant de base du papier est la cellulose, polymère extrait des végétaux comme le coton, le lin, le bois, la paille, etc. Il en existe trois sortes : l'alpha-cellulose présente à environ 99 % dans le coton, la bêta-cellulose et la gamma-cellulose (qu'on appelle hémi-celluloses). L'alpha-cellulose est en quelque sorte la « cellulose noble » : c'est celle qui doit être présente en forte proportion dans le papier photographique, la quantité de bêta-cellulose et de gamma-cellulose devant rester inférieure à 4 %¹⁵.

Jusqu'au début du XX^e siècle, on utilisait pour la fabrication du papier photographique de la pâte de chiffon (lin ou coton), riche en alpha-cellulose. Mais avec le temps, ces papiers jaunissaient, même lorsque les matériaux de base avaient été choisis parmi les meilleurs. Aux alentours de 1920, on met en évidence une relation directe entre la mauvaise conservation des propriétés photosensibles du papier photographique et ce jaunissement.

Tableau 6

L'identification des supports des films.

<i>moyen d'identification</i>	<i>observation</i>	<i>nature du support*</i>	<i>commentaire</i>
■ date de fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • fabriqué avant 1920 • fabriqué avant 1952 • fabriqué après 1952 	<ul style="list-style-type: none"> • CN • CN ou CA • CA, PET, PEN 	
■ type de dégradation	<ul style="list-style-type: none"> • support jauni, image fortement oxydée • plissements, odeur de vinaigre 	<ul style="list-style-type: none"> • CN • CA 	l'oxydation de l'image peut être provoquée par la proximité d'un support nitrate en cours d'altération
■ indications dans la marge	<ul style="list-style-type: none"> • safety film (film de sécurité) • nitrate, « film-flamme » 	<ul style="list-style-type: none"> • CA • CN 	attention à des duplicatas qui pourraient comporter des indications erronées
■ encoches	<ul style="list-style-type: none"> • nombre et forme des encoches sur les bords des plans-films 	<ul style="list-style-type: none"> • selon les fabricants¹⁴ 	certains codes ont été réutilisés pour divers supports
■ test de combustion	<ul style="list-style-type: none"> • le fragment de film brûle rapidement • le fragment de film s'éteint hors flamme 	<ul style="list-style-type: none"> • CN • PET, PEN, CA 	non recommandé, peu fiable et dangereux
■ test chimique	<ul style="list-style-type: none"> • coloration bleu intense dans une solution acide de diphénylamine 	<ul style="list-style-type: none"> • CN 	recommandé
■ test mécanique : résistance à la déchirure	<ul style="list-style-type: none"> • se déchire facilement • très résistant 	<ul style="list-style-type: none"> • CA, CN • PET, PEN 	peu recommandé, trop destructif
■ test de flottaison : fragment plongé dans un tube rempli de trichloroéthylène	<ul style="list-style-type: none"> • coule • reste en suspension (milieu) • flotte 	<ul style="list-style-type: none"> • CN • PET • CA 	peu recommandé, solvant toxique, évaluation difficile
■ test optique	<ul style="list-style-type: none"> • biréfringence • effet de fibre optique 	<ul style="list-style-type: none"> • PET • PET 	

* Voir tableau 11.

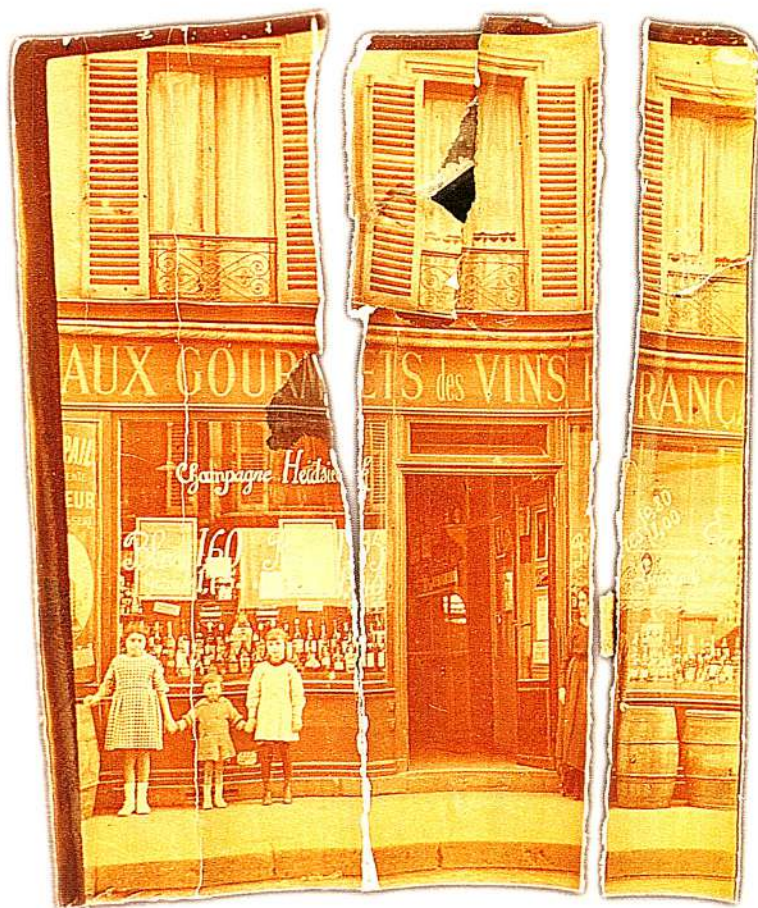
On s'aperçoit également que cette coloration, due à l'hydrolyse de la cellulose, dépend du type de coton entrant dans la composition des chiffons et de son degré de blanchiment¹⁶. Il devient alors impératif de préparer un papier dont la qualité soit indépendante des aléas de la composition des chiffons. Les recherches de Kodak aboutissent, en 1929, à la production d'un papier fabriqué à 100 % à partir de cellulose de bois (épicéa et sapin) hautement purifiée (pâte au bisulfite), papier qui permet aussi bien le maintien des propriétés photosensibles que la bonne conservation de l'image développée.

L'encollage du papier, destiné à renforcer ses propriétés mécaniques, a beaucoup évolué. Au XIX^e siècle, le papier est encollé avec des solutions de gélatine, d'amidon ou de colophane. En 1926, la colophane est remplacée par du stéarate de sodium. L'ajout à partir de 1945 d'un mélange de mélamine et de formol améliore notablement certaines propriétés mécaniques du papier. D'autres polymères sont ensuite utilisés pour l'encollage ; on a recours aujourd'hui à un encollage neutre à base d'alkylcétène dans le but d'augmenter la longévité du papier¹⁷.

Le barytage est appliqué dès le début de la fabrication industrielle des papiers de tirage, aux alentours de 1885. Il consiste à recouvrir le support de papier d'une ou de plusieurs couches de gélatine contenant un pigment blanc, le sulfate de baryum. Le barytage permet de masquer les fibres du papier par une intercouche très lisse, et le facteur de réflexion du support s'en trouve sensiblement amélioré. Jusqu'aux années 1960, il est courant de teinter la couche de sulfate de baryum en bleu, rose, blanc-crème ou cha-mois, pour modifier le ton neutre des images obtenues par développement. Cette pratique est aujourd'hui marginale ; en revanche, la blancheur des papiers est souvent améliorée, depuis les années 1970, par l'ajout d'azurants optiques. La formulation retenue induit l'aspect de surface du papier : mat,

Illustration 26

Lorsque les tirages gélatino-argentiques sont conservés dans une atmosphère trop sèche, une flexion excessive peut conduire à une cassure de la couche image, et même du support.



satiné ou brillant, et par calandrage (passage du support baryté entre des rouleaux métalliques), il est possible de créer diverses textures dites grain de sable, grain de soie, etc.

Si les tirages sur papier baryté présentent une excellente stabilité dans le temps, ils restent toutefois sensibles à des manipulations imprudentes, qui risquent d'aboutir à la cassure de la couche de sulfate de baryum. On rencontre d'autres altérations : gondolements, déchirures, maculages (poussières, taches d'encre, traces de rubans adhésifs), qui témoignent d'un manque de soin.

Le papier PE (RC)

L'origine des papiers PE (polyéthylène), plus couramment appelés RC (*resin coated*), remonte à la Seconde Guerre mondiale. On cherchait à cette époque à mettre au point pour des usages militaires un papier de tirage pouvant supporter une séquence de traitement raccourcie. Les papiers barytés, alors les seuls disponibles, nécessitaient en effet un lavage relativement long (de l'ordre de 30 à 60 minutes) pour débarrasser les fibres du papier des substances chimiques qu'elles avaient absorbées pendant le traitement. En imperméabilisant la feuille du support papier, il devenait possible de réduire considérablement le temps de lavage et de séchage. Divers procédés ont été expérimentés pour aboutir dans les années 1970 à la commercialisation des papiers PE (RC) dans lesquels le support papier est pris en sandwich entre deux films de polyéthylène. Sur la face destinée à recevoir l'émulsion, le polyéthylène est chargé d'un pigment blanc, généralement le dioxyde de titane.

Les avantages des papiers PE (RC) ne se limitent pas à réduire la séquence de lavage : la bonne tenue mécanique, à l'état humide, de la feuille de papier plastifiée permet la mécanisation du traitement. Des activateurs éventuellement incorporés à l'émulsion réduisent encore la durée du développement. Après un simple séchage à l'air chaud en fin de traitement, on obtient une surface brillante et régulière, aspect difficile à contrôler avec les papiers barytés qui devaient être glacés à chaud (glaceuse électrique) ou à froid (séchage naturel sur une surface lisse comme le verre ou l'acier). Par ailleurs, les tirages réalisés sur des supports plastifiés conservent une bonne planéité après traitement, quelles que soient les conditions hygrométriques ambiantes. Ce support fut adopté par les laboratoires photographiques pour

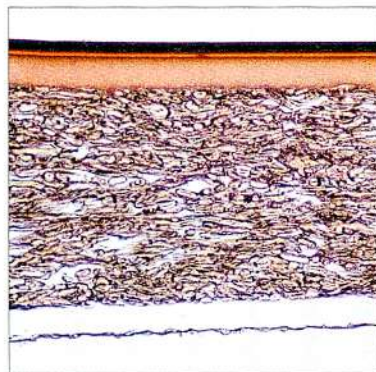
Illustration 27

Vues au microscope optique de coupes :

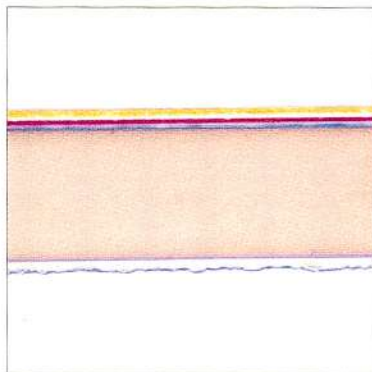
- ❶ tirage couleurs Kodak sur papier RC,
- ❷ tirage Cibachrome sur polyester *voided*,
- ❸ tirage Dye-Transfer.

[Photographies de Fred Poole, Felix Schoeller

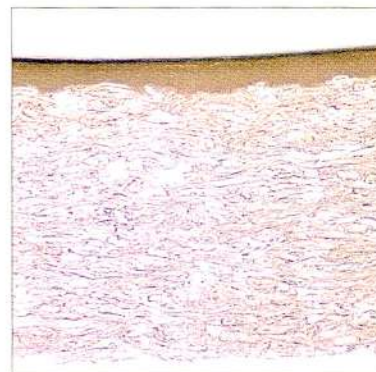
Technical Papers]



❶



❷



❸

Illustration 28

Verso d'une photographie de Brassai qui a été contrecollée avec un adhésif double face de mauvaise qualité : la colle a jauni et migré dans le support papier. On notera le numéro inscrit au stylo, dont l'encre s'est diffusée dans le papier.



le traitement sur développeuse automatique, ce qui permit d'accroître la productivité pour les travaux amateurs ou professionnels. Quelques années après leur introduction, l'engouement pour les papiers PE (RC) était tel que de nombreux photographes redoutèrent de voir disparaître les papiers barytés, dont le rendu était pourtant nettement supérieur. L'alarme fut donnée en 1977 par Jean Dieuzaide au cours des Rencontres internationales de la photographie d'Arles¹⁸. À la suite de cette contestation pacifique mais déterminée, la spécificité des supports barytés et l'intérêt que leur portait la communauté photographique furent reconnus par les fournisseurs qui élargirent l'offre en papiers conventionnels.

Pour les tirages en couleurs, l'agressivité des solutions et le traitement en machine condamnent l'emploi de papier baryté ; le dernier, l'Agfacolor MCN 111, disparaît au milieu des années 1970. Depuis cette date, tous les supports couleurs, à l'exception des procédés de tirage artisanaux (Dye-Transfer, Fresson, Ultrastable, etc.), sont plastifiés.

Les premières générations d'épreuves sur papier plastifié, encadrées et exposées de façon prolongée à la lumière, présentaient souvent des craquelures accompagnées, sur les tirages en noir et blanc, de taches orangées d'oxydoréduction et d'un miroir d'argent¹⁹. Les recherches ont mis en évidence le rôle du dioxyde de titane : sous l'action de la lumière, il favorise la formation d'oxygène actif qui attaque l'image argentique et dégrade le polyéthylène. Ce phénomène se produit quand les images sont confinées dans un montage hermétique (sous verre). En se dégradant, le polyéthylène devient moins flexible. La dilatation du papier et de la gélatine en atmosphère humide soumet la couche de polyéthylène à des tensions qui sont à l'origine de la formation de craquelures. L'ajout, par le fabricant, de

stabilisants et d'antioxydants a permis de limiter ces inconvénients mais pas d'éliminer totalement les risques de jaunissement.

Sur le pourtour des papiers PE, on observe quelquefois une zone jaunâtre ne dépassant guère quelques millimètres. Les bains de traitement s'infiltrent par la tranche à l'intérieur du support, entre les deux couches de plastique d'où l'on a peu de chance de les éliminer. Pour y remédier, il est conseillé aux laboratoires photographiques de tirer les épreuves avec des marges un peu plus grandes que l'on recoupe après le traitement.

Les polymères synthétiques opacifiés

D'autres tentatives ont été faites pour élaborer des supports d'épreuves résistants et adaptés au traitement industriel, en utilisant des polymères teints : Ansco lance le Printon et Kodak le Minicolor. Agfa commercialise dès 1968 du triacétate de cellulose teinté avec un pigment blanc, mais les épreuves produites supportent mal le bain de blanchiment acide (traitement inversible couleur) qui rend le polymère cassant. Le polyester *voided* est introduit par ICI et utilisé, à partir de 1979, comme support pour le Cibachrome type II brillant (procédé P-3) aujourd'hui Ilfochrome classic. Malgré son opacité, ce polyester ne contient pas de pigments, la blancheur du support est produite par un réseau de microbulles d'air diffusant la lumière. Ses caractéristiques optiques sont similaires à celles d'une surface métallique : un haut degré de réflexion dans un cône étroit (d'environ 28° par rapport à l'axe vertical²⁰). Il en résulte des épreuves très brillantes à l'aspect métallisé. L'exfoliation de la couche de gélatine de son support polyester a parfois été signalée, elle résulte du manque d'affinité entre ces deux matériaux.

Les supports de montage

Pour obtenir des épreuves barytées parfaitement planes, on a parfois eu recours au contrecollage. Mais des problèmes peuvent survenir en raison de la mauvaise qualité de l'adhésif et du support secondaire. Certains supports en carton ou en bois dégagent des produits nocifs, qui sont à l'origine d'altérations de l'image (taches, affaiblissement, miroir d'argent). Des tirages sur papier baryté collés sur un support en contreplaqué et soumis à des variations excessives d'humidité et de température, ont été l'objet de dégradations spectaculaires, sous forme de fissures et de cloques²¹.

Des adhésifs (colles, rubans, double-face) de mauvaise qualité sont parfois utilisés sans précaution pour fixer des photographies. Leur élimination est très délicate : la colle a jauni, elle est devenue poisseuse et, après avoir pénétré dans les fibres du papier, elle est visible du côté de l'image. Il faut donc déterminer avec soin quels rubans utiliser, en fonction des applications. La gamme des produits proposés est assez large ; quelques-uns sont tout à fait adaptés à la conservation (Tableau 12).

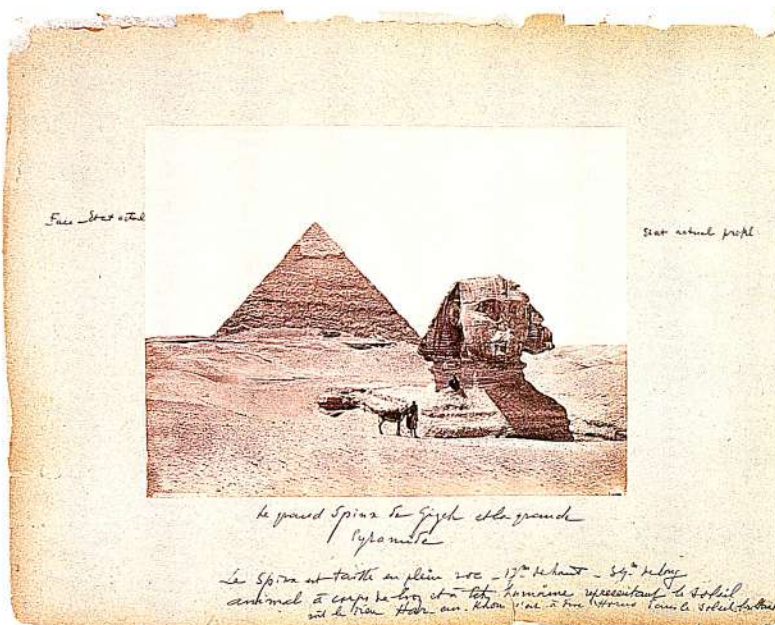
Illustration 29

Terminologie pour les tirages :
tirage d'époque, tirage original, vintage,
fac-similé.

Un même négatif peut être à l'origine de
plusieurs générations d'épreuves
photographiques. Un tirage d'époque est
une épreuve réalisée à une époque qui
suit immédiatement celle de la prise de
vue (on considère généralement qu'un
intervalle de quelques années est
compatible avec cette qualification).

Un tirage original est une épreuve
définitive réalisée par l'artiste, ou sous
son contrôle direct. Le vintage est un
tirage original d'époque.

Le fac-similé est une épreuve, obtenue
par reproduction ou à partir du négatif
original, dont le support de tirage
et le traitement associé sont identiques à
ceux employés par l'image de référence
(généralement un vintage).



Tirage d'époque sur papier albuminé (le grand Sphinx de Gizeh et la grande Pyramide).

Négatif sur plaque de verre (procédé
au gélatino-bromure d'argent).



Tirage d'époque (procédé au gélatino-chlorure
d'argent à noircissement direct).



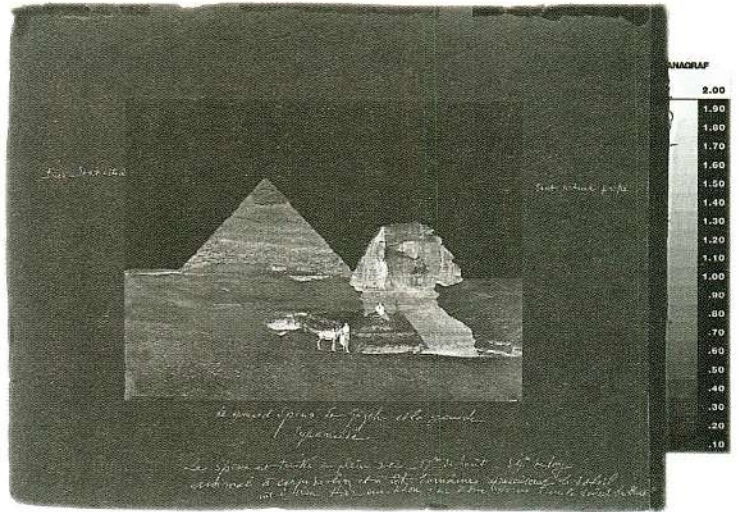
Tirage moderne (procédé
au gélatino-bromure d'argent).



Fac-similé (procédé au gélatino-chlorure
d'argent à noircissement direct).



Négatif de reproduction sur film
4 x 5 inches (10 x 12 cm).



Tirage moderne
de reproduction.

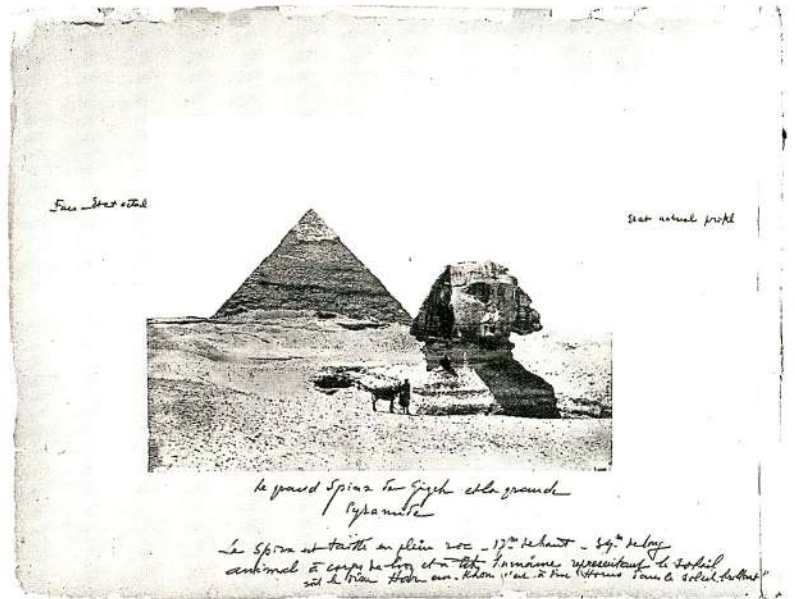


Tableau 7

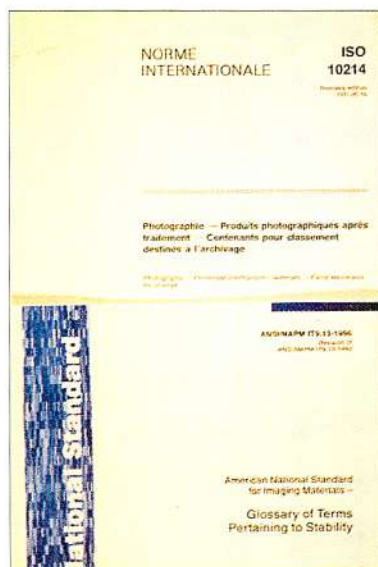
Références et titres des normes ISO et ANSI sur l'archivage et le traitement des photographies et de quelques supports audiovisuels (les titres en anglais correspondent à des normes qui ne sont pas encore disponibles en langue française).

<i>référence</i>	<i>titre</i>	<i>nouvelle référence</i>
ISO 417	Photography – Determination of residual thiosulfate and other related chemicals in processed photographic materials – Methods using iodine-amylose, methylene blue and silver sulfide	ISO 18917
ANSI/NAPM IT9.17		
ISO 543	Photography – Photographic films – Specifications for safety film	ISO 18906
ISO 3897	Photographie – Plaques photographiques développées – Directives pour l'archivage	ISO 18918
ANSI/NAPM IT9.18		
ISO 5466	Photographie – Films photographiques de sécurité traités – Directives pour l'archivage	ISO 18911
ANSI/NAPM IT9.11		
ISO 6051	Photographie – Papiers photographiques traités – Directives pour l'archivage	ISO 18920
ANSI/NAPM IT9.20		
ISO 8225	Photography – Ammonia-processed diazo photographic – Specifications for stability	ISO 18905
ANSI/NAPM IT9.5		
ISO 9718	Photography – Processed vesicular photographic film – Specifications for stability	ISO 18912
ANSI/NAPM IT9.12		
ISO 10214	Photographie – Produits photographiques après traitement – Contenants pour classement destinés à l'archivage	ISO 18902
ANSI/NAPM IT9.2		
ISO 10356	Cinematography - Storage and handling of nitrate base motion picture film	
ISO 10602	Photographie – Film de type gélatino-argentique noir et blanc traité – Spécifications pour la stabilité	ISO 18901
ANSI/NAPM IT9.1		
ISO 12206	Photography – Methods for the evaluation of the effectiveness of chemical conversion of silver image against oxidation	ISO 18915
ANSI IT9.15		
ISO 12606	Cinématographie – Soins et préservation des enregistrements magnétiques pour la cinématographie et la télévision	
ISO 14523	Photography – Processed photographic materials – Photographic activity test	ISO 18916
ANSI/NAPM IT9.16		
ISO 14806	Imaging media (film) – Thermally processed silver microfilm – Specifications for stability	ISO 18919
ANSI/NAPM IT9.19		
ISO 15524	Polyester base magnetic tape – Storage practice	ISO 18923
ANSI/NAPM IT9.23		
ISO 16111	Optical disc media – Storage	ISO 18925
ANSI/NAPM IT9.25		
ANSI/NAPM IT9.13	Glossary of terms pertaining to stability	ISO 18913
ANSI/NFPA 40	Storage and handling of cellulose nitrate motion picture film	
ANSI/AIIM MS45	Recommended practice for inspection of stored silver-gelatin microfilms for evidence of deterioration	

* En France, les normes sont disponibles auprès de l'AFNOR.

Illustration 30

Présentation d'une norme ISO et ANSI.



Les normes

LES NORMES RELATIVES AU TRAITEMENT ET À LA CONSERVATION DES PHOTOGRAPHIES

Contrairement à d'autres types de patrimoine culturel, la photographie a la chance de disposer depuis de nombreuses années de normes concernant le traitement et les conditions de stockage. Les normes américaines (ANSI : American National Standards Institute) et internationales (ISO : International Standards Organization) relatives au traitement et à la conservation des photographies sont présentées dans le tableau 7. Pour suivre l'évolution des connaissances et des techniques, ces normes sont périodiquement remises à jour. L'Association française de normalisation (AFNOR) estime qu'une norme vieille de plus de cinq ans risque d'être obsolète : on doit donc vérifier que la version à laquelle on se réfère est bien la plus récente, et qu'elle n'est pas en voie de révision ou d'annulation. Le contenu de la plupart de ces normes sera explicité dans la suite de cet ouvrage.

LES NORMES POUR ÉVALUER LA STABILITÉ DES MATÉRIAUX

Les tests de vieillissement artificiel sont devenus des outils indispensables pour évaluer la stabilité des matériaux au cours du temps, lorsqu'ils sont exposés à la lumière, stockés dans des archives, manipulés, soumis à des conditions extrêmes, etc. On acquiert grâce à eux une meilleure connaissance de l'évolution dans le temps des matériaux constitutifs des œuvres,

Illustration 31

Enceintes climatiques utilisées
au CRCDG pour l'évaluation de
l'espérance de vie des supports.

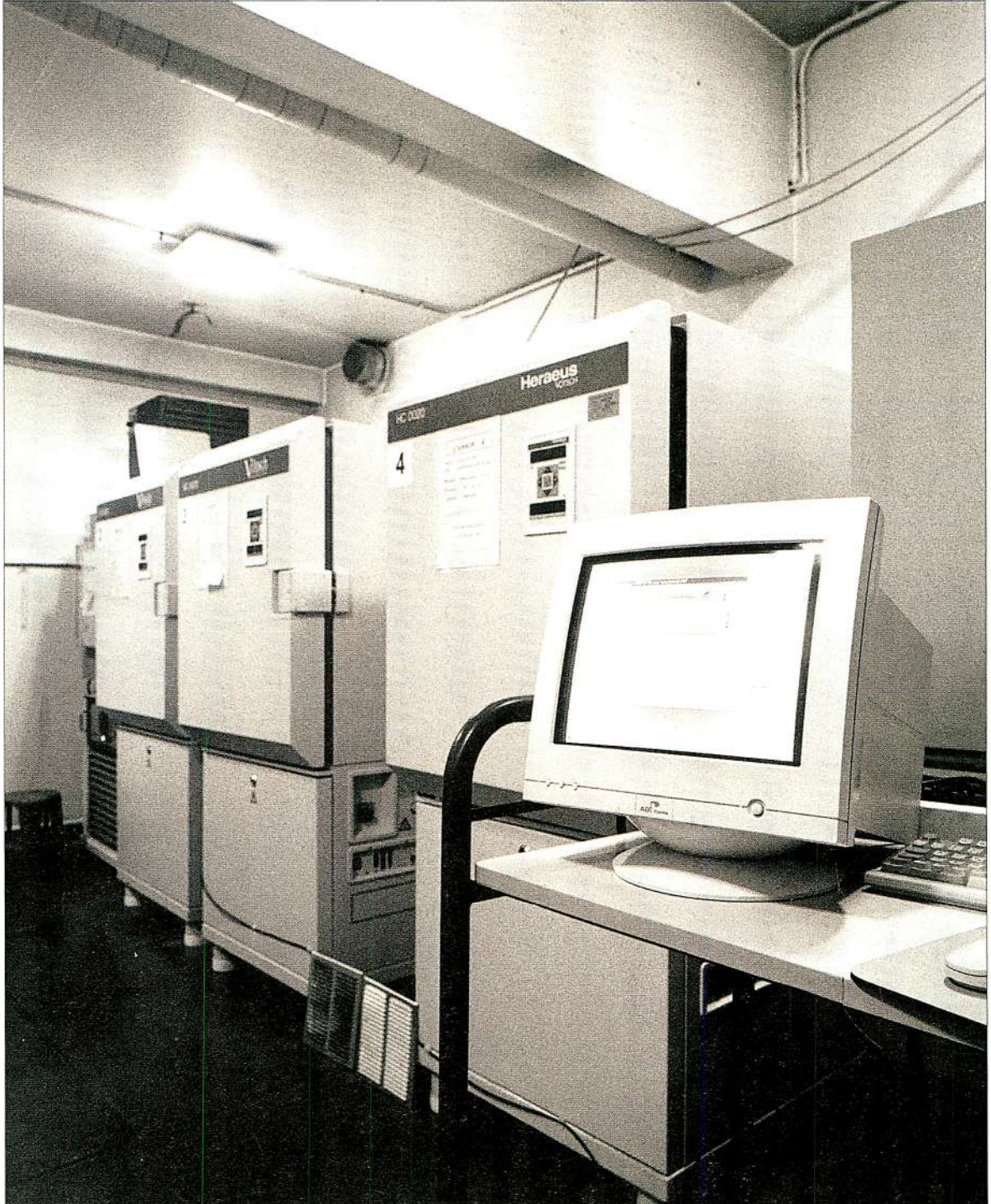


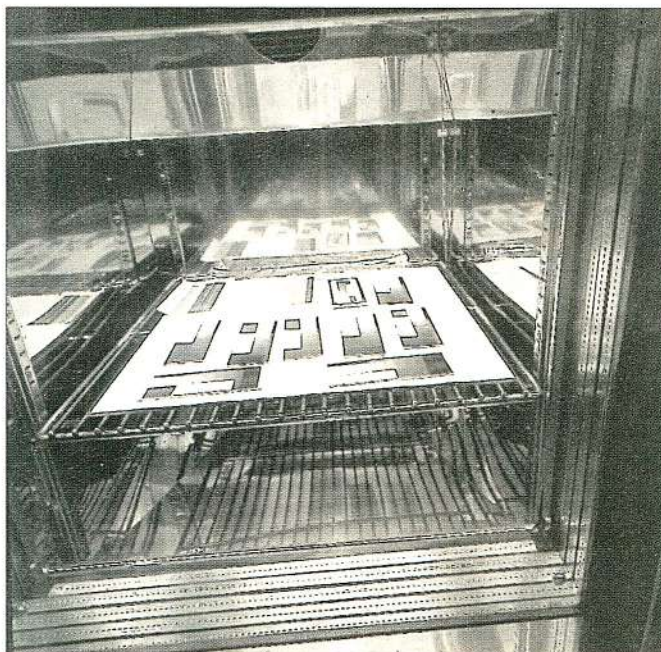
Tableau 8

Références et titres des normes ISO et ANSI sur l'évaluation de la stabilité de quelques supports audiovisuels.

<i>référence</i>	<i>titre</i>	<i>nouvelle référence</i>
ISO 10977	Photographie - Films et papiers photographiques couleurs traités -	ISO 18909
ANSI/NAPM IT9.9	Méthodes de mesure de la stabilité de l'image	
ISO 12040	Graphic technology - Prints and printing inks - Assessment of light fastness using filtered xenon arc light	-
ISO 15640	Photographie - Matériaux d'image - Méthode d'essai pour les prédictions de type Arrhenius	ISO 18924
ISO 15525	Life expectancy of compact discs (CD-Rom) - Method for estimating,	ISO 18921
ANSI/NAPM IT9.21	based on effects of temperature and relative humidity	
ISO 16112	For imaging materials - Life expectancy of magneto-optic	ISO 18926
ANSI/NAPM IT9.26	(MO) discs - Method for estimating, based on effects of temperature and relative humidity	
ANSI/PIMA IT 9.27	Life expectancy of information stored in recordable compact disc systems - Method for estimating, based on effects of temperature and relative humidity	ISO 18927
ASTM F 2035-00	Standard practice for measuring the dark stability of ink jet prints	-

Illustration 32

Test de vieillissement à la lumière d'impressions à jet d'encre (CRCDG).



ce qui permet de placer les plus sensibles dans un environnement adapté, et aussi d'orienter le choix des utilisateurs vers des matériaux dont la stabilité est éprouvée. Pendant longtemps, les fabricants ont réalisé de nombreux tests dont les résultats étaient publiés dans des revues spécialisées ou dans des fiches techniques. Malheureusement, la disparité des méthodologies n'autorisait pas toujours la comparaison entre les informations issues d'entreprises différentes. La normalisation permet d'uniformiser les conditions opératoires. On tend aujourd'hui à introduire des variations cycliques de température et d'humidité dans les tests de vieillissement artificiel.

L'évaluation de l'espérance de vie

Afin de remplacer la notion assez vague de moyen terme ou de long terme, les normes ont défini celle d'« espérance de vie »²² qui représente le temps estimé – à 21 °C et 50 % d'humidité relative (HR) – pendant lequel une information demeure accessible. Ainsi, à un film dont la conservation ne peut excéder une dizaine d'années, on assigne la dénomination « LE-10 » (*LE : Life Expectancy*). On place, par exemple, les supports cellulose dans la catégorie des LE-100 et les supports en polyester dans celle des LE-500. On calcule cette espérance de vie en utilisant la relation d'Arrhenius. La méthode repose sur plusieurs hypothèses. La première suppose que le mécanisme de la dégradation chimique se fait suivant un chemin réactionnel privilégié qui reste le même tout au long des tests de vieillissement. La réaction qui régit la détérioration obéit à une loi cinétique simple (réaction d'ordre 1). L'expérience a montré que pour de nombreux mécanismes de dégradation (hydrolyse des colorants, de certains polymères, du papier, etc.), il en était ainsi. À quelques exceptions près, la loi d'Arrhenius a prouvé son utilité^{23, 24}. Elle est ainsi appliquée à l'étude de la stabilité des photographies en couleurs et en noir et blanc (normes ISO 10977, ISO 15640), mais également à celle de certains polymères^{25, 26}.

La loi d'Arrhenius permet d'établir une relation simple entre la température et le temps :

$$\text{Log}(\tau) = \frac{a}{T} + b$$

a et b : constantes

τ : temps nécessaire pour atteindre un taux d'altération déterminé

T : température en kelvins (T K = t° C + 273)

L'expérimentation consiste à soumettre les matériaux à des températures comprises entre 50 et 90 °C, l'humidité étant constante. À chacune de ces températures on observe la durée nécessaire pour obtenir une certaine dégradation (chute de 30 % de la densité optique, par exemple), puis l'on place ces points sur un graphe portant en abscisse le logarithme du temps, et en ordonnée l'inverse de la température en kelvins. La droite qui relie ces points est extrapolée afin de déduire en abscisse la durée correspondant à la formation d'une dégradation similaire, à température ambiante ou à n'importe quelle autre température.

La plupart des tests de vieillissement consistaient, jadis, à placer les matériaux dans une enceinte à température élevée et, après incubation, à les comparer entre eux pour les classer par ordre de stabilité (c'était le cas de

Illustration 33

Test d'activité photographique.

À droite, divers matériaux testés.

À gauche, l'état du détecteur d'argent colloïdal après 14 jours de contact avec ces matériaux.

- ❶ papier filtre,
 - ❷ papier enduit de colle,
 - ❸ papier couvert d'encre rouge,
 - ❹ carton,
 - ❺ papier couvert d'encre noire.
- Les taches sont caractéristiques d'émanations nocives.

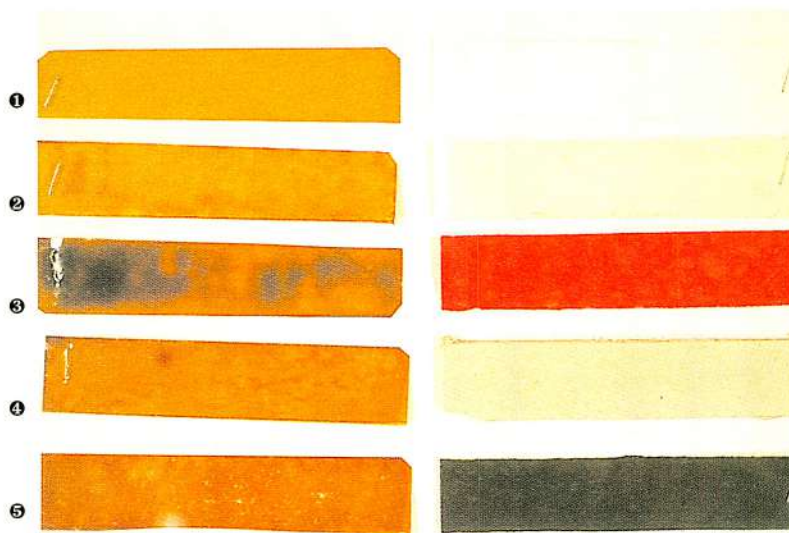
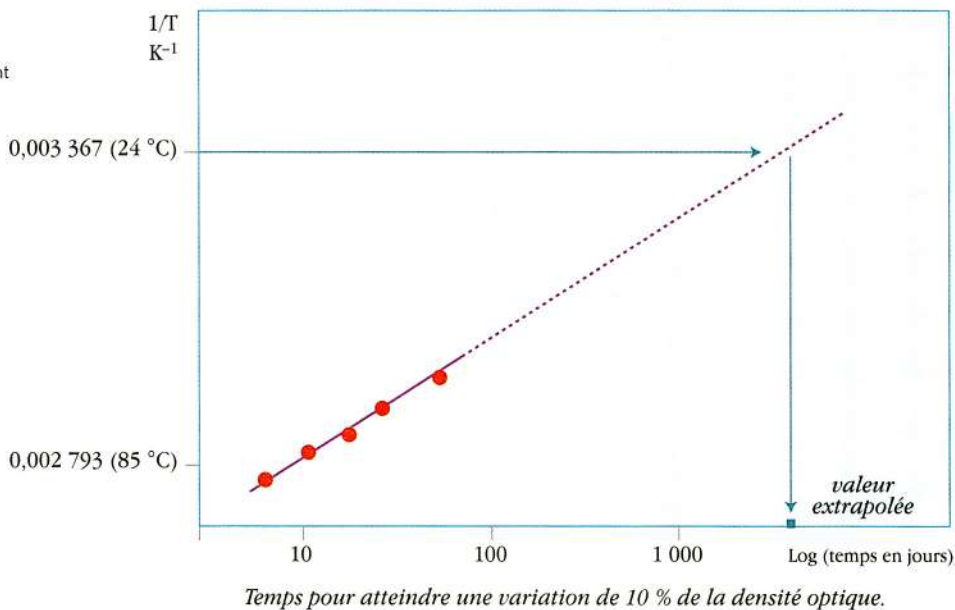


Illustration 34

Estimation de la stabilité des matériaux en appliquant la loi d'Arrhenius.



la norme ANSI PH 1.42-1969 pour les photographies en couleurs, aujourd'hui obsolète). Or on s'est aperçu que l'ordre de stabilité établi à haute température ne correspondait pas toujours à celui qui était réellement observé à température ambiante. Il suffit en effet que les droites d'Arrhenius se croisent entre la température d'essai et la température ambiante pour que les résultats soient inversés. L'extrapolation en appliquant la relation d'Arrhenius permet de déjouer ce piège ; on obtient en outre une idée beaucoup plus précise sur la durabilité des matériaux. On peut également calculer le gain de stabilité apporté par un stockage à basse température. Cette expérimentation peut être renouvelée à différents taux d'humidité relative. Mais cette méthodologie a des limites. Les processus de dégradation peuvent se révéler plus complexes que ceux que l'on présume. L'élévation de température n'a pour but que d'augmenter la vitesse d'une réaction qui se produit dans des conditions normales de conservation de l'objet. Toutefois, quand on chauffe un polymère (gélatine, esters de cellulose, polyester), on modifie ses caractéristiques physiques et il peut se produire des phénomènes différents de ceux qui ont lieu à température ambiante^{27, 28}. Si l'on n'y prend garde, les extrapolations basées sur ces résultats seront erronées.

Pour calculer l'espérance de vie des CD (CD-Rom, CD-R, CD-RW), on n'applique pas le modèle d'Arrhenius mais celui d'Eyring, qui prend en compte les effets de l'humidité. Cette méthodologie a été normalisée et est appliquée par les laboratoires^{29, 30, 31, 32}. Ses limites sont du même ordre que celles qui viennent d'être signalées. Les tests de vieillissement doivent être appliqués à des températures inférieures à la température de transition vitreuse du polymère ; les mécanismes réactionnels entrant en jeu lors de ces tests doivent bien refléter ceux qui interviennent lors du vieillissement naturel ; des facteurs comme la pollution, les variations thermohygrométriques ne sont pas pour l'instant pris en considération ; enfin, aucune corrélation n'a été établie entre ces vieillissements artificiels et des vieillissements naturels. La dégradation du CD est suivie en relevant le taux d'erreur (*BLER* : *block error rate*) dans le signal enregistré, et l'on retient pour l'extrapolation, par exemple, le temps nécessaire pour voir apparaître plus d'une erreur sur 10^{12} bits³³.

L'évaluation de la stabilité à la lumière

L'évaluation de la stabilité à la lumière est plus simple à mettre en œuvre (normes ISO 10977, ISO 12040). On estime généralement que l'action de la lumière suit une loi de réciprocité : exposer brièvement un échantillon sous une intensité lumineuse très forte produit des effets équivalents à ceux qui résultent d'une exposition longue sous une intensité plus faible. Cette loi semble respectée lorsque l'irradiation n'excède pas 100 000 lux : à trop forte intensité d'autres facteurs, comme la diffusion de l'oxygène, entrent en jeu³⁴. Pour mesurer la stabilité à la lumière des œuvres, il suffit de réaliser un vieillissement accéléré en les exposant à une très forte intensité lumineuse. Ainsi, une photographie en couleurs dont un colorant s'affaiblit de 20 % après 1 000 heures à 10 000 lux subira la même dégradation lors d'une exposition de 100 000 heures à 100 lux. On peut également facilement classer plusieurs colorants par ordre de stabilité. Toutefois, la qualité de ces tests est liée au respect d'un certain nombre de contraintes. La distribution spectrale de la source lumineuse que l'on applique au cours de l'expérimentation doit être identique à celle qui détermine le vieillissement naturel. Pour une exposition à la lumière du

jour, on ne pourra pas se fonder sur un test de vieillissement sous des tubes fluorescents. Enfin, on doit veiller au contrôle de l'humidité relative et de la température de la surface exposée. Ces quelques règles imposent le recours à des enceintes climatiques.

L'évaluation de la qualité des contenants utilisés pour l'archivage

Au cours des vingt dernières années plusieurs tentatives se sont succédé afin d'établir des normes pour sélectionner les matériaux de conservation. Dans les années 1980, T. Collings et F. Young³⁵ imaginent un test pour identifier les matériaux susceptibles de ternir l'argent, en les mettant à incuber huit heures à 75 °C, au contact d'une plaque d'argent polie. Si celle-ci présente des traces de ternissure, c'est que le matériau testé est inapte à la conservation des photographies. Mais ce test se révèle peu probant. À la même époque, V. Daniels, du British Museum, propose deux nouvelles méthodes³⁶. La première permet de détecter les substances qui ternissent l'argent, en particulier les dérivés sulfurés. Des fragments du matériau à analyser sont prélevés et placés sous un microscope, en contact avec une faible quantité de nitrure de sodium et d'iode. En présence de soufre, le nitrure de sodium se décompose et libère des microbulles d'azote que l'on distingue nettement au microscope. Plus la quantité de soufre augmente, plus le dégagement est important. Ce test est peu satisfaisant car il existe bien d'autres composés que le soufre susceptibles d'altérer les images photographiques et que l'on ne peut déceler ainsi. La seconde méthode repose sur un phénomène décrit par W. Russell à la fin du XIX^e siècle et qui porte son nom³⁷. La présence de peroxyde est susceptible de voiler une émulsion photographique. Ainsi, lorsqu'on met en contact dans l'obscurité et pendant plusieurs heures un matériau avec une émulsion photosensible, on observe, après développement, une empreinte photographique dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de peroxydes dégagés. Plus la trace générée par le matériau est intense, plus il sera dangereux de l'employer pour l'archivage. Des tentatives ont été faites pour appliquer l'effet Russell afin de tester les papiers destinés à la conservation des photographies³⁸, mais ce test n'est ni suffisamment fiable, ni suffisamment reproductible³⁹.

Un premier « test d'activité photographique » (PAT : *Photographic Activity Test*) est normalisé en 1978 aux États-Unis (norme ANSI PH1.53:1978), puis en Europe (norme ISO 6051:1979) et en France (norme AFNOR S20019:1980). Il consiste à faire incuber pendant 30 jours (à 50 °C, 86 % HR) le matériau à tester en contact avec un échantillon du document photographique à conserver. En référence, un échantillon de papier filtre est mis à vieillir dans les mêmes conditions. Pour être retenu, le matériau ne doit pas produire sur la photographie plus d'altérations que le papier filtre. Cette méthode montre vite ses limites. Des produits de très mauvaise qualité sont certes rejetés par le test, mais il ne permet pas de distinguer les matériaux médiocres de ceux qui sont bons. En d'autres termes, si on peut grâce à ce test écarter de façon sûre certains produits, il ne permet pas, en revanche, d'en recommander. Dix ans plus tard, à la suite des travaux de l'Image Permanence Institute (Rochester, États-Unis), un test d'activité photographique plus sensible est adopté⁴⁰. Il ne s'agit plus de faire incuber le matériau à tester avec un échantillon de photographie. L'innovation réside dans l'introduction de deux indicateurs, que l'on fait vieillir en contact avec les matériaux à tester, pendant 15 jours, à 70 °C et 86 % HR. L'un est un indicateur de décoloration (*fade detector*), l'autre un indicateur de coloration (*stain detector*).

* Vendu par l'*Image Permanence Institute*, Rochester Institute of Technology, Frank E. Gannett Memorial Bldg., Rochester NY 14623-0887, États-Unis ;
ou par Agfa-Gevaert A.G., Sparte Bild-Foto D-5090 Leverkusen, Allemagne.

L'indicateur de décoloration* était à l'origine utilisé pour mettre en évidence la présence de polluants oxydants dans les aires d'archivage. Il a l'aspect d'un filtre jaune et est constitué d'argent colloïdal (appelé également argent *Carey Lea*) dispersé dans de la gélatine et couché sur un support en polyester. La finesse des particules, caractéristique de l'état colloïdal, les rend très sensibles aux phénomènes d'oxydation ou de réduction qui se traduisent rapidement par une variation de la densité optique...

L'indicateur de coloration est un papier photographique baryté qui a été fixé et lavé. Une altération de ce papier se signale par un jaunissement plus ou moins prononcé.

La mesure des deux indicateurs, avant et après vieillissement, se fait à l'aide d'un densitomètre (filtre bleu), et les résultats sont comparés à ceux produits par un papier filtre Whatman. Les matériaux qui peuvent être ainsi recommandés sont spécialement adaptés à la conservation des photographies gélatino-argentiques. Pour les autres procédés, il est conseillé de fabriquer des indicateurs adaptés. Dans le cas d'une photographie en couleurs, par exemple, il faudra ajouter trois indicateurs (une image photographique jaune, une magenta, une cyan). Les détails de ce test d'activité photographique sont décrits dans la norme ISO 14523.

LES NORMES SUR LA CONSERVATION DES COLLECTIONS

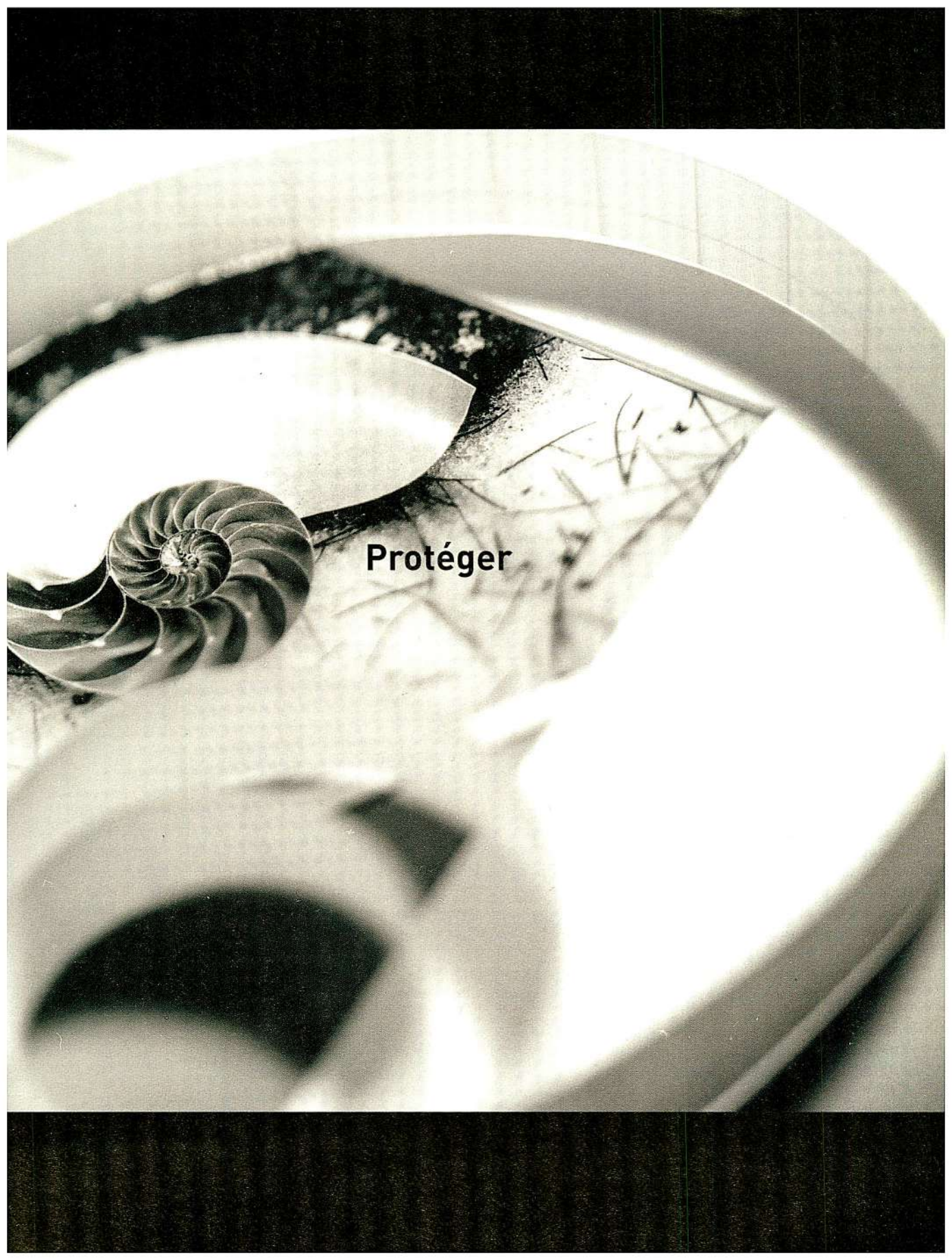
Depuis quelques années, on assiste au développement de commissions de normalisation dans le domaine de la conservation dans les archives, les bibliothèques et les musées. De nouveaux documents sont en préparation pour évaluer la durabilité et la permanence des matériaux, l'état de conservation des collections, les conditions de conservation ou d'exposition, les boîtes d'archives, etc. Leur contenu pourra fournir des éléments de réflexion aux personnes chargées de la mise en place d'archives photographiques (Tableau 9).

Tableau 9

Références et titres de quelques normes
sur la conservation des documents
d'archives et de bibliothèques.

<i>référence</i>	<i>titre</i>
BS 5454	Recommendation for storage and exhibition of archival documents
ANSI/NFPA 90A-1993	Installation of conditioning and ventilating systems
ANSI/UL 72-1990	Tests for fire resistance of record protection equipment
NAPM TR-1-1995	Imaging media technical report - Imaging material - Humidity measurement
ANSI/NFPA 232 - 1995	Protection of records
BS 3484	Specifications for blue black records inks
CD 15659 (<i>en préparation, projet</i>)	Information and documentation - Archives boards - Migration test
FDIS 11798 (<i>en préparation, texte final</i>)	Information et documentation - Permanence et durabilité de l'écriture de l'impression et de la reprographie sur des documents papier - Prescriptions et méthodes d'essai
FDIS 11799 (<i>en préparation, texte final</i>)	Information et documentation - Prescriptions pour les magasins d'archives et de bibliothèques
ISO/WD 16245 (<i>en préparation, projet</i>)	Information and documentation - Archives boxes and file covers for paper and parchment documents

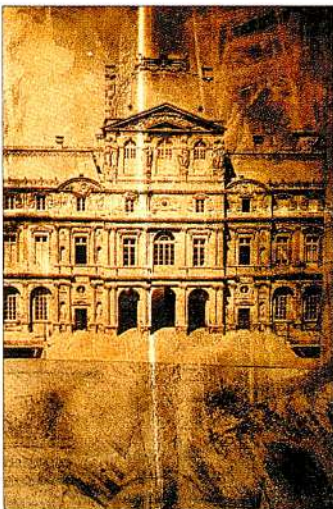




Protéger

Illustration 35

L'utilisation de pochettes et de boîtes protège efficacement les photographies contre la poussière, la lumière et un environnement nocif.



Les contenants

La protection des œuvres est assurée par un ensemble de barrières physiques qui répondent à des objectifs précis et complémentaires. On distingue trois niveaux de protection : les enveloppes et les boîtes pour le classement (niveau I), le mobilier de rangement (niveau II) et les locaux de conservation (niveau III). En conservation préventive, les contenants (niveaux I, II, III) ont une fonction qui va bien au-delà de la protection passive ou du classement et de l'organisation des collections. Ils peuvent être choisis ou conçus pour favoriser la mise en place d'un micro-environnement, ce qui implique une bonne connaissance préalable du comportement des matériaux, contenants et contenus, afin d'éviter les effets pervers. Si on ne maîtrise pas tous les paramètres, des micro-environnements indésirables – accumulation de vapeurs nocives, ou stagnation d'air humide favorable aux développements mycéliens dans une boîte, une armoire ou un local, par exemple – peuvent s'établir.

LES MATÉRIAUX DE CONTACT (NIVEAU II)

La sélection des matériaux

Les pochettes et les boîtes protègent efficacement les photographies contre les poussières, l'abrasion ou les manipulations maladroitement. Les matériaux doivent être sélectionnés avec d'autant plus de soin qu'ils seront en contact avec l'œuvre. L'indication publicitaire « conçu pour l'archivage ou la conservation des photographies » se réfère à l'organisation physique des

Illustration 36

Vue au microscope électronique de la surface d'un papier permanent. On distingue le dépôt de carbonate de calcium qui constitue la réserve alcaline.



documents, elle ne signifie pas toujours que le matériau est inerte et sans danger. Si les produits retenus pour l'archivage ont des caractéristiques chimiques bien contrôlées, il faut aussi que leur texture ne soit pas trop abrasive, une surface trop lisse pouvant toutefois entraîner des collages.

Les méthodes d'évaluation des matériaux pour la conservation

L'expérience acquise au cours de ces dernières décennies a permis de mieux apprécier la diversité des dangers qui menacent les photographies, et de mieux comprendre notamment le rôle actif que jouent les contenants dans la protection des images, ou au contraire dans leur dégradation. Les risques étaient certes connus – émanations nocives (acides, peroxydes) à court ou à long terme, migrations d'encre, de plastifiants, de composés agressifs – mais il n'existait pas de tests fiables capables de mettre en évidence une éventuelle interaction entre les matériaux de stockage et l'image photographique.

Pour conserver les photographies, on s'est d'abord orienté vers les matériaux qui avaient fait leurs preuves en conservation-restauration des documents graphiques : papiers riches en alpha-cellulose, colles d'amidon, papier japon, etc., dont la composition, le pH, le comportement dans le temps, étaient connus. Mais il fallait prendre en compte l'argent qui constitue l'image des photographies en noir et blanc, et sa sensibilité à certains polluants comme les peroxydes ou les dérivés sulfurés. Grâce au test d'activité photographique, il est aujourd'hui devenu simple de choisir les matériaux pour la conservation des photographies. Les papiers et les cartons qui le passent avec succès peuvent être utilisés pour l'archivage de longue durée des images photographiques. Pour d'autres types de matériaux (colles, adhésifs et vernis), il faut en outre s'assurer de leur comportement physique à long terme. Une colle peut, par exemple, jaunir, devenir poisseuse ou perdre ses propriétés adhésives, tout en satisfaisant au test d'activité photographique.

Les matériaux cellulosiques et la réserve alcaline

Le papier est un matériau vivement conseillé pour la conservation des œuvres, à condition bien entendu qu'il soit de bonne qualité. On sait qu'à partir du milieu du XIX^e siècle, l'industrialisation transforme radicalement les procédés de fabrication du papier : la cellulose du bois remplace celle qui provient de chiffons de lin, de chanvre ou de coton. L'encollage acide à base de colophane et de sulfate d'aluminium auquel furent soumis ces papiers est à l'origine de leur acidification. À cela s'ajoutent les effets d'un taux croissant de gaz polluants acides (oxydes d'azote, anhydride sulfuré, etc.) dans l'atmosphère. Dans les années 1970, pour limiter ce phénomène, les fabricants introduisent dans la pâte de certains papiers un composé basique, généralement du carbonate de calcium (ou de magnésium), destiné à neutraliser les acides et à assurer une plus grande stabilité au papier. Le pH de ces papiers, dits « avec réserve alcaline », n'est plus neutre mais alcalin. Depuis, les exigences se sont affinées, et on a établi⁴¹ puis normalisé⁴² les critères d'un papier « permanent » destiné à l'impression d'ouvrages. Avec le même souci de pérennité et de qualité pour la protection des œuvres, on a introduit dans les papiers destinés à la conservation des arts graphiques une réserve alcaline (mesurée selon la norme ISO 6588) en carbonate de calcium, de magnésium ou en oxyde de zinc. En ce qui concerne le papier destiné à l'archivage des photographies, les recommandations sont spécifiées dans la norme ISO 10214 : il doit être chimiquement stable, à base de fibres de coton ou de pâtes à papier blanchies, avec un pourcentage en alpha-cellulose supérieur à 87 % ; il ne doit contenir ni

Illustration 37

Traces provoquées par un ruban adhésif de mauvaise qualité, au dos d'une photographie.



colorants, ni cires, ni particules métalliques, ni produits susceptibles d'endommager l'image en migrant ou en se décomposant ; il est impératif qu'il ne renferme pas d'impuretés chimiques, en particulier du soufre réductible, de la lignine ou des peroxydes ; son encollage doit être neutre ou rendu alcalin par la présence de la réserve alcaline.

L'existence de cette réserve alcaline dans des papiers en contact avec les photographies fait l'objet de méfiance de la part de certains qui, tout en reconnaissant qu'il n'existe aucun résultat expérimental probant, craignent que ces produits alcalins n'endommagent à long terme les images⁴³. De surcroît, les normes ont pendant longtemps incité à une certaine prudence en recommandant de ranger les photographies en couleurs dans des papiers sans réserve alcaline. Pourtant, de nombreux papiers renfermant une réserve alcaline ont passé avec succès le test d'activité photographique, et on n'a encore jamais mis en évidence le moindre dommage dû à sa présence dans des conditions normales de conservation. La réserve alcaline améliore la durabilité de la pochette et peut légèrement accroître la protection des photographies contre les polluants. Toutefois, ce pouvoir de neutralisation des polluants acides est limité⁴⁴. En résumé, il n'existe actuellement aucun élément déterminant qui permette de rejeter l'emploi des pochettes contenant une réserve alcaline à condition qu'elle ne soit pas excessive (environ 2 %). Après avoir choisi un matériau dont la composition s'accorde à l'usage qu'on veut en faire et à l'environnement (Illustration 46), on s'assurera qu'il répond aux critères normalisés, en particulier qu'il passe le test d'activité photographique.

Tableau 10

Caractéristiques des papiers utilisés pour conserver les photographies.

<i>conservation des photographies en noir et blanc</i>	<i>conservation des photographies en couleurs et procédés diazoïques</i>	<i>méthode d'analyse</i>
pâte chimique au bisulfite ou pâte kraft blanchies	idem	identification des fibres par microscopie
teneur en alpha-cellulose supérieure à 87 %	idem	TAPPI 429 om 78
moins de 0,0008 % de soufre réductible	idem	TAPPI 406 om 88
pas de particules métalliques	idem	TAPPI 266 om 88
pas de lignine	idem	TAPPI 222 om 88
pas de colorants ou de pigments susceptibles de migrer après une immersion de 48 heures dans de l'eau distillée	idem	
pas de cires, de plastifiants, de peroxydes	idem	
pas d'encollage à la colophane	idem	TAPPI 416 wd 39
encollage neutre ou alcalin, si nécessaire	idem	TAPPI 504 om 84 TAPPI 466 cm 82 TAPPI 505 wd 74
réserve alcaline équivalente au minimum à 2 % de carbonate de calcium, répartie uniformément	réserve alcaline équivalente au maximum à 2 % de carbonate de calcium, répartie uniformément	TAPPI 428 pm 85
pas d'acide, pH compris entre 7,2 et 9,5	pH compris entre 7,2 et 8,0	TAPPI 529 om 88 TAPPI 509 om 88 TAPPI 435 om 88

Illustration 38

Échelle de pH.

Il semble nécessaire de revenir sur une terminologie souvent employée à mauvais escient. On constate une confusion dans l'utilisation du terme « neutre », que certains emploient dans le sens de « non agressif », « inerte » ou « sans acide » : colle neutre, plastique neutre. Ainsi tel fabricant proposait-il des boîtes en carton neutre avec un pH entre 6 et 9 !

« Neutre » correspond avant tout à une notion élémentaire de chimie et signifie que le pH est égal à 7. De même, parler du pH d'un papier est un abus de langage. Le pH concerne par définition une solution aqueuse, et si l'usage nous conduit à parler du pH d'un papier, cela sous-entend qu'il s'agit du pH mesuré après extraction en milieu aqueux, ou du pH mesuré dans une goutte d'eau en contact avec le matériau. Cette valeur est indicative, car selon le mode de mesure ou d'extraction, l'évaluation du pH peut varier notablement.

Illustration 39

Pochette en papier cristal qui, à la suite d'une humidité excessive, a adhéré à la couche photographique.

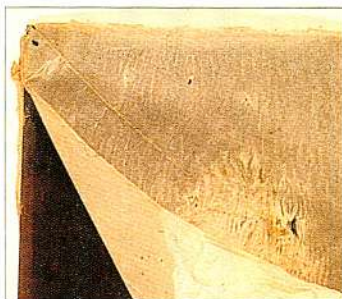
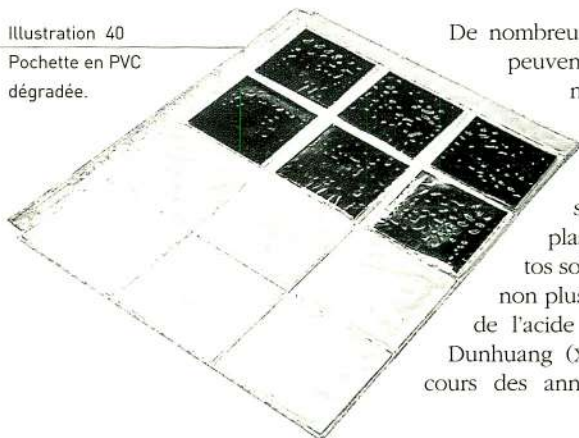


Illustration 40

Pochette en PVC dégradée.



concentration en ions hydrogène (moles par litre)		échelle de pH	
1	10^0	0	très acide
0,1	10^{-1}	1	↑
0,01	10^{-2}	2	
0,001	10^{-3}	3	
0,000 1	10^{-4}	4	
0,000 01	10^{-5}	5	
0,000 001	10^{-6}	6	neutre
0,000 000 1	10^{-7}	7	
0,000 000 01	10^{-8}	8	
0,000 000 001	10^{-9}	9	
0,000 000 000 1	10^{-10}	10	
0,000 000 000 01	10^{-11}	11	
0,000 000 000 001	10^{-12}	12	
0,000 000 000 000 1	10^{-13}	13	
0,000 000 000 000 01	10^{-14}	14	très alcalin

Le papier cristal

L'usage du papier cristal fait fréquemment l'objet de questions. Utilisé depuis plusieurs décennies par les photographes pour ranger leurs négatifs, il est proscrit dans la norme ISO 10214 pour l'archivage. La plupart de ces papiers, jadis encollés à la colophane, s'acidifient, jaunissent et se fragilisent avec le temps. Ils peuvent également renfermer des plastifiants. Une altération fréquente est liée au joint de colle : les plans-films conservés dans des pochettes en papier cristal, et dont la face émulsion était en contact avec le côté de l'enveloppe qui présentait des joints de collage, manifestent aujourd'hui des signes visibles d'affaiblissement de l'image argentique. La fréquence de ces altérations a conduit à prohiber l'emploi de ce matériau dans les collections.

Certains fabricants proposent aujourd'hui du papier cristal de meilleure qualité. La pertinence de leur emploi est encore sujette à caution : ces papiers obtenus à partir de pâtes hautement raffinées se détériorent plus vite et peuvent donc libérer des produits de dégradation et des peroxydes. Un autre problème est à signaler : celui du collage irrémédiable de la pochette sur l'émulsion si, après une immersion accidentelle, elles viennent à sécher sans être séparées.

Les polymères synthétiques

De nombreux polymères sont inadaptés à la conservation parce qu'ils peuvent libérer des produits nocifs, plastifiants, dérivés chlorés ou nitrés, acides, etc. C'est le cas du poly(chlorure de vinyle) – PVC – que l'on trouve sous forme de classeurs et de feuillets transparents pour le rangement des diapositives et des négatifs. Or c'est un matériau qui dégage en vieillissant de l'acide chlorhydrique ; il renferme également des plastifiants susceptibles de migrer et de se déposer sur les photos sous forme de fines gouttelettes. L'acétate de cellulose n'est pas non plus conseillé car, en atmosphère humide, il s'hydrolyse, génère de l'acide et se déforme. Rappelons l'exemple des manuscrits de Dunhuang (X^e siècle) de la Bibliothèque nationale de France, qui au cours des années 1950 à 1970 ont été placés dans des feuilles de

Tableau 11

Abréviations consacrées par l'usage pour désigner quelques polymères.

<i>abréviation</i>	<i>nom</i>
ABS	acrylonitrile-butadiène-styrène
CA	acétate de cellulose
CN	nitrate de cellulose
CTA	triacétate de cellulose
EVA ou E/VAC	poly(éthylène/acétate de vinyle)
PCTFE	poly(chlorotrifluoroéthylène)
PE	polyéthylène
PEN ou PENP	poly(naphtalate d'éthylène)
PET ou PETP	poly(téréphtalate d'éthylène)
PMMA	poly(méthacrylate de méthyle)
PP	polypropylène
PS	polystyrène
PTFE	poly(tétrafluoroéthylène)
PUR	polyuréthane
PVAC	poly(acétate de vinyle)
PVOH	alcool polyvinylique
PVC	poly(chlorure de vinyle)
PVDC	poly(chlorure de vinylidène)
PVDF	poly(fluorure de vinylidène)

rhodoïd (à base d'acétate de cellulose) ; les rhodoïds sont aujourd'hui en voie de dégradation et mettent en péril les manuscrits, qui ont dû faire l'objet d'une importante campagne de restauration.

Les polymères utilisés doivent être inertes, ne pas contenir de plastifiants et posséder une bonne stabilité chimique. Des matières plastiques fraîchement fabriquées peuvent produire des émanations nocives comme des monomères, des peroxydes, etc. Bien que le test d'activité photographique n'ait pas été conçu à l'origine pour des polymères synthétiques, il est conseillé de les y soumettre. S'ils sont rejetés par ce test, ils ne seront pas retenus pour archiver des photographies ; toutefois, le cas contraire ne signifie pas pour autant qu'ils soient recommandés et des analyses complémentaires s'imposent. Un bon exemple est le PVC qui tout en étant totalement prohibé par les normes de conservation, peut parfois passer avec succès ce test.

Parmi les quelques matériaux utilisables on trouve : le poly(téréphtalate d'éthylène), le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, à condition qu'ils n'aient pas reçu de traitement chimique de surface (application d'un agent antistatique, par exemple) et ne contiennent pas d'additifs nocifs pour les œuvres.

Le PET est commercialisé sous les noms d'Estar (Eastman Kodak), Mylar D (DuPont de Nemours), Terphane (Rhône-Poulenc), Melinex 516 (ICI). C'est un produit remarquablement stable dans le temps et largement employé pour la conservation

de toutes sortes de documents ; mais il est onéreux et présente l'inconvénient d'être légèrement électrostatique, ce qui peut être la source d'abrasions mécaniques des photographies.

Moins coûteux, le polyéthylène est façonnable à souhait par thermo-collage. Il est cependant moins transparent, moins rigide et moins stable

Illustration 41

Pochette en papier de mauvaise qualité qui a provoqué l'apparition d'un miroir d'argent sur l'image photographique.

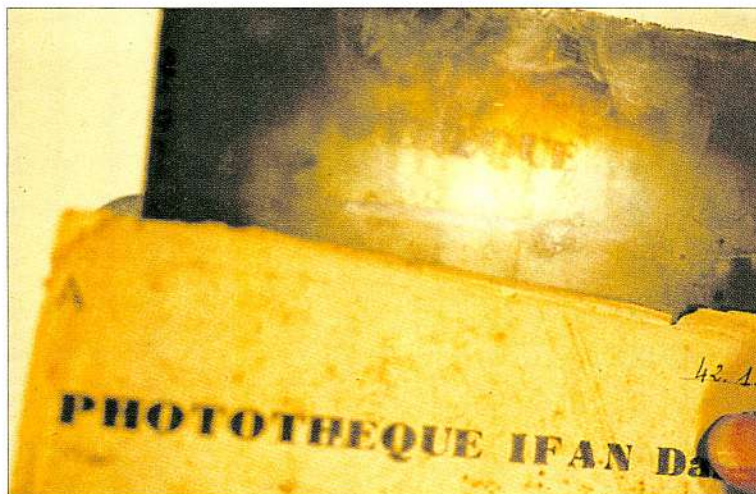


Tableau 12

Produits testés pour leur aptitude à être utilisés au contact des photographies (liste non exhaustive).

<i>catégorie</i>	<i>déconseillé :</i> non conforme à la norme ISO 10214	<i>recommandé :</i> conforme à la norme ISO 10214
matériaux cellullosiques	papier kraft papier cristal	papier permanent Canson, papier permanent Stouls, Atlantis Photostore-Silver Safe
polymères	pochettes Panodia en PVC	polyester
adhésifs	colle UHU stick colle en tube et en aérosol	méthylcellulose (tylose), Klucel G, Paraloid B72, amidon, gélatine
rubans adhésifs	3M 600 Scotch Photographic Tape	3M 415, 3M 465, 3M924, J-Lar, Permacel, Filmoplast P
marqueurs et encres	feutre Pentel NN 50 noir feutre Shashihata Artline 725 noir et bleu feutre Kaiser Schreiber noir	encre Tiflex XF 160 noire feutre Light Impression n° 2631 noir feutre Shashihata Artline 700 noir, vert, rouge et bleu feutre Stabilo write-4-all noir et rouge

chimiquement que le polyester. H. Wilhelm distingue le polyéthylène haute densité du polyéthylène basse densité. Ce dernier, selon lui, ne serait pas recommandable : outre les additifs qu'il pourrait contenir et dont les effets sur les photographies ne sont pas connus, il a tendance à se coller à l'émulsion, en particulier celle des films 35 mm. La société DuPont de Nemours commercialise le Tyvek. D'un aspect proche de celui du papier, il est constitué de fibres de polyéthylène haute densité pressées à chaud. Des traitements antistatiques ou destinés à faciliter l'impression ont conduit à diverses qualités de Tyvek répertoriées sous les sigles D, R, K, B. Le Tyvek B, qui correspond à un produit vierge de tout traitement, serait le plus approprié, tout comme un produit similaire : l'Archivek (Curtis 1000). Le seul avantage que présentent ces matériaux par rapport au papier est une plus grande résistance à la déchirure.

Le polypropylène et le polystyrène sont fréquemment employés pour des structures plus rigides : boîtes ou feuillets pour le classement des diapositives.

Les encres

On se sert d'un crayon à papier pour noter sur une enveloppe le numéro d'inventaire d'un document et pour porter des indications (référence, date, numéro, etc.) au dos d'un tirage sur papier baryté ; la mine retenue sera suffisamment tendre pour ne pas endommager la couche image. Pour un

marquage indélébile, il faut employer une encre qui ait satisfait au test d'activité photographique (Tableau 12). Certaines de ces encres peuvent migrer à travers le support en papier et apparaître sur l'image. Pour s'en assurer, un test consiste à immerger une feuille écrite avec cette encre au contact d'une feuille blanche pendant 48 heures dans de l'eau distillée afin de constater un transfert éventuel. Pour les épreuves de collection, on peut recourir au tampon sec dans la marge, en sachant toutefois que peuvent apparaître de petites cloques sur les reliefs de l'estampage. Si on doit écrire sur des tirages plastifiés (PE/RC) ou des négatifs, on utilisera des marqueurs, dont on s'assurera qu'ils ont passé avec succès le test d'activité photographique et dont les encres ne risquent pas non plus de se diffuser dans le support. Sur les négatifs, il est préférable d'écrire au dos (côté support).

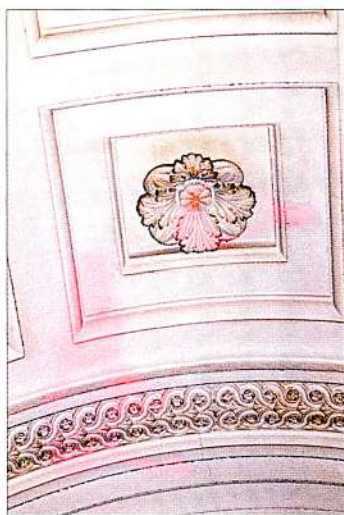
Les colles

Les adhésifs utilisés pour le montage des pochettes en papier doivent être soumis au test d'activité photographique au même titre que le papier. On préconise généralement l'usage de pochettes sans colle à quatre rabats, ou collées sur la tranche. Pour les enveloppes qui ont une zone de collage sur l'une des faces, on veillera à ne pas placer l'image en contact avec cette face. La plupart des polymères sont thermosoudés, le PET peut aussi être scellé par ultrasons. Quant aux colles destinées au montage des photographies, on se reportera au chapitre sur l'exposition.

Illustration 42

Dégradation d'un tirage en couleurs chromogène provoquée par l'usage d'une colle inadaptée.

(Photographie de M. Matthieussent, ministère de la Culture)



La création d'un micro-environnement

Lorsqu'on ne peut assurer des conditions de conservation adéquates dans l'ensemble du magasin de stockage, on crée autour des documents des micro-environnements, à l'aide de matériaux que l'on qualifie d'« actifs », récemment mis au point par les industriels. Ces nouvelles perspectives sont séduisantes, mais l'on manque encore de recul et d'expérience pour en apprécier la réelle efficacité. L'emballage hermétique des documents est une garantie efficace contre l'humidité, la poussière et la pollution lors du stockage ou d'un transit ; il protège également des conséquences d'une éventuelle inondation. La mise sous « atmosphère contrôlée », ou l'introduction de matériaux adsorbants (charbons actifs, tamis moléculaires, gel de silice, etc.) permettent de pallier certaines insuffisances. Mais il apparaît d'ores et déjà des inconvénients majeurs : ces techniques sont délicates à mettre en œuvre et exigent un personnel compétent. Enfin, l'utilisation d'emballages hermétiques limite l'accès aux documents, puisqu'il faudra à chaque consultation rompre l'équilibre établi et rétablir ensuite les conditions initiales.

L'adsorption et les interactions gaz-solide

Lorsqu'un objet est placé dans un environnement défavorable, il se dégrade. Cette altération se développe à sa surface, mais la surface réelle d'un objet ne se limite pas à celle que l'on peut percevoir à l'œil nu et qui est définie par ses contours palpables. À l'échelle moléculaire, de nombreux matériaux sont de véritables gruyères. Pour rendre compte de cette structure poreuse, différente selon les matériaux, les physiciens ont introduit la notion de *surface spécifique*, qui représente la surface accessible aux gaz qui se trouvent dans l'atmosphère ; elle s'exprime en mètre carré par gramme de matière. L'interaction entre des vapeurs et un solide n'aura lieu qu'aux endroits où le gaz est en contact avec la matière : plus la surface spécifique sera élevée,

plus la réaction sera importante. Ce phénomène est parfaitement illustré par l'action des polluants sur l'image argentique. Les tirages par noircissement direct du XIX^e siècle sont constitués de particules d'argent beaucoup plus fines que celles des procédés modernes à développement. Pour une même quantité de métal présent dans la gélatine (approximativement pour une même densité d'image), la surface spécifique de l'argent est bien plus grande dans les procédés anciens : il sera donc plus vite dégradé par les gaz polluants. D'une façon générale, les interactions vapeur-solide ont des implications importantes du point de vue de la conservation. Elles conditionnent les échanges entre un matériau et son environnement, et permettent également de développer des techniques spécifiques pour maîtriser cet environnement.

Dans la masse d'un matériau, la distribution spatiale des charges qui entourent les atomes ou les molécules est équilibrée. À la périphérie du matériau, cet équilibre disparaît. Les molécules ou les atomes qui se trouvent à la surface compensent la discontinuité du champ de forces, en fixant les molécules de gaz ambiant (eau, acide, etc.) avec lesquelles ils ont le plus d'affinité.

Si les liens qui se créent entre le solide et le gaz sont des interactions de faible énergie (du type forces de van der Waals), on appelle ce phénomène *adsorption physique* ou *physisorption*. Quand les interactions sont plus énergétiques et identiques à celles des liaisons chimiques, on parle d'*adsorption chimique* ou *chimisorption* ou encore d'absorption. La chimisorption traduit une transformation physique ou chimique du substrat. Ces phénomènes sont appliqués à certains processus de traitement de l'air, comme les filtres réactifs en alumine activée imprégnée de permanganate pour neutraliser le dioxyde de soufre, les granules d'oxyde de zinc (Catalyst 75-1, ICI) utilisés pour piéger l'hydrogène sulfuré⁴⁶ ou les pièges à oxygène (Ageless). Non seulement ils captent les gaz, mais ils les décomposent en produits inoffensifs. Il en est de même des sels déshydratants tels que le chlorure de lithium, qui réagissent avec l'eau et se transforment en sel hydraté.

L'adsorption physique n'est pas un phénomène figé : elle se traduit par un échange constant entre les molécules de gaz qui sont fixées sur le matériau et celles qui sont dans l'atmosphère. En phase d'équilibre, le nombre de molécules de gaz à la surface est constant : lorsque certaines sont désorbées, elles sont remplacées par de nouvelles. Des variations de pression ou de température modifient cet équilibre. Si la température augmente, l'agitation thermique des molécules va libérer un certain nombre d'entre elles et le taux de produit adsorbé va décroître ; au-dessus de 100 °C, les molécules se désorbent. Lorsque la pression ou la concentration du gaz augmente, on observe l'inverse : un plus grand nombre de molécules se déposent à la surface du solide.

Les phénomènes de physisorption conditionnent la quantité d'eau retenue par les matériaux organiques comme la gélatine, le papier, les polymères. Ils permettent la création de micro-environnements par purification de l'air avec l'adsorption des polluants sur charbon actif, stabilisation de l'humidité relative sur du gel de silice, etc.

L'utilisation d'un contenant hermétique

Ce mode de conditionnement a été utilisé pour stocker les films en couleurs à basse température. Le choix d'un ensachage hermétique, éventuellement sous vide, élimine les risques éventuels d'altération dus aux polluants, aux poussières, à la vapeur d'eau, aux inondations, mais il ne convient pas pour de grandes collections, car il serait à la fois trop long à mettre en œuvre et très coûteux.

Illustration 43

Le conditionnement des films sous faible humidité puis l'ensachage sous vide dans une enveloppe hermétique est l'une des solutions proposées pour le stockage à basse température des films cinématographiques (procédé Fica).



De nombreux polymères étant perméables à la vapeur d'eau, il faut s'assurer des propriétés des matériaux que l'on emploie. Les plus performants dans ce domaine sont constitués par un sandwich de couches de natures différentes qui comprend une feuille d'aluminium. Ainsi les pochettes Kodak (*Kodak Storage Envelop for Processed Film*) se composent d'une feuille de papier et d'une feuille d'aluminium serties entre deux feuilles de polyéthylène. L'opacité du contenant ne permet pas de voir l'objet sans ouvrir la pochette.

Pour l'archivage des films cinématographiques, l'Institut suédois du film a mis au point le système Fica (*Film Conditioning Apparatus*) qui est en exploitation dans plusieurs pays. La machine Fica comporte un dispositif d'embobinage, une armoire de conditionnement, un système de mise sous vide et de scellage des pochettes. Le film est d'abord rembobiné sous faible tension, puis mis en condition à 25 % HR pendant une semaine ; il est ensuite scellé sous vide dans un sac constitué de polyéthylène et d'aluminium, hermétique à l'air et à l'humidité. Pour une petite collection, si l'on a accès à une unité de conditionnement Fica (Illustration 43), ce système est une solution intéressante. Il permet de stocker les documents dans une chambre froide ordinaire sans se soucier des conditions hygrométriques, et de prolonger ainsi de beaucoup l'espérance de vie des films en couleurs et sur supports en triacétate, à condition toutefois d'inspecter de temps en temps quelques films pour s'assurer que le support ne dégage pas d'émanations acides. Il n'est pas prudent d'utiliser le système Fica pour une conservation à température ambiante⁴⁷.

Il permet de stocker les documents dans une chambre froide ordinaire sans se soucier des conditions hygrométriques, et de prolonger ainsi de beaucoup l'espérance de vie des films en couleurs et sur supports en triacétate, à condition toutefois d'inspecter de temps en temps quelques films pour s'assurer que le support ne dégage pas d'émanations acides. Il n'est pas prudent d'utiliser le système Fica pour une conservation à température ambiante⁴⁷.

L'utilisation d'un contenant hermétique à atmosphère contrôlée

Pour éviter la stagnation des vapeurs nocives, on introduit dans l'emballage destiné à conserver les œuvres un composé capable de neutraliser les gaz délétères. La plupart des ces composés ont toutefois une activité limitée dans le temps, ce qui sous-entend de procéder tôt ou tard à un important travail de reconditionnement.

Stabilisation de l'humidité

Dans de faibles volumes hermétiquement clos (boîtes de films, caissons, armoires, vitrines, etc.), l'humidité est contrôlée par l'usage de gel de silice ou de composés fortement hygroscopiques. Ils sont largement utilisés dans les musées, et on trouve dans le commerce une gamme variée de produits avec des conditionnements adaptés (Illustration 53). Ils ne sont pas efficaces pour neutraliser les gaz polluants, mais la stabilisation ou l'abaissement de l'hygrométrie qu'ils permettent évitent les risques biologiques et ralentissent les phénomènes d'hydrolyse.

Captage des acides

Pour capter l'acide libéré par la dégradation des supports en acétate de cellulose et limiter ainsi les processus de décomposition autocatalytique, Kodak recommande l'ajout de zéolites (Illustration 44). Ceux-ci adsorbent l'acide acétique, la vapeur d'eau, l'ammoniac, le dioxyde de soufre, le peroxyde d'hydrogène, l'hydrogène sulfuré et divers solvants. L'utilisation

Illustration 44

Utilisation des tamis moléculaires pour le stockage des films cinématographiques. Les zéolites (naturelles ou artificielles) sont des aluminosilicates possédant une structure en réseau tridimensionnel de polyèdres formés par assemblage de tétraèdres SiO_4 et AlO_4 . Ce sont des composés poreux qui jouent le rôle de tamis moléculaires en piégeant les molécules dont la taille est de l'ordre de celles de leurs micropores. Pour l'acide acétique, on recourt à des tamis moléculaires de type 4A (diamètre des pores de 4 angströms). Chaque bobine de film est entourée d'un chapelet de petits sacs renfermant chacun 12,5 g de zéolites et représentant au moins 2 % du poids du film [tamis moléculaires : catalogue Kodak n° 859 7684]. La boîte ou le sac doivent être fermés hermétiquement, pour éviter que le tamis n'absorbe l'humidité extérieure au détriment des gaz. Les travaux de T. Ram et D. Koppert⁵⁰ semblent indiquer une certaine amélioration de la durée de vie du support et des colorants jaune et magenta, lorsque le film est stocké en présence de ces tamis moléculaires. L'adsorption des composés organiques produit un léger effet pervers : les films sur support en triacétate présentent une rétraction un peu plus importante, d'environ 0,6 %. On attribue ce phénomène à l'extraction des traces résiduelles des solvants utilisés lors de la fabrication des supports en triacétate. Ce type de conditionnement n'assure pas une efficacité permanente et il faut renouveler régulièrement les tamis moléculaires. Il est impossible de donner avec précision la fréquence de remplacement qui dépend des conditions thermohygrométriques, de l'état des films et de la quantité de zéolites que l'on a introduite. En utilisant à raison de 75 g pour 600 m de films 35 mm, on estime qu'un renouvellement est nécessaire tous les deux à trois ans à 21 °C, et tous les dix à quinze ans à 2 °C, avec une humidité comprise entre 20 % et 30 %. En neutralisant les acides, les tamis moléculaires se détruisent : il n'est donc pas possible de les régénérer. La société Fuji a introduit un produit similaire portant le nom de Keepwell.



des tamis moléculaires a été expérimentée dans des cinémathèques françaises (musée Albert-Kahn, Archives du film), belges, britanniques, américaines, australiennes et japonaises. Ces tamis moléculaires ralentissent notablement la détérioration des films lorsqu'ils sont pré-

sents à raison de 5 % du poids du film. Toutefois, il semblerait que cet effet bénéfique soit plus lié à leur capacité à dessécher l'air qu'à celle de neutraliser les gaz acides. Des résultats similaires ont en effet été obtenus en conditionnant le film à 20 % d'humidité relative. En outre, les tamis moléculaires sont inefficaces sur des films en cours de dégradation⁴⁸ : les rouleaux de films forment des structures compactes et l'acide acétique ne se diffuse que très lentement ; cet état favorise une accumulation dangereuse d'acide à l'intérieur du film, qu'il y ait ou non un piège à acide à l'extérieur des bobines⁴⁹.

L'utilisation de tamis moléculaires dans les grands centres d'archivage de films pose des problèmes de coût et de manipulation. L'analyse du rapport coût/bénéfice semble plus en faveur d'un abaissement de la température qui permet par ailleurs de ralentir la dégradation des colorants des films couleurs chromogènes. En revanche, pour des plans-films ou des collections de bandes négatives en pochettes, l'insertion de zéolites dans les boîtes peut être profitable.

Élimination de l'oxygène

L'oxygène intervient dans de nombreux processus de dégradation des constituants organiques, et réduire sa concentration à un niveau suffisamment bas pour que les réactions d'oxydation cessent, augmente la durée de vie de ces matériaux⁵¹. La conservation des biens culturels dans un milieu appauvri en oxygène met à profit des innovations récentes issues de l'industrie alimentaire pour accroître la durée de conservation des denrées comestibles. L'application qui connaît actuellement le plus de succès dans les musées et les archives est le traitement de désinfestation par anoxie (voir p. 166). D'autres développements sont à l'étude, en particulier pour conserver des polymères instables ou des colorants fragiles⁵². Le succès de telles méthodes dépend des propriétés physiques et chimiques du conditionnement utilisé, qui doit assurer à long terme une barrière efficace contre toute infiltration d'oxygène.

Le composé absorbant l'oxygène est à base de poudre métallique (fer, parfois cuivre) et de chlorure de sodium, conditionnés dans de petits sacs étanches mais perméables à l'oxygène. Lorsque ces sacs sont exposés à l'air, le métal consomme très rapidement l'oxygène en se transformant en oxyde. Il existe toute une gamme de produits à base de poudre de fer dont les performances sont liées au volume et à l'humidité relative de l'environnement à traiter⁵³. Pour la conservation des œuvres, on utilise de l'Ageless Z (Mitsubishi Gas Chemical Company). Les sachets d'Ageless sont placés avec les documents dans un emballage étanche qui est fermé hermétiquement. Si la quantité de produit insérée est suffisante, le taux d'oxygène passe de 20 %

à moins de 0,1 %. Cette réaction s'accompagne de deux phénomènes à surveiller : le contenant entre en dépression et peut se déformer, entraînant une contrainte sur les documents qu'il renferme ; la transformation du fer en oxydes (magnétite et akaganéite) est exothermique et la température du réactif peut atteindre 42 °C⁵⁴ : il est donc préférable d'éviter le contact direct des sachets d'Ageless avec les documents.

Pour assurer une conservation pendant des dizaines d'années, dans une atmosphère dépourvue d'oxygène, il faut non seulement éliminer l'oxygène lors du conditionnement mais s'assurer également qu'il ne pénètre pas lentement dans l'emballage par diffusion ou au travers de microperforations. Seuls des sacs en polymères stratifiés comprenant une couche d'aluminium, tel le Marvelseal, ont une perméabilité à l'oxygène quasi nulle. Ils sont malgré tout fragiles, puisqu'à l'endroit de pliures répétées, des microfissures de la couche imperméable d'aluminium peuvent survenir. Il existe également quelques films plastiques (à base de PVDC, PCTFE, PET, etc.) dont on peut espérer que leur très faible perméabilité permettra une utilisation de longue durée. Il est possible d'utiliser des pastilles indicatrices (Ageless Eye) dont la couleur vire de rose à violet au-dessus de 0,5 % d'oxygène. Il faut alors employer un film transparent, et savoir que la stabilité à la lumière et dans le temps de ces pastilles reste très limitée.

Si au niveau du laboratoire, les résultats sont prometteurs^{55, 56}, on manque encore de recul pour savoir si un tel dispositif peut être opérationnel pour la conservation des photographies.

L'utilisation d'un contenant filtrant

Le MicroChamber[®]

En 1993, la société américaine Conservation Resources introduit sur le marché le MicroChamber[®], une nouvelle génération de papiers et de cartons. Ces produits sont commercialisés par d'autres sociétés sous le nom Alphamat ou Artcare. Ces matériaux sont constitués d'un assemblage de couches de papier ayant chacune une composition chimique différente : un papier avec une réserve alcaline pour la face externe, un papier avec réserve alcaline, charbon actif et tamis moléculaires (zéolites) comme couche intermédiaire,

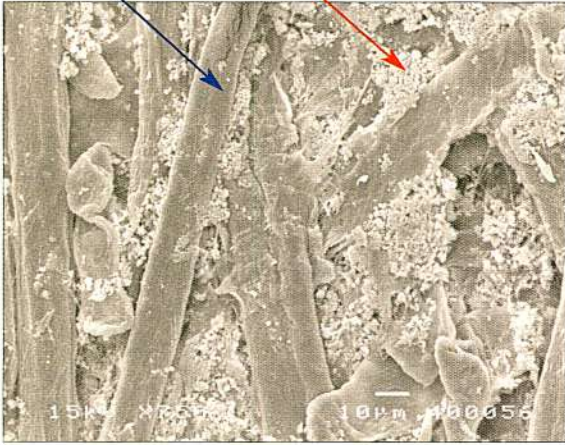
Tableau 13

Diffusion de la vapeur d'eau et des gaz dans différents matériaux⁵⁷ [calculée avec la norme NF H00-030].

<i>matériau</i>	<i>épaisseur (microns)</i>	<i>diffusion de la vapeur d'eau grammes par m² par 24 h</i>	<i>diffusion de l'oxygène cm³ par m² par 24 h (25 °C, dP = 1 atm)</i>	<i>diffusion du gaz carbonique cm³ par m² par 24 h</i>
polystyrène	800	120,0	10 000	25 000
polychlorofluoroéthylène	100	1,0	200	520
polyester	35	15,0	60	180
acétate de cellulose	25	> 600,0	1 900	3 900
pochette composite : polyéthylène 20/1 000 cellulose 64 g/m ² aluminium 9/10 000	40	0,2	< 5	< 5

Illustration 45

Vue au microscope électronique à balayage d'un carton MicroChamber®. On distingue la présence des zéolites entre les fibres du carton.



de l'alpha-cellulose pure à pH neutre pour l'autre face. Les émanations nocives générées par le document ou les gaz polluants qui proviennent de l'extérieur sont captés et neutralisés par le charbon actif et les tamis moléculaires dispersés dans les fibres. Ils évitent ainsi l'accumulation de produits agressifs et agissent comme un filtre pour les impuretés de l'air ambiant. Les essais préliminaires sont très positifs et montrent une protection accrue des documents. Il reste à déterminer l'efficacité et la durabilité de cette protection⁵⁸ dans des conditions réelles d'utilisation.

Le polyéthylène antistatique ou anticorrosion

Ces films – commercialisés sous les noms de *Static Intercept Films* et *Corrosion Intercept Polyethylene Films* – destinés à l'origine à l'emballage et à la protection du matériel électronique sont en polyéthylène combiné à des atomes de cuivre qui, en s'oxydant, interceptent les gaz corrosifs et protègent ainsi les documents contenus dans l'enveloppe ; mais aucune recherche n'a encore été

consacrée à l'évaluation de l'efficacité de cette protection et à son innocuité. Signalons que la présence du cuivre apporte au polymère certaines des propriétés d'un matériau conducteur. Il n'y a donc pas d'accumulation de charges électrostatiques. Pour des médias magnétiques, ces films peuvent servir également de cage de Faraday et protéger des rayonnements électromagnétiques (voir p. 222).

Le type de conditionnement

Si la collection le permet, il est souhaitable de ne pas mélanger les types d'images, en séparant les négatifs des tirages, par exemple. L'idéal serait également de regrouper les phototypes de même nature et qui réclament des conditions de conservation spécifiques : tirages en noir et blanc, photographies en couleurs, négatifs sur support acétate, négatifs sur support nitrate, etc.

La manipulation des tirages de collection ou de négatifs se fait avec des gants en coton. L'utilisation de rubans en caoutchouc (élastiques) pour maintenir des liasses de photographies, des rouleaux de films ou fermer des boîtes est à proscrire, car en vieillissant, ils génèrent des émanations nocives pour les photographies.

Quel contenant choisir ?

Les pochettes

La nature et la forme des contenants sont déterminées par les conditions d'exploitation : manipulations fréquentes, expositions temporaires, archivage de sécurité, etc. Pour les pochettes, on emploie du papier ou des polymères de synthèse (PET, PE, PP) qui ont l'avantage d'être transparents ; mais ils présentent l'inconvénient d'enfermer, à l'intérieur du contenant, les émanations produites par la photographie, son carton de doublage ou certains adhésifs. Ils sont donc à éviter pour les matériaux instables (esters de cellulose). De plus, en cas de condensation interne provoquée par un refroidissement, la gélatine risque d'adhérer à l'enveloppe en plastique et des micro-

Illustration 46

Choix du type de matériau pour les pochettes.

Le choix du contenant est une décision qui doit prendre en compte divers paramètres. Cet arbre de décision permet de déterminer quel matériau, du polyester ou du papier, est le plus approprié.

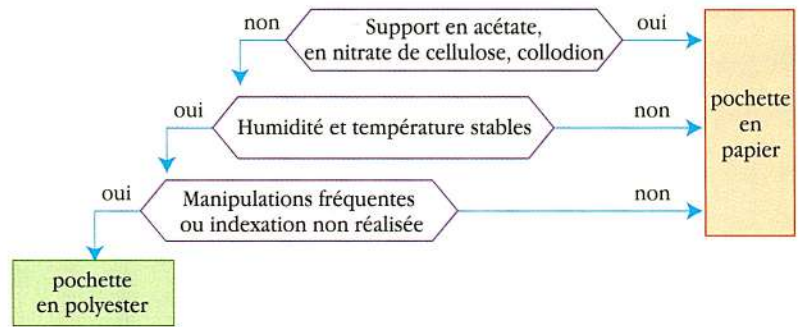


Illustration 47

Pochette en papier à quatre rabats.

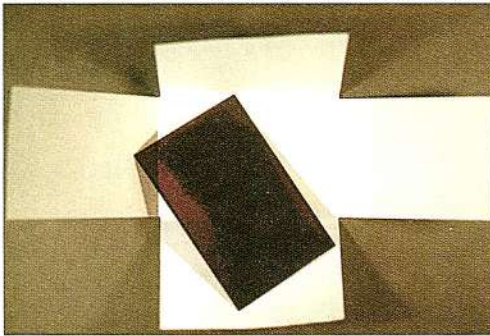
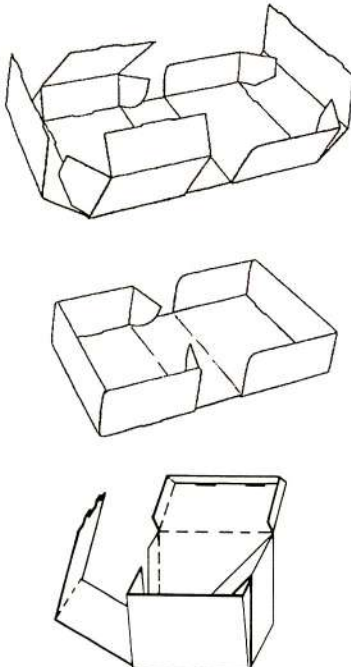


Illustration 48

Modèles de boîtes pliables pour le rangement des photographies.



organismes peuvent proliférer. Il faudra également s'assurer de leur comportement lors d'une élévation accidentelle de la température (incendie). Après un test de chauffage de 4 heures à 150 °C, le matériau ne doit ni s'enflammer, ni dégager de substances réactives, ni se déformer, ni fondre au point d'endommager la photographie qu'il contient et la rendre irrécupérable⁵⁹.

Sauf dans le cas où des manipulations fréquentes pourraient être à l'origine d'altérations (souillures, traces de doigts, poussières, etc.), on préférera donc les pochettes en papier qui sont perméables aux gaz et régulent bien l'humidité.

Selon le format des documents et leur fragilité, on a le choix entre différents modèles ouverts sur un ou deux côtés, avec ou sans rabats.

Les albums

Les feuillets pour classer les diapositives ou les négatifs sont rassemblés dans des classeurs en carton, en PE ou en PP, qui sont ensuite placés dans des coffrets adaptés, ou rangés dans des armoires.

Les boîtes

Les boîtes dans lesquelles sont vendues les surfaces sensibles ne doivent pas être utilisées pour la conservation, car elles sont en carton de mauvaise qualité. Les boîtes de rangement sont fabriquées avec des matériaux qui ne présentent pas de danger pour les documents (conformes aux normes ISO 14523 et 10214) : carton avec réserve alcaline, aluminium anodisé, métal peint, polymères synthétiques éprouvés pour leur innocuité, etc. Les polymères utilisés pour les boîtes doivent contenir des agents antioxydants ainsi que des agents ignifugeants non halogénés comme l'oxyde d'antimoine. Les caractéristiques et la solidité des boîtes doivent être vérifiées conformément aux normes en vigueur⁶⁰.

Le carton ondulé a plusieurs avantages : il permet de disposer, à faible coût, de boîtes légères que l'on peut monter soi-même, d'où un gain important de place lors du transport. Mais il n'est pas toujours de bonne qualité et il résiste mal à un usage répété ; en cas d'incendie, il s'enflamme et se consume rapidement.

Les boîtes, en particulier celles qui doivent contenir des supports instables (CA, CN), ne seront pas fermées hermétiquement afin de permettre à l'air de circuler (à moins qu'elles ne contiennent un composé adsorbant).

Tableau 14

Avantages et inconvénients du papier et du polyester.

<i>type</i>	<i>avantages</i>	<i>inconvénients</i>
■ papier	<ul style="list-style-type: none"> • effet tampon vis-à-vis de l'humidité • perméable aux émanations nocives internes • avec ou sans réserve alcaline, neutralise certains polluants 	<ul style="list-style-type: none"> • opaque • se déchire • perméable aux polluants externes
■ polyester (PET)	<ul style="list-style-type: none"> • transparent • résistant • inerte et stable • protège des polluants 	<ul style="list-style-type: none"> • électrostatique • faible perméabilité : collage possible en cas de condensation • confine les documents dans leurs émanations

Le rangement des tirages

Les tirages destinés à être exposés fréquemment sont montés sous passe-partout. S'ils font l'objet de consultations et de manipulations répétées, on optera pour une pochette en PET que l'on pourra rigidifier en introduisant une feuille de carton. L'encapsulation, peu développée en France, présente l'avantage d'éviter tout contact avec le document tout en laissant parfaitement visibles ses deux faces (pour lire éventuellement une annotation ou une marque faite au dos par le photographe) : la photographie est enfermée entre deux feuilles de polyester soudées sur les bords, ou assemblées par un ruban adhésif à double face (type 3M 415). Toutefois, un document qui reste ainsi monté de nombreuses années risque d'être confiné dans une atmosphère chargée d'émanations nocives, surtout si la photographie est montée sur un carton de qualité médiocre. Pour des tirages d'archives qui ne sont que très rarement exploités, il est préférable d'employer des pochettes en papier.

À l'intérieur des boîtes, les tirages sont disposés à plat en petit nombre, pour éviter une pression trop importante sur les documents placés au fond.

Le rangement des négatifs

Les films souples en acétate de cellulose sont de préférence découpés en bandes de quelques vues et rangés dans des pochettes en papier pour éviter l'accumulation des émanations d'acide acétique. Les plans-films sur support en polyester peuvent être placés dans des pochettes en papier ou en polyester.

Le rangement des diapositives

On a consacré peu d'études aux effets physiques ou chimiques des caches, qu'ils soient en carton, en plastique ou en verre, utilisés pour le montage des diapositives. Jusqu'à présent aucune altération spécifique à un type de montage ou de cache n'a été décrite. Le montage sous verre ne fait pas l'unanimité : il protège l'émulsion de la poussière et des traces de doigts, mais il est à l'origine, lors de la projection, d'échauffements, de déformations et de condensations qui peuvent conduire à un collage ou à un développement de moisissures.

Les diapositives montées sous des caches en verre peuvent être placées dans des boîtes ou des tiroirs au format adapté, ou bien rangées dans des

Illustration 49

Archivage des films cinématographiques acétate dans des boîtes en polyéthylène.

(© Archives du Film, CNC)



Le support en triacétate de cellulose des films se dépolymérise moins vite dans une boîte en métal que dans une boîte en plastique, mais il s'acidifie plus vite. En effet, les études en laboratoire montrent que dans une boîte en plastique, l'acide acétique est absorbé par le plastique et réagit en partie avec ce dernier, ce qui a pour effet de diminuer le taux d'acide mais d'augmenter celui de peroxydes. Ces molécules formées au cours des réactions chimiques favorisent la rupture du polymère en triacétate. Dans une boîte métallique, l'acide acétique n'étant pas absorbé, le métal est corrodé ; en revanche, les peroxydes sont neutralisés par les ions métalliques⁶¹.

feuilles de classeur en polyéthylène ou des feuillets rigides en polypropylène. Dans le cas de caches sans verre, il est conseillé de mettre les diapositives dans un manchon en polyester avant de les ranger. Si les diapositives ne sont pas montées, on les traitera comme les négatifs souples.

Le rangement des rouleaux de films

Le mode de stockage

Dans des rouleaux de films 35 mm (microfilms, films cinématographiques), le film doit être convenablement serré (tension causée par une force de 0,3 newton) tout en évitant une tension excessive. Les bobines d'une longueur supérieure à 150 m sont rangées à plat, les autres peuvent être rangées verticalement, à condition d'être embobinées autour d'un noyau avec flasques ou maintenues par leur centre sur un axe pour éviter l'écrasement du film. Le noyau des bobines doit être fabriqué dans un matériau inerte, du même type que ceux qui sont recommandés pour les boîtes.

La nature des contenants

Les modes de conditionnement les plus courants pour les films cinématographiques sont les boîtes métalliques (fer étamé) et les boîtes en plastique (PP). On recommande l'utilisation de boîtes métalliques recouvertes d'une peinture cuite au four ou de boîtes en plastique stabilisé et ignifugé : polyéthylène, polypropylène ou polystyrène (norme ISO 5466). Les effets à long terme de ces deux types de contenants sur la conservation du film ont été étudiés comparativement (Illustration 49)⁶¹. Il semble actuellement difficile de déterminer si l'un est préférable à l'autre.

L'évacuation des contaminants

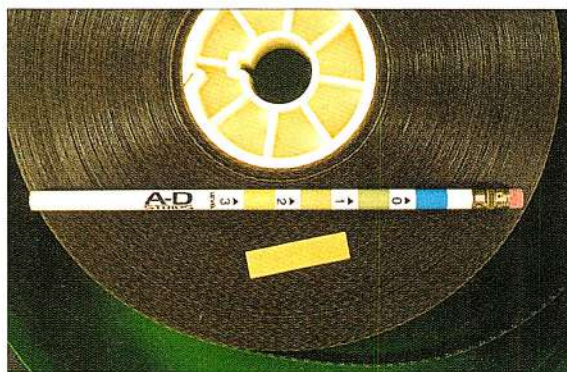
Un rouleau de film cinématographique représente une quantité importante de triacétate de cellulose, et il y a danger d'accumulation d'acide acétique à l'intérieur de la boîte et d'accélération de la dégradation. Il est donc conseillé d'utiliser des contenants dont la configuration autorise une certaine ventilation ; il est toujours possible de pratiquer une ouverture d'un centimètre de diamètre dans la partie inférieure de la boîte⁶². Il faut également que l'air de la salle de stockage soit régulièrement renouvelé. Pour éviter la dissémination d'acide dans l'aire de stockage, on peut adopter la solution préconisée par Kodak en insérant des tamis moléculaires capables de neutraliser les produits de décomposition. Il faut bien sûr prévoir des boîtes d'un diamètre suffisant pour entourer chaque film d'un chapelet de pochettes en Tyvek contenant des zéolites (Illustration 44).

L'indicateur de dégradation

C'est une pastille ou un morceau de papier filtre imprégné d'un réactif coloré dont la couleur change en présence de quelques ppm (parties par million) d'acide acétique. Ils sont utilisés pour donner une information immédiate sur l'état du film ou pour un suivi continu^{63, 64}. L'Image Permanence Institute commercialise, pour une mesure instantanée, des indicateurs à base de vert de bromocrésol (A-D Strips). On place une bandelette dans la boîte d'archivage du film pendant 24 heures (cette durée est étendue à plusieurs jours si l'humidité et la température de stockage sont faibles). En comparant la couleur que prend l'indicateur avec une charte de référence, on en déduit l'état de conservation du support. Certaines boîtes (Dancan, procédé Dancheck) sont conçues avec une petite fenêtre qui permet de voir la couleur d'une pastille indicatrice sans ouvrir le contenant et de repérer ainsi rapidement sur les étagères les bobines en voie de décomposition.

Illustration 50

Indicateur d'acidité (A-D Strips) avant et après 24 heures d'exposition au contact du film. Le passage de la couleur bleue à la couleur jaune traduit un état d'altération avancé du support.



LES MATÉRIAUX DE PROXIMITÉ (NIVEAU II)

La sélection des matériaux

Les méthodes d'évaluation

Si le test d'activité photographique peut être appliqué, on l'a vu, à certains matériaux qui seront en contact avec les photographies, le test de W. Oddy^{65, 66, 67} donne de précieuses informations sur les risques d'émanations nocives des matériaux de construction. Sa mise en œuvre est simple : il suffit de placer dans un tube scellé, à une humidité élevée (80 à 100 % HR), une lamelle métallique polie (cuivre, plomb, argent, etc.) avec un fragment du matériau à tester. Après une période de deux à quatre semaines, à une température fixée entre 30 et 60 °C, on évalue visuellement ou quantitativement, par pesée, l'importance de la couche de corrosion provoquée par le matériau testé à la surface de l'échantillon métallique. Ce résultat peut être comparé à ceux produits par un matériau éprouvé comme du papier filtre.

Le bois

Outre le fait qu'il est inflammable, le bois (massif, contreplaqué, mélaminé, etc.) est à éviter pour la conservation des photographies, en raison des émanations de peroxydes, d'acides organiques (acide acétique^{68, 69}) et d'autres composés comme le formaldéhyde qui provient des résineux, du bois aggloméré⁷⁰ ou des laques. Les panneaux de bois surfacés sont moins nocifs, mais les émanations se produisent par les bords.

Illustration 51

Mise en œuvre du test d'Oddy qui permet d'estimer l'agressivité des matériaux en utilisant des coupons métalliques.



Illustration 52

Réserves pour le stockage des photographies de diverses institutions.

- ❶ Stockage des plaques au collodion aux Archives nationales des États-Unis, à College Park.
- ❷ Centre canadien d'architecture. (Photographie de Michel Boulet, © CCA, Montréal)
- ❸ Archivages des négatifs sur verre aux archives photographiques du ministère de la Culture, à Saint-Cyr-l'École.
- ❹ Maison européenne de la photographie à Paris. (© A. Cartier-Bresson)



Le métal

Les éléments métalliques sont recommandés à condition d'être protégés contre la corrosion : aluminium anodisé, acier inoxydable de qualité, métal émaillé ou protégé par une peinture. Très répandu, le métal peint peut poser des problèmes. Les éléments métalliques recouverts de peinture sont séchés dans un four, et si la cuisson est insuffisante, des solvants subsistent. On a constaté dans plusieurs institutions la présence d'émanations nocives durables⁷¹ : c'est ainsi, par exemple, qu'une odeur trop marquée et persistante, qui se dégageait d'un meuble métallique destiné à la conservation de négatifs sur plaques de verre, a conduit les Archives nationales des États-Unis à Washington à le renvoyer au fabricant pour une nouvelle cuisson. Il existe un test simple qui consiste à frotter vigoureusement la surface laquée avec un chiffon imprégné de méthyle éthyle cétone (solvant toxique) : une trace prononcée de peinture sur le chiffon peut révéler une cuisson insuffisante.

Pour éviter ces inconvénients, on rejettera les peintures à base de solvants, au profit des peintures en poudre thermodurcissable qui ne présentent pas de risques d'émanations. Composées approximativement de deux tiers de liants (résine et durcisseurs) et d'un tiers de pigments, charges et adjuvants, elles sont fixées électrostatiquement sur le support. Un film d'environ 0,1 mm d'épaisseur se forme par fusion dans un four après une vingtaine de minutes entre 140 et 180 °C. La diversité de ces peintures réside dans le choix du liant, dont il existe cinq types : époxy, époxy-polyester, polyester-TGIC (triglycidyl-isocyanurate), polyuréthane et acrylique. Les trois premiers cités sont les plus fréquemment appliqués en peinture décorative de mobilier et semblent ne présenter aucun risque pour la conservation des photographies.

Le choix d'une peinture de couleur claire permet de détecter plus rapidement la présence de micro-organismes, d'insectes, d'éclats de peinture, etc.

Le mobilier

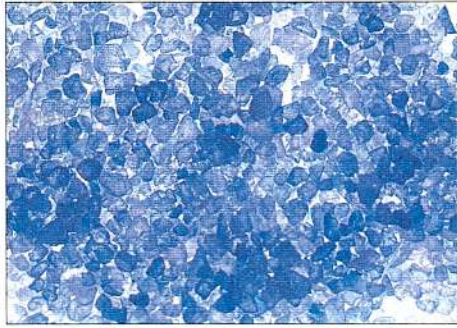
L'organisation de l'espace de conservation permet l'accès rapide et en toute sécurité aux documents. Le choix entre un stockage ouvert (étagère) ou fermé (armoire) doit prendre en compte des paramètres comme la sécurité, la poussière, la lumière, les microclimats, etc. On veillera à choisir des structures adaptées au poids des documents qu'elles sont censées supporter, en particulier pour les collections de plaques de verre. Il est souhaitable de prévoir des tables et des chariots qui permettront de poser les œuvres lors des manipulations, et éventuellement de les déplacer. Les meubles en bois, pour les raisons précédemment citées, sont déconseillés. S'ils doivent être utilisés pour des raisons économiques, esthétiques ou historiques, les surfaces intérieures devront être peintes (peinture acrylique) ou vernies et l'on veillera ensuite à assurer une ventilation pendant quelques mois avant d'entreposer les fonds. Un vernis polyester ou polyuréthane peut réduire notablement les émanations nocives⁷² ; toutefois, à la longue, elles se diffusent à travers la couche, d'autant plus vite que celle-ci est fine ou irrégulière. L'application d'un film thermocollant (PE/aluminium/Nylon ou PE) comme le Marvelseal 360, le Marvelguard, le Moistop 622, est plus efficace. On peut également couvrir les parois avec des cartons ou des tissus renfermant des charbons actifs (*charcoal cloth*)^{73, 74}.

Les étagères métalliques (voir p. 81) sont le système de rangement le plus largement utilisé pour le classement des boîtes de tirages ou de négatifs. Elles doivent être fonctionnelles, sans danger pour les documents et adaptées au lieu de stockage. Il sera prudent de vérifier que les objets déposés sur les rayonnages d'une étagère sont retenus à l'arrière et ne risquent pas de tomber ou de faire tomber les objets d'une autre étagère qui lui serait adossée. Les meubles ne seront pas appliqués directement contre les murs, afin que la circulation de l'air limite les développements mycéliens, après une condensation ou un ruissellement. Dans des zones à risque, il est préférable de laisser vide ou de surélever le rayonnage le plus bas, pour qu'en cas d'inondation les documents soient épargnés.

Lorsque la taille de la collection le justifie, on peut faire appel à un système de compactus : ce sont des rayonnages mobiles montés sur rails qui peuvent être serrés les uns contre les autres et permettent un gain de place appréciable. Ils sont mus par un moteur ou manuellement. Les limitations d'un tel dispositif sont le coût et la charge au sol qui réclame parfois des travaux de renforcement du plancher. Par ailleurs, avec ce système, le nombre de personnes qui peuvent avoir accès simultanément aux documents est restreint. Le Centre canadien d'architecture (Montréal) a opté pour cette solution, en modifiant légèrement la structure des parois. Des ouvertures

Illustration 53

Le gel de silice. C'est un composé fortement hygroscopique. Il est incolore et présente peu de danger. Mais on y incorpore souvent du chlorure de cobalt, qui vire du bleu au rose quand le gel de silice est saturé en humidité. Ce composé étant toxique pour l'homme et son environnement, il convient d'avoir recours à du gel de silice non coloré ou comportant un indicateur coloré non toxique. Livré sous forme de granulés, il doit être mis dans des bacs obturés par un voile perméable, en Tyvek par exemple, pour limiter la dispersion de particules abrasives, tout en offrant la plus grande surface possible. Il connaît deux types d'applications : comme agent de dessiccation pour éliminer l'humidité, ou comme agent tampon pour la stabiliser à un niveau déterminé. Dans le premier cas, il est utilisé après déshydratation complète dans un four ; dans le second cas, son emploi est précédé d'une mise en condition au niveau hygrométrique souhaité. Pour être efficace, la quantité de gel de silice introduite doit être proportionnelle au volume de l'enceinte à traiter, et celle-ci doit être suffisamment hermétique. L'évaluation de la masse de gel nécessaire dépend de ses caractéristiques, du taux de renouvellement de l'air, des conditions thermohygrométriques et du temps d'entreposage : il est donc difficile de fixer précisément les quantités de gel à introduire par unité de volume. G. Thomson⁸¹ recommande d'utiliser 20 kg de gel de silice par mètre cube à traiter sur une durée d'un an, mais, répétons-le, cette valeur doit être corrigée en fonction de l'étanchéité et de la qualité de l'adsorbant appliqué. Avec l'apparition de produits plus performants comme l'ArtSorb, il semble que l'on puisse diminuer considérablement cette quantité. Certains utilisent la notion « d'unité déshydratante », définie par la norme AFNOR NFH 00-321 (décembre 1989) comme la masse de produit capable d'absorber, à 23 °C, 100 g de vapeur d'eau à 40 % HR, 80 g de vapeur d'eau à 30 % HR et 60 g de vapeur d'eau à 20 % HR.



ont été pratiquées sur les faces latérales pour que l'air puisse circuler même quand les étagères sont « compactées ». C'est un souci identique qui a conduit les architectes des bâtiments des Archives américaines (à College Park) à concevoir un programme nocturne qui

déplace automatiquement les compactus pour les aérer. Un programme similaire « mode incendie » espace les compactus à l'endroit où le feu est détecté de façon que l'eau déversée par les sprinkleurs puisse atteindre le foyer de l'incendie.

Beaucoup d'établissements ont recours à des armoires métalliques pour le rangement des dossiers et des classeurs, ou encore à des meubles métalliques à tiroirs pour les diapositives, les microfiches et les microfilms. Dans les années 1960, une partie des microfiches des Archives de Munich a été sérieusement endommagée par des cartes d'indexation en plastique⁷⁵. On n'utilisera donc pas les dossiers ou les intercalaires proposés par les fabricants, sauf s'ils ont été analysés. Il en est de même pour les joints en matière plastique qui peuvent se trouver en périphérie des ouvertures. S'il existe des parties coulissantes, des tiroirs par exemple, on choisira des mécanismes montés avec des roulettes en Téflon ou des roulements à billes en acier inoxydable, plutôt que des systèmes métalliques qu'il faudrait graisser. La hauteur de ces tiroirs ne doit pas dépasser 5 cm, pour éviter une surcharge sur les objets placés au fond. Lorsque l'environnement de la salle de stockage est contrôlé (polluants et hygrométrie), on favorise les échanges d'air par la présence d'ouvertures de ventilation sur les meubles. Si ce n'est pas le cas, on peut concevoir un micro-environnement à l'intérieur de l'armoire. Le mobilier recouvert d'une peinture en poudre thermodurcissable (voir p. 82) du type de celui qui est fourni par SpaceSaver, Interior, Delta Designs, Hahn et d'autres, est à l'heure actuelle le plus fiable. On surveillera et on traitera d'éventuels points de rouille ou les cloques de peinture qui pourraient apparaître à l'usage sur le mobilier métallique.

La création d'un micro-environnement dans un meuble

Les armoires

Les armoires sont des volumes restreints où l'on peut créer une protection adaptée à des risques potentiels. La plupart des mobiliers sont conçus pour assurer une garantie contre le vol, la poussière et la lumière ; on peut élargir ce spectre d'action à d'autres menaces comme l'humidité, l'eau, la chaleur, le feu, la pollution, etc. Les Archives nationales des États-Unis ont ainsi isolé des collections très fragiles dans des armoires étanches pour les protéger d'une immersion accidentelle. Des armoires ignifugées sont vendues pour les microfiches et les supports informatiques. Toutefois, lorsqu'on utilise des meubles hermétiques, il faut veiller aux risques d'accumulation de vapeurs nocives et d'humidité excessive. Dans ce cas, l'humidité peut être régulée avec du gel de silice, et les polluants captés par du charbon actif ou des tamis moléculaires⁷⁶. Ces substances sont utilisées dans des cuvettes

fermées par un voile perméable aux gaz (non-tissé) qui évite toute dissémination de microparticules. Le gel de silice ArtSorb, par exemple, est vendu en barquettes de 85 g, fermées par un couvercle en Gore-Tex.

Les réfrigérateurs et les congélateurs

La longévité des matériaux instables est accrue lorsque la température de conservation est abaissée. Pour des fonds importants on construit des chambres froides adaptées. Pour les collections de faible importance et quand la taille des œuvres le permet, l'utilisation d'un réfrigérateur ou d'un congélateur domestiques peut suffire⁷⁷. L'emploi de ces appareils est simple, et l'investissement relativement faible. Ils imposent cependant quelques contraintes car il faut être attentif aux questions d'humidité. La protection des documents par des sacs étanches à la vapeur d'eau – le polyéthylène peut convenir à cet usage – apparaît indispensable, elle permet d'éviter la condensation à leur surface lorsqu'on les sort à température ambiante. Les sacs protègent également des phénomènes qui peuvent se produire à l'intérieur d'un réfrigérateur ou d'un congélateur : fluctuations et excès d'humidité, formation de givre à la surface des objets, écoulement d'eau en cas de réchauffement dû à une coupure de courant. H. Wilhelm recommande l'utilisation de réfrigérateurs à froid ventilé et on recense aujourd'hui plusieurs institutions outre-Atlantique qui ont adopté ce mode de stockage⁷⁸. Dans ce type de réfrigérateur, l'air est refroidi à -29°C dans

Illustration 54

Exemple d'utilisation d'un réfrigérateur pour la conservation des photographies en couleurs (musée d'Art moderne de New York).



Illustration 55

Stockage des diapositives couleurs et photographies sur support en nitrate de cellulose dans un congélateur suivant la méthode préconisée par M. McCormick. Collection « Curt Maury Paper » à la Freer/Sackler Library (États-Unis).



un compartiment séparé, la vapeur d'eau est condensée et cet air frais et sec est insufflé dans le réfrigérateur où il se réchauffe à une température d'environ 2°C. On pourrait ainsi maintenir une humidité située entre 20 et 30 %. D'autres auteurs ont proposé d'utiliser un congélateur ménager pour atteindre des températures de stockage plus basses. Afin de prévenir tout excès d'humidité, T. Padfield et J. Johnsen placent à l'intérieur du congélateur

une boîte isolante dont la température est maintenue à -8 °C grâce à des résistances chauffantes. On est ainsi assuré que l'humidité est de 44 % dans la boîte alors qu'elle s'élève à 100 % dans le congélateur⁷⁹. M. McCormick maîtrise l'humidité au moyen d'un matériau adsorbant comme du gel de silice ou des feuilles en carton : les phototypes sont placés dans une boîte en carton qui est enfermée dans un sac en polyéthylène, ce sac est ensuite mis dans un deuxième sac, lui aussi en polyéthylène, qui contient le matériau tampon et un indicateur coloré d'humidité⁸⁰. Les feuilles de carton sont préalablement desséchées quelques minutes dans un four à 100°C et, une fois introduites dans le sac, elles y régulent l'humidité. On peut à tout instant vérifier que celle-ci n'est pas excessive en observant à travers le sac la

couleur de l'indicateur hygrométrique. L'utilisation d'armoires de congélation munies de portes vitrées facilite ce contrôle. L'humidité relative à l'intérieur des sacs devrait rester acceptable pendant une quinzaine d'années, la perméabilité à la vapeur d'eau du PE étant très faible à basse température.

Dans le cas de diapositives et de négatifs sur support en acétate ou nitrate, un stockage à une température aussi basse ne devrait pas présenter de risques de formation de vapeurs acides. Toutefois, pour les films en nitrate, il est recommandé de choisir des congélateurs antidéflagrants. L'ouverture des sacs doit être précédée d'une période de remise en condition de plusieurs heures (voir p. 110).

LES LOCAUX (NIVEAU III)

Dans la protection des œuvres et des documents, les locaux jouent un rôle primordial en isolant les documents de conditions climatiques défavorables. Un aménagement bien conçu des magasins permet de réduire les frais de maintenance des collections, et il est préférable d'accroître les coûts d'investissement (en améliorant l'isolation par exemple), afin de diminuer ceux qui sont liés au fonctionnement.

L'objet de ce chapitre n'est pas de revenir sur l'ensemble des recommandations pour l'implantation topographique, la construction et l'équipement d'un bâtiment destiné à l'archivage, le lecteur se reportera à des ouvrages spécialisés⁸². Il nous a simplement paru utile de rappeler quelques principes élémentaires, et de mettre l'accent sur les facteurs essentiels qui conditionnent la qualité d'un local destiné à l'archivage.

La conception d'un local d'archivage

On peut se contenter de conserver une petite collection « familiale » de photographies dans un local frais et sec, mais en fonction des moyens disponibles, on s'attachera à respecter les consignes plus strictes qui vont être abordées dans la suite de ce chapitre.

La gestion d'une collection de photographies d'une certaine importance implique un aménagement approprié et spacieux qui doit tenir compte de certains critères de sécurité et d'organisation. L'installation d'une collection dans un local récemment construit ou rénové devrait être précédée d'une période de contrôle de quelques mois afin de laisser le temps aux peintures et aux colles de sécher, à la vapeur d'eau et aux produits volatils émanant des matériaux de construction de se dissiper ; il faudra aussi vérifier que les conditions thermohygro-métriques inscrites au cahier des charges sont respectées. Malheureusement, les retards accumulés au cours des travaux et les impératifs d'ordre matériel ou politique sacrifient souvent ce délai au détriment des collections qui font alors les frais d'une mise en route incertaine.

Tableau 15

Quelques matériaux contre-indiqués ou recommandés pour la conservation et le stockage des photographies.

<i>type</i>	<i>contre-indiqué</i>	<i>recommandé</i>
matériaux cellulosiques	papier de composition inconnue, contenant des produits susceptibles de migrer ou d'endommager les images	papier et carton qualité d'archivage*
polymères	acétate de cellulose nitrate de cellulose acétate de polyvinyle poly(chlorure de vinyle) PVC caoutchouc vulcanisé (ruban élastique) matière plastique de composition inconnue polymère contenant du chlore polymère contenant des plastifiants	polyester* polyéthylène* polypropylène* polystyrène extrudé* poly(tétrafluoroéthylène)* polyméthacrylate de méthyle* (Plexiglas) polycarbonate* ABS*
mousse	mousse PVC mousse polyuréthane	mousse de polyéthylène* mousse de polypropylène*
meubler	bois : massif, aggloméré, contreplaqué, etc.	métal avec peinture cuite au four aluminium anodisé acier inoxydable
revêtements de sol	moquette parquet, aggloméré dalle PVC pierre poreuse et friable	demi-grès grès cérame résine époxy à deux composants
peintures	peinture à solvants organiques peinture glycérophtalique résine alkyde	peinture acrylique peinture vinylique émulsion acrylique
vernis	polyuréthane nitrate de cellulose	acrylique

* L'aptitude de ces matériaux devra être vérifiée pour chaque famille et chaque lot de fabrication suivant les normes ISO 14523, ISO 10214.

Le choix de l'emplacement

Il faut dissocier l'aire de stockage de la collection de la salle de travail ou de consultation, mais pour des raisons pratiques, ces lieux ne devront pas être éloignés l'un de l'autre. Si la collection est très importante et constituée de documents divers (tirages, négatifs, microfilms), on aura intérêt à rassembler les phototypes par catégorie et à les archiver dans des cellules indépendantes. On prévoira suffisamment d'espace pour manipuler sans risques les documents de grand format, mais une cellule ne devra pas excéder une surface de 200 m². L'accès par un sas permettra de limiter les échanges d'air lors des va-et-vient, et les portes équipées de *grooms* se refermeront systématiquement. Les zones renfermant des œuvres précieuses seront protégées par un dispositif de sécurité anti-effraction (détecteur volumétrique ou périphérique), d'un système d'autorisation d'accès sélectif et, éventuellement, d'une procédure de contrôle d'entrée et de sortie des œuvres.

La hauteur sous plafond sera au minimum de 2,60 m et l'on évitera la pose de faux plafonds qui sont des zones difficiles d'accès pour le nettoyage et propices à l'infestation.

Le local sera de préférence en étage, situé au centre du bâtiment ou orienté au nord (dans notre hémisphère), pour éviter les fluctuations de température ; il donnera sur une cour plutôt que sur une rue, en raison de la pollution. Un trafic intense risque de provoquer des vibrations continues qui pourraient avoir des conséquences néfastes sur les œuvres.

Il n'est pas souhaitable que des canalisations contenant des fluides ou de la vapeur traversent l'aire de stockage. Elles peuvent en effet être à l'origine d'un réchauffement de l'atmosphère quand elles contiennent de l'eau chaude ou de la vapeur, ou bien d'une condensation si elles sont remplies d'eau froide. Elles peuvent surtout, en cas de fuite ou de rupture, gravement endommager les collections. Si on ne peut éviter la présence de ces canalisations, on veillera à les isoler thermiquement ; on s'assurera qu'en cas de rupture, les collections sont hors de portée et on prévoira une évacuation au sol ou un drain. Les risques de fuites par les étages supérieurs seront prévenus par une dalle étanche.

Faute de place, on a souvent tendance à reléguer les réserves dans des lieux dont personne ne veut : les greniers et les sous-sols. L'entreposage d'une collection dans un sous-sol présente l'avantage d'une certaine stabilité thermique. Il faut préalablement s'assurer qu'il est parfaitement salubre (éradication des micro-organismes, des insectes, absence de remontées capillaires, etc.), à l'abri de l'inondation (canalisations, fuites aux étages

Tableau 16

Origine des échanges thermiques.

<i>mode de propagation</i>	<i>origine</i>	<i>remède</i>
■ convection	<ul style="list-style-type: none"> • infiltration • renouvellement d'air 	<ul style="list-style-type: none"> • amélioration de l'étanchéité • échangeur de chaleur
■ conduction	<ul style="list-style-type: none"> • mauvaise isolation des parois (murs, sols, plafonds), ponts thermiques 	<ul style="list-style-type: none"> • amélioration de l'isolation
■ radiation	<ul style="list-style-type: none"> • chauffage/présence humaine • fenêtres exposées au soleil 	<ul style="list-style-type: none"> • régulation • obturation des ouvertures (volets, rideaux)

supérieurs) et des émanations nocives (reflux d'égouts). L'humidité relative doit être maîtrisable. Le renouvellement de l'air de la pièce doit se faire naturellement ou, en cas d'insuffisance, au moyen d'un extracteur mécanique.

Par nature, les combles sont les lieux les moins propices à une bonne conservation. Même isolés, ils subissent de grandes variations de température et d'humidité. Ils réclament donc non seulement une isolation efficace mais aussi une bonne climatisation en température et en humidité.

Les revêtements

Il est déconseillé de laisser les murs et les sols à l'état brut : le plâtre et le béton peuvent s'effriter et charger l'atmosphère de poussières alcalines agressives. Les sols en béton doivent être recouverts d'un carrelage ou d'une résine de type époxydique. On préférera aux pierres naturelles (marbre, ardoise, pierre calcaire, etc.) ou aux terres cuites, des carreaux en demi-grès ou en grès cérame, plus résistants, moins poreux et faciles d'entretien. Avant de peindre les murs en béton, on les nettoiera avec une solution de phosphate trisodique⁸³. On connaît l'agressivité des émanations de certaines peintures alkydes à l'encontre des images argentiques : aussi, lorsque les collections sont en place, il est préférable d'appliquer sur les murs une peinture latex, vinylique, acrylique⁸⁴ (Tableau 15). Avant d'entreposer une collection dans un local fraîchement peint, il faut lui assurer une ventilation correcte. Les normes préconisent d'attendre trois mois pour les peintures à solvant organique ; on ne doit alors détecter aucune odeur (notons que l'absence d'odeur ne signifie pas que l'air est sain).

Les chambres climatisées à faible humidité et basse température ont souvent des parois métalliques ou comportent un film isolant en polyéthylène qui évite les transferts de vapeur d'eau au travers des murs.

L'éclairage

Il n'est pas nécessaire de recourir systématiquement, dans les aires de stockage, à des taux d'éclairement aussi bas que ceux que l'on préconise pour l'exposition, au contraire. Un éclairage trop faible peut conduire à des accidents lors du convoyage et de la manipulation des œuvres. L'entretien du local est moins facile à assurer et on risque de passer à côté d'un problème d'infiltration ou de développement de micro-organismes. Pour ces raisons, il est préférable aussi d'opter pour un revêtement clair sur les murs et les sols. Si toutes les œuvres sont mises à l'abri de la lumière dans des emballages, des pochettes ou des boîtes, il est possible d'atteindre un niveau d'éclairement de 100 à 300 lux. Les tubes fluorescents sont fréquemment utilisés, car ils dégagent peu de chaleur et consomment moins d'énergie que les lampes à incandescence. Dans le cas où des œuvres ne seraient pas protégées (grands formats encadrés, reliures d'album, portfolios, etc.) il faudra limiter l'intensité d'éclairement de la réserve. Le système d'allumage peut être télécommandé par un détecteur de mouvement.

Le génie climatique

L'isolation thermique

La pièce doit être convenablement isolée thermiquement pour éviter les fluctuations de température et la condensation sur des surfaces froides. Des bâtiments d'archives comme ceux de Coblenz ou du Schleswig-Holstein (Allemagne) ont été conçus avec des murs de brique d'une épaisseur allant

Illustration 57

Le système de climatisation des nouvelles réserves photographiques du musée Albert-Kahn, à Boulogne-Billancourt, réalisées sous le contrôle de M. Diaz-Pédregal, expert mandaté par le musée.
(Photographie de Jean-Paul Gandolfo)



de 49 cm à 86 cm, qui assurent une excellente régulation thermohygro-métrique. Une bonne orientation, une bonne isolation et une bonne étanchéité réduisent les coûts de climatisation. Les fenêtres ne sont pas indispensables, au contraire. Si elles existent, on veillera à ce que l'isolation thermique soit convenablement assurée (double vitrage ou double fenêtre) et à ce que le système d'obturation de la lumière (volet extérieur, rideau) fonctionne correctement ; l'échauffement produit par les rayons solaires est réduit de 35 % avec des rideaux ou des stores vénitiens à l'intérieur, et de 75 % si l'on place ces protections à l'extérieur. L'humidité dans les murs accélère les échanges de chaleur, l'eau étant deux fois plus conductrice que l'air.

L'isolation hygrométrique

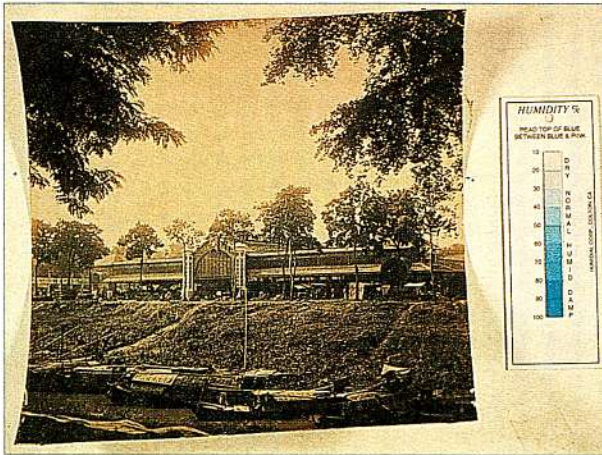
L'introduction d'air, qu'elle soit volontaire (par les aérations) ou involontaire (par défaut d'étanchéité des fermetures), perturbe les conditions hygrométriques qui règnent dans une pièce (voir p. 93).

D'autres facteurs interviennent sur l'humidité ambiante (Tableau 17). Dans les bâtiments anciens, les infrastructures sont constituées d'une masse importante de matériaux très hygroscopiques (bois, plâtre, brique, calcaire, etc.) qui concourent à une certaine stabilité hygrométrique, en absorbant ou en restituant de l'eau⁸⁵. Cela présente l'avantage de réguler naturellement l'humidité dans les aires de stockage lorsqu'il n'existe pas d'air conditionné ; mais cette humidification naturelle peut être excessive pour la conservation de photographies. L'eau peut également migrer par capillarité dans les matériaux poreux depuis les fondations ou la façade en cas de pluie, et s'évaporer à l'intérieur de l'édifice. Dans les bâtiments modernes, la masse des matériaux est moindre. Les murs étant comparativement peu épais, on peut s'attendre à des fluctuations importantes : en été, la vapeur se diffuse depuis l'extérieur, à travers les parois, et humidifie l'intérieur ; en hiver, le phénomène inverse se produit, desséchant le local.

La construction d'un local destiné à la conservation doit donc privilégier l'isolation thermique et hygrométrique pour que les conditions ambiantes soient stables, et pour éviter toute condensation à la surface ou à l'intérieur de parois qui présenteraient des températures inférieures à la température de rosée (température à laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense). Les transferts d'humidité sont limités par l'emploi de revêtements intérieurs à faible perméabilité à la vapeur d'eau (film de polyéthylène, peinture hydrofuge, etc.), dits pare-vapeur. La climatisation sera de ce fait moins sollicitée.

Illustration 58

Les photographies sont constituées de matériaux hygroscopiques qui se déforment selon l'humidité.



Quand l'air est sec, le tirage s'enroule.

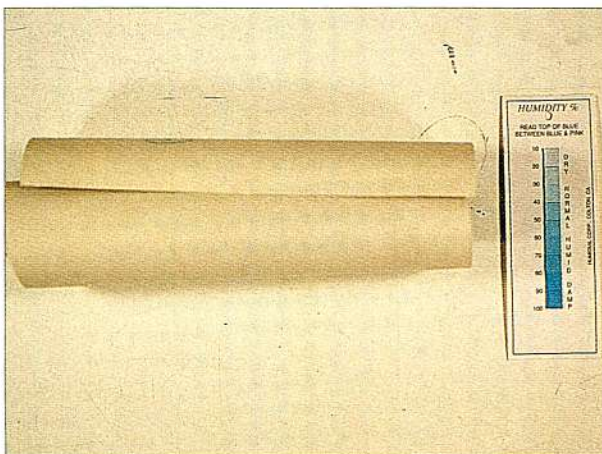
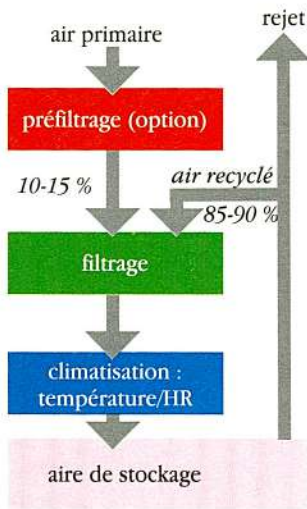


Illustration 59

Traitement de l'air.



La ventilation

La ventilation du local doit assurer un renouvellement et une circulation d'air uniformes : la stagnation de l'air est propice à l'accumulation d'émanations nocives pour les œuvres et le personnel. On recommande un débit de 8 à 12 litres d'air par personne et par seconde.

On a constaté qu'une bonne ventilation peut également limiter les infestations microbiologiques, mais on en ignore la raison précise : soit elle diminue ou empêche le dépôt de spores, soit elle dissipe les microclimats aux alentours des matériaux à forte activité en eau⁸⁶ (voir p. 154). Des travaux sont en cours afin de déterminer une vitesse optimale de l'air pour prévenir tout développement biologique.

La ventilation se fait naturellement si on pratique dans un local une ouverture basse et une ouverture haute. La différence de pression produite par le vent et l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur du local créent un mouvement et un apport d'air neuf. Ce renouvellement est incontrôlable, car il dépend des conditions atmosphériques. L'air introduit, s'il a des caractéristiques (température, humidité, pollution) très éloignées des conditions que l'on souhaite établir, peut perturber la stabilité de l'environnement du local.

Il faut alors recourir à des systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC) qui extraient ou insufflent de l'air ; les installations les plus sophistiquées, dites à double flux, réalisent ces deux opérations simultanément. Certains modèles comportent un récupérateur de calories auquel s'ajoute parfois un système de filtration et de recyclage. D'autres dispositifs font passer l'air à travers un papier buvard humide, qui produit ainsi à moindre coût, par l'évaporation de l'eau, de l'air filtré et rafraîchi. Il faut toutefois veiller au niveau hygrométrique et à la contamination biologique.

L'air conditionné

Rares sont les édifices qui présentent naturellement les conditions climatiques optimales pour l'archivage des photographies, et il faut souvent traiter l'air d'un magasin d'archives pour le réchauffer, le refroidir, l'humidifier, le déshumidifier, le purifier, le faire circuler. Si la climatisation s'attache à refroidir, réchauffer et, dans une certaine mesure, à contrôler l'humidité et à filtrer l'air, le conditionnement d'air doit, quant à lui, assurer une stabilité thermohygrométrique, une ventilation, une circulation et une filtration de l'air respectant des instructions établies en fonction des œuvres conservées. Ainsi, les constructions récentes comportent différentes zones qui présentent des conditions adaptées à chacune des collections qu'elles renferment. C'est le cas de la Bibliothèque nationale de France à Paris, ou des Archives nationales du Canada à Gatineau, qui comptent huit zones différentes dotées d'un environnement spécifique comprenant des chambres froides.

Le recours à l'air conditionné n'est pas une décision qui peut être prise à la légère. Il semble *a priori* résoudre un grand nombre de problèmes, mais il faut mesurer son incidence à long terme sur le budget et évaluer les dangers liés aux dysfonctionnements. En théorie, il est facile de maintenir un environnement idéal grâce à l'air conditionné ; en pratique, dans certains édifices les variations thermohygrométriques des salles climatisées sont presque de la même ampleur que dans les salles qui ne le sont pas⁸⁷. Ces constatations sont certes faites sur des sites fréquentés par le public et donc soumis à une circulation et à des échanges parfois intenses, ce qui n'est pas le cas d'une enceinte de stockage. De plus, il apparaît parfois difficile de réaliser des conditions thermohygrométriques homogènes⁸⁸. Ces expériences doivent cependant nous amener à rester pragmatiques et

Tableau 17

Origine des variations hygrométriques.

<i>mode</i>	<i>origine</i>	<i>remède</i>
■ diffusion de vapeur d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • diffusion d'air humide à travers les parois (murs, sol, plafond et fissures) • introduction de matériaux ayant une teneur en eau élevée 	pare-vapeur
■ infiltration de vapeur d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • infiltration d'air par les ouvertures et les défauts d'étanchéité 	isolation, légère surpression
■ condensation-évaporation	<ul style="list-style-type: none"> • présence humaine • condensation sur des surfaces froides, fuite d'eau, évaporation de surfaces humides, apport d'eau par capillarité 	régulation, climatisation travaux de mise en conformité, isolation

réalistes : un système mal conçu et défaillant risque de se révéler, à la longue, plus nocif que des conditions naturelles imparfaites mais stables. Les installations d'air conditionné représentent des coûts importants en investissement, en fonctionnement et en entretien, car elles doivent être en activité en permanence. Elles imposent des installations volumineuses, parfois incompatibles avec l'espace disponible ou le caractère historique de l'édifice où est conservée la collection. Certains systèmes qui fonctionnent actuellement ont été conçus pendant une période faste économiquement et font souvent peu de cas de la consommation énergétique. La durée de vie d'une installation est d'une vingtaine d'années.

Cette difficile maîtrise des problèmes techniques et financiers peut remettre en cause le principe même de la climatisation. On tendrait plutôt à privilégier des dispositifs à faible coût et à moindre consommation d'énergie⁸⁹, et de nouvelles propositions émergent⁹⁰. Pour certains, il faut permettre des variations saisonnières de température, par exemple sous nos latitudes 18 °C en hiver et 22 °C en été ; d'autres mettent à profit des conditions ou des phénomènes naturels propices (ventilation, orientation, etc.) ou créent des micro-environnements qui, dans un espace restreint, faute d'assurer des conditions idéales, évitent les pires. C'est dans cet esprit que les nouvelles recommandations ASHRAE (Applications Handbook 1999) proposent cinq niveaux : AA, A, B, C, D. Les plus stricts sont les AA et A ; les niveaux B et C autorisent des fluctuations plus importantes.

Tableau 18

Taux horaire de renouvellement d'un volume d'air.

<i>hauteur sous plafond</i>	<i>volume/heure pour une zone fréquentée</i>	<i>volume/heure pour une zone non fréquentée</i>
moins de 3 m	8	4
4 à 5 m	6	3
6 à 8 m	4	2

Tomber dans l'excès inverse en rejetant tout traitement de l'air est peu souhaitable : les collections photographiques réclament dans certains cas des conditions de conservation impossibles à obtenir naturellement sous nos latitudes. En outre, on bénéficie aujourd'hui de nombreuses innovations et améliorations : isolation, recyclage de l'air vicié par filtration et purification, qui permettent d'économiser des sommes importantes⁹¹. Il n'existe pas de modèle d'installation universel pour maintenir une aire de stockage à des conditions prédéfinies. Dans un édifice, l'analyse du climat sur l'année permet de déterminer s'il faut traiter l'air, et quel est le niveau de conditionnement requis. Des spécialistes établissent un bilan d'après les conditions extrêmes de température et d'humidité⁹², l'infrastructure du bâtiment, les contraintes liées à un bâtiment historique, le volume et la fréquentation des lieux, les déperditions thermiques, la nature des collections, etc. Des programmes informatiques de simulation permettront d'évaluer le coût des diverses options.

Différents systèmes existent pour chauffer ou refroidir les locaux. Certains utilisent la circulation d'un fluide, comme l'eau, d'autres envoient, par des bouches de ventilation, de l'air traité. Ces dernières installations sont le plus souvent recommandées pour les collections. Il existe de petites unités de climatisation qui régulent l'humidité et la température. Un dispositif autonome ou associé permet de purifier une atmosphère trop chargée en polluants (voir p. 126). Pour éviter l'introduction de gaz polluants et de poussières lorsqu'on pénètre à l'intérieur du local, une légère surpression (1 à 2 pascals) peut être appliquée dans l'aire de stockage.

L'air est renouvelé régulièrement, en partie par un apport d'air frais (10 à 15 %) pour limiter l'accumulation du dioxyde de carbone, mais essentiellement par recyclage de l'air vicié, ce qui permet d'économiser l'énergie. Pour les zones occupées (bureaux), la législation impose un débit minimal de 25 à 36 m³ par heure et par personne. Pour les aires de stockage, le taux horaire dépend de la hauteur sous plafond et de la fréquentation, mais on compte au minimum deux renouvellements du volume d'air du local vide toutes les heures (Tableau 18). Aux Archives nationales américaines (à College Park), ce taux est de six par heure. L'air qui sort des diffuseurs ne doit pas s'écarter des conditions de température et d'humidité choisies de ± 1 °C et ± 3 % HR. Le mouvement de l'air à l'intérieur de l'ensemble du magasin doit être au moins de 0,01 m/s⁹³. Les bouches de ventilation seront suffisamment distantes des collections pour ne pas créer de courants d'air supérieurs à 2,5 m/s à la surface des matériaux conservés. Les diffuseurs d'air homogénéisent l'air traité avec celui du local. Les conditions thermohygrométriques sont continuellement enregistrées et régulées. Thermohygrographes, thermostats et hygromètres doivent être placés dans l'environnement le plus proche de celui des collections, à l'écart de sources de chaleur ou d'humidité et être périodiquement étalonnés.

Lorsqu'un système centralisé de conditionnement de l'air n'est pas envisageable, on s'orientera vers des unités ponctuelles, autonomes, attachées à un local et d'un emploi très souple. Là encore, l'étanchéité et l'isolation thermohygrométrique du local devront être contrôlées, voire renforcées.

La prévention contre le feu

Les archives photographiques et cinématographiques ont souvent subi de graves dommages au cours d'incendies. Elles ont été longtemps beaucoup plus vulnérables que n'importe quel autre type d'archives en raison des matériaux conservés, et notamment de la présence des supports en nitrate

de cellulose. Un film en acétate ne prendra feu qu'après une douzaine de minutes à 300 °C, alors qu'à cette température un film en nitrate ou « film flamme » s'enflammera en 7 secondes et il se consumera beaucoup plus vite⁹⁴. Il est difficile d'éteindre ces feux de films nitrate, seule l'aspersion d'eau est efficace. Ces films doivent être isolés dans un local de stockage adapté et faire l'objet d'une surveillance accrue.

Aujourd'hui, ces supports ne sont plus fabriqués, et les recommandations qui s'appliquent aux réserves d'archives et de bibliothèques sont valables pour les photothèques contemporaines (ANSI/NFPA 232A-1995, *Fire protection for archives and records centers*). Les matériaux conservés sont relativement similaires : ils comprennent, entre autres, des documents à base de cellulose et de polymères qui sont de bons combustibles.

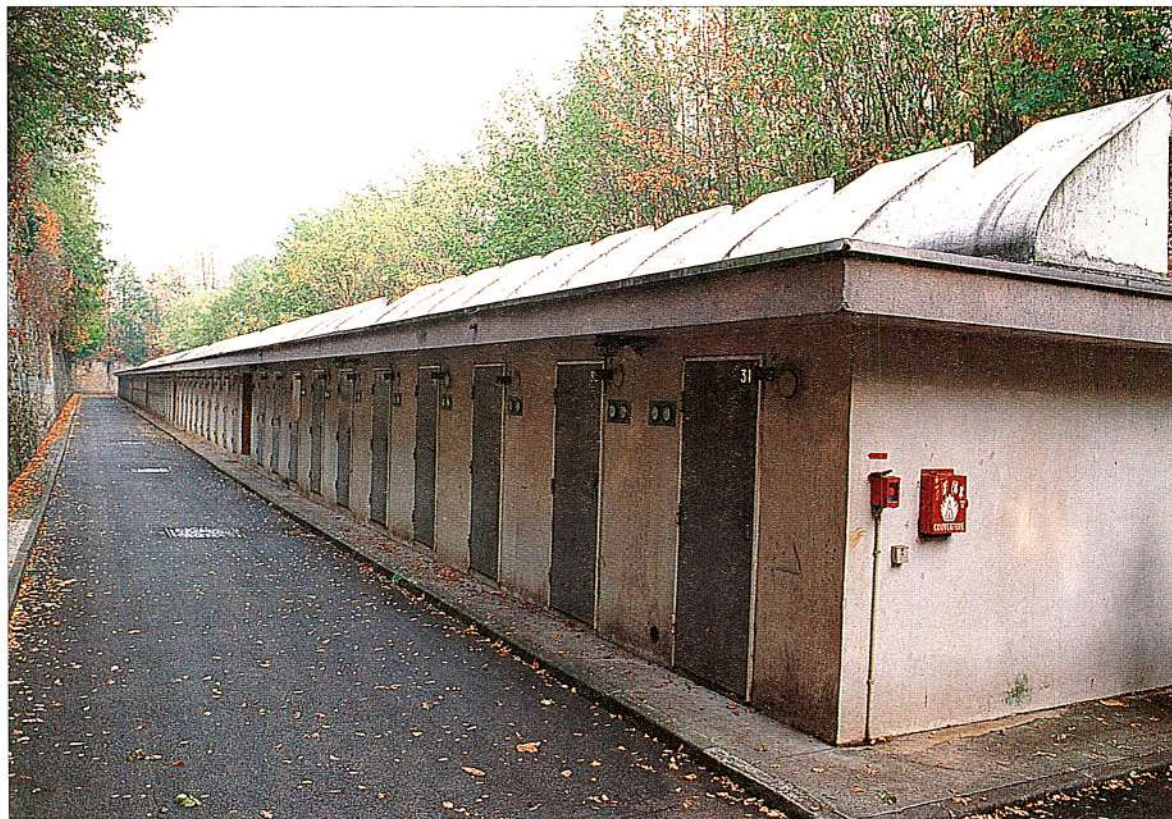
Les origines d'un incendie sont diverses : malveillance, manque d'entretien ou surcharge des installations électriques, cigarettes, etc. Il est possible, grâce à la prévention, d'en diminuer les risques et d'en limiter la propagation.

Dans les bâtiments neufs, les matériaux de construction devront être choisis parmi ceux qui sont classés incombustibles. Les aires de stockage seront de taille limitée et séparées par des cloisons et des fermetures coupe-feu. Le plâtre, la brique et le béton résistent relativement bien aux flammes ; le métal est en revanche fragile. Au niveau d'un magasin, les étagères métalliques peuvent se déformer et déverser leur contenu. Plus gravement,

Illustration 60

Conservation des films nitrate dans des locaux de sécurité au service des Archives du film, à Bois-d'Arcy (Yvelines).

(© Archives du film, CNC)



l'affaissement des poutrelles métalliques conduit à l'effondrement de l'édifice. La propagation du feu est assurée par les revêtements (papiers, peintures), la poussière, des isolants. Parmi les documents conservés, certains éléments, comme les cartons ondulés, s'enflammeront plus rapidement que des matériaux compacts comme des albums.

L'entretien des locaux, des installations électriques, des systèmes de détection et le contrôle régulier des dispositifs d'extinction sont essentiels. La gravité des dommages dépendra de la rapidité de la détection et de la transmission de l'alerte, du délai d'intervention et des moyens d'extinction. Aussi la nature du système de sécurité incendie, l'existence d'un plan d'urgence et l'organisation des secours sont-ils d'une importance primordiale.

La conception d'une installation anti-incendie s'élabore autour de six éléments⁹⁵ :

- système d'alimentation autonome pour fournir l'énergie nécessaire aux autres systèmes et pour la signalisation (groupes électrogènes, accumulateurs, etc.) ;
- système de détection ;
- système d'avertissement et d'alarme ;
- système d'extinction ;
- système de contrôle automatique (fermeture des portes coupe-feu, arrêt des ascenseurs et de la climatisation, etc.) ;
- système d'alerte des secours.

Les systèmes de détection

Il existe plusieurs familles de détecteurs d'incendie : les détecteurs de fumée, de gaz, de flammes, de chaleur (Tableau 19). Les détecteurs de fumée et de gaz sont les plus sensibles et permettent de repérer le stade primaire d'un incendie, pendant lequel les matériaux se consomment sans flammes et avec peu de dégagement de chaleur. Le détecteur de flammes réagit à un stade plus avancé de l'incendie ; quant au détecteur de chaleur, il ne réagit que tardivement quand la température s'est suffisamment élevée. Ces détecteurs, généralement placés au plafond et éloignés des cloisons, peuvent être associés entre eux : détecteur de fumée et détecteur de flammes ou de chaleur. La plupart des détecteurs sont de petits boîtiers ; certains se présentent sous forme d'un câble ou de tubes de plusieurs mètres appliqués sur une paroi ou un plafond. En cas de détection, le système est souvent connecté à une alarme sonore ou visuelle ; il transmet également l'alerte à un service de sécurité extérieur, les pompiers ou une permanence ; il met éventuellement en œuvre un système automatique d'extinction.

Les agents d'extinction

La propagation d'un feu est le résultat d'une réaction en chaîne qui nécessite un combustible (carburant), de l'oxygène (comburant) et de la chaleur (énergie). Pour éteindre un feu, il faut supprimer un de ces trois éléments. Le combustible est en l'occurrence la collection à protéger. On peut donc agir en diminuant la proportion d'oxygène : en dessous de 15 % d'oxygène (l'air en contient 21 %), la combustion s'arrête ; c'est dans ce but que l'on a développé le « noyage » des locaux sous un gaz. Le deuxième principe pour éteindre un feu consiste à absorber l'énergie : l'eau est alors le moyen le plus usuel, mais certains produits chimiques (gaz et poudres) sont tout aussi efficaces. Ils captent l'énergie pour se transformer chimiquement, rompant ainsi le processus de réaction en chaîne (Tableau 20).

Lorsqu'ils sont utilisés par « noyage », ces agents⁹⁶ sont sans grand danger pour les collections, mais présentent des risques d'asphyxie pour

Tableau 19

Les différents détecteurs d'incendie.

<i>famille</i>	<i>type</i>	<i>principe de la détection</i>
■ détecteurs de fumée	<ul style="list-style-type: none"> • ionisation • photoélectrique à diffusion de la lumière • chambre à nuage • photoélectrique à atténuation de la lumière 	<ul style="list-style-type: none"> • changement de la conductance d'un air ionisé • détection de la diffusion de la lumière par les fumées • formation d'un nuage par condensation d'eau sur la fumée • diminution de l'intensité lumineuse due à la fumée
■ détecteurs de gaz	<ul style="list-style-type: none"> • à semi-conducteur • catalytique 	<ul style="list-style-type: none"> • modification de la conductivité du semi-conducteur • oxydation du gaz sur un catalyseur
■ détecteurs de flammes	<ul style="list-style-type: none"> • infrarouge • ultraviolet 	<ul style="list-style-type: none"> • cellule photosensible aux rayonnements infrarouges • cellule photosensible aux rayonnements ultraviolets
■ détecteurs de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> • à élément fusible • bimétallique • métallique • pneumatique • à semi-conducteur 	<ul style="list-style-type: none"> • fusion d'un métal ou d'un isolant • incurvation d'un bilame • dilatation d'un métal • dilatation d'un gaz • changement de la résistivité

Tableau 20

Les agents d'extinction.

<i>type</i>	<i>composé</i>	<i>mode d'action</i>	<i>avantage</i>	<i>inconvenient</i>
solide	poudres et mousses	inhibiteur de réaction étouffement	utilisation manuelle	résidus, action indéterminée sur les photographies
liquide	eau (+ additifs)	refroidissement étouffement, soufflage	peu coûteux	endommage les photographies et les locaux
gaz	hydrocarbures halogénés	inhibiteur de réaction étouffement	innocuité vis-à-vis de l'homme et des photographies	coûteux, les CFC sont interdits par la législation
gaz	dioxyde de carbone	étouffement refroidissement soufflage	innocuité vis-à-vis des photographies	asphyxiant en concentration supérieure à 9 %
gaz	gaz inertes (Inergen)	étouffement	innocuité vis-à-vis de l'homme et des photographies	coûteux nécessitent une zone de stockage importante

l'homme. Ils sont donc réservés à des lieux qui ne sont pas ouverts au public, comme les réserves. L'extinction par des liquides ou des solides est efficace et sans danger pour l'homme, mais les collections peuvent subir des dommages.

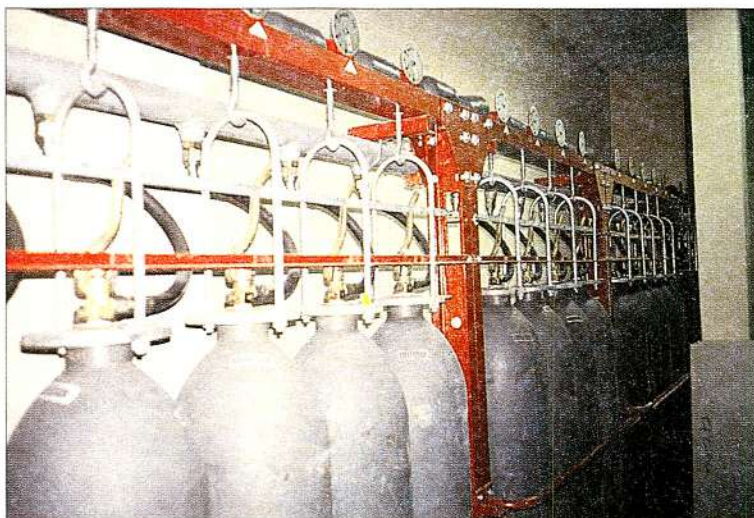
L'eau

En refroidissant les matériaux en combustion, l'eau absorbe la chaleur et se vaporise. La vapeur d'eau formée déplace une quantité d'air équivalente et le déficit d'oxygène favorise l'extinction du feu.

L'eau est un excellent agent d'extinction, et il existe peu de composés qui possèdent toutes ses qualités. De coût modeste, elle est facilement accessible (sous nos latitudes), et elle n'est pas dangereuse pour l'homme. Mais elle a aussi des effets redoutables. Déversée en énormes quantités et de façon incontrôlée par des lances à incendie ou des systèmes automatiques d'extinction à déversoirs, elle ne se contente pas d'éteindre l'incendie, elle inonde les endroits épargnés par le feu, et par conséquent les documents qui y sont conservés. Il est possible de limiter ces désagréments en réduisant la quantité d'eau utilisée, grâce à un système automatique d'extinction. Généralement, un détecteur de fumée déclenche un signal qui alerte un agent de surveillance, pour évaluer la situation et éventuellement tenter d'éteindre un début d'incendie. Si malgré tout l'incendie s'amplifie, l'eau se déverse automatiquement au-dessus du foyer d'incendie⁹⁷. Les techniques les plus récentes et les plus prometteuses font appel à de l'eau nébulisée (*Water mist* ou *Hi-fog*). Les installations de ce type seront décrites dans la suite de ce chapitre. Pour accroître les capacités d'extinction de l'eau, on y ajoute parfois des agents mouillants, des tensioactifs et émulseurs (agents moussants) et des retardants. Bien que ces composés soient plus souvent destinés aux unités mobiles d'extinction à eau pulvérisée, ils peuvent être injectés par l'intermédiaire d'une pompe dans les systèmes automatiques. Leur usage est déconseillé dans les musées à cause des résidus qu'ils peuvent laisser.

Illustration 61

Système automatique d'extinction au CO₂ à l'Institut national de la propriété industrielle (France).



Le dioxyde de carbone

Pour des utilisations manuelles, avec des extincteurs portables, le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz destiné principalement à éteindre les feux de liquides combustibles, de gaz ou d'installations électriques. Pour la protection de sites sensibles, dépôts informatiques, réserves de musées ou d'archives, des installations d'extinction automatique, en cas d'alerte, noient le local dans une atmosphère de 30 à 35 % de dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone agit par étouffement et absorbe également une partie de la chaleur. Cette capacité de refroidissement est supérieure à celle des gaz inertes (azote, hélium, argon...), elle est amplifiée par l'abaissement de température provoqué à la décompression du gaz. Elle reste cependant bien inférieure à celle de l'eau. Le dioxyde de carbone n'a pas d'action délétère sur les documents, mais à des concentrations supérieures à 9 %, il provoque la suffocation puis l'asphyxie de l'être humain : son utilisation implique donc l'évacuation préalable du personnel. Dans les installations à déclenchement automatique, les procédures de mise en œuvre automatique d'extinction sont conçues afin d'éviter tout accident pour le personnel : la décharge de gaz est précédée d'un temps de latence et d'alarmes sonores et visuelles. Néanmoins, la peur d'un déclenchement intempestif subsiste et crée un sentiment d'insécurité à l'origine de réactions de panique⁹⁸ qui ont limité le développement de ce type d'installation.

Les hydrocarbures halogénés

Les halons sont des gaz obtenus par halogénéation des hydrocarbures : un ou plusieurs atomes d'hydrogène ont été remplacés par du chlore, du fluor ou du brome. Longtemps recommandés pour l'extinction des feux dans des locaux contenant des objets sensibles à l'eau (matériel informatique, électronique, œuvres d'art), les halons sont des inhibiteurs de réaction qui absorbent l'énergie de la combustion. Ils sont de ce fait plus efficaces que le dioxyde de carbone ou les gaz inertes. Ce sont des agents d'extinction relativement onéreux, surtout utilisés pour des systèmes automatiques d'extinction.

Le halon 1301 (bromotrifluorométhane), qui est l'un des plus efficaces et des moins toxiques de la série, a connu de larges applications, que ce soit pour des extincteurs portables ou des systèmes automatiques. Une teneur de 4 à 6 % dans l'atmosphère permet d'éteindre un feu. L'organisme humain peut supporter, sans risques, pendant une quinzaine de minutes des concentrations allant jusqu'à 7 %. Les halons n'ont pas d'effet nocif sur les œuvres conservées (le contact du gaz avec des métaux portés à incandescence peut conduire cependant à la formation d'acide fluorhydrique ou bromhydrique).

Le Centre canadien d'architecture, la collection historique de la Nouvelle-Orléans, de nombreux musées et locaux d'archives sont équipés de systèmes d'extinction au halon 1301. À la suite du protocole de Montréal (voir p. 162) destiné à protéger la couche d'ozone, ce gaz n'est plus fabriqué depuis 1993, mais on peut se procurer, jusqu'en 2005, du halon recyclé. Great Lakes Chemical a introduit un substitut moins nocif pour l'environnement, le FM 200, ou l'HFC 227EA (1,1,1,2,3,3,3 heptafluoropropane). Il est plus onéreux que le halon 1301 et il doit être appliqué à des concentrations plus élevées, de l'ordre de 8 % (volume/volume), ce qui implique d'en stocker une quantité 1,7 fois supérieure⁹⁹. Il est sans danger pour l'homme à un taux de 9 %. Comme le halon 1301, il se décompose à haute température en générant des dérivés agressifs. D'autres substituts comme le halotron (2,2 dichloro 1,1,1 trifluoroéthane) ou HCFC-123 ont également été proposés.

Tableau 21

Composition de l'air avant et après utilisation de l'Inergen®.

<i>constituant</i>	<i>composition de l'air</i>	<i>composition de l'Inergen®</i>	<i>composition de l'air après injection de 40 % d'Inergen®</i>
oxygène	21,00 %	0 %	12,6 %
azote	78,07 %	52 %	67,7 %
dioxyde de carbone	0,03 %	8 %	3,3 %
argon	0,10 %	40 %	16,0 %

Les gaz inertes

Les gaz inertes (hélium, azote, argon...) sont utilisés comme gaz d'extinction car ils empêchent la combustion par étouffement en absorbant une partie de la chaleur dégagée. Pour remplacer les halons et le dioxyde de carbone, la société Mather et Platt a mis au point un gaz, appelé Inergen®, constitué d'un mélange d'azote (52 %), d'argon (40 %) et de dioxyde de carbone (8 %) ¹⁰⁰.

Ces gaz sont utilisés dans les dispositifs d'extinction automatique. Lors d'un incendie, on noie le local avec 40 à 50 % de son volume en gaz (Tableau 21), ce qui impose une quantité importante de gaz en réserve.

Le gaz Inergen® est sans danger pour l'environnement et les œuvres conservées. Sa faible toxicité est un atout supplémentaire : en effet, une petite quantité de dioxyde de carbone ajoutée au mélange stimule le mécanisme respiratoire qui compense ainsi la déficience en oxygène. L'inconvénient majeur de l'Inergen® réside dans son coût et dans l'importance du volume nécessaire au stockage des réserves de gaz.

Les poudres et les mousses

Les poudres sont à base de bicarbonate de potassium, de bicarbonate de sodium, de carbamate de potassium (bicarbonate d'urée-potassium), de sulfate d'ammonium, de chlorure de potassium ou de phosphate d'ammonium, auxquels on mélange quelques additifs pour éviter à la poudre de s'agglomérer pendant le stockage. Le choix des composés se fait en fonction de la catégorie du feu (feu de solides, de liquides ou de gaz). Ces poudres agissent en isolant le combustible de l'oxygène de l'air, et en inhibant chimiquement la combustion. Leur application se fait le plus couramment par des extincteurs portables. Si ces poudres sont moins nocives que l'eau pour les collections, elles laissent des résidus collants parfois difficiles à éliminer et dont certains peuvent être abrasifs et corrosifs (par exemple, le phosphate d'ammonium se décompose en acide métaphosphorique). Les mousses employées pour l'extinction des feux sont de nature protéinique ou synthétique. L'extincteur à mousse dite « physique » renferme une solution aqueuse contenant de 6 à 30 % d'un émulseur. Une fois libérée, la solution subit à l'air une expansion allant jusqu'à 1 000 fois son volume initial, en fonction du type d'agent moussant introduit.

Les dispositifs automatiques d'extinction

Les systèmes automatiques d'extinction, connectés à un réseau de détection et d'alarme, sont destinés à protéger les zones sensibles sans intervention humaine.

On rencontre des systèmes à base d'eau, d'hydrocarbures halogénés, de dioxyde de carbone ou d'Inergen®. L'emploi d'un système automatique d'extinction à gaz est réservé à des périmètres clos, de faible volume (moins de 1 400 m³). Il nécessite l'arrêt immédiat des systèmes de ventilation et de climatisation car en cas d'apport impromptu d'oxygène par une ouverture, le feu reprend.

La majorité des installations, sans doute pour des questions de coût et compte tenu de l'importance des volumes à protéger, fonctionne avec de l'eau. Des sprinkleurs, sortes de buses fixées au plafond, sont alimentés par des canalisations. À une température prédéterminée, la chaleur dégagée par l'incendie fait fondre ou exploser la capsule d'obturation du sprinkleur le plus proche et l'eau se déverse sous pression. Si cette technique est couramment utilisée dans les lieux de grande fréquentation, on redoute souvent que dans les magasins de stockage un déclenchement intempestif inonde les collections. Cette crainte n'est plus guère fondée aujourd'hui, les systèmes modernes étant de plus en plus sûrs. Pour une construction récente, comme le bâtiment des Archives nationales aux États-Unis, on n'a pas hésité à choisir ce système. Pour limiter les risques liés à la présence de canalisations d'eau traversant les magasins de stockage, des installations spécifiques, dites « sous air » ont été développées. Dans ces systèmes d'extinction sous air, on introduit de l'air ou de l'azote sous pression dans les canalisations à la place de l'eau. Si un incendie se déclare, le sprinkleur s'ouvre, le gaz s'échappe, la baisse de pression libère un clapet en amont qui permet à l'eau de se répandre dans les tuyaux et d'être propulsée sur le foyer de l'incendie. Ces installations sous air sont indispensables lorsqu'il y a risque de gel ou pour les aires de stockage à basse température. Mais il s'écoule un temps de latence entre l'ouverture du sprinkleur et l'arrivée de l'eau ; or en matière d'incendie, plus la réaction est prompte, plus elle est efficace. Pour réduire les délais, des installations à préaction ont été conçues. Les tuyaux contiennent de l'air, mais ce n'est plus le sprinkleur qui en s'ouvrant déclenche la mise en eau des tuyaux, c'est par exemple un détecteur de fumée. Si de la fumée apparaît dans un local, le détecteur déclenche une alarme et commande l'ouverture de la soupape ; l'eau remplit la canalisation mais reste contenue à l'intérieur tant que la chaleur ne provoque pas l'ouverture de la tête du sprinkleur. Si la température atteint le seuil critique, l'eau se répand instantanément. Ce système a été retenu pour équiper la Bibliothèque nationale de France. Son avantage réside dans la rapidité de l'extinction, mais une fois le sprinkleur ouvert, il n'y a pas de système d'arrêt automatique de l'eau.

C'est pour cette raison que des systèmes d'extinction à préaction et à fonctionnement cyclique ont été mis au point. Le principe est proche de celui qui vient d'être décrit, mais il comporte en plus une commande automatique d'arrêt momentané de l'eau, qui est actionnée lorsque la chaleur diminue. Certains spécialistes, outre-Atlantique, se montrent très réservés sur ces dispositifs, coûteux à l'achat et à l'entretien ; de plus, leur fiabilité est sujette à caution, à cause de leur grande complexité¹⁰¹.

Actuellement se développent des systèmes à projection d'eau nébulisée, dont l'efficacité semble équivalente à celle des sprinkleurs, bien qu'une quantité d'eau nettement moins importante soit déversée. Un brouillard de gouttelettes ne dépassant pas 400 microns est libéré sous une pression de 10 bars, à raison de moins d'un litre d'eau par minute. Dans l'avenir, ces

équipements vont sans doute concurrencer les installations classiques à eau et celles qui font appel à des gaz. Ils présentent un bon compromis : les très faibles quantités d'eau répandues limitent considérablement les problèmes liés à son utilisation et, contrairement au gaz, il n'est pas nécessaire d'assurer l'étanchéité et l'évacuation du local. De surcroît, le brouillard d'eau « lave » l'air de la fumée ambiante¹⁰².

Les dispositifs mobiles d'extinction

Répartis régulièrement dans les aires à protéger, ils permettent d'intervenir rapidement au début de l'incendie, en limitant ainsi la propagation du feu et la mise en route des dispositifs automatiques.

Les extincteurs portables peuvent contenir différents agents d'extinction parmi ceux que l'on a énumérés précédemment (Tableau 22). Il existe des extincteurs à eau, à mousse, à poudre et à dioxyde de carbone. Le choix du type d'extincteur est conditionné par la catégorie de feu à éteindre (Tableau 23). Pour les archives photographiques, il s'agit de la classe A.

Les extincteurs à mousse et au dioxyde de carbone ont une efficacité limitée pour les feux de classe A. Les extincteurs à poudre contenant un mélange de sulfate d'ammonium et de phosphate d'ammonium sont polyvalents (feux de classe A et B). Ils ont été recommandés pour les collections de documents graphiques. Les poudres ne sont pas dangereuses pour le personnel ; elles peuvent toutefois provoquer une légère suffocation et une perte de visibilité, en raison de l'excès de produit en suspension dans l'atmosphère. Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'inconvénient majeur des poudres, qui peut en restreindre l'usage, est la présence de résidus parfois corrosifs. On préférera donc l'emploi d'extincteurs à eau pulvérisée.

Tableau 22

Les extincteurs mobiles.

<i>type</i>	<i>agent d'extinction</i>	<i>avantage/inconvénient</i>	<i>classe</i>
solide (poudre)	sulfate d'ammonium phosphate mono ammonique (en mélange)	agent polyvalent mais résidus	A, B, C
solide (poudre)	bicarbonate ou carbamate de potassium ou chlorure de potassium	bonne efficacité mais présence de résidus et poudres corrosives	B, C
mousse	mousses à foisonnement	mousse moins délétère que l'eau mais moins efficace (réinflammation)	A, B
liquide	eau (jet plein ou pulvérisé) AFFF (agent formant un film flottant)	bonne efficacité mais endommage les documents	A A, B
gaz	CO ₂	pas de résidus, moins délétère que l'eau mais moins efficace (réinflammation)	A, B, C
gaz	halon 1211	en voie de disparition	-

Tableau 23

Le classement des feux
(norme NFS 60100).

<i>classe de feu</i>	<i>nature de l'incendie</i>
A	feu sec : matériaux solides organiques : bois, papier, vêtements, caoutchouc, plastiques (essais d'extinction norme NFS 61-900)
B	feu gras : liquides combustibles ou inflammables (essais d'extinction norme NFS 61-900)
C	feu de gaz : méthane, propane, gaz de ville, etc.
D	feu de métaux combustibles : magnésium, sodium, potassium, etc.

La qualité de l'air

La qualité de l'air, la température et l'humidité conditionnent l'espérance de vie des photographies, la plupart de ces facteurs agissant en synergie. Des images fragiles peuvent résister pendant de nombreuses décennies si elles sont conservées dans des conditions strictes d'humidité et de température ; *a contrario* des images réputées plus stables peuvent être gravement détériorées si l'atmosphère est polluée ou trop humide.

LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Le confort pour l'être humain se situe à une température de 21 à 25 °C en été et de 18 à 21 °C en hiver¹⁰⁴. Quant au niveau d'humidité, il semble moins bien établi : selon les auteurs, il varie de 25 à 70 %¹⁰⁵. Ces différences traduisent notre manque de sensibilité à l'hygrométrie ambiante ainsi qu'à ses variations, puisqu'une amplitude de 30 % reste imperceptible. Notre sentiment de confort est davantage lié à la vitesse de l'air, qui est idéale entre 0,15 et 0,25 mètre par seconde. Les conditions de « bien-être » des objets (entendons par là des conditions ne favorisant pas leur dégradation) sont très différentes. Établir des recommandations adaptées à l'ensemble des collections est toutefois un exercice difficile. On peut en effet, en laboratoire, comprendre et modéliser le comportement d'un matériau, mais lorsqu'il s'agit d'objets réels, il faudrait intégrer de nombreux paramètres liés à leur structure complexe, à leur histoire, la façon dont ils sont assemblés, leur temps de réaction, les dommages causés par un changement climatique, ainsi que les effets des cycles de variations¹⁰⁶.

Tableau 24

Les facteurs d'altération
des photographies.

<i>facteur</i>	<i>cause</i>	<i>éléments sensibles</i>	<i>type d'altération</i>
humidité	■ faible humidité (< 20 %)	• supports en acétate de cellulose, tirages papier, gélatine, albumine, négatif sur verre	• physique : dessiccation, fragilité, cassure, déformation, décollement
	■ forte humidité (> 50 %)	• supports en acétate et en nitrate de cellulose	• chimique : hydrolyse
	■ très forte humidité (> 70 %)	• image argentique, produits chimiques résiduels	• chimique : oxydoréduction miroir d'argent, sulfuration, opacification des verres anciens
température	■ température ambiante	• protéine (gélatine, albumine), papier	• biologique : développement de micro-organismes
	■ variations thermohygrométriques	• supports en acétate et en nitrate de cellulose, colorants chromogènes	• physique : ramollissement et collage de la gélatine
polluants	■ gaz oxydants	• tirages papier, films, gélatine, albumine	• chimique : hydrolyse
	■ poussières	• image argentique	• chimique : hydrolyse, oxydation
lumière	■ visible	• surface des plaques, des films et des tirages	• physique : condensation, dilatation/rétraction différentielles, déformation, dessèchement, craquelures
	■ ultraviolets	• colorants	• chimique : oxydation
catastrophes	■ incendie	• tous supports	• chimique : oxydation/réduction
	■ inondation	• tous supports	• physique : salissures, abrasions, rayures

L'humidité

L'humidité absolue, spécifique et relative de l'air

Pour définir une notion aussi élémentaire que l'humidité ambiante, c'est-à-dire la quantité de vapeur d'eau présente dans notre environnement, on dispose de trois unités : l'humidité spécifique, l'humidité absolue et l'humidité relative.

L'humidité spécifique s'exprime en grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec, et l'humidité absolue en grammes par mètre cube d'air. Contrairement à l'humidité absolue, l'humidité spécifique n'est pas liée à des variations de température, de pression ou de volume (tant qu'il ne se produit pas de changement d'état, condensation ou évaporation). En

France, l'air renferme une quantité de vapeur d'eau à peu près constante qui, selon les régions, varie de 10 à 13 grammes de vapeur par kilogramme d'air, en l'absence de toute perturbation météorologique¹⁰⁷.

Pour la conservation des œuvres, ces valeurs ne sont pas pertinentes car elle n'indiquent pas le niveau de saturation en humidité de l'air. Ainsi 10 grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air correspondent, à 25 °C, à un air à moitié saturé, et à 14 °C, à un air totalement saturé. Or c'est en fonction du niveau de saturation de l'air que réagissent les matériaux. Aussi préfère-t-on utiliser la notion d'humidité relative (HR) qui est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air et la quantité maximale de vapeur d'eau que ce volume d'air pourrait contenir à la même température. L'humidité relative est donc un pourcentage : 50 % d'humidité relative signifie que l'air est à moitié saturé de vapeur d'eau.

humidité relative très faible	0 à 20 % HR	air très sec
humidité relative faible	20 à 40 % HR	air sec
humidité relative modérée	40 à 60 % HR	air tempéré
humidité relative élevée	60 à 80 % HR	air humide
humidité relative très forte	80 à 100 % HR	air très humide

L'humidité relative d'un local étanche évolue donc avec sa température. Tout refroidissement se traduit par une élévation de ce taux d'humidité jusqu'à atteindre, lors d'une baisse excessive, le taux de saturation (100 % HR). Il se produit alors la condensation de la vapeur, c'est-à-dire l'apparition de fines gouttelettes. La température à laquelle ce phénomène se produit est appelée température de rosée. Ainsi en hiver, il est fréquent de voir la vapeur d'eau se condenser sur les fenêtres dont la température est inférieure à la température de rosée. Le même phénomène peut se produire lorsqu'on extrait un objet d'une chambre froide.

Le réchauffement d'un local abaisse le taux d'humidité relative, à condition qu'il ne s'y trouve pas une quantité trop importante de matériaux hygroscopiques qui jouent le rôle de « tampons » en restituant ou en absorbant de la vapeur d'eau.

Illustration 62

Variations thermo-hygrométriques dans une galerie d'exposition, relevées entre le 4 mai et le 7 juin 1999 à Paris. Malgré la climatisation, on note les variations journalières de température et les fluctuations d'humidité, dues à l'inadaptation du matériel de climatisation et au défaut de conception du matériel de régulation.

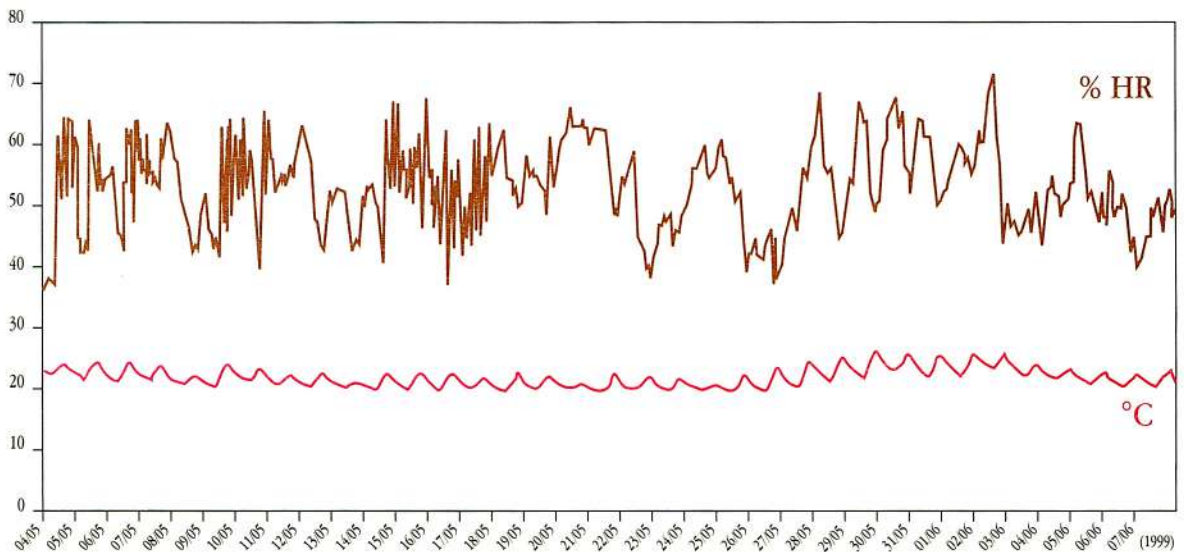


Illustration 63

Les différentes phases de l'adsorption de la vapeur d'eau.

Lorsqu'on trace la courbe de teneur en eau d'un matériau en fonction de l'humidité relative ambiante (isotherme de sorption), on obtient non pas une droite mais une courbe sinueuse qui a donné lieu à diverses explications.

Pour Brunauer, Emmett et Teller dans chaque partie de cette courbe se manifeste un phénomène physique.

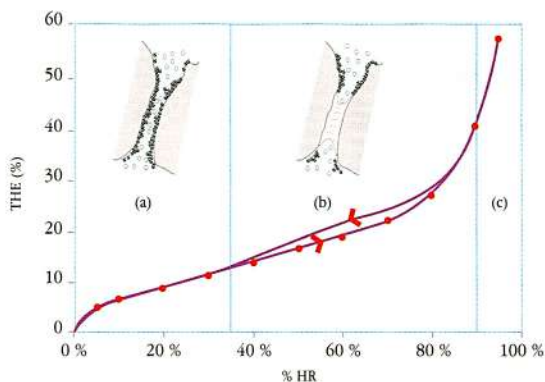
La partie (a) correspond à la fixation de molécules d'eau (couche

monomoléculaire ou polymoléculaire).

Une augmentation de l'humidité (zone b) se traduit par une condensation capillaire dans des pores dont le rayon est de plus en plus important (Tableau 25).

La partie (c) est le lieu de condensation sur des pores plus grands ou des surfaces externes. On a également constaté que l'isotherme de sorption était différent selon qu'on le traçait à partir de données obtenues en augmentant l'humidité relative ou en la diminuant.

En d'autres termes, les valeurs de THE que l'on observe pour une humidité ambiante fixée dépendent des conditions antérieures de conservation. Si deux tirages photographiques identiques, l'un conservé dans un grenier sec et l'autre dans une cave humide, sont réunis dans une pièce à 50 % HR, après mise en équilibre l'un contiendra 6 % d'humidité et l'autre 8 %. Ce phénomène d'hystérésis que l'on pourrait qualifier de « mémoire » des matériaux, a une explication physique : l'eau condensée occupant les pores de 1,5 à 10 nanomètres de rayon, correspondant approximativement à la partie (b) de la courbe, se vaporise à une humidité inférieure à celle à laquelle elle s'est condensée.



L'adsorption de la vapeur d'eau dans les matériaux et la teneur en humidité à l'équilibre

Lorsque la température ou l'humidité relative ambiante change, les matériaux organiques se mettent en équilibre en captant ou en rejetant de la vapeur d'eau. La rapidité de ce processus dépend de la vitesse de diffusion de l'eau à l'intérieur de la matière et de la masse de l'objet. On sait par expérience que tous les matériaux ne réagissent pas de façon similaire, le papier et la gélatine absorbant beaucoup plus d'eau que le polyester, pour ne citer que ces trois cas extrêmes. À chaque niveau d'humidité, la quantité maximale d'eau ainsi captée est appelée « teneur en humidité à l'équilibre » ou THE. Elle s'exprime en pourcentage, c'est-à-dire en grammes d'eau pour 100 grammes de matériau sec. À 40 % HR, un film sur support en triacétate de cellulose renferme environ 2 % de son poids en eau¹⁰⁸, alors que pour une épreuve sur papier, c'est de l'ordre de 7 %. Quand l'humidité relative décroît, les matériaux organiques restituent de la vapeur d'eau, la THE diminue. Les effets de la température sont inverses. Quand la température diminue, la THE augmente car les matériaux organiques absorbent la vapeur d'eau.

Ces phénomènes peuvent être observés dans les aires de stockage où une baisse de la température se traduit soit par une augmentation, soit par une baisse de l'hygrométrie si les matériaux hygroscopiques comme le bois, le plâtre, la cellulose, etc., sont présents en quantité suffisante¹⁰⁹.

Illustration 64

Isothermes de sorption de la gélatine seule et d'une émulsion photographique commerciale [gélatine + support].

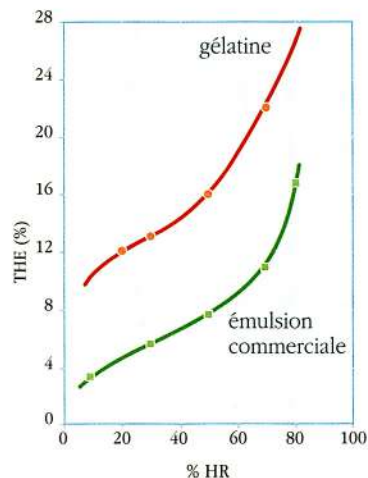


Tableau 25

Condensation capillaire en fonction de l'humidité relative, à 20 °C.

humidité relative	35 %	70 %	80 %	90 %	97 %	99,9 %
rayon des pores cylindriques (en nanomètres) où la vapeur d'eau se condense	1 nm	3 nm	4,8 nm	10 nm	35 nm	1 000 nm

Les effets physiques, chimiques et biologiques de l'humidité

La teneur en eau des matériaux a une incidence directe sur leurs propriétés. En atmosphère humide, la quantité d'eau contenue dans les photographies augmente et certains matériaux se dilatent. La cellulose et les supports en ester de cellulose réagissent de façon plus ou moins marquée, tandis que les supports en polyester sont peu affectés par les variations d'humidité. La gélatine est l'un des constituants les plus réactifs : elle peut adsorber jusqu'à 20 % de son poids en vapeur d'eau, selon son degré de tannage et la température ambiante. Il s'ensuit une dilatation importante qui s'accompagne d'un ramollissement et d'une grande vulnérabilité aux attaques biologiques. Au-delà d'un point critique, appelé point de transition vitreuse, la gélatine a tendance à passer à l'état de gel, facilitant les adhérences et la migration des composés chimiques, à l'origine de la dégradation de l'image argentique¹¹⁰.

En présence d'humidité, les sels résiduels du fixage se transforment en composés nocifs qui attaquent l'image argentique. Les polluants présents dans l'atmosphère deviennent beaucoup plus réactifs et les matériaux instables (cartons de montage de mauvaise qualité, adhésifs) génèrent un taux plus important de produits oxydants. Certains constituants sont particulièrement sujets aux réactions d'hydrolyse : les colorants des photographies en couleurs s'affaiblissent et les supports en acétate de cellulose se décomposent (syndrome du vinaigre). Des travaux indiquent que les colorants se dégradent quatre fois plus vite à 60 % HR qu'à 15 % HR. Quant aux supports en triacétate de cellulose, on peut tripler leur espérance de vie (à 21 °C), en diminuant l'humidité de 60 à 20 %¹¹¹. De façon simplifiée, on constate qu'en divisant de moitié le taux d'hygrométrie, on double l'espérance de vie de ces matériaux.

Illustration 65

Décollement de la couche image sur un tirage couleurs et sur une plaque de verre au gélatino-bromure d'argent.



Il faut toutefois se défier d'une atmosphère trop sèche : la dessiccation des matériaux conduit à une perte de souplesse et à un tuilage provoqué par la différence de contraction entre le support et la couche image. Bien que réversibles, ces modifications fragilisent les photographies et peuvent, en cas de manipulations maladroitement et de flexions un peu trop prononcées, provoquer des cassures et des clivages. Certains types de supports comme les plaques de verre ou les tirages Ilfochrome Classic¹¹² risquent d'être irréremédiablement endommagés par un abaissement important du taux d'hygrométrie, les tensions créées entre les couches produisant des craquelures et une séparation des différentes couches. Des fluctuations répétées de l'humidité relative exposent les photographies à des détériorations mécaniques prématurées. Les expériences montrent qu'après 150 cycles de 10 à 70 % d'humidité relative, l'émulsion se craquelle¹¹³.

La remise en condition

La remise en condition des matériaux, lorsque l'humidité ambiante change, est très lente, la vapeur d'eau devant se diffuser à travers les contenants et dans les matériaux. Cela prend d'autant plus de temps que la température est basse, et que la masse et la compacité sont importantes : les albums, les bobines de film se mettent en condition plus lentement que des éléments isolés. Pour un film cinématographique, la remise en condition peut réclamer plusieurs mois¹¹⁴.

Tableau 26

Temps de rééquilibrage en humidité nécessaire pour un rouleau de microfilm¹¹⁵.

	<i>équilibrage à 80 %</i>	<i>équilibrage à 100 %</i>
bande simple ou film	30 minutes	90 minutes
rouleau 16 mm	5 jours	3 semaines
rouleau 35 mm	1 semaine	4 semaines

Quelle humidité choisir ?

Pour les raisons énumérées précédemment, il est conseillé de ne pas dépasser 50 % HR. Les normes tendent à recommander une humidité relative comprise entre 20 et 30 % pour les films sur support en triacétate de cellulose. Cette fourchette peut toutefois s'étendre jusqu'à 50 % HR si la température est abaissée¹¹⁶. Définir le taux d'hygrométrie pour une collection hétérogène, contenant des tirages, des films, des plaques de verre est délicat, car, comme le montre le tableau 27, les taux recommandés varient selon le support et le type d'image, ce qui peut contraindre à rassembler par cellules les matériaux de même nature. Mais comme il n'est pas toujours possible, ni même souhaitable, de dissocier les éléments d'un fonds ou d'une collection, une humidité entre 30 et 40 % convient à l'ensemble des supports. Dans le cas de photographies sur plaque de verre ou de tirages sur papier, notamment lorsqu'ils sont anciens et fragilisés, on sera particulièrement attentif aux éventuels décollements ou déformations qui pourraient être dus à ces conditions de sécheresse ou à des fluctuations thermohygro-métriques excessives.

La stabilité hygrométrique

D'une saison à l'autre, les variations d'humidité peuvent être importantes. En hiver, l'air frais extérieur contient peu de vapeur d'eau ; une fois réchauffé à l'intérieur des locaux, son humidité relative décroît. En été, le phénomène inverse se produit : l'air extérieur est chaud et contient une masse d'eau plus importante ; quand il se refroidit à la température des salles d'archivage, l'humidité relative augmente. D'autres causes, comme la présence humaine, les appareils de chauffage, l'ensoleillement, peuvent modifier temporairement les caractéristiques de l'air. Les variations sur 24 heures ne sont pas toujours négligeables. S'il est conseillé de limiter ces fluctuations, les normes concernant les documents photographiques ne sont pas très explicites sur ce point. Une variation sur une brève période (moins d'une heure¹¹⁷) a peu d'influence car l'humidité n'a guère le temps de se diffuser, et les répercussions à l'intérieur des boîtes sont très amorties. Une étude, menée à la Library of Congress (États-Unis) par C. Shahani¹¹⁸, indique qu'une variation de 20 % de l'humidité relative pendant deux heures n'a pratiquement aucune incidence à l'intérieur d'un livre, tandis que des cycles de 24 heures ont des effets notables. On peut transposer ce résultat au cas de photographies ou de films gardés dans des boîtes. Il est donc important de s'assurer que les conditions d'humidité fixées sont respectées sur de longues périodes. Les seuils de variations à observer sont liés à la qualité de l'isolation et de la climatisation. S'il est possible dans des conditions optimales de respecter les limites idéales de $\pm 2\%$ ou $\pm 3\%$, il est plus réaliste et moins onéreux de ne pas excéder $\pm 5\%$ HR par 24 heures, sans risque pour les collections.

Tableau 27

Conditions thermohygrométriques recommandées pour une conservation indéfinie.

<i>image</i>	<i>support</i>	<i>procédé</i>	<i>température maximale</i>	<i>% HR*</i>
noir et blanc	plaque de verre	gélantino-argentique, collodion, albumine, etc.	18 °C	30 à 40 %
	papier	gélantino-argentique, pigmentaire	18 °C	30 à 50 %
	film nitrate	gélantino-argentique	2 °C	20 à 30 %
	film triacétate	gélantino-argentique	7 °C	20 à 30 %
			5 °C	20 à 40 %
			2 °C	20 à 50 %
	film polyester	gélantino-argentique, argentique thermique, vésiculaire	21 °C	20 à 50 %
couleurs	papier	blanchiment de colorant (Cibachrome), imbibition (Dye-Transfer), diffusion transfert (Polaroid), pigmentaire (Fresson...), diazoïque	18 °C	30 à 50 %
	papier	chromogénique	2 °C	30 à 40 %
			-3 °C	30 à 50 %
	film triacétate ou polyester	chromogénique, diazoïque	2 °C	20 à 30 %
			-3 °C	20 à 40 %
		-10 °C	20 à 50 %	

* L'humidité relative doit être choisie dans cette fourchette.

Tableau 28

Les fluctuations d'humidité
et les risques associés.

écart	risque
± 5 % HR	nul
± 10 % HR	minime
± 20 % HR	léger
± 40 % HR	grave

À la suite de modélisations basées sur l'étude des propriétés mécaniques des matériaux, le Conservation Analytical Laboratory (États-Unis) a suggéré un assouplissement des conditions en indiquant qu'une tolérance de $\pm 15\%$ HR est acceptable¹¹⁹. En fait, il paraît dangereux de vouloir systématiser : la marge de fluctuation de l'humidité doit être adaptée au type de matériau, à sa nature et à sa structure ainsi qu'au niveau de risque admissible. Une échelle des risques associés à divers niveaux de fluctuations a été publiée¹²⁰ (Tableau 28).

La déshumidification

La déshumidification est souvent nécessaire dans des locaux situés en sous-sol où la température est à la fois constante et basse, mais où l'humidité est trop importante pour autoriser le stockage d'une collection photographique. Il convient d'abord d'analyser les causes de cet excès d'humidité. S'il est lié à une infiltration ou à la diffusion d'humidité, l'isolation hygrométrique du local est un préalable souhaitable. Abaisser le taux d'hygrométrie en chauffant le local n'est pas envisageable pour les collections photographiques, car on perdrait le bénéfice d'une conservation au frais. L'utilisation statique de sels desséchants (gel de silice, sulfate de calcium anhydre) est déconseillée : ils ne sont guère efficaces sur de grands volumes et leur action de courte durée demande une surveillance et une régénération lourdes de contraintes. On peut avoir recours à deux types de déshumidificateurs, ceux qui fonctionnent par condensation et ceux dont le principe est fondé sur l'utilisation de sels déshydratants (Tableau 29). On déterminera lequel est le plus approprié en fonction de l'isolation, des caractéristiques du local, des objectifs et du bilan énergétique¹²¹. Dans le système par condensation, l'air est refroidi sur l'évaporateur du groupe frigorifique, de façon à condenser l'eau qu'il contient ; ainsi desséché, il est réchauffé sur le condenseur du système de réfrigération, et enfin renvoyé dans le local. On trouve dans le commerce des déshumidificateurs autonomes (type Ebac, Humidex plus) qui sont relativement peu coûteux. Les performances des déshumidificateurs par condensation sont d'autant plus grandes que la température de l'air est élevée. Si l'air est frais, ils sont moins efficaces, et il faudra opter pour une

Illustration 66

Cette courbe permet de déterminer le type de déshumidification. La frontière est établie à partir d'un air dont la température de rosée est de 4,5 °C. On voit que pour accéder à la zone recommandée pour la conservation des films photographiques sur support en CTA, il convient de traiter l'air sur des composés déshydratants. L'utilisation d'un système de déshumidification par condensation sera inefficace pour déshumidifier des chambres froides.

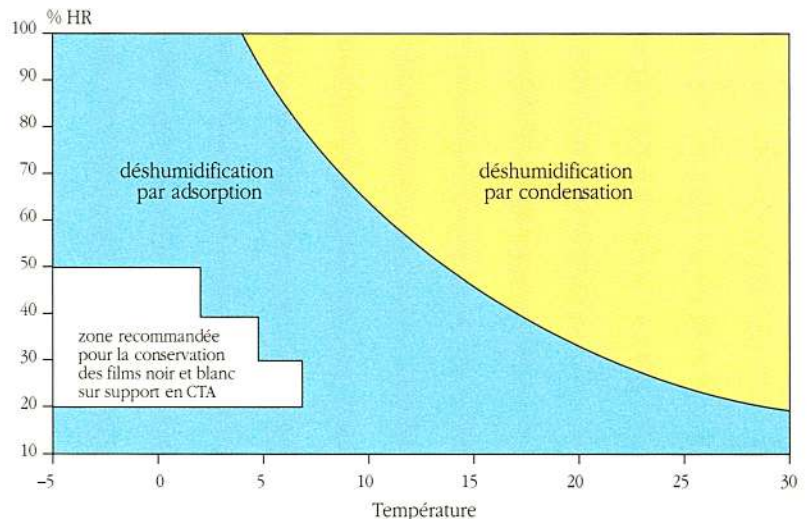
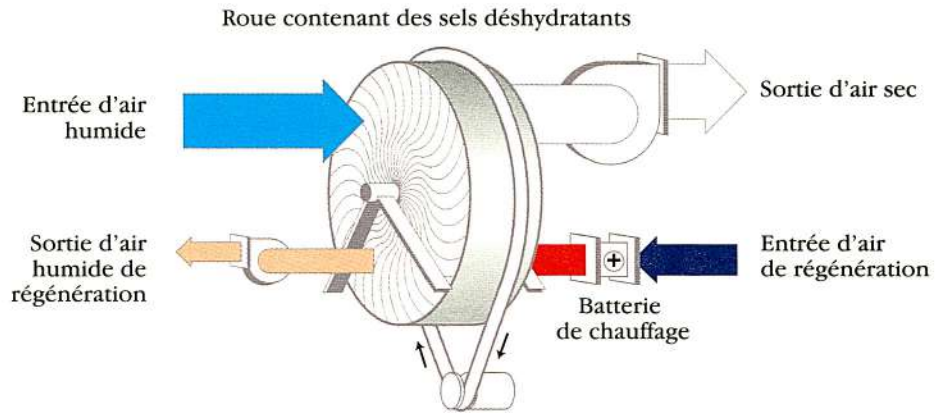


Illustration 67

Structure schématique d'un déshumidificateur par adsorption.
(Schéma Munters)



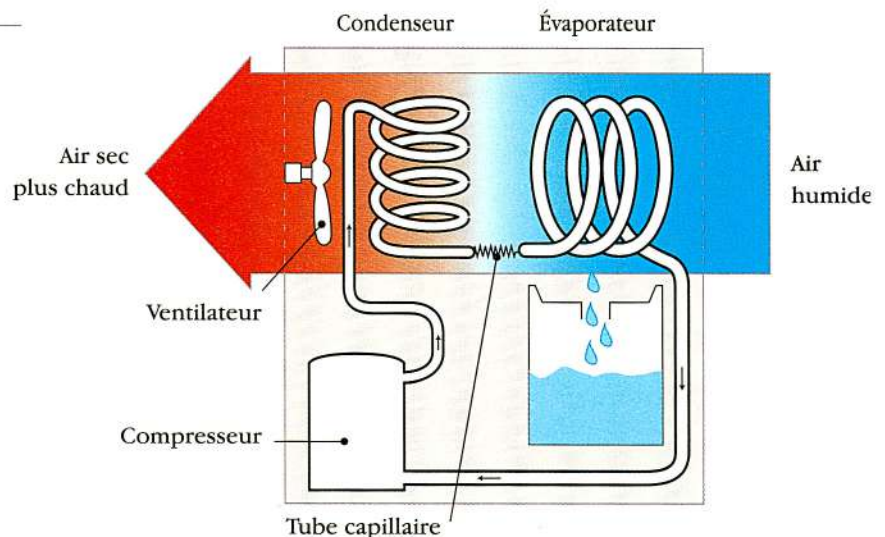
déshumidification sur des composés déshydratants. La limite qui permet de déterminer le type de déshumidificateur est un air dont la température de rosée est $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Illustration 66).

Les déshumidificateurs à sels déshydratants sont à base de gel de silice ou de chlorure de lithium. Quelle que soit la nature des sels introduits, ils demandent à être régénérés périodiquement.

Pour maintenir une faible humidité relative quand la température est basse, une prédéshumidification par condensation peut être associée à un système de déshydratation. Généralement ces installations sont intégrées au système d'air conditionné. Il existe aussi des déshydrateurs autonomes. Si l'on y fait appel, il faut les équiper d'un filtre de haute efficacité capable de retenir les particules volatiles d'un diamètre supérieur à $0,3\text{ }\mu\text{m}$ ¹²². Certains centres d'archives photographiques ou cinématographiques américains se sont équipés de déshumidificateurs « à roue déshydratante » (type Cargocaire Engineering Corporation ou Munters). Le principe de l'installation consiste à faire passer l'air à travers un cylindre dont l'intérieur contient une structure tubulaire nid-d'abeilles tapissée d'un sel déshydratant comme du

Illustration 68

Structure schématique d'un déshumidificateur par condensation.



chlorure de lithium, du fluorure de lithium ou du gel de silice. Le flux d'air à sécher ne traverse qu'une partie de la section du cylindre ; simultanément, pour réactiver les sels, on insuffle sur la section restante de l'air chaud (130 °C) qui est évacué vers l'extérieur. La rotation régulière du cylindre permet une régénération continue. La zone optimale de conservation des films en noir et blanc sur support en ester de cellulose se situe dans un domaine d'humidité et de température où le traitement sur déshydratants est le plus approprié¹²³ (Illustration 66).

Tableau 29

La déshumidification de l'air.

<i>type</i>	<i>principe</i>	<i>domaine d'application</i>	<i>investissement</i>
déshumidification par condensation	<ul style="list-style-type: none"> la vapeur d'eau est condensée sur un groupe réfrigérant 	température ambiante > 18 °C (température de rosée jusqu'à 4,5 °C)	faible
déshumidification sur roue déshydratante	<ul style="list-style-type: none"> adsorption de l'eau sur des particules de gel de silice ou d'alumine activée, disposées sur une structure rotative tournante. Une fraction de ce dispositif est continuellement régénérée par passage dans un courant d'air chaud. absorption de l'eau sur du chlorure de lithium disposé sur une structure rotative comme précédemment 	basses températures (température de rosée jusqu'à - 23 °C) très basses températures (température de rosée jusqu'à - 48 °C)	moyen important

L'humidification

Dans certaines constructions modernes, le taux d'hygrométrie est très faible en hiver et la manipulation des épreuves photographiques devient délicate. Il faut alors humidifier l'air. L'humidification à l'aide de récipients remplis d'eau ou contenant des solutions salines est dangereuse et inadaptée à de grands volumes. Il est préférable d'avoir recours à des appareils conçus pour cet usage. Il en existe de trois types : l'humidification peut se faire par de la vapeur produite en portant de l'eau à ébullition, par nébulisation (production d'un brouillard d'eau froide) ou par évaporation naturelle. Ces appareils sont à surveiller et à utiliser avec précaution. Avec les deux derniers types d'humidificateurs, il y a des risques de contamination biologique : si des micro-organismes se sont développés dans le réservoir, ils sont propagés dans l'atmosphère. Il faut être vigilant ou privilégier les appareils comprenant un dispositif de stérilisation, généralement une lampe UV (par exemple, le modèle Defensor PH26). Il ne faut pas non plus négliger le fait que les appareils à jet de vapeur ou à nébulisation, s'ils se dérèglent, peuvent saturer l'atmosphère très rapidement. Dans un humidificateur à évaporation naturelle, ce risque est moindre : l'air s'humidifie au contact d'une surface couverte d'eau, et en cas de dysfonctionnement le taux d'humidité relative n'excédera pas 70 %¹²⁴. Ce dernier système semble le plus adapté aux exigences de la conservation. Ces appareils ne doivent pas être placés

à proximité des documents qui risquent d'être gravement endommagés par un apport ponctuel de vapeur ou d'eau. Enfin, il ne faut pas ajouter de substances chimiques à l'eau destinée à l'humidification (désinfectant, inhibiteur de corrosion, etc.), à moins d'être sûr de leur innocuité sur les matériaux conservés et de leur faible toxicité (ce qui est rarement le cas des produits disponibles).

La mesure de l'humidité

Différents types d'hygromètres sont présentés dans le tableau 31. Ces appareils se dérèglent et il est nécessaire de les étalonner régulièrement. Cette opération se fait au moyen de solutions saturées en sel que l'on place dans une petite enceinte hermétique avec l'hygromètre (Tableau 32). Les hygromètres électroniques sont souvent vendus avec des récipients contenant des solutions salines destinées à l'étalonnage. Ces hygromètres peuvent alors servir de référence pour étalonner d'autres hygromètres.

Dans des locaux d'archivage ou d'exposition, on ne peut se contenter d'effectuer des mesures ponctuelles. Il faut suivre les variations sur de longues périodes, à proximité des œuvres conservées, d'où l'intérêt de s'équiper d'hygromètres enregistreurs. Le modèle le plus utilisé par les institutions est le thermohygromètre enregistreur à cheveux. Il comporte un cylindre rotatif recouvert d'une feuille de papier millimétré sur laquelle des stylets reportent les fluctuations de température et d'humidité. L'appareil est placé à un endroit représentatif des conditions réelles, en évitant la proximité d'un chauffage, d'une bouche de ventilation, d'un mur extérieur ou d'ouvertures. Pour les magasins de grande taille et compartimentés, où plusieurs relevés s'imposent, l'informatique et l'électronique ont permis de développer des systèmes composés de sondes discrètes que l'on répartit à divers emplacements significatifs. Les mesures sont envoyées régulièrement, par câble ou

Tableau 30

Les humidificateurs portatifs.

<i>type</i>	<i>principe de l'appareil</i>	<i>caractéristique</i>
par nébulisation	production de microgouttelettes d'eau par un atomiseur à disque, à buses ou ultrasonique	<ul style="list-style-type: none"> humidification brutale danger de saturation de l'atmosphère risque de contamination biologique volatilise les sels minéraux contenus dans l'eau (si l'eau n'est pas déminéralisée) non recommandé
par évaporation (vapeur froide)	l'air est pulsé sur ou à travers une surface imprégnée d'eau (tambour rotatif, éponge, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> humidification « naturelle » risque de contamination biologique, stérilisation UV possible, mais s'assurer qu'il n'y a pas production d'ozone recommandé
par ébullition (vapeur chaude)	une résistance électrique porte à ébullition l'eau contenue dans un réservoir	<ul style="list-style-type: none"> consomme plus d'énergie danger de saturation de l'atmosphère moins de risques de contamination biologique recommandé à condition de s'assurer de la présence et du bon fonctionnement de l'hygrostat

sous forme d'onde, à une unité centrale informatisée. Des détecteurs similaires mais autonomes, appelés parfois « mouchards » ou *data-loggers*, peuvent être placés dans des enceintes isolées. Fonctionnant sur piles, ils effectuent, selon une fréquence déterminée par l'utilisateur, des relevés qu'ils gardent en mémoire. Avant saturation des mémoires, les données sont transférées sur un micro-ordinateur pour être analysées. On emploie fréquemment ce dispositif pour suivre les variations thermohygométriques lors du transport et de l'exposition des œuvres. Les indicateurs colorés ou les petits hygromètres à cheveux sont utilisés en appoint pour le contrôle dans des lieux d'exposition ou dans des vitrines.

La température

Quelle température choisir ?

Selon la loi d'Arrhenius, la vitesse d'une réaction chimique est liée à la température de façon exponentielle (Illustration 34). Une faible augmentation de la température peut accélérer considérablement la vitesse de dégradation

Tableau 31

Quelques types d'hygromètres utilisés dans les institutions patrimoniales.

type	principe	domaine de mesure		caractéristique
		humidité	température	
■ hygromètre à cheveux, à bande de papier	<ul style="list-style-type: none"> l'augmentation de l'humidité dilate un matériau organique 	20 % à 80 %	ambiante	<ul style="list-style-type: none"> peu onéreux précision de $\pm 5\%$ à $\pm 15\%$ la précision décroît aux faibles températures temps d'équilibrage nécessaire étalonner deux fois par mois
■ psychromètre à bulbes (à hélice ou à aspiration)	<ul style="list-style-type: none"> comparaison de la température indiquée par deux thermomètres, dont l'un, entouré d'une gaze humidifiée avec de l'eau distillée, est ventilé 	5 % à 100 %	0 °C à 100 °C	<ul style="list-style-type: none"> étalonner tous les ans ou tous les deux ans précision de $\pm 2\%$ à $\pm 4\%$ demande à consulter un abaque pour déterminer l'HR
■ hygromètre électronique	<ul style="list-style-type: none"> la résistivité ou la capacitance d'un composé hygroscopique change en fonction de l'HR 	5 % à 95 %	-30 °C à 60 °C	<ul style="list-style-type: none"> simple d'emploi précision $\pm 3\%$ (selon modèles) étalonner deux fois par an sensible à la contamination chimique
■ capteur chimique	<ul style="list-style-type: none"> la fréquence d'oscillation d'un cristal de quartz couvert d'un substrat hydrophile est modifiée 			<ul style="list-style-type: none"> très faible volume précision $\pm 3\%$
■ indicateurs colorés	<ul style="list-style-type: none"> les sels de cobalt passent graduellement du bleu au rose en milieu humide 	20 % à 80 %	ambiante	<ul style="list-style-type: none"> peu onéreux indication très approximative ($\pm 10\%$ à $\pm 20\%$) sensible à la contamination chimique

Tableau 32

Conditionnement de l'humidité (à 20 °C)
par des solutions saturées en sel
(d'après le Mémento Merck).

<i>solution saturée de</i>	<i>formule du sel</i>	<i>humidité relative à 20 °C</i>
chlorure de lithium	LiCl, 6H ₂ O	11 % HR
chlorure de calcium	CaCl ₂ , 6H ₂ O	32 % HR
nitrate de zinc	Zn(NO ₃) ₂ , 6H ₂ O	42 % HR
carbonate de potassium	K ₂ CO ₃	45 % HR
nitrate de magnésium	Mg(NO ₃) ₂ , 6H ₂ O	55 % HR
nitrite de sodium	NaNO ₂	65 % HR
chlorure de sodium	NaCl	76 % HR
sulfate d'ammonium	(NH ₄) ₂ SO ₄	80 % HR
chlorure de potassium	KCl	86 % HR
sulfate de zinc	ZnSO ₄ , 7H ₂ O	90 % HR
carbonate de sodium	Na ₂ CO ₃ , 10 H ₂ O	92 % HR
disodium hydrogénophosphate	Na ₂ HPO ₄ , 12 H ₂ O	95 % HR
sulfate de potassium	K ₂ SO ₄	98 % HR

des colorants d'une image en couleurs ; de la même façon, il suffit de refroidir l'environnement de quelques degrés pour accroître la durée de vie d'un matériau instable. On a tendance, pour simplifier, à énoncer que diminuer la température de 10 °C double la durée de vie d'un matériau, mais c'est une information approximative. Le gain de stabilité conféré par une baisse de température est lié à une constante qu'on appelle énergie d'activation, et qui est propre à chaque réaction (plus cette énergie est faible, plus la dégradation est rapide). Dans le tableau 33, on a calculé, à partir des données trouvées dans la littérature, l'accroissement de la longévité des matériaux en fonction de l'abaissement de la température. Selon les matériaux, une baisse de 10 °C multiplie la longévité par des facteurs qui vont de 3 à plus de 5.

On voit ici l'intérêt de conserver à basse température les documents fragiles comme les films sur support en acétate de cellulose ou les photographies en couleurs, alors que les documents plus stables (tirages en noir et blanc, tirages Dye-Transfer, Ilfochrome Classic, etc.) ne requièrent pas une température de stockage aussi basse. C'est la raison pour laquelle les normes pour l'archivage de longue durée des films et des tirages en couleurs indiquent 2 °C comme température maximale. Il n'y a d'ailleurs aucune contre-indication à abaisser davantage cette température. Les travaux sur ce sujet ont montré qu'un film cinématographique supporte des cycles de congélation (à -15 °C) et de décongélation, sans qu'il y ait à craindre de chocs thermiques, de détériorations mécaniques ou la formation de cristaux de glace dans l'émulsion¹²⁵. Pour des structures composites ou complexes (contre-collages, grands formats, montages, etc.) comportant un assemblage de diverses couches ayant des propriétés physiques différentes, le stockage à très basse température n'a pas fait l'objet de recherches approfondies.

Tableau 33

k_1/k_2	film couleurs colorant cyan ¹²⁶ (Ea = 76 kJ/mole)	triacétate de cellulose ¹²⁷ (Ea = 90 kJ/mole)	cellulose ¹²⁸ (Ea = 108 kJ/mole)	polyester ¹²⁹ (Ea = 117 kJ/mole)
température				
20 °C	1	1	1	1
15 °C	1,7	1,9	2,2	2,3
10 °C	3	3,7	5	6
0 °C	10	15	26	35
- 10 °C	36	70	163	248
- 20 °C	144	357	1 167	2 085

$\log_{10}(k_1/k_2) = (Ea/19) [(T_1 - T_2)/(T_1 \times T_2)]$, Ea énergie d'activation en joule, T température en kelvins.

Facteurs relatifs d'augmentation de la stabilité quand la température décroît. Ainsi, en diminuant la température de 20 °C à 10 °C on multiplie par trois la durée de vie d'un film en couleurs.

Certes, des variations extrêmes et répétées de température influent sur la teneur en humidité des matériaux, et peuvent de ce fait soumettre l'objet à des contraintes, voire à des déformations. Toutefois, si des déformations physiques sont envisageables à basse température, une conservation à température ambiante conduit inévitablement à des détériorations chimiques (des images en couleurs chromogènes, par exemple).

La conservation au froid

Le stockage au froid est la seule façon d'assurer la pérennité de documents fragiles dans des conditions le plus proches possible de l'état original. Produire du froid fait appel à une technologie bien maîtrisée qui n'est pas d'un coût prohibitif, en particulier si on la compare au prix de la duplication ou de la restauration des œuvres. Maintenir une faible humidité à basse température est plus onéreux, mais il n'est évidemment pas question d'y renoncer : si elle n'est pas contrôlée, elle risque d'atteindre un niveau excessif (supérieur à 70 %) et les œuvres seront alors menacées par des altérations physiques et biologiques. Deux possibilités s'offrent : soit réguler l'humidité dans la chambre froide, soit utiliser, à l'intérieur de celle-ci, des contenants hermétiques (boîtes, armoires) où l'on maintient un niveau hygrométrique convenable à l'aide d'adsorbants.

Les grandes collections patrimoniales ont recours à des chambres froides, et même à de véritables entrepôts frigorifiques. Les plus imposants sont ceux qui sont destinés à la conservation des films cinématographiques, le volume des documents étant en général beaucoup plus important que celui des œuvres conservées dans les musées, et leur utilisation très limitée (Tableau 34). L'Art Institute de Chicago, le Centre canadien d'architecture (Montréal), la Maison européenne de la photographie (Paris) utilisent une chambre froide et une chambre fraîche, séparant ainsi pour l'archivage les documents en couleurs des documents en noir et blanc. Il est intéressant de noter que le stockage à basse température ne se réduit pas aux documents photographiques. En 1993, la Bibliothèque nationale de Norvège a aménagé dans des mines, près du cercle arctique (à Mo i Rana), des aires de stockage qui représentent 40 km de rayonnages. La température y est naturellement de 8 °C, et l'humidité est contrôlée pour être abaissée de 100 à 35 %. Des travaux sont en cours pour étudier la possibilité d'utiliser des chambres frigorifiques standards – non régulées en humidité – où l'on place les documents dans des armoires hermétiques dont l'humidité est stabilisée à l'aide d'adsorbants¹³⁰. Pour une petite collection, il est envisageable de s'équiper de réfrigérateurs ou de congélateurs ménagers (voir p. 84).

Le stockage à basse température limite l'accès aux documents, d'autant plus qu'on ne peut consulter un document sans que cette consultation soit précédée d'une étape de remise en condition. Sortir un document d'une chambre froide peut produire une condensation de vapeur d'eau à sa surface. Pour éviter ce phénomène, on utilise un sac de remise en condition à une température intermédiaire. Le temps nécessaire pour qu'un rouleau de film cinématographique 35 mm conservé à 0 °C s'équilibre à une température de 21 °C est d'environ cinq heures ; dans le cas d'un carton contenant 10 rouleaux, ce temps est multiplié par dix¹³¹. Pour des épreuves photographiques isolées, ce temps est beaucoup plus bref. Une pratique courante consiste à emballer le document dans un sac en polyéthylène. Une fois à l'extérieur de la chambre, on attend quelques heures – d'une heure à un jour selon la masse de l'objet, l'emballage et la différence de température – avant l'ouverture du sac, le temps que la température de l'objet soit en équilibre avec la température ambiante (ou tout au moins que sa température soit supérieure à la température de rosée). Le conditionnement, éventuellement sous vide, des documents dans des enveloppes hermétiques à la vapeur d'eau présente l'avantage majeur de rendre inutile la régulation de l'humidité dans la chambre froide et il protège des inondations et des polluants – mais le document doit être conditionné à chaque fois (voir p. 84). Si l'amélioration de la conservation en abaissant la température est incontestable, il reste à déterminer les conditions optimales. Pour un coût de stockage équivalent, vaut-il mieux, par exemple, stocker des films à – 10 °C, 50 % HR, plutôt qu'à 2 °C, 30 % HR ? L'utilisation des diagrammes d'isopermanence (Illustration 79) permet de répondre à cette question. Toutefois, le choix des conditions s'établit aussi en fonction des matériaux conservés et de leur fréquence d'utilisation, car la conservation au froid n'a de sens que si les œuvres ne sont pas trop souvent ramenées à température ambiante pour la consultation. Si c'est le cas, les bienfaits d'un stockage au froid s'en trouvent considérablement amoindris et au pis annihilés (Illustration 69).

Illustration 69

Effet de la durée d'exploitation à température ambiante (20 °C, 50 % HR) sur la stabilité de photographies stockées en chambre froide à 50 % HR.

On constate, par exemple, que si l'on sort plus de 30 jours par an des documents de la chambre froide, il n'y a pas de différence significative entre un stockage à – 10 °C et à – 20 °C.

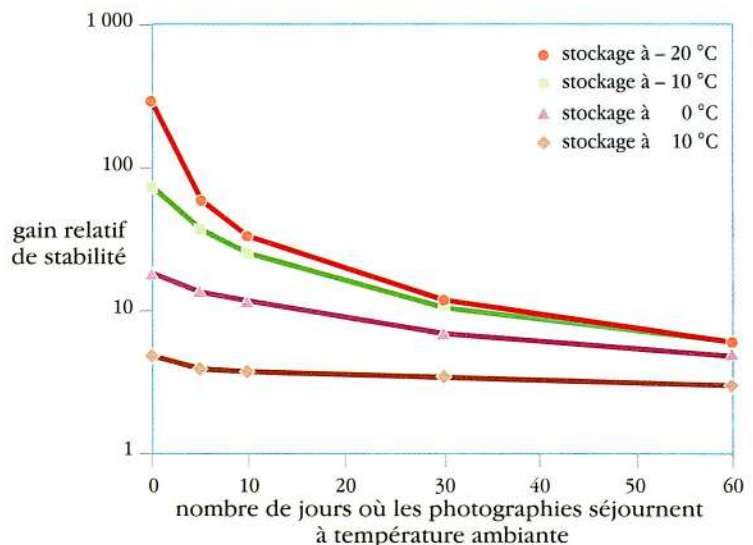


Tableau 34

Exemples de conditions de conservation de films et de photographies à basse température^{132, 133}.

<i>établissement</i>	<i>température</i>	<i>humidité relative</i>
The John Fitzgerald Kennedy Library (Boston, Massachusetts)	- 18 °C	30 %
NASA (Houston, Texas)	- 18 °C	20 %
The Historic New Orleans Collection (Nouvelle-Orléans, Louisiane)	- 18 °C	30 %
The Jimmy Carter Library (Atlanta, Géorgie)	- 18 °C	30 %
Cinémathèque québécoise (Montréal, Québec)	1,7 °C	35 %
Art Institute of Chicago (Chicago, Illinois)	4,4 °C	40 %
The Smithsonian Institution - Photographic Services (Washington DC)	4,4 °C	27 %
National Archives of United States (at College Park, Maryland)	- 3,9 °C	30 %
The National Gallery of Canada (Ottawa, Ontario)	15 °C	40 %
Centre canadien d'architecture (Montréal, Québec)	4,4 °C	40 %
Paramount Pictures (Hollywood, Californie)	4,4 °C	25 %
Archives de Coblenz (Allemagne)	- 6 °C	25 %
Archives du film (Bois-d'Arcy, France)	16 °C	50 %
Staatliches Film Archive (Allemagne)	- 7 °C	30 %
Norwegian Film Institute	- 5 °C	20 %
Tokyo Metropolitan Museum of Photography	5 °C	50 %
Archives nationales du Canada (Gatineau, Québec)	- 18 °C	25 %
Maison européenne de la photographie (Paris, France)	4 °C	40 %

La stabilité thermique

Toute modification de la température peut entraîner un changement hygrométrique et des mouvements d'air entre les contenants (boîtes ou local). L'abaissement de quelques degrés du local provoque l'extraction d'une partie de l'air présent dans les boîtes.

On a peu de données expérimentales pour déterminer s'il vaut mieux limiter les variations de température à 1 °C ($\pm 0,5$ °C) plutôt qu'à 6 °C (± 3 °C). D'un point de vue théorique, dans un local à 40 % HR, une variation de la température de 1 °C modifie l'humidité relative de 3 % ($\pm 1,5$ %) ; avec une amplitude de 6 °C, le changement hygrométrique peut atteindre 16 % HR¹³⁴. Toutefois, d'autres facteurs peuvent intervenir et atténuer les variations d'humidité, en particulier la présence d'une masse importante de matériaux

Tableau 35

Exemple des effets d'une variation de la température sur l'humidité relative dans un local à 20 °C et 50 % HR. Par exemple, lorsque la température passe de 20 à 22 °C, l'humidité relative tombe de 50 à 44 %.

<i>température</i>	16 °C	17 °C	18 °C	19 °C	20 °C	21 °C	22 °C	23 °C	24 °C	25 °C	26 °C
<i>HR</i>	64 %	60 %	57 %	53 %	50 %	47 %	44 %	42 %	40 %	37 %	35 %

hygroscopiques. Une fourchette de variations aussi stricte que $\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$ n'est réaliste que pour des réserves parfaitement isolées et climatisées. La norme ISO 6051 recommande de limiter les variations à $4\text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$) sur 24 heures.

La mesure de la température

Les capteurs destinés à relever la température en continu sont généralement des sondes à résistance de platine ou des thermocouples d'une précision de l'ordre d'un demi-degré. Comme pour les hygromètres, il faut en surveiller l'emplacement et l'étalonnage. L'enregistrement des températures se fait en continu ; il peut soit s'inscrire sur un support en papier, soit être transmis et géré par un système informatique ; en cas d'anomalie, en particulier pour les chambres froides, une procédure d'alerte peut être déclenchée.

LA PURETÉ DE L'AIR

La pollution

La qualité de l'air est devenue une préoccupation majeure dans les grands centres urbains. L'impression du public d'être dans un environnement pollué est d'abord conditionnée par la présence de poussières et de gaz odorants. Cependant, nombre de polluants sont inodores et menacent, tout autant, la pérennité des matériaux organiques et inorganiques.

L'expérience montre les effets nuisibles de la pollution sur les documents conservés dans les villes. Des doubles stockés dans une atmosphère moins polluée, à l'extérieur des sites urbains, présentent moins d'altérations. Il ne faut pas en conclure que les zones rurales sont totalement épargnées, les polluants y sont seulement différents¹³⁵. L'air urbain contient des gaz nocifs, parmi lesquels du dioxyde de soufre (SO_2), des oxydes d'azote (NO_x), de l'ozone (O_3), des dérivés sulfurés, des composés organiques volatils, du plomb, etc. Certains ne sont présents qu'en infime quantité, qu'on exprime habituellement en partie par million (ppm) ou en partie par milliard (ppb), 1 ppm et 1 ppb équivalant respectivement à 1 ml et 0,001 ml de gaz dans un volume d'un mètre cube. Ces concentrations sont aussi formulées en microgrammes par mètre cube (Tableau 36). Ces faibles taux sont suffisants pour altérer des photographies en noir et blanc ou en couleurs.

Tableau 36

Correspondance entre la concentration exprimée en ppm et la concentration exprimée en microgrammes par mètre cube à $0\text{ }^\circ\text{C}$.

$$C_{\mu\text{g}/\text{m}^3} = F C_{\text{ppm}}$$

<i>polluant (sous diverses appellations)</i>	<i>F*</i>
acétaldéhyde (CH_3CHO) (éthanal)	1 964
acide acétique (CH_3COOH) (acide éthanoïque)	2 679
acide chlorhydrique (HCl)	2 321
acide formique (CHOOH) (acide méthanoïque)	2 053
sulfure d'hydrogène (H_2S)	1 518
dioxyde de soufre (SO_2)	2 857
formaldéhyde (CH_2O) (méthanal)	1 339
monoxyde d'azote (NO)	1 339
dioxyde d'azote (NO_2)	2 054
ozone (O_3)	2 143
monoxyde de carbone (CO)	1 250
dioxyde de carbone (CO_2)	1 964

* $F = 273 \times \frac{\text{masse moléculaire}}{22,4}$

Les sources de pollution

Une grande quantité des polluants de l'air sont générés par la combustion des dérivés du pétrole ou du charbon : gaz d'échappement des véhicules automobiles, des chaudières, rejets liés à la présence d'une activité industrielle. Libérés dans l'atmosphère, ces polluants peuvent se transformer, réagir entre eux et conduire, sous l'effet des rayons solaires, à la formation d'autres composés chimiques agressifs. C'est une partie de ces gaz polluants que l'on retrouvera dans les magasins de stockage.

S'il est possible de connaître les relevés des taux de pollution dans une ville par des organismes officiels comme Airparif pour Paris (Tableau 37) et l'Île-de-France, il serait souvent aussi intéressant de faire effectuer des prélèvements à l'intérieur des locaux par des sociétés spécialisées : l'importance relative des gaz polluants y est différente¹³⁶. Ainsi dans les bâtiments, certains gaz polluants sont adsorbés ou neutralisés par les matériaux de construction ou de revêtement. Les mesures effectuées dans plusieurs institutions à Washington ou aux Pays-Bas¹³⁷ indiquent une nette diminution du taux d'ozone et de dioxyde de soufre ; la proportion d'oxydes d'azote peut au contraire augmenter, en raison de la présence d'appareils de chauffage, par exemple.

À l'intérieur des bâtiments, la quantité de produits organiques volatils croît considérablement. Les matériaux d'isolation, les revêtements des murs et du sol, le mobilier, peuvent en effet dégager des vapeurs acides, alcalines, des aldéhydes, des peroxydes, des dérivés sulfurés, dont le taux d'émission décroît avec le temps. Les bois en contreplaqué ou en aggloméré, par exemple, libèrent quotidiennement jusqu'à 55 milligrammes de formaldéhyde par mètre carré¹³⁸. Les mousses et les résines synthétiques génèrent elles aussi divers polluants¹³⁹.

L'activité humaine, enfin, est source de pollution : la transpiration, les vêtements de laine¹⁴⁰ produisent des dérivés sulfurés (sulfure de carbone), le tabac libère du monoxyde de carbone, des oxydes d'azote, des hydrocarbures, de l'ammoniac, des aldéhydes, etc. ; les produits d'entretien ou de bricolage sont à l'origine de dérivés organiques comme des hydrocarbures chlorés, fluorés, benzéniques, des aldéhydes, de l'ammoniac, etc. ; les photocopieurs et les imprimantes laser génèrent de l'ozone... Des analyses effectuées par le Getty Conservation Institute à l'intérieur de dix-sept musées et institutions révèlent que les composés carbonylés sont les agents polluants internes les plus fréquents et que le

formaldéhyde est prédominant (Tableau 38) : dans les bâtiments, les teneurs en formol s'étendent de 12 à 1 400 ppb, alors qu'à l'extérieur les concentrations ne dépassent pas 29 ppb. Les quantités sont d'autant plus importantes que l'air est confiné : les armoires de conditionnement sont les plus polluées. On a identifié de nombreux autres composés organiques dans des bâtiments publics ou dans des magasins d'archivage de films cinématographiques : il s'agit non seulement de l'acide acétique, mais aussi de l'acétone, du N-butanol, du cyclohexane, du trichloroéthane, du dichlorométhane, du dichloro 1,2 propane. Plusieurs de ces solvants sont utilisés lors de la fabrication du support des films et leurs résidus sont relâchés lentement dans l'atmosphère¹⁴¹. Des mesures effectuées dans des archives photographiques indiquent des taux d'oxyde d'azote allant jusqu'à 83 ppb, dont l'origine est liée à la présence de négatifs sur support en nitrate de cellulose. Tous ces composés volatils sont évidemment indésirables dans une aire de stockage et peuvent avoir également des effets nocifs sur le personnel.

Tableau 37

Taux de pollution de l'air urbain parisien (données Airparif).

<i>polluant</i>	<i>taux moyen annuel</i>
dioxyde de soufre	20 µg/m ³
monoxyde d'azote	36 µg/m ³
dioxyde d'azote	57 µg/m ³
ozone	18 µg/m ³
poussières	24 µg/m ³
fumées noires	21 µg/m ³

Les poussières résultent de l'activité humaine et de phénomènes naturels. Elles se composent de particules organiques : suie (fumées), fibres (matériaux de construction), pollens, spores, etc., ou inorganiques : métaux (plomb, fer, etc.), sels (air marin), matériaux de construction (ciment, plâtre, etc.). On répartit les particules en différentes catégories selon leur diamètre : les poussières en suspension dont la taille s'échelonne de 0,003 à 1 micron, les poussières tombantes qui ont un diamètre de 1 à 100 microns et les poussières industrielles d'un diamètre supérieur à 100 microns. Elles contiennent des composés inertes (fibres, déchets organiques, suie, métaux, etc.) et des micro-organismes.

Les effets de la pollution

Les interactions des polluants avec les matériaux photographiques ne sont pas totalement élucidées et dans la plupart des cas, ces gaz ont une action synergique¹⁴³. La gélatine protège certes l'image, mais cette protection

décroit rapidement quand l'humidité augmente : le dioxyde de soufre agit d'autant plus sur les photographies que l'humidité est élevée, et le peroxyde d'hydrogène et le sulfure d'hydrogène sont plus agressifs pour l'image argentique au-delà de 35 % HR¹⁴⁴. Les gaz acides ou susceptibles de former des acides, comme le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote dégradent la gélatine¹⁴⁶, fragilisent le papier et accélèrent la décomposition des supports en ester de cellulose. L'action combinée de dérivés sulfurés (H₂S, OCS, CS₂, (CH₃)₂S...) et d'agents oxydants comme des peroxydes conduit, nous l'avons vu, à la formation de miroir d'argent ou de taches d'oxydoréduction sur les photographies en noir et blanc (voir p. 31, 32).

Les images argentiques sont plus sensibles aux polluants que ne le sont les photographies en couleurs. Toutefois, certains colorants sont décolorés par les oxydants comme l'ozone, les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre¹⁴⁷. Les comportements diffèrent beaucoup selon les procédés : les microformes Ilfochrome Color Classic sont, par exemple, plus résistantes que des films chromogènes¹⁴⁸.

Les effets des composés organiques volatils sont moins bien connus. On a pu cependant constater l'action délétère des solvants de peinture, et nombre de ces substances agissent sur les photographies. L'action du formaldéhyde sur certains métaux est si rapide qu'on utilise des coupons de plomb pour le mettre en

Tableau 38

Concentration moyenne en polluants carbonylés¹⁴².

<i>polluant</i>	<i>moyenne des relevés sur 17 institutions</i>
formaldéhyde (méthanal)	42 ppb
acide formique (acide méthanoïque)	14 ppb
acétaldéhyde (éthanal)	23 ppb
acide acétique (acide éthanoïque)	32 ppb

Tableau 39

Sources de polluants à l'intérieur des locaux.

<i>polluant</i>	<i>source</i>
acétone	solvants, solvants de nettoyage
acide acétique	bois, adhésifs du bois, peintures, joints
acide formique	bois, bois aggloméré, adhésifs
ammoniac	produits d'entretien, adhésifs, peintures à émulsion
formaldéhyde	bois en contreplaqué, adhésifs
ozone	équipements électriques, photocopieuses, imprimantes laser
peroxydes	bois, adhésifs de mauvaise qualité, peintures à l'huile
dérivés sulfurés	présence humaine, laine, caoutchouc vulcanisé au soufre

Tableau 40

Polluants de l'air¹⁴⁵.

<i>phase</i>	<i>exemple</i>	<i>taille des particules</i>
solide	fumée de cigarette, fibres, pollens, spores	0,003 à 100 microns
liquide	dispersat : solvants de peintures en aérosol	1 à 9 microns
gazeuse	composés organiques volatils, NO ₂ , SO ₂ ...	0,000 3 à 0,006 micron

Illustration 70

Les daguerréotypes sont particulièrement sensibles aux gaz polluants et se ternissent s'ils ne sont pas protégés.



Tableau 41

Action de quelques familles de solvants sur les photographies¹⁵¹.

<i>familles de solvants</i>	<i>effet des solvants</i>
éthers, cétones : méthylisobutylcétone	peuvent produire des peroxydes
alcools, esters, cétones	pénètrent la gélatine humide
hydrocarbures halogénés, hydrocarbures	ne pénètrent pas la gélatine humide

évidence dans des aires de stockage¹⁴⁹. Sur les photographies en noir et blanc, il réduit les ions argentiques en argent colloïdal et provoque ainsi un voile jaune sur l'image.

Les poussières, en se déposant sur l'image, provoquent des altérations chimiques, mécaniques, biologiques ou esthétiques. Il suffit qu'un dépôt de particules couvre 2,4 % des parties blanches d'un document pour qu'il apparaisse souillé¹⁵⁰. L'action de ces particules dépend de leur taille, et l'activité de certaines poussières de taille inférieure à 1 micron est plus importante que celles de taille supérieure.

Les recommandations

Les polluants gazeux

Il n'existe pas pour les polluants de seuils limites de concentration en dessous desquels les dangers seraient inexistantes : la dégradation est proportionnelle à la concentration. Il est donc recommandé de les éliminer au mieux en fonction de la technique disponible et des risques acceptables pour la collection.

Afin de répondre aux besoins des maîtres d'œuvre chargés d'édifier des locaux d'archives, des consignes draconiennes ont été données par le National Bureau of Standards¹⁵². Conçues à l'origine pour les documents graphiques, ces recommandations ont été adoptées pour l'archivage des photographies^{153, 154}. Ces valeurs ne concernent que les polluants urbains, les limites admissibles restent à préciser pour les composés organiques présents à l'intérieur des bâtiments.

Les particules en suspension

L'atmosphère des salles de conservation doit contenir moins de 75 microgrammes de particules en suspension par mètre cube. Cette valeur ne renseigne pas sur la morphologie des particules et une telle limite peut

Tableau 42

Recommandations pour la qualité de l'air dans les réserves des documents d'archives.

<i>polluant</i>	<i>quantité maximale tolérée G. Thomson¹⁵⁵</i>	<i>quantité maximale tolérée aux Archives nationales du Canada (Gatineau)</i>	<i>quantité maximale tolérée aux Archives nationales des États-Unis (College Park)</i>
dioxyde de soufre (SO ₂)	10 µg/m ³	1 µg/m ³	1 µg/m ³
oxydes d'azote (NO _x)	10 µg/m ³	5 µg/m ³	5 µg/m ³
ozone (O ₃)	2 µg/m ³	2 µg/m ³	25 µg/m ³
acide chlorhydrique (HCl)	NS	NS	NS
acide acétique (CH ₃ COOH)	NS	NS	NS
formaldéhyde (CH ₂ O)	NS	NS	5 µg/m ³
composés organiques volatils	NS	NS	NS
particules en suspension	NS	75 µg/m ³	75 µg/m ³

NS : non spécifié.

Illustration 71

Installation d'une unité autonome de purification de l'air.

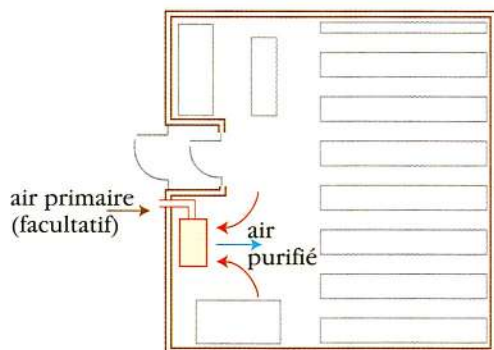
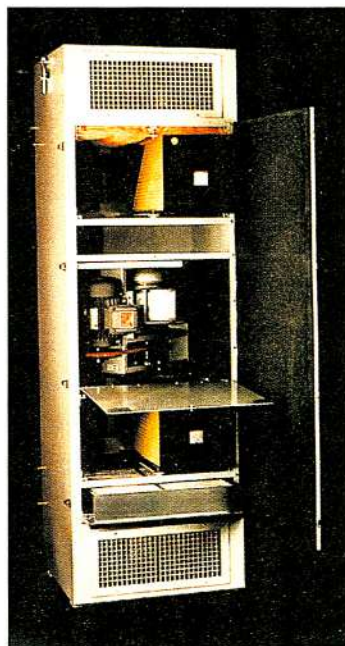


Illustration 72

Unité autonome de purification PPU de Purafil.

(Photographie Purafil)



correspondre à un grand nombre de petites particules, ou à une quantité moindre de particules d'une taille plus importante. Aussi les normes indiquent-elles que les particules de diamètre supérieur à 1 micron doivent être éliminées à plus de 95 %, et celles entre 0,5 et 1 micron à plus de 50 %. Ce taux relativement bas prend en considération la difficulté à éliminer des particules si fines. L'épuration se fait par l'intermédiaire de filtres.

La purification de l'air

La purification intégrée à l'air conditionné

Dans les locaux destinés à l'archivage, l'air dont la qualité est insuffisante doit être soumis à diverses filtrations. Pour de grands volumes, il faut faire appel à des installations complexes, qui comportent un système de purification de l'air intégré à une centrale de climatisation. Ces équipements sont coûteux et les frais d'entretien ne sont pas négligeables.

La filtration de l'air doit éliminer les particules en suspension et retenir le mieux possible les gaz polluants. Cette opération purifie l'air qui vient de l'extérieur, mais elle doit servir également à recycler une partie de l'air ambiant du magasin. On a, en effet, tout intérêt à traiter un air déjà débarrassé des polluants urbains par la filtration puis par l'action adsorbante des matériaux internes. Le système de climatisation est ainsi moins sollicité et la durée de vie des filtres s'en trouve prolongée. Afin d'éviter l'introduction indésirable de polluants lorsqu'on pénètre dans la salle d'archivage, il est préconisé de maintenir dans le local une légère surpression (1 à 2 pascals) qui peut également favoriser le maintien de l'hygrométrie¹⁵⁶.

Les unités autonomes

Dans des volumes restreints, en l'absence d'un équipement de climatisation, on peut avoir recours à une unité autonome de recyclage de l'air qui maintient également le local en surpression, par exemple, les *Positive Pressurization Units (PPU)* de Purafil (Illustration 72). Ce dispositif comporte éventuellement une prise d'air extérieure.

La filtration des particules

La plupart des filtres sont constitués d'un média fibreux : fibres de verre, fibres synthétiques en polyester, polypropylène, polyuréthane... Pour améliorer leur efficacité et leur durée de vie, ils se présentent sous la forme d'une poche, à l'instar d'un sac d'aspirateur, ou d'une structure plissée qui offrent une plus grande surface au flux d'air. On trouve également des filtres électrostatiques qui éliminent plus de 95 % des particules organiques ou inorganiques, de taille supérieure à 1 micron, en les ionisant et en les piégeant sur une électrode. Les filtres à effet électrostatique basé sur l'électrisation des fibres par le courant d'air ont une efficacité moindre.

L'efficacité d'un filtre s'exprime par son rendement, c'est-à-dire par le pourcentage de poussières qu'il peut retenir. L'expression de l'efficacité peut différer considérablement selon que l'on prend le pourcentage en nombre (efficacité opacimétrique) ou en masse (efficacité gravimétrique) des particules arrêtées par le filtre. L'efficacité opacimétrique permet d'être beaucoup plus précis, en particulier pour les hauts niveaux de filtration : c'est donc souvent à elle que l'on se réfère pour qualifier les filtres destinés aux aires de stockage. Pour éviter toute ambiguïté, il convient de bien

Tableau 43

Niveaux recommandés de filtration des particules¹⁶⁰.

<i>local</i>	<i>niveau de filtration*</i>
zone de consultation publique	60-80 %
dépôt provisoire	90-95 %
magasin d'archivage	supérieur à 95 %

* ASHRAE standard 52, Method of testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter ; atmospheric dust spot efficiency procedure.

spécifier les normes qui ont été utilisées pour évaluer cette efficacité : normes américaines ASHRAE (*American Society of Heating Refrigeration and Ventilation Engineers*) 52, européennes Eurovent 4/5, ou françaises AFNOR NF X44-012, NFX44-013, NFX44-011...

Les méthodes de test décrites dans ces documents sont basées sur l'utilisation d'un aérosol de chlorure de sodium, de bleu de méthylène (MBT), de dioctylphtalate (DOP). La méthode au DOP est destinée à évaluer le rendement de filtres à très haute efficacité.

Le choix du niveau de filtration fait l'objet de recommandations précises. Il faut différencier les aires de stockage des espaces ouverts au public où il est pratiquement impossible de maintenir un niveau élevé de pureté de l'air. On conseille pour les bibliothèques d'utiliser des filtres fins ayant une efficacité opacimétrique¹⁵⁷ située entre 60 et 80 %, soit en moyenne 70 %¹⁵⁸. Pour l'archivage des documents photographiques, une efficacité de 85 % apparaît comme un minimum¹⁵⁹. Des consignes précises ont été édictées outre-Atlantique (Tableau 43) où l'on préconise un niveau de filtration supérieur à 95 % pour les aires de stockage. Dans des lieux peu fréquentés où l'air est recyclé, il semble plus facile d'atteindre cette très haute efficacité. À cette fin, on installe une combinaison de filtres appropriés, avec un filtre de dégrossissage (moyenne efficacité), associé à un filtre fin (haute efficacité) ou à un filtre ultrafin (très haute efficacité). Les filtres à haute efficacité opacimétrique retiennent une grande partie des spores et des bactéries en suspension. Les médias fibreux doivent être régulièrement remplacés, car ils finissent par se colmater et s'opposer au passage de l'air, en occasionnant d'importantes pertes de charge (chute de pression) : on compte environ 2 000 heures d'utilisation pour les préfiltres et entre 5 000 et 8 000 heures pour les autres¹⁶¹. Les filtres électrostatiques n'ont pas cet inconvénient, mais sous l'effet du champ électrique régnant dans le filtre, une partie de l'oxygène se transforme en ozone. Pour cette raison, ces filtres sont souvent déconseillés pour les aires de stockage¹⁶². Pour tenter d'y remédier, il a été commercialisé des filtres électrostatiques ne produisant pas d'ozone (type filtre Futura) ; on recommande malgré tout, l'adjonction en aval d'un filtre au charbon actif.

Le captage des gaz polluants

La filtration par passage de l'air dans des solutions aqueuses tend à disparaître en raison de son absence d'efficacité sur l'ozone et des risques de contamination biologique. On a plutôt recours à la filtration sur des substances actives¹⁶³ qui se fait par adsorption à la surface d'un solide très poreux. L'intérêt est d'utiliser un composé bon marché qui offre une grande surface accessible. C'est le cas du charbon actif¹⁶⁴ qui vient de la combustion de coques de noix de coco ou de bitumes. Sa structure poreuse,

Tableau 44

Indices d'adsorption par le charbon actif de certains composés.

acide acétique	4
acide chlorhydrique	2
acide sulfurique	4
ammoniaque	2
camphre	4
chlore	3
dioxyde d'azote	2
dioxyde de carbone	1
dioxyde de soufre	2
essence	4
formaldéhyde	2
hydrogène sulfuré	3
monoxyde de carbone	1
oxyde d'éthylène	4
ozone	4
tétrachloroéthane	4
tétrachloroéthylène	4
tétrachlorure de carbone	4

obtenue par un traitement particulier, lui confère une très grande surface spécifique : jusqu'à 2 000 mètres carrés par gramme de charbon. Les molécules des gaz polluants seront adsorbées dans les macropores et se condenseront dans les micropores. Le charbon actif est conditionné sous forme de granules que l'on répartit entre des plaques perforées, ou sous forme de poudre dans des sacs en non-tissé placés sur le passage de l'air. Il est largement utilisé dans les unités de filtration ; son inconvénient réside dans son inflammabilité.

Le pouvoir de rétention du charbon actif augmente lorsque la température et l'humidité diminuent. Tous les gaz n'ont pas la même affinité avec le charbon actif, celle-ci s'exprime par un indice qui va de 1 à 4 :

- 1 - Adsorption nulle (moins de 1 % de gaz adsorbé par rapport au poids de charbon).
- 2 - Adsorption médiocre (moins de 5 % de gaz adsorbé).
- 3 - Bonne adsorption (10 à 15 % de gaz adsorbé).
- 4 - Très bonne adsorption (20 à 40 % de gaz adsorbé).

Dans le tableau 44 sont réunies les valeurs concernant les polluants les plus communs. Si plusieurs gaz, dont l'ozone, sont bien piégés par les filtres au charbon actif, certains polluants communs de l'atmosphère (oxyde d'azote, oxydes de carbone, formaldéhyde, acide chlorhydrique) le sont moins bien. Dans une unité de filtration performante, on doit associer les filtres à charbon actif à des filtres spécifiques qui agissent par chimisorption sur certains types de polluants. Il s'agit alors de substrats imprégnés d'un réactif sur lesquels les gaz sont transformés chimiquement. On peut ainsi imprégner du charbon actif d'hydroxyde de sodium ou de potassium pour neutraliser les gaz acides (SO₂, H₂S, NO₂), on utilise aussi de l'alumine activée imprégnée de permanganate ou de bicarbonate de potassium (Tableau 45).

L'achat et l'entretien de ces filtres représentent un investissement important ; étant donné les relativement faibles taux de polluants observés dans les institutions, les filtres à charbon actif assurent une filtration suffisante. Il n'est pas aisé de déterminer la durée de vie des « filtres chimiques », liée au niveau de pollution ainsi qu'à la présence de poussières qui peuvent obturer les micropores. L'air doit donc être préalablement débarrassé des particules en suspension. Le plus souvent, les filtres sont changés périodiquement par le service de maintenance.

Tableau 45

Exemples de filtres Purafil pour le captage des gaz polluants.

<i>type</i>	<i>composition</i>	<i>efficacité</i>
Puracarb PP1505 ou Carasorb	charbon actif sur un support d'alumine imprégnée d'hydroxyde de potassium	SO ₂ , H ₂ S, NO ₂ , Cl ₂ , O ₃
Purafil II chemisorbant	alumine activée imprégnée de permanganate de potassium	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, NO, CH ₂ O, O ₃
Puracarb AM	charbon actif sur un support d'alumine imprégnée d'acide phosphorique	NH ₃ , O ₃ , acides organiques
Purakol	charbon actif	O ₃ , Cl ₂ , acides organiques

Tableau 46

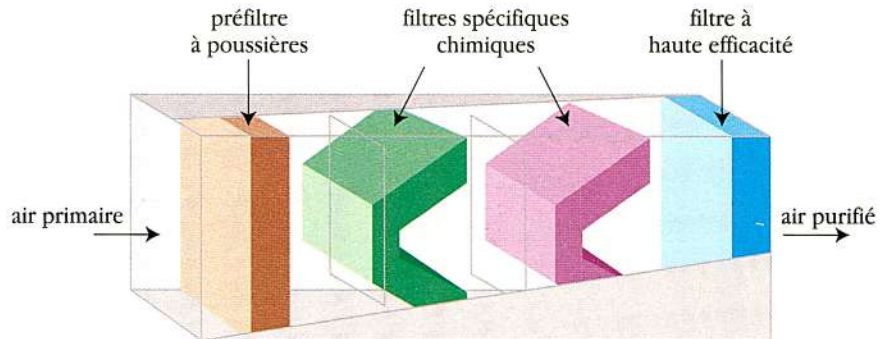
Exemples de traitement de l'air recommandés par Purafil¹⁶⁵.

	<i>action</i>	<i>type de filtre</i>	<i>longueur du casier</i>
traitement de l'air frais (air primaire)	préfiltre à poussière (efficacité 30 %)	rétention des particules en suspension	203 mm
	filtre au charbon actif Puracarb PP ou Sonoxcarb	rétention des gaz NO ₂ , SO ₃ , acide formique, etc.	460 mm
traitement de recyclage de l'air	filtre électrostatique ou préfiltre	rétention des particules en suspension	203 mm
	Puracarb	rétention des gaz NO ₂ , SO ₃ , acide formique, etc.	460 mm
	Purafil II	rétention des gaz NO, O ₃ , H ₂ S, SO ₂ , CH ₂ O	460 mm
	filtre à haute efficacité	rétention des particules en suspension (provenant des filtres) chauffage ou réfrigération, humidification ou déshumidification	216 mm



Illustration 73

Casier à filtres pour la purification de l'air.
(Photographie Purafil)



La mesure des polluants

Les recommandations mentionnent des taux de polluants extrêmement faibles, et on ne dispose pas d'instruments de mesure simples et fiables pour contrôler rapidement des niveaux aussi bas. Chaque gaz doit être analysé selon une procédure particulière qui demande les compétences d'un technicien spécialisé. La connaissance précise de la nature et de la quantité des polluants présents dans l'air est utile pour contrôler l'évolution de l'environnement d'une collection ; elle nous renseigne cependant peu sur les effets de ces gaz sur les œuvres. En effet, certains gaz, même si les quantités de polluants sont infimes, agissent en synergie et peuvent provoquer des dégâts importants. Ainsi est-il établi qu'à faible humidité le peroxyde d'hydrogène induit peu d'altérations sur les microfilms argentiques alors que lorsque l'humidité augmente, cette même quantité peut se révéler beaucoup plus dévastatrice. Aussi cherche-t-on à développer actuellement des indicateurs de corrosion constitués de matériaux sensibles aux polluants comme le plomb, l'argent, le cuivre ou certains types de verre. Après exposition dans les réserves ou les salles d'exposition, on évalue la corrosion visuellement ou au moyen de mesures physiques (mesure de densité optique, mesure piézo-électrique, masse, résistivité, etc.). Ces procédés donnent une estimation qualitative du degré de pureté de l'air. Il reste à s'assurer de l'adéquation de la réactivité des capteurs avec celle des matériaux conservés¹⁶⁶.

L'évaluation de l'agressivité de l'air

L'argent colloïdal

Une méthode développée par E. Weyde¹⁶⁷ est parfois utilisée pour indiquer la présence de polluants capables d'endommager les collections photographiques. Il suffit de suspendre à l'air libre, dans les magasins d'archivage ainsi que dans les armoires de rangement, des bandes de films d'argent colloïdal (fabriqués par Agfa). La couleur de ces films s'assombrit proportionnellement au degré de pollution. Les contrôles s'effectuent après deux puis six semaines, et ce test peut se prolonger sur une année. L'évaluation se fait comparativement à un échantillon de référence conservé à l'abri, et peut

Illustration 74

Film d'argent colloïdal exposé à l'air pendant quelques années.
L'assombrissement des parties exposées correspond à une attaque des polluants.

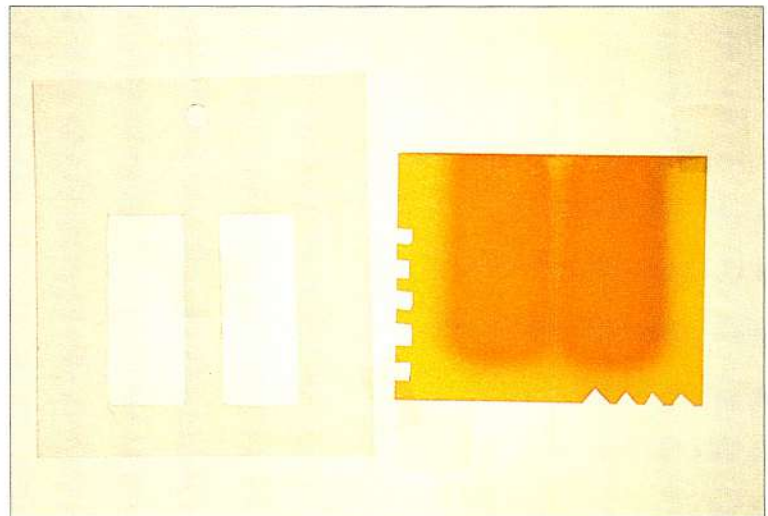


Tableau 47

Estimation de l'agressivité de l'air.

<i>épaisseur de la couche de corrosion sur lame d'argent après 30 jours</i>	<i>épaisseur de la couche de corrosion sur lame de cuivre après 30 jours</i>	<i>qualité de l'air pour les institutions patrimoniales¹⁷⁰</i>	<i>qualité de l'air pour les industries d'après l'ISA*</i>
< 40 angströms : niveau S1	< 90 angströms : niveau C1	très pur	
< 100 angströms : niveau S2	< 150 angströms : niveau C2	pur	
< 200 angströms : niveau S3	< 250 angströms : niveau C3	propre	
< 300 angströms : niveau S4	< 350 angströms : niveau C4	contaminé	
> 300 angströms : niveau S5	> 350 angströms : niveau C5	pollué	
	< 300 angströms : niveau G1		faiblement pollué
	< 1 000 angströms : niveau G2		modérément pollué
	< 2 000 angströms : niveau G3		gravement pollué
	> 2 000 angströms : niveau G4		très gravement pollué

* *Instrument Society of America*
(norme ISA-S71-04-1985).

être affinée par des mesures densitométriques (filtre bleu). Si une modification notable est observée après quelques semaines ou quelques mois, l'air sera considéré comme pollué ; si l'assombrissement apparaît après un ou deux ans, l'air est sans danger pour les collections. Toutefois, aucun étalonnage n'a encore permis d'établir une relation plus précise entre la variation de la densité optique et la qualité de l'air. Enfin, ce test n'est applicable que si les conditions thermohygométriques sont contrôlées ; il peut en effet donner des résultats erronés quand l'atmosphère est trop humide. Cette méthode de contrôle est appliquée dans les réserves photographiques de l'Art Institute de Chicago.

Les « coupons » Purafil

Les constructeurs et les utilisateurs de matériel d'équipement électronique sont confrontés au problème de l'agressivité de l'air qui met rapidement hors d'usage les circuits imprimés. Une méthode¹⁶⁸ d'évaluation qualitative de la pureté de l'air, mise au point en 1985 par l'Instrument Society of America (norme ISA-S71-04-1985), consiste à évaluer l'épaisseur de la couche de corrosion de plaques de cuivre exposées à l'air au moins 30 jours. En fonction de cette épaisseur, des niveaux de pureté de l'air sont définis (Tableau 47). Ce principe a été appliqué pour contrôler la qualité de l'atmosphère dans les salles d'exposition et les réserves. Des lamelles en argent sont exposées de 30 à 90 jours, et l'agressivité de l'air est déterminée en fonction de l'épaisseur de la couche d'argent oxydée. La société Purafil, qui commercialise ces indicateurs (*Corrosion Classification Coupons* et *Silver 6 Pak*) se charge de déterminer l'épaisseur des couches de corrosion (chlorure, sulfure et oxyde d'argent) et d'analyser les principaux polluants qui en sont à l'origine.

Pour les archives photographiques, il faut se situer dans la classe S1/C1.

Les capteurs en verre

Ces capteurs ont été développés par le Fraunhofer-Institut für Silicatforschung, en Allemagne¹⁶⁹. On utilise un verre potassique et calcique, très sensible aux polluants atmosphériques. De petites lamelles de verre sont

Illustration 75

Sonde électronique OnGuard 2000 pour l'évaluation de la qualité de l'air.
(Photographie Purafil)



exposées sur les sites et le degré de corrosion est mesuré par l'ampleur de l'absorption en spectrométrie infrarouge à 3300 cm^{-1} (vibration de valence des groupements hydroxyles).

L'évaluation quantitative par un laboratoire

Pour s'assurer de l'efficacité d'un système de filtration ou évaluer au cours d'une année la qualité de l'air dans des aires de stockage, on effectue périodiquement des prélèvements à différents endroits. Des sociétés spécialisées peuvent prendre en charge ce travail. Pour l'analyse des gaz inorganiques, l'air est injecté à travers un réactif liquide ou solide ; le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et l'ozone sont alors dosés colorimétriquement. Les composés carbonylés sont analysés par chromatographie liquide à haute performance. On les piège sur des substrats (papier, cartouche chromatographique, plaques de silice) imprégnés de 2-4 dinitro phénylhydrazone pour les aldéhydes et les cétones, ou d'hydroxyde de potassium pour les acides carboxyliques^{171, 172}. La chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse permet, en une seule opération, l'identification d'une gamme beaucoup plus étendue de composés organiques volatils¹⁷³ que l'on recueille sur des adsorbants vendus dans le commerce pour quelques centaines de francs (indicateur de vapeur organique 3M, badge Dräger, Carbosieve SIII et Tenax TA, SPME, etc.). Il suffit de déposer ces tubes dans les endroits que l'on souhaite contrôler, pendant plusieurs heures ou plusieurs jours, le temps que les gaz polluants soient adsorbés en quantité suffisante par le substrat. La société Chrompack commercialise des chromatographes portables pour mesurer les gaz *in situ*. Malheureusement, le système de détection n'est pas toujours suffisamment sensible pour les niveaux recommandés.

L'évaluation quantitative par lecture directe

Les sociétés Dräger et Gastec¹⁷⁴ commercialisent des tubes réactifs à lecture directe. L'air est aspiré à l'aide d'une pompe, manuelle ou automatique, à travers des tubes de verre remplis d'une substance réactive. Après le passage d'un certain volume d'air, le niveau de décoloration indique directement le taux de gaz polluants, d'après une échelle graduée à la surface du

Illustration 76

Tube Dräger à diffusion pour la mesure des gaz polluants.

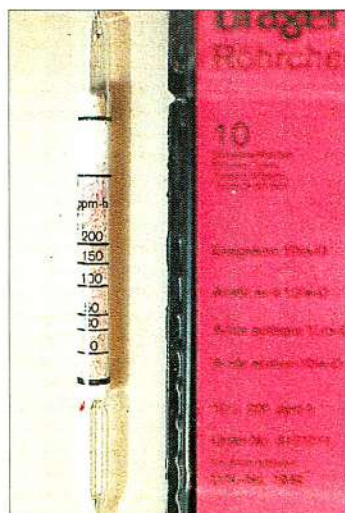


Tableau 48

Tubes à diffusion pour la mesure des polluants.

<i>polluant</i>	<i>domaine de mesure (Gastec)</i>	<i>domaine de mesure (Dräger)</i>
acide acétique	-	1,3 à 25 ppm
acide chlorhydrique	1 à 100 ppm	1,3 à 25 ppm
anhydride sulfureux	0,2 à 100 ppm	0,7 à 19 ppm
dioxyde d'azote	0,1 à 30 ppm	1,3 à 25 ppm
formaldéhyde	0,1 à 3,5 ppm	-
hydrogène sulfuré	0,2 à 200 ppm	1,3 à 40 ppm

tube. Ces tubes, prévus pour mesurer des taux souvent bien supérieurs aux limites maximales recommandées, sont toutefois utiles pour déterminer les polluants en fort excès (acide acétique, formaldéhyde, etc.).

Les tubes dits « à diffusion » peuvent être utilisés pour des mesures statiques dans des magasins, des vitrines, des placards ou des boîtes. Ces tubes fonctionnent suivant le même principe que ceux qui viennent d'être décrits, à la différence que l'air entre en contact avec le réactif par un phénomène naturel de diffusion et non plus par aspiration. Pour détecter de faibles taux de polluants, il faut exposer le tube pendant plusieurs dizaines d'heures ; la concentration est alors obtenue en divisant le taux indiqué sur le tube par le nombre d'heures d'exposition (avec une moindre précision, car d'autres facteurs, comme l'humidité, peuvent fausser les mesures sur de longues périodes). Il faut cependant être conscient que le fait de réaliser une analyse dans un espace clos (boîte, placard, vitrine, etc.) et non ventilé, que l'on ouvre à cet effet, peut perturber les conditions de mesure¹⁷⁵. De nombreux dosimètres statiques pour le formaldéhyde sont commercialisés. Si les badges Bio-Check F de Dräger indiquent en quelques heures des teneurs en formaldéhyde de l'ordre du dixième de ppm, ceux de la sociétés GMD sont capables, après une journée d'exposition, de détecter quelques dixièmes de ppb.

Tableau 49

Les capteurs de gaz du type semi-conducteurs (Capteur Sensor & Analysers Ltd).

<i>type de polluant</i>	<i>précision pour les mesures en continu</i>
ammoniac	± 0,5 ppm
dioxyde d'azote	± 0,01 ppm
dioxyde de soufre	± 0,05 ppm
hydrocarbures aliphatiques	± 0,5 ppm
hydrocarbures aromatiques	± 0,05 ppm
hydrogène sulfuré	± 0,05 ppm
monoxyde de carbone	± 2 ppm
ozone	± 10 ppb

L'évaluation de la qualité de l'air en continu

Les dispositifs présentés précédemment sont utiles pour évaluer globalement pendant quelques semaines à plusieurs mois la qualité de l'air, mais ils se révèlent peu performants pour alerter d'une soudaine anomalie dans l'environnement. Les délais liés à l'exposition et à l'analyse ne permettent pas d'en déterminer rapidement les causes et de prendre les mesures nécessaires. Des analyseurs en continu ont été développés pour évaluer le niveau de pollution dans les villes. Pour le contrôle de la qualité de l'air dans les aires d'archivage, ils sont inadaptés car trop volumineux et onéreux ; de surcroît, la gamme de polluants qu'ils permettent de mesurer est limitée. La société Purafil commercialise une sonde électronique : le OnGuard 2000. Les détecteurs sont des cristaux de quartz plaqués de cuivre ou d'argent. Au fur et à mesure de la corrosion, la masse du placage augmente et la fréquence de résonance du cristal de quartz change. Ce signal, converti en taux de corrosion, est affiché à l'aide de diodes lumineuses ou enregistré dans un ordinateur ; ce dispositif équipe certains centres d'archives aux Pays-Bas ou aux États-Unis. D'autres systèmes basés sur la modification de la résistivité d'une résistance plaquée d'argent ou de cuivre sont disponibles. Ces capteurs ont été conçus pour des polluants urbains, aucun étalonnage n'a été effectué et l'on connaît mal leur sensibilité pour les composés organiques volatils, en particulier pour ceux qui sont présents à l'intérieur des collections. Enfin, on dispose de capteurs constitués d'un semi-conducteur chauffé, dont la conductibilité diminue quand la concentration en gaz dans l'atmosphère augmente. Chaque type de polluant réclame un capteur adapté. Ces dispositifs trouvent déjà des applications industrielles et domestiques. Mais même si leur précision peut descendre à quelques centièmes de ppm (Tableau 49), ces instruments restent encore trop peu sensibles pour être conformes aux normes de conservation et ils seront donc réservés à des dispositifs d'alarme plutôt que de contrôle.

Illustration 77

L'inspection régulière des collections permet d'évaluer l'état de conservation et de décider des priorités d'intervention.



Le suivi des collections

Chaque collection est sujette à un ensemble de contraintes (importance et diversité du fonds, exploitation, diffusion, budgets, locaux, personnels, etc.), et l'application systématique de recommandations qui ne prennent pas en compte ces spécificités peut aboutir à des résultats catastrophiques. Il s'agit alors moins de présenter un certain nombre de règles à suivre *stricto sensu* et pas à pas, que de donner les moyens d'élaborer une stratégie adaptée, chaque action visant à privilégier la conservation sur la restauration, voire à éviter cette dernière.

Pourtant cette notion, qui semble issue du bon sens (mieux vaut prévenir que guérir), a des implications parfois difficiles à gérer. M. Frost¹⁷⁶ indiquait à juste titre qu'en matière de conservation préventive la règle des quatre C était de rigueur :

- C comme conflit entre la nécessité de diffuser et celle de conserver, qui sont parfois antinomiques ;
- C comme complexité, parce que des recommandations *a priori* simples conduisent à des réalisations complexes ;
- C comme coût, parce que des réalisations complexes sont onéreuses ;
- C comme compromis, parce qu'il faut toujours trancher entre des aspirations théoriques et les réalités pratiques et économiques. C'est dans le choix d'un compromis que réside bien souvent la charge du responsable de collections ; encore faut-il définir clairement les conditions de conservation les plus favorables, sans oublier que dans ce domaine nos connaissances sont amenées à évoluer.

Tableau 50

Inventaire des besoins pour l'organisation des priorités en conservation.

<i>domaine</i>	<i>types d'interventions</i>
environnement	remise en condition des locaux, entretien, sécurité et gestion des risques majeurs
documentation	identification des fonds, inventaire, catalogage et indexation
inspection des collections	analyse des contenants et reconditionnement si nécessaire identification des supports, relevé des altérations et suivi des dégradations
traitements	séparation des documents incompatibles, programme de duplication stabilisation des photographies fragilisées, traitement de conservation-restauration
éducation	formation des personnels et des utilisateurs

La bonne gestion d'une collection doit faciliter la diffusion des œuvres (consultation, exposition, reproduction, etc.) sans mettre en danger leur intégrité. Elle doit aussi permettre de résoudre les problèmes courants de conservation, mais également de réagir aux événements exceptionnels qui peuvent survenir. Pour atteindre ces objectifs, il faut d'abord identifier les risques pour mieux les appréhender, puis définir et organiser les procédures d'intervention adaptées. Il convient ensuite de responsabiliser les divers acteurs. La conservation préventive, parce qu'elle touche des domaines et des compétences très diversifiés, est aussi un nouvel état d'esprit qui favorise la réflexion, le dialogue entre les différents acteurs du patrimoine, la formation et l'éducation.

L'ORGANISATION DES PRIORITÉS EN CONSERVATION

Une vaste collection de photographies ne peut être prise en charge si l'on n'envisage pas globalement les problèmes de conservation. Dans un premier temps, un spécialiste en conservation dresse un bilan de l'état de la collection et de son environnement (bâtiments et climats) (Tableau 50). Le document, organisé sous forme de « check-list » publié par S. Wolf, permet d'analyser méthodiquement tous les paramètres et d'établir un rapport structuré, qui inventorie les déficiences liées à la structure des bâtiments et des magasins de stockage, à l'environnement, aux dispositifs d'alarme et de sécurité¹⁷⁷. Pour aider les responsables de collection, l'ICC (Institut canadien de conservation) a édité « un plan de préservation des collections de musée »¹⁷⁸. Sous la forme d'un tableau qui comprend neuf rangées et sept colonnes, sont présentés les divers agents de détérioration, la vulnérabilité des objets et les moyens de lutte. Pour chacun des neuf agents de détérioration recensés, l'approche se fait suivant cinq étapes, allant de la prévention à la récupération, désignées par les termes : éviter, empêcher, détecter, réagir et récupérer/traiter. C'est un outil de travail remarquable qui permet une étude systématique et organisée avant d'établir un diagnostic.

L'étude approfondie de la collection au cours du catalogage, ou par l'analyse d'un échantillonnage représentatif des photographies et de leurs altérations, permet de classer par ordre de priorité les actions les plus urgentes, qu'il s'agisse de la mise en conformité des fonds avec les recommandations

Tableau 51

Évaluation des priorités d'intervention.
La somme des trois chiffres permet
d'établir les priorités d'intervention.

	<i>valeur de l'objet</i>	<i>fragilité</i>	<i>niveau d'agression</i>	<i>priorité d'intervention</i>
très faible	1	1	1	3
faible	2	2	2	4
moyenne	3	3	3	5
élevée	4	4	4	6
très élevée	5	5	5	7
				8
				9
				10
				11
				12
				13
				14
				15

Diagramme illustrant la somme des trois chiffres (valeur de l'objet + fragilité + niveau d'agression) pour déterminer la priorité d'intervention. Les lignes de la table sont alternées en couleur (blanc et vert clair). Des flèches indiquent que la somme de 2 (faible) + 2 (fragilité) + 2 (niveau d'agression) = 6, et que la somme de 4 (élevée) + 4 (fragilité) + 4 (niveau d'agression) = 12.

normalisées ou de la conservation-restauration des œuvres. Les images ou les fonds peuvent être alors indexés selon leur état, par exemple :

A : bon état, stable ;

B : état moyen, détérioration. À surveiller ;

C : état médiocre, dégradations en cours. Intervention d'urgence : traitement de conservation, duplication, etc.

Un système d'évaluation plus complet a été proposé¹⁷⁹, qui retient trois critères : la valeur de l'objet, sa fragilité, le niveau d'agression qu'il subit. Une échelle de 1 à 5 est établie pour chacun de ces critères. Le total des trois valeurs attribuées, qui s'échelonne de 3 à 15, détermine l'ordre de priorité d'intervention (Tableau 51).

Ce système n'est pas aussi simple à mettre en place qu'il n'y paraît : l'estimation des différents critères n'est pas toujours possible ; quand elle l'est, elle peut faire appel à des compétences qui s'exercent dans des domaines très variés. La meilleure connaissance et l'organisation physique d'une collection passent aussi par la préparation des personnels par le biais d'activités pédagogiques (stages ou enseignements spécifiques) axées sur les problèmes de conservation.

Toutes ces actions concourent à dégager les priorités d'intervention en tenant compte de la destination du fonds : dépôt d'archives, fonds documentaire, photographies d'agence de presse, collection de musée, etc. Ainsi dans un fonds documentaire, le contretypage ou la numérisation des œuvres fréquemment utilisées ou fragilisées peuvent-ils être considérés comme une priorité, alors que pour une collection de musée, on privilégiera l'assainissement des conditions climatiques.

L'analyse des risques et la planification des urgences

Les catastrophes naturelles, le feu ou le vandalisme ont des conséquences dévastatrices sur notre patrimoine, que seule peut atténuer, voire empêcher, la prévention. À l'instar de ce qui est conçu pour la sécurité des personnels,

Tableau 52

Édification d'un plan d'urgence.

<i>phase</i>	<i>action</i>
1. identification	déceler la nature des risques : <ul style="list-style-type: none"> • topographiques : crue subite, feu de forêt, séisme • climatiques : tempête, foudre, pluie, humidité • situation et accès : pollution, vandalisme, terrorisme • infrastructure des bâtiments et maintenance, etc.
2. évaluation	évaluer la gravité et la probabilité des risques en fonction des édifices et des collections
3. prévention	évaluer les dispositifs de prévention optimale avec une surveillance humaine et/ou automatique
4. intervention	planifier la mise en sécurité des personnes et des collections : <ul style="list-style-type: none"> • répartition des tâches et des responsabilités • organisation des tâches prioritaires • organisation des procédures de sauvetage et de récupération

une politique de gestion des risques a été développée dans les grandes institutions pour la protection des œuvres. Il convient au préalable de faire l'inventaire des dangers et une évaluation du degré de probabilité qui y est associé. En effet, selon les régions, les constructions, le type de collection ou la fréquentation, les risques ne sont pas identiques. Les risques majeurs une fois déterminés, il faut étudier les dispositifs de prévention et d'alerte ainsi que les techniques d'intervention et de sauvetage. La détection rapide d'un processus de destruction, accompagnée d'une réaction pertinente, permettent de circonscrire le mal et de stabiliser les œuvres en danger en attendant leur remise en condition.

Cette politique de gestion des risques se concrétise par un plan d'urgence qui reprend, dans ses objectifs, les points évoqués précédemment (Tableau 52). Le premier est préventif : le plan d'urgence recense les contrôles et les tâches d'entretien périodiques (systèmes de détection, de sécurité, etc.) pour diminuer les risques. Le deuxième objectif est de donner au personnel, en cas de menace, les informations nécessaires pour éviter une catastrophe. Le dernier objectif est d'ordre curatif : en cas de sinistre, le plan d'urgence comporte les actes élémentaires et les tâches urgentes à accomplir pour le sauvetage des œuvres. La finalité est certes de sauvegarder l'intégrité physique de la collection mais aussi de préserver son organisation : récupérer des documents qui ont perdu toute indexation ou toute référence risque de ralentir la remise en fonctionnement et peut dévaloriser la collection. Les instructions fournies par le plan d'urgence limitent donc les initiatives fâcheuses engendrées par une situation de panique ; elles permettent de donner des réponses claires, détaillées et organisées sur les premiers soins à apporter aux collections.

De nombreux modèles existent outre-Atlantique, qui peuvent être pris comme documents de base et adaptés aux besoins propres de chaque collection¹⁸⁰ (Annexe 3). Une réflexion fondée sur l'expérience, pas toujours heureuse, d'autres institutions, permet de sensibiliser davantage les différents acteurs sur la réalité des risques. Les institutions ont intérêt à diffuser

très largement le contenu de ce plan auprès du personnel en charge des collections. Cette diffusion doit s'accompagner d'actions de formation, et des responsables d'intervention seront formés spécifiquement parmi le personnel. La plupart des grands établissements possèdent une cellule d'intervention spécialisée. Les sapeurs-pompiers peuvent être avertis des sites prioritaires en cas d'incendie : localisation des œuvres les plus précieuses, manipulations, etc.

La surveillance et la maintenance

La surveillance des collections se fait au moyen d'inspections régulières des œuvres et de leur environnement. Ce travail doit être conduit méthodiquement, il peut être guidé par un document photocopié qui décrit chaque tâche, un espace étant laissé vacant pour reporter les résultats du contrôle ou les commentaires¹⁸¹. Le rapport d'inspection permet de définir, s'il y a lieu, les actions urgentes.

L'infrastructure

La surveillance et l'entretien des locaux de conservation et des bâtiments sont des mesures de conservation élémentaire. Ces tâches, trop souvent négligées parce qu'ingrates, reposent sur un examen fréquent et attentif de l'infrastructure du bâtiment, afin de repérer les remontées capillaires, les gouttières défectueuses, etc. La maintenance des systèmes de sécurité contre le vol, l'incendie, l'inondation, fait partie du plan d'urgence.

L'atmosphère

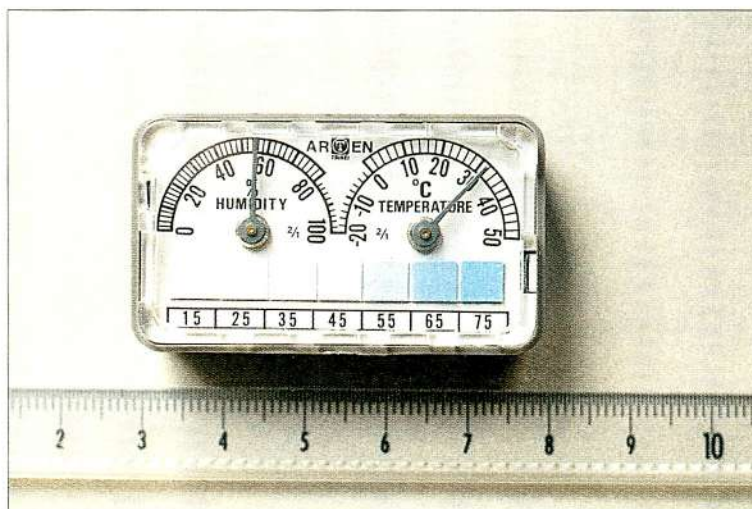
La qualité de l'air à l'intérieur des magasins doit être suivie. Des systèmes de contrôle sophistiqués relèvent de façon continue les variations de température et d'humidité sur ordinateur, avec éventuellement un système d'alarme sonore et une connexion par modem pour avertir le responsable de permanence en cas de problème.

En l'absence d'un système automatisé, les conditions thermohygrométriques sont relevées manuellement, consignées et analysées. Régulièrement les appareils de mesure sont vérifiés et au besoin étalonnés ; les unités de filtration, les gaines de ventilation, les humidificateurs, les déshumidificateurs doivent être régulièrement inspectés et nettoyés. Les filtres à particules peuvent être le siège de développements fongiques si les conditions sont propices. Les spores retenues dans le filtre se développent dans le média, le traversent et contaminent l'ensemble des zones climatisées. Des sociétés spécialisées prennent généralement en charge l'entretien des systèmes d'air conditionné et veillent en particulier au nettoyage des gaines où s'accumulent poussières et micro-organismes. Il faut toutefois s'informer sur les substances anticorrosion ou les bactéricides et les fongicides qui peuvent être utilisés par ces sociétés, certains produits étant agressifs (comme l'Hatacides 19) pour les matériaux argentiques¹⁸². L'installation d'un paillason à l'entrée du bâtiment est un moyen simple et efficace pour éliminer une grande partie des poussières véhiculées par les semelles des visiteurs. Son efficacité est liée à sa taille et l'on estime souhaitable une longueur de 3 mètres ou de deux fois 1,5 mètre. Des tapis électrostatiques peuvent être placés à l'entrée des réserves.

Il est déconseillé de laver le sol à grande eau, source d'humidité, et même de balayer, ce qui disperse les particules. Les réserves doivent être dépoussiérées à l'aide d'un aspirateur au moins une fois par an, et il est vivement recommandé d'équiper les aspirateurs de filtres absolus pour éviter la

Illustration 78

Étalonnage des thermohygromètres.



dissémination des micro-organismes dans des magasins. Les étagères sont essuyées avec des chiffons électrostatiques. Il faut veiller à la composition des produits d'entretien, notamment ceux qui contiennent des solvants ou de l'ammoniaque (Tableau 41).

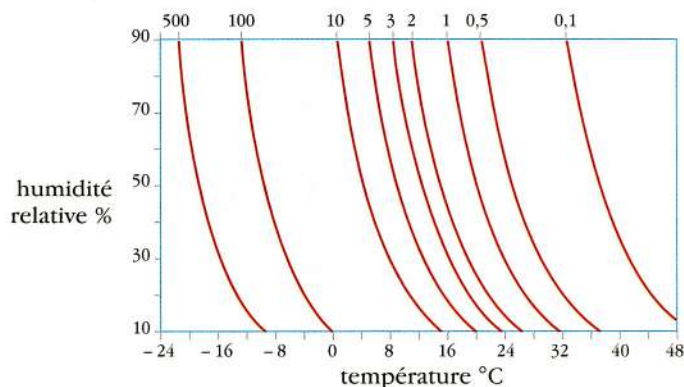
Les diagrammes d'isopermanence

Pour l'analyse des conditions de conservation et de leurs effets, les diagrammes d'isopermanence sont des aides précieuses qui permettent d'orienter les décisions pour le choix ou la modification des conditions thermohygrométriques dans des aires de stockage. Ils donnent la possibilité de visualiser rapidement les effets de l'humidité et de la température sur la stabilité des matériaux. Les diagrammes d'isopermanence ont été appliqués aussi bien au papier¹⁸³ qu'aux films cinématographiques sur support en triacétate de cellulose¹⁸⁴ ou aux bandes magnétiques.

Les axes des abscisses et des ordonnées de ces diagrammes représentent la température et l'humidité relative. Le diagramme comporte un faisceau de

Illustration 79

Courbes d'isopermanence pour un matériau organique : cellulose, par ex. (calculées pour une énergie d'activation de 100 kJ).



La courbe 1 a été choisie comme courbe de référence. Quand on se déplace le long de cette courbe, l'espérance de vie des matériaux est la même que s'ils étaient conservés à 20° C, 50 % HR. Si on se situe sur la courbe 5, l'espérance de vie est 5 fois supérieure. Au contraire, sur la courbe 0,1, les conditions climatiques sont telles que l'espérance de vie est divisée par 10.

Elles ne sont fiables qu'à condition de rester dans une fourchette de température et d'humidité plus étroite que celle qui est théoriquement possible. Les courbes sont, en effet, élaborées à partir de modèles mathématiques simplifiés et d'extrapolations qui ne reflètent pas toujours la complexité des réactions de dégradation dans des conditions climatiques extrêmes. Avec certains matériaux, les chemins réactionnels qui entrent en jeu lors de la dégradation peuvent changer selon le taux d'humidité. Giles et Haslam¹⁸⁵ ont par exemple montré que les mécanismes de dégradation de colorants dans des photographies en couleurs sont différents, selon que l'humidité relative est faible ou forte. De plus, les risques de détérioration biologique liés à une humidité excessive sont ignorés par ces calculs. Enfin, il se peut que des calculs théoriques indiquent une amélioration notable de la longévité des œuvres lorsqu'il se produit une baisse régulière de la température, mais l'on sait que des cycles thermohygro-métriques de grande amplitude peuvent provoquer des altérations mécaniques des documents. L'Image Permanence Institute propose un système électronique d'analyse des conditions de stockage, basé sur l'utilisation des courbes d'isopermanence. Le Preservation Environmental Monitor (PEM) enregistre de façon continue les variations thermohygro-métriques et calcule la stabilité correspondante d'un matériau de référence, le triacétate de cellulose. Celle-ci, exprimée en nombre d'années, est appelée Permanence Index (PI). Dans un local non climatisé, les conditions de stockage évoluant, le PI change régulièrement. Le PEM se charge alors d'établir la moyenne des PI. Au terme d'une année, on peut clairement montrer l'influence des conditions de conservation sur l'espérance de vie de la collection. C'est également un outil d'aide à la décision¹⁸⁶.

Les œuvres

Les normes recommandent de procéder tous les deux ans à une inspection des collections. Celle-ci peut révéler une évolution de la détérioration des œuvres et conduire à modifier les conditions de conservation ou inciter à développer un programme de duplication. Pour des fonds importants, il n'est évidemment pas question de passer en revue toutes les images : on travaille alors sur un échantillonnage représentatif des différents lots de

courbes, dont chacune donne la longévité du matériau étudié. Lorsqu'on se déplace le long d'une courbe, en variant température et humidité, l'espérance de vie du matériau reste identique, d'où le nom d'isopermanence. On peut ainsi rapidement savoir de combien de degrés il faut abaisser la température pour maintenir égale la stabilité d'un matériau lorsque l'humidité relative augmente et *vice versa*. Pour tout abaissement de la température, l'amélioration de la stabilité est immédiatement chiffrable. Grâce à des calculs relativement simples, il est possible de mesurer l'influence des variations cycliques, quotidiennes ou saisonnières, et de déterminer ainsi, dans un bâtiment, quel pourrait être le meilleur lieu destiné à l'archivage.

Toutefois, les valeurs calculées à partir des courbes d'isopermanence doivent être prises comme des indications utiles à titre

photographies, de différentes époques ou provenances^{187, 188} (voir p. 143). Quelques œuvres particulièrement sensibles peuvent également être régulièrement contrôlées, et si l'on veut suivre l'évolution de la détérioration, les échantillons prélevés lors d'une première étude statistique peuvent être réexaminés ultérieurement.

Le suivi des œuvres

Les altérations de l'image ou de son enveloppe sont relevées. L'analyse visuelle suffit en cas de modifications assez importantes : déformation des supports, décollements, jaunissements, micro-organismes, taches, miroir d'argent, etc. L'hydrolyse des supports en triacétate peut être caractérisée par l'utilisation des A-D Strips (Illustration 50). Un affaiblissement général de densité n'est pas toujours décelable ou quantifiable à l'œil. Il faut alors avoir recours à des appareils adaptés comme le densitomètre ou le colorimètre. Les relevés densitométriques et colorimétriques sont par ailleurs très utiles pour suivre les effets des traitements, des expositions et des prêts sur les œuvres¹⁸⁹. L'Art Institute de Chicago et la National Gallery of Art de Washington ont réalisé ainsi des mesures densitométriques sur des tirages avant et après une exposition itinérante.

Les deux difficultés auxquelles se heurte cette méthodologie sont le repérage des plages de mesure et la fiabilité dans le temps du système de mesure.

On doit d'abord s'assurer que les relevés sont toujours effectués aux mêmes endroits de l'image, un léger décalage pouvant fausser les résultats. Le repérage des plages de mesure se fait sur une feuille de polyester en pratiquant de petites ouvertures circulaires d'un diamètre égal à la surface de mesure de l'appareil. Des plages de densité minimale, moyenne et maximale sont choisies. Pour être sûr de bien positionner le polyester lors des mesures ultérieures, on reporte sur ce dernier, à l'aide d'un marqueur, quelques formes caractéristiques présentes sur la photographie.

Lorsque les mesures sont faites à plusieurs années d'écart, on doit pouvoir étalonner convenablement l'appareil de sorte que son vieillissement ou son remplacement n'interfèrent pas sur les mesures. Il convient alors de posséder des échantillons stables qui serviront de référence ; des carreaux de céramique et des émaux sont conçus à cet usage. Certains recommandent de placer des gammes photographiques en chambre froide et de les en sortir pour contrôler l'étalonnage de l'appareil.

Avec l'apport du numérique, il est beaucoup plus facile de repérer les plages et d'effectuer la mesure. L'œuvre est numérisée en couleurs et l'on peut obtenir les coordonnées trichromatiques de toute portion d'image,

Tableau 53

Suivi de la qualité de l'air des magasins de stockage.

<i>type</i>		<i>fréquence</i>
mesures de la charge en contaminants	contrôle microbiologique	régulière
	contrôle de l'agressivité de l'air (polluants)	continue
	contrôle de la poussière	régulière
mesures thermohygro-métriques	contrôle de la température	continue
	contrôle de l'humidité	continue
mesures cinétiques	contrôle de la vitesse de l'air	régulière
	contrôle du taux de renouvellement de l'air	régulière

Illustration 80

Contrôle de la densité optique sur une photographie avant et après exposition.



parfaitement repérable à condition que le numériseur ait été préalablement étalonné. Cette méthode a donné de bons résultats pour l'analyse des peintures^{190, 191}. Il reste à l'appliquer à la photographie.

Avec un densitomètre, les images en couleurs sont mesurées avec les filtres bleu, vert, rouge et visuel du densitomètre ; pour les photographies en noir et blanc, on peut se contenter du filtre visuel et du filtre bleu (à condition que l'épreuve ne soit pas virée ou teintée).

H. Wilhelm¹⁹² propose des seuils de dégradation à ne pas dépasser pour des épreuves en couleurs. Ainsi, sur une plage de coloration gris neutre de densité d'environ 0,45 (on admet une fourchette allant de 0,35 à 0,60), la perte de densité, mesurée avec les filtres rouge, vert et bleu du densitomètre, ne doit pas excéder respectivement 0,04, 0,04 et 0,06. Dans les zones de densité maximale de l'image (zones sombres), ces variations exprimées en pourcentage ne doivent pas dépasser 9 %, 9 % et 13 %. Quant au jaunissement (*staining*) des parties claires de l'image (densités minimales), il doit être limité à un gain de densité de 0,04 (filtres rouge et vert) et 0,08 (filtre bleu).

L'évaluation de la dégradation d'une photographie en couleurs ne peut cependant se limiter à ces mesures, la façon dont se dégradent les colorants les uns par rapport aux autres pouvant avoir des effets synergiques ou compensateurs. Aussi prend-on également en compte les variations de la balance des couleurs (Tableau 54).

Le contrôle statistique de l'état d'une collection

L'inspection d'une collection peut répondre à plusieurs objectifs : déterminer la nature des photographies, le volume de la collection, l'état de conservation, etc. Les réponses à ces questions sont cruciales mais problématiques lorsque la collection est constituée d'une quantité considérable de photographies qui en interdit l'examen exhaustif. Il faut alors sélectionner un échantillon qui permettra de se faire une idée de la collection entière, à condition naturellement qu'il soit représentatif. Il est toujours préférable d'avoir recours à un statisticien pour établir une procédure et analyser les résultats. Certaines procédures simplifiées sont normalisées mais elles ne sont pas exemptes de risques d'erreur^{193, 194}.

Quelques recommandations peuvent cependant limiter les fautes les plus courantes. Il convient tout d'abord de bien définir le but de l'opération (déterminer l'état de la collection, contrôler la qualité de l'environnement, recommander les priorités d'intervention, établir la fréquence des contrôles, etc.). Selon l'objectif qu'on a établi, on recense ensuite les variables à analyser (présence d'un miroir d'argent, moisissures, rayures, état du contenant, formats, etc.) que l'on présente sous la forme d'un questionnaire type. La réponse aux questions doit pouvoir se formuler simplement et rapidement (oui/non) pour éviter une différence d'appréciation trop importante d'un observateur à l'autre, ou alors il faudra établir des documents de référence pour caractériser la gradation des altérations. Les quelques exemples d'études statistiques déjà effectuées dans les institutions patrimoniales concernent des collections de livres^{195, 196}, de films, de microfilms¹⁹⁷ et de photographies^{198, 199}.

La sélection des échantillons à analyser

L'échantillonnage peut se faire par prélèvement systématique (un élément est prélevé régulièrement) ou aléatoire... Cette technique, la plus fréquemment appliquée à l'analyse des collections, consiste à choisir au hasard un certain nombre d'échantillons. Par exemple, lorsque la photothèque comporte dix mille images numérotées de 1 à 10 000, la sélection arbitraire des

Tableau 54

Altérations maximales admissibles sur une photographie en couleurs sur une photographie en couleurs (d'après H. Wilhelm).

densité optique de la plage mesurée	dD rouge	dD vert	dD bleu	balance rouge-vert	balance rouge-bleu	balance bleu-vert
gris neutre D = 0,45	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,06	$D_{N(r-v)} \leq 7\%$	≤ 11 %	≤ 11 %
Dmax	≤ 9 %	≤ 9 %	≤ 13 %	$D_{max(r-v)} \leq 7\%$	≤ 11 %	≤ 11 %
Dmin	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,08	$D_{min(r-v)} \leq 0,03$	≤ 0,04	≤ 0,04

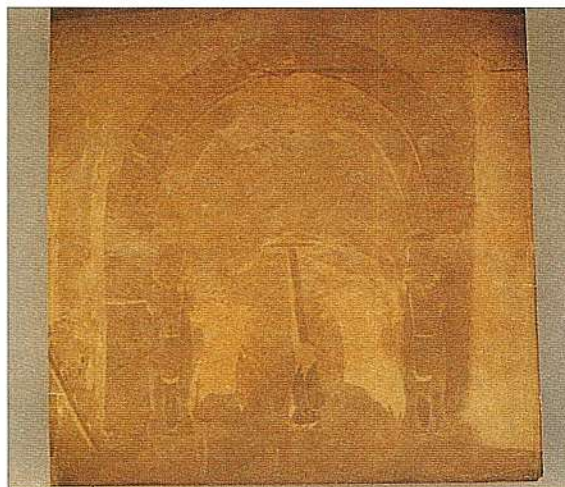
dD : différence de densité avant et après altération.

$$D_{N(r-v)} = \frac{100 \times (D_r - D_v)}{0,5 \times (D_r + D_v)} ; D_{max(r-v)} = \frac{100 \times (D_r - D_v)}{(D_r + D_v)} ; D_{min(r-v)} = (D_r - D_v)$$

Illustration 81

❶ Négatif sur papier (calotype) avec ❷ son tirage d'époque (papier salé) et ❸ un tirage ancien du XIX^e siècle (aristotype). La surveillance des collections et des conditions de conservation permet de prévenir toute détérioration.
(Collection Pillet, Collège de France)

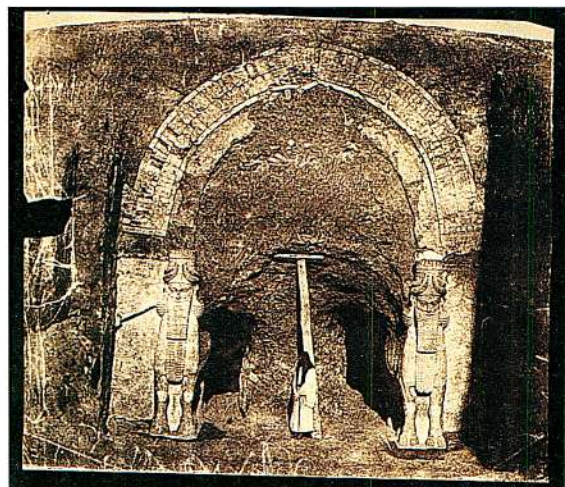
❶



❷



❸



images est faite par tirage au sort de numéros allant de 1 à 10 000. Des programmes informatiques assez simples peuvent être mis au point pour établir la liste aléatoire des œuvres à examiner.

Les collections importantes, généralement constituées par l'assemblage de fonds d'origine ou de nature différentes, sont rarement uniformes. Pour éviter que des fonds spécifiques soient surestimés ou sous-représentés par un prélèvement aléatoire, on a recours à une analyse dite stratifiée. Chaque fonds est alors traité distinctement et le nombre de prélèvements que l'on effectue est proportionnel à l'importance numérique du fonds.

Le nombre de prélèvements

Le nombre de prélèvements à réaliser est la première question qui vient à l'esprit lorsqu'on aborde ce type d'analyse. De fait, il dépend de l'intervalle de confiance et de la précision que l'on souhaite. La signification de ces valeurs peut se résumer comme suit : si, par exemple, une étude statistique indique que le nombre d'images dégradées dans une collection est de 12 % avec une précision de plus ou moins 5 % et un intervalle de confiance de 95 %, cela signifie que si l'on répète 20 fois le même sondage, 19 fois on trouvera entre 7 % (12 - 5 %) et 17 % (12 + 5 %) de photographies dégradées.

Afin d'évaluer au plus juste la taille de l'échantillonnage, il est préférable de connaître de façon approximative l'état de la collection. Ainsi, quand un sondage sommaire ou une étude antérieure donnent pour une collection 20 % de photographies qui répondent au critère, on voit, en se référant au tableau 55, qu'il faudra prélever aléatoirement 256 échantillons afin de définir, avec une précision de plus ou moins 5 % et un intervalle de confiance de 95 %, le pourcentage d'images concernées dans toute la collection. Inversement, si après un examen de 400 échantillons d'une collection, on en identifie 20 % endommagés, le tableau 55 indique que le pourcentage d'images altérées se situe entre 16 et 24 % (avec un intervalle de confiance de 95 %).

La restauration

La restauration des photographies s'appuie sur les mêmes principes que ceux qui guident la restauration des œuvres picturales. Dans ce domaine, l'ancienneté des problèmes et la ferveur des débats ont permis l'émergence de certaines notions qui sous-tendent la pratique actuelle de la restauration. La restauration concerne la matière, mais quand il s'agit de patrimoine culturel, cette notion de matière désigne bien plus que les simples matériaux, l'œuvre y est incarnée²⁰⁰. C. Brandi²⁰¹ l'exprime en distinguant deux éléments comme composants fondamentaux : la matière qui est *structure*, les matériaux constitutifs en quelque sorte, et la matière qui est *aspect*, renfermant l'intelligence de l'œuvre. Cette dichotomie n'est pas inscrite clairement dans l'œuvre, et les interactions qui existent sont en devenir. La matière *structure* a une réalité non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps. Ce déploiement temporel est une dimension propre et indissociable de l'œuvre, qui forme l'historicité. La marque du temps doit être acceptée et, faute de l'apprécier comme G. Salles²⁰³ qui a « souvent préféré à l'individualité précise de l'objet neuf la pièce amortie, que l'âge a tassée dans sa forme essentielle... », il faut la respecter. Ainsi, la tâche du restaurateur peut être complexe. Il ne s'agit en rien d'une opération purement technique et manuelle, mais d'abord d'une évaluation critique pour rétablir l'unité d'une œuvre en respectant un subtil équilibre entre les exigences

Tableau 55

Nombre d'échantillons à prélever et précision²⁰² (pour un intervalle de confiance de 95 %).

pourcentage* / précision	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
± 0,5 %	7 600	14 400	25 600	33 600	38 400	40 000
± 1 %	1 900	3 600	6 400	8 400	9 600	10 000
± 2 %	475	900	1 600	2 100	2 400	2 500
± 3 %	211	400	711	933	1 066	1 111
± 4 %	119	225	400	525	600	625
± 5 %	(76)	144	256	336	384	400

* Pourcentage estimé d'éléments de la population concernée.

Tableau 56

Exemples de traitements réclamant la compétence d'un restaurateur.

interventions prioritaires

- traitement des moisissures
- consolidation des écaillages
- traitement/élimination des rubans adhésifs et adhésifs de mauvaise qualité
- intervention sur les supports ou les montages gravement endommagés

interventions de seconde urgence

- nettoyage des photographies et des supports de montage
- remise à plat des épreuves

interventions en vue d'exposition

- comblement des lacunes et réintégration
- nettoyage des surfaces
- montage

esthétiques et historiques. Il s'agit encore moins d'un retour à un état originel supposé : les évolutions que subissent les objets sont des processus irréversibles.

Dans sa présentation du thème « Science et conscience », à l'adresse des élèves-restaurateurs de l'IFROA (Institut de formation des restaurateurs d'œuvres d'art), G. Brunel cerne parfaitement ces notions fondamentales : « Objets et monuments demandent aussi des soins matériels. On appelle en français restaurateurs les responsables dont la fonction est de pourvoir à ces soins. Penser qu'il suffit de connaître les techniques ayant servi à la fabrication des œuvres pour pouvoir, le cas échéant, les refaire en tout ou partie, est une conception plus que grossière du métier de restaurateur. Ce travail est d'une nature toute différente, car il faut toucher à la consistance physique des objets, et éventuellement la modifier, mais en respectant les valeurs qui leur sont attachées. C'est une tâche d'autant plus délicate que ces valeurs ne s'accordent pas nécessairement ensemble. Trop attacher de prix, par exemple, à la valeur d'ancienneté (le charme de la ruine) ou à la valeur historique (l'intérêt du document) risque de faire sacrifier la valeur artistique (le plaisir de contempler un objet entier), et inversement. Avant d'être un travail matériel, la restauration est donc un parti à prendre quant à l'équilibre qu'il convient d'observer entre les diverses valeurs de l'objet. Il s'ensuit que le dialogue entre le conservateur et le restaurateur est la condition nécessaire de tout acte de restauration, y compris celui qui consiste à ne rien faire. »

Dans une institution, au sein d'une collection, le restaurateur de photographies est un maillon essentiel. Sa tâche ne se borne pas à une intervention sur les photographies : il plaide en faveur des photographies et de leur conservation tout en respectant les besoins de diffusion. Le restaurateur adhère à une déontologie définie par des codes inscrits dans les statuts de diverses associations, comme l'Institut international de conservation. Sa connaissance des procédés photographiques et de leur fragilité intrinsèque en fait un précieux collaborateur en matière de conservation préventive, d'exposition ou de conditionnement des œuvres. Il prend une part active à l'évaluation des besoins et à l'information du public et des institutions. Cet élargissement de la mission du restaurateur est la marque profonde de l'évolution des esprits qui conduit la nouvelle génération de praticiens à revendiquer le statut de « conservateur-restaurateur ».

Illustration 82

Les restaurateurs de photographies reçoivent une formation spécialisée dans des établissements comme l'Institut de formation des restaurateurs d'œuvres d'art ou la Maîtrise de sciences et techniques de conservation-restauration des biens culturels.



La restauration de photographies est une discipline enseignée dans des filières spécialisées à l'université ou dans des écoles. C'est un cursus de plusieurs années au cours desquelles l'étudiant acquiert l'expérience manuelle et la maturité²⁰⁴. Les matières étudiées sont variées : histoire de l'art, physique, chimie, techniques de fabrication et de restauration. Un photographe n'est pas formé pour la restauration des photographies. Ses compétences s'arrêtent à la réalisation d'une image qui présente le maximum de garanties de stabilité. Il serait imprudent et dangereux pour les œuvres qu'il se charge du refixage ou du relavage d'une épreuve ancienne et encore plus d'un blanchiment-redéveloppement. Les photographies sont constituées de matériaux fragiles et la décision dans l'application de traitements, même si certains peuvent sembler bénins, est du ressort d'un restaurateur. Les images qui réclament une intervention directe sont étudiées au cas par cas, il n'y a pas de traitement standard. Le restaurateur établit un diagnostic écrit, accompagné d'une proposition de traitement (Tableau 56). Certaines photographies seront stabilisées, d'autres pourront subir une intervention plus poussée ; quoi qu'il en soit, tous les traitements appliqués respecteront l'intégrité de l'œuvre.

L'intervention est minimale et conforme à un certains nombre de principes. Les interventions à caractère esthétique (comblement de lacunes, réintégration, etc.) doivent rester lisibles. Les matériaux introduits sont testés pour leur innocuité à court et à long terme vis-à-vis des photographies et ils doivent pouvoir être éliminés sans dommage... Chaque œuvre traitée est accompagnée d'un compte rendu de restauration. Les traitements mis en œuvre et les produits utilisés y sont détaillés avec, dans certains cas, la présence de photographies montrant l'état de l'œuvre avant et après traitement, ainsi que des conseils pour sa conservation^{205, 206, 207}.

Le prêt et le transit

Le prêt d'œuvres pour une exposition doit être subordonné à certaines garanties visant à assurer leur protection, sans être des contraintes utopiques²⁰⁸. Une police de prêt existe dans beaucoup d'institutions : elle comporte une description physique de l'œuvre et de son état, associée à une liste de clauses que l'emprunteur s'engage à respecter. Celles-ci précisent les

délais et les conditions d'acheminement, l'accompagnement, la prise en charge des frais, les assurances, les conditions de transport, d'entreposage, d'exposition, de reproduction et de diffusion, l'engagement que l'œuvre ne sera pas désencadrée, démontée ou traitée sans le consentement exprès du prêteur, etc. L'agrément de l'emprunteur engage sa responsabilité pour le respect des différentes clauses.

Le constat d'état

Le constat d'état fait partie de la documentation qui doit accompagner une œuvre patrimoniale. Il comporte une partie signalétique – en quelque sorte la carte d'identité de l'œuvre – et des informations régulièrement mises à jour lors des restaurations, des prêts ou des expositions. Chaque institution développe, sous forme de fiches manuelles ou informatisées, son propre modèle de constat d'état, qui s'articule autour des points suivants :

- nom de l'auteur, date d'acquisition, origine ;
- dimensions, nature du procédé photographique, montage ;
- état de conservation, présence d'altérations ;
- restaurations et traitements de conservation subis (compte rendu, dossier de restauration) ;
- expositions précédentes, durée, éclairage reçu...

Sur le constat d'état sont reportées les mesures densitométriques ou colorimétriques effectuées sur l'œuvre (voir p. 143). Il sera ainsi plus aisé de déceler une éventuelle modification de l'image après une exposition ou un transit. Si des dommages sont constatés, la politique de prêt pourra s'en trouver modifiée.

L'emballage pour le transport

Le transport des œuvres encadrées se fait dans des conteneurs adaptés qui les protègent des chocs physiques, des vibrations dues aux manipulations²⁰⁹ ou au transport, et qui servent également à amortir l'amplitude des variations thermohygométriques. Il arrive en effet que pendant un transport sur de longues distances – dans les soutes d'un avion ou dans un camion, par exemple – ou bien lors d'un stockage de transit, les conditions climatiques

varient de façon extrême et créent ainsi des chocs thermiques et des risques de condensation.

Les caisses en bois sont largement utilisées, car elles peuvent être fabriquées de façon artisanale dans un format adapté à celui des œuvres. Il est conseillé de recouvrir la face intérieure de la caisse par une couche isolante de vernis,

ou par des pellicules plastifiées isolantes contre les émanations du bois²¹⁰ (voir p. 82). Si des joints sont nécessaires, on utilisera du silicone sans acide acétique. On peut aussi recourir à des valises en aluminium ou en polypropylène, plus légères et ne présentant pas les inconvénients du bois.

Illustration 83

Lors du transport, les œuvres doivent être protégées par un emballage conçu à cet effet.



L'isolation thermique des caisses est réalisée par une double paroi contenant du polystyrène expansé ou toute autre substance ayant un faible coefficient de conductivité thermique et ne produisant pas d'émanations nocives.

On amortira les chocs et les vibrations en immobilisant les œuvres au moyen de plots ou de coussinets en mousse synthétiques²¹¹. Un ensemble de photographies encadrées de même format peuvent être rangées verticalement, maintenues par un système de rainurage en bois ou de calage en mousse de polyéthylène (Ethafoam, Dow Chemical). Les mousses de polyuréthane, néoprène ou PVC sont à proscrire.

On régule l'humidité avec du gel de silice ou des substances similaires, mais il faut que le conteneur soit suffisamment hermétique. Le gel de silice est vendu dans des sacs en non-tissé (polyéthylène/polypropylène) ou des cassettes et il doit être préconditionné à l'humidité que l'on souhaite établir à l'intérieur de la caisse. Cette mise en condition délicate est simplifiée avec l'apparition de produits comme l'ArtSorb auquel il suffit d'ajouter une quantité d'eau spécifiée par le fabricant. La masse de gel de silice à introduire est fonction du volume à traiter et du type de gel. Avec de l'ArtSorb il faut environ 750 grammes de granules sèches par mètre cube.

La régulation des polluants est assurée par l'étanchéité de l'emballage, et l'absence de toute source interne de contamination. Par sécurité on peut employer un doublage en carton du type MicroChamber. L'utilisation d'un adsorbant comme le charbon actif est délicate, car il y a toujours un risque, à la suite d'un choc, de rupture de l'emballage et de dissémination des particules de noir de carbone sur les œuvres. L'emploi de tamis moléculaires identiques à ceux que l'on utilise pour la conservation des films fait encourir moins de risques.

Les mouchards

Un certain nombre d'indicateurs peuvent être placés dans les caisses pour suivre et témoigner des conditions de transport. Des enregistreurs thermohygro-métriques électroniques (voir p. 116) sont aujourd'hui couramment affectés à ce type de contrôle. À l'arrivée des œuvres, les enregistrements sont transférés sur ordinateur et analysés. Le même type d'appareillage existe pour enregistrer les chocs et les retournements auxquels sont soumis les colis. Il existe aussi des indicateurs irréversibles d'humidité ou de choc, plus simples et donc moins onéreux, qui permettent de savoir si les œuvres ont été soumises à des conditions néfastes, mais qui ne peuvent en indiquer ni la durée ni la fréquence.

L'INTERVENTION APRÈS UN SINISTRE

L'incendie, les inondations et la contamination par les micro-organismes sont de sérieuses menaces pour les collections. Dans le pire des cas, ces sinistres se cumulent : l'eau utilisée pour éteindre l'incendie provoquera une inondation des collections, suivie d'un développement de micro-organismes.

Le feu est d'abord une question de prévention (voir p. 94). L'organisation de la sécurité en cas d'incendie fait déjà l'objet d'une sévère réglementation. Les consignes comprenant les numéros d'urgence, le plan d'évacuation et les actions prioritaires sont souvent bien en évidence. La prévention des inondations doit faire l'objet des mêmes mesures²¹².

Les dégâts des eaux

L'assèchement des locaux

Pour éviter le développement des micro-organismes, il est souhaitable d'assécher le plus vite possible les locaux après un dégât des eaux. On favorisera tout d'abord la ventilation et l'aération. L'envoi d'un air sec permet un contrôle bien meilleur de l'assèchement : ce système est couramment appliqué par les entreprises du bâtiment pour accélérer le séchage des matériaux de construction ou après une inondation. Des unités mobiles de traitement sont louées et installées à l'extérieur de l'édifice. L'air desséché par passage dans un déshydrateur est insufflé dans les étages par des gaines rigides. Des unités de taille plus modeste peuvent être placées directement dans les endroits sinistrés.

Le sauvetage des photographies immergées

La fragilité des photographies

Les photographies contiennent des matériaux hydrophiles. En présence d'eau, le papier et la gélatine se dilatent et se fragilisent, les encres et les colorants migrent.

Les dommages varient selon les conditions d'immersion et l'état des documents. Au pis, dans le cas de photographies anciennes fragilisées sur support en acétate ou en nitrate de cellulose, ou si la température est élevée en raison, par exemple, d'une fuite dans une canalisation d'eau chaude, la

gélatine se ramollit et peut se solubiliser. Les supports en acétate ou en nitrate dégradés, les plaques au collodion, les autochromes résistent mal à une immersion prolongée. Les tirages sur papier sont plus fragiles que les négatifs sur support souple. Les photographies en couleurs peuvent subir de graves dommages : dans certains procédés comme le Dye-Transfer, les colorants se diffusent en cas d'immersion ; c'est également le cas pour le colorant cyan ou magenta des épreuves Ilfochrome Classic (Tableau 57).

Après un incendie ou une inondation, il faut agir rapidement pour éviter que les documents mouillés ne moisissent et que les photographies ne collent les unes aux autres ou n'adhèrent de façon irréversible à leur pochette.

Les opérations préliminaires

Les documents les plus fragiles sont traités en priorité par séchage à l'air²¹³. Lorsque des documents sont souillés par des eaux sales, il faut les rincer dans de l'eau froide (de préférence de l'eau distillée à une température inférieure à 18 °C). Il est parfois conseillé de tanner les émulsions à la gélatine avec du formaldéhyde (solution à 1,5 %) ²¹⁴ ou d'appliquer aux diapositives chromogènes des bains stabilisants. Mais on a peu d'expérience sur ce sujet, et il vaut mieux éviter une immersion supplémentaire ou un traitement incertain.

Les tirages sont séchés à l'air libre sur des papiers buvards, des claies en polyéthylène ou des feuilles de papier journal vierge, face image vers le haut. On

Illustration 84

Séchage des locaux après une inondation.

[Photographie Munters]

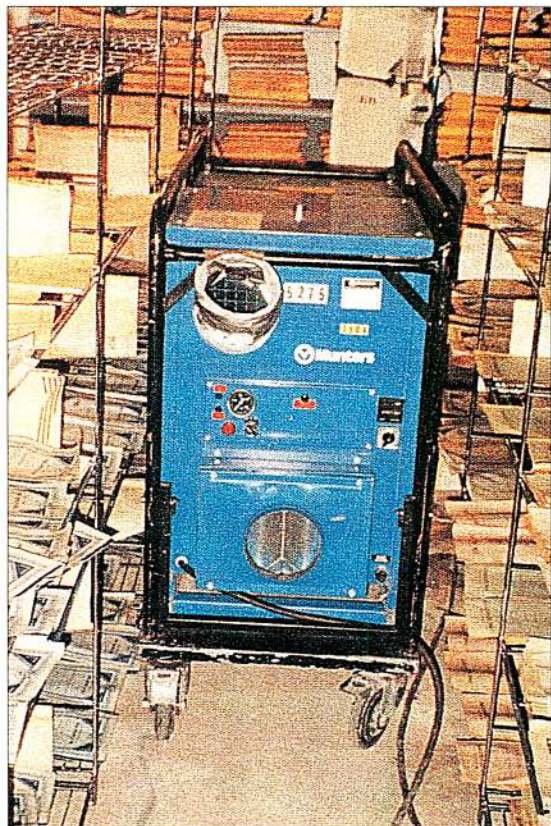


Illustration 85

En cas de sinistre, il faut veiller à ne pas désorganiser totalement la collection.



prendra soin d'éviter de toucher la surface de l'image. Le local doit être bien ventilé, à l'abri de la poussière. Les négatifs sur support souple (polyester, acétate...) sont déroulés ou extraits de leur pochette et suspendus pour séchage. Les films conditionnés en bobines (microfilms, cinéma...) peuvent être rincés dans de l'eau froide et séchés sur les machines de traitement en continu que l'on utilise pour le développement. En aucun cas, on ne doit les laisser sécher à l'air en rouleau. Les plans-films sont séchés verticalement. Les diapositives sous caches en verre doivent être démontées (Illustration 87).


La congélation

Les opérations qui viennent d'être décrites réclament espace et main-d'œuvre, et ne sont pas toujours praticables. Aussi est-il

conseillé, après avoir rincé les photographies, de les rassembler dans des sacs en polyéthylène bien fermés et de les placer dans un congélateur ou de les confier à une entreprise industrielle de congélation. Si le personnel est disponible, les documents peuvent être séparés les uns des autres par des feuilles de papier paraffiné ou siliconé qui faciliteront les opérations ultérieures de récupération.

Tableau 57

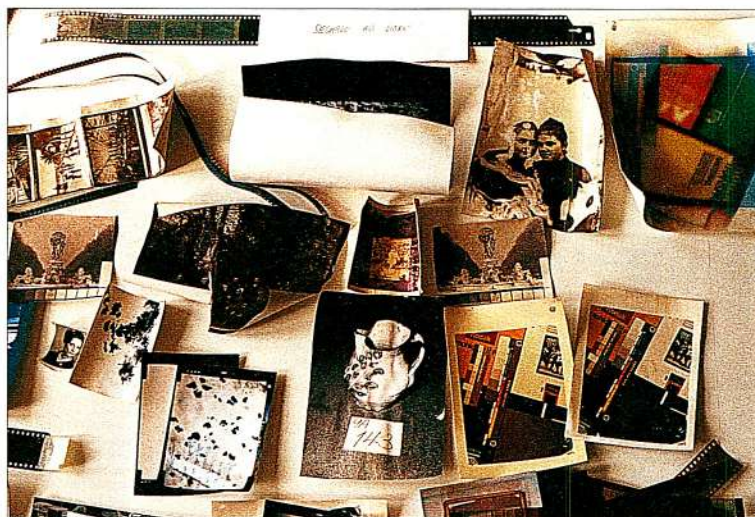
Résistance des photographies en cas d'immersion accidentelle.

<i>résistance en cas d'immersion</i>	<i>procédé</i>	<i>traitement</i>
<p>dégradation rapide</p>  <p>meilleure résistance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • autochromes • épreuves couleurs à imbibition (Kodak Dye-Transfer ou Fuji Dyecolor), • impressions à jet d'encre • épreuves sur verre au collodion (négatifs, ambrotypes) • ferrotypes • épreuves noir et blanc stabilisées* • Cibachrome (Ilfochrome Classic) • photographies dégradées (gélatine attaquée par des micro-organismes, supports acétate et nitrate en cours de dégradation, etc.) • épreuves monochromes au charbon ou couleurs pigmentaires • photographies en couleurs • plaques de verre au gélatino-bromure • épreuves sur papier PE • épreuves noir et blanc au gélatino-bromure d'argent • négatifs acétate et polyester, tirages du XIX^e siècle 	<p>séchage immédiat à l'air</p> <p>séchage à l'air ou congélation</p>

* Procédé photographique en noir et blanc datant des années 1940, où la séquence de traitement était raccourcie en incorporant dans le papier des agents de développement.

Illustration 86

Tentative de sauvetage de photographies inondées.



La récupération

Au fur et à mesure des disponibilités, les documents sont décongelés en les laissant à température ambiante, puis dès qu'ils sont souples, séparés les uns des autres et séchés à l'air libre. La lyophilisation, qui consiste à conditionner les documents congelés ($-21\text{ }^{\circ}\text{C}$) sous vide pendant plusieurs jours pour sublimer la glace, n'est pas recommandée parce qu'elle peut laisser des traces sur les documents. Néanmoins, dans les cas extrêmes, faute de solutions adaptées, c'est une possibilité à ne pas exclure. En revanche, le séchage sous vide à une température supérieure à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ des photographies congelées est à exclure, les documents adhèrent les uns aux autres²¹⁵. Quelle que soit la technique de récupération choisie, les tirages présentent des distorsions et nécessiteront un traitement de remise à plat par le restaurateur.

Le sauvetage des bandes magnétiques immergées²¹⁶

Dans certaines archives audiovisuelles, les photographies sont conservées avec les supports magnétiques. Aussi convient-il de donner brièvement quelques informations sur les précautions à prendre pour ces documents. Les bandes qui ont été inondées sont plongées dans de l'eau glacée où elles sont éventuellement débarrassées des déchets, puis rincées, toujours dans de l'eau glacée. Si l'état physique des bandes le permet, elles sont rembobinées avec précaution, encore humides, sous faible tension, de préférence dans un endroit frais. Les sources de chaleur ne pouvant être utilisées, on pratique un séchage sous un vide poussé. Cette opération requiert deux à cinq jours selon les formats. Ces bandes sont ensuite laissées plusieurs jours à des conditions ambiantes pour s'équilibrer. Puis on procède avec précaution à leur rembobinage. Avant toute tentative de lecture, il est conseillé d'essuyer délicatement la surface de la bande. Les bandes immergées dans de l'eau froide (température inférieure à $11\text{ }^{\circ}\text{C}$) devraient être peu endommagées, les autres peuvent présenter de sérieux problèmes de collage. Des procédures de sauvetage risquées ont été tentées, qui consistaient à placer les bandes plusieurs semaines sous vide ou sous azote à $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ afin d'en éliminer l'eau.

Illustration 87

Procédure de traitement d'urgence des collections photographiques inondées.

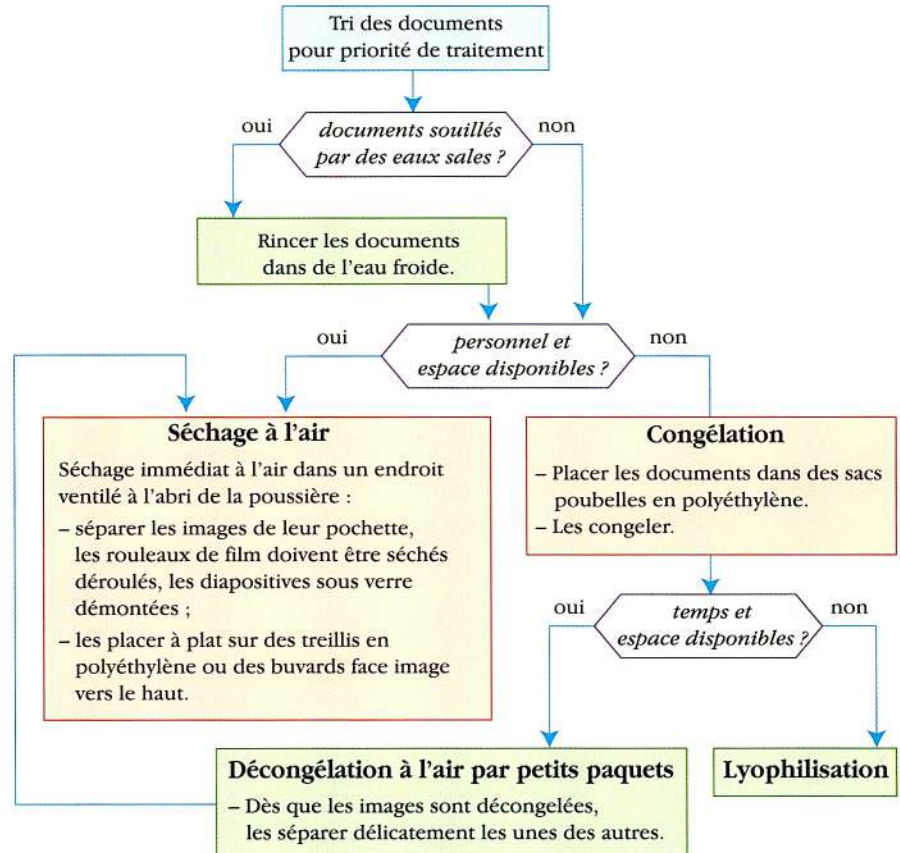


Illustration 88

Ensemble de photographies inondées accidentellement et séchées par lyophilisation. On note les déformations ; toutefois cette technique a permis de récupérer les tirages sans qu'ils collent les uns aux autres.

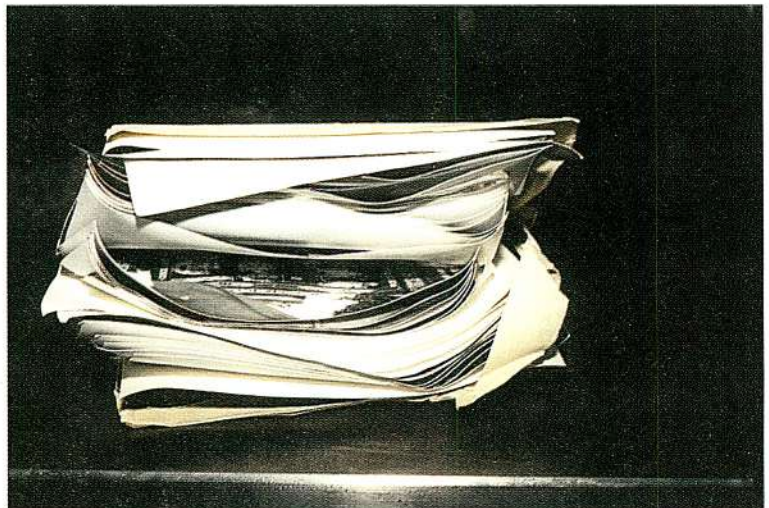
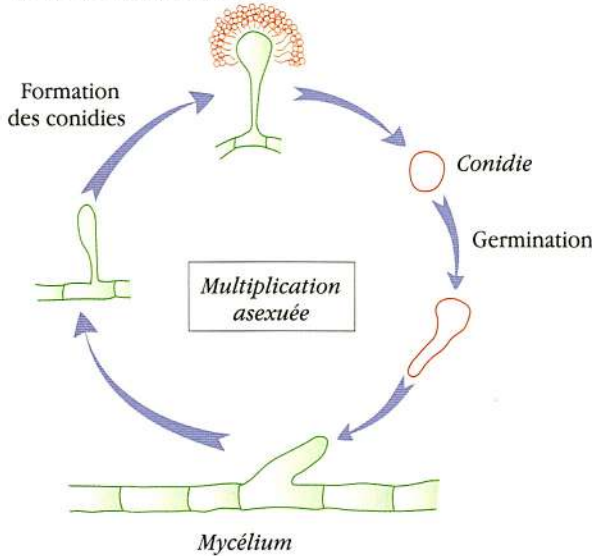


Illustration 89

Le cycle de développement d'une moisissure du genre *Aspergillus*.



Les micro-organismes

L'air contient en suspension des spores de champignons. L'abondance de la flore aérienne dans les édifices varie selon la situation géographique, la saison, l'état d'empoussièrement des salles et les conditions climatiques internes. Elle peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de spores par mètre cube d'air. D'une taille allant de 0,2 à 2 microns, les spores se confondent avec la poussière ; il est d'ailleurs courant qu'elles se fixent sur des particules en suspension. L'air est donc un vecteur important de la contamination des aires de stockage. Ces spores ne sont toutefois nuisibles que lorsqu'elles se déposent sur les œuvres et qu'elles se trouvent dans des conditions favorables à leur germination. La croissance du champignon se poursuit alors par le développement mycélien suivi d'une sporulation. Il semble n'y avoir aucune limite quant au nombre de spores que peut produire un champignon. Cette multiplication peut être perceptible par une odeur de moisi. Les

spores sont des organes de reproduction et de propagation mais également de résistance et peuvent survivre pendant des décennies dans des conditions extrêmes de sécheresse.

Les conditions de développement des micro-organismes

La croissance des champignons est fonction de la constitution génétique des espèces et des souches ainsi que de différents facteurs de l'environnement. Cependant, le seul facteur réellement déterminant de la croissance de ces organismes est l'humidité. Quand l'humidité ambiante est suffisante, le métabolisme cellulaire de la spore s'active et permet l'émission d'un tube germinatif. Une fois la germination accomplie, la croissance du champignon peut se poursuivre à une humidité moindre mais n'allant pas au-dessous d'un certain seuil.

Pour se développer, le champignon a également besoin de substances nutritives. Les premières étapes de la formation du mycélium s'effectuent grâce aux réserves contenues dans la spore. Ces réserves s'épuisent très rapidement, le champignon doit prendre dans le substrat la matière organique qui lui est indispensable pour continuer à se développer. Il y puise également l'eau qui est le solvant dans lequel ont lieu toutes les réactions métaboliques, d'où le rôle important joué par l'activité de l'eau du substrat. Celle-ci traduit la capacité de l'humidité à s'extraire du substrat et par conséquent à favoriser la prolifération de moisissures. De façon formelle, l'activité de l'eau (a_w) s'exprime par le rapport de la pression de vapeur de l'eau au-dessus du substrat sur la pression de vapeur de l'eau distillée. L'activité de l'eau est comprise entre 0 et 1. C'est une grandeur différente de la teneur en humidité à l'équilibre (THE) qui représente la masse d'eau contenue dans le matériau.

La majorité des micro-organismes se développent sur des substrats dont l'activité en eau est proche de 0,99, et si

Illustration 90

Cette courbe établie par Ayerst²¹⁷ indique les conditions thermohygrométriques qui favorisent le développement des moisissures sur un milieu nutritif.

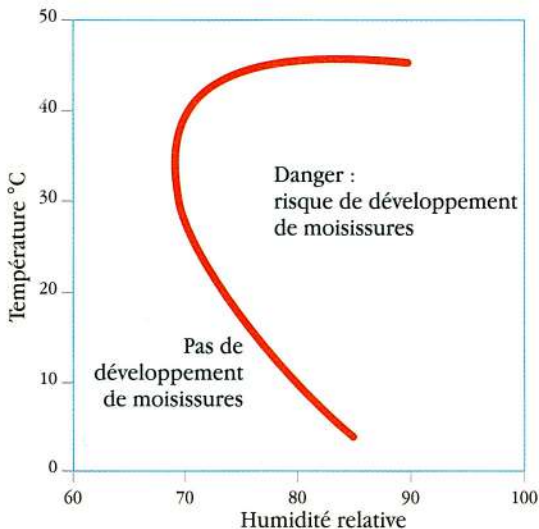


Illustration 91
Moisissures sur
une photographie.



certaines espèces peuvent se contenter de valeurs moindres, 0,61 est un minimum en dessous duquel le développement est impossible^{218, 219}.

La plupart des moisissures prolifèrent à température ambiante, elles sont dites mésophiles. Si la diminution de la température nuit au développement de certaines espèces (dites thermophiles), elle peut favoriser le développement d'autres (dites psychrophiles).

On constate d'autre part que le mouvement de l'air inhibe le développement des moisissures : aussi, une bonne ventilation limite les développements fongiques.

Le développement des champignons est une cause grave d'altération des collections photographiques et cinématographiques. Ils se nourrissent de la gélatine pour en extraire le carbone et l'azote par une réaction d'hydrolyse enzymatique qui fragilise la couche image et peut la détruire complètement. Parmi la quinzaine d'espèces les plus fréquemment identifiées dans les collections, les plus représentatives appartiennent aux genres : *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Epicoccum*, *Alternaria*²²⁰. Des prélèvements effectués sur différents matériaux audiovisuels ont permis d'isoler d'autres souches^{221, 222}.

La contamination des aires de stockage

L'évaluation du taux de contamination des magasins

Afin de déterminer la contamination biologique de l'air ou des surfaces, des prélèvements doivent être faits à plusieurs endroits. Lorsque les locaux de conservation sont trop vastes, on les divise en zones théoriques d'une vingtaine de mètres carrés, que l'on numérote, puis on détermine aléatoirement un certain nombre de zones qui seront contrôlées (norme NFX 06-022).

Pour analyser le degré de contamination des surfaces, on peut pratiquer la méthode des « empreintes » qui connaît plusieurs variantes. La plus simple consiste à déposer sur la surface à analyser un morceau d'adhésif qui sera

Illustration 92

Analyse du degré de contamination de l'air par prélèvement à l'aide d'un collecteur (MAS 100).



ensuite placé sur un milieu nutritif gélosé. Après quelques jours d'incubation, les souches isolées sont identifiées. Une autre variante de cette méthode consiste à appliquer directement un milieu gélosé, contenu dans une boîte de Pétri ou sur un film (Petrifilm™ de 3M), sur la surface à analyser. L'inconvénient des prises d'empreintes réside dans le caractère aléatoire du prélèvement : plusieurs variables difficilement maîtrisables, telles que l'état de surface ou la pression d'application, peuvent influencer la qualité des prélèvements. De plus, cette méthode ne donne pas d'informations quantitatives sur le niveau de contamination du local. On a donc souvent recours à l'analyse de l'air ambiant. Il faut toutefois noter que certains facteurs semblent

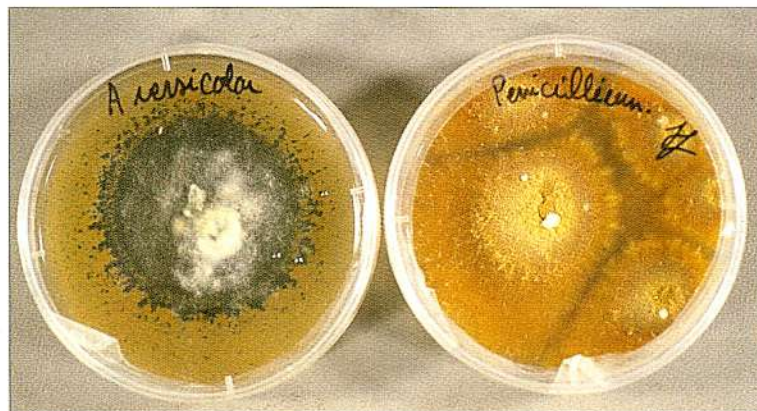
influer sur le taux de spores en suspension. Ainsi, lorsque l'humidité relative augmente, le niveau de contamination apparent diminue. Cette constatation peut paraître paradoxale puisque il est établi que l'humidité favorise le développement des micro-organismes. Il semble que les spores alourdies par leur absorption d'eau se déposent, alors que dans une atmosphère sèche elles sont beaucoup plus volatiles.

La méthode la plus simple d'analyse de l'air consiste à placer à l'air libre un milieu de culture (boîte de Pétri, ou Petrifilm™ de 3M) où les spores se déposeront par « sédimentation ». Cette méthode ne peut cependant donner qu'une idée approximative du niveau de contamination. La précipitation des spores dépend de leur taille, les plus légères restant en suspension, du taux d'humidité ambiante et des turbulences de l'air. On ne peut donc établir de façon fiable la quantité de spores par volume d'air. Les méthodes plus fiables réclament un dispositif pour aspirer l'air puis soit le filtrer sur un média de cellulose ou dans un liquide, soit le précipiter sur un milieu de culture.

La précipitation mécanique, par sa simplicité d'emploi et son efficacité, reste la technique la plus fréquemment employée. Un volume d'air déterminé est aspiré à fort débit à travers un orifice perforé. À l'arrière de celui-ci se trouve une boîte de Pétri contenant un milieu de culture gélosé sur lequel les spores captées vont se déposer. Plusieurs appareils portables

Illustration 93

Milieu de culture après ensemencement et incubation. On voit les colonies de micro-organismes.



reposant sur ce principe sont commercialisés : collecteur SAS Compact et Ochlovar (Société Osi), collecteur d'air MBV-MAS-100 (société Merck), etc. Après plusieurs jours d'incubation, les spores se sont développées, donnant naissance à des colonies visibles à l'œil nu et que l'on peut aisément compter. Le taux de contamination biologique aérienne peut être ainsi exprimé numériquement en nombre d'unités formant colonie par mètre cube d'air (UFC/m³). On utilise également l'unité PNC : particules donnant naissance à colonies.

Ce délai entre le prélèvement et l'obtention des résultats a conduit certains à expérimenter des techniques plus rapides basées sur la luminescence biologique²²³. Les micro-organismes collectés sont rendus luminescents, quand ils sont vivants, par réaction avec une enzyme ; la quantité de lumière émise, mesurée en *Relative Light Units* (RLU), est proportionnelle au degré de contamination biologique. Si cette technique est utilisée dans l'industrie pour les contrôles bactériologiques, il lui reste à faire ses preuves quand il s'agit de moisissures.

Les recommandations

Il n'existe pas de données normalisées qui définissent le taux admissible de contamination des magasins d'archives. L'air extérieur contient en moyenne²²⁴ de 1 000 à 10 000 UFC/m³. Pour les habitations, T. Godish²²⁵ indique qu'une atmosphère est relativement peu contaminée quand le taux est inférieur à 100 UFC/m³, et qu'elle est très contaminée quand il est supérieur à 1 000 UFC/m³. Descendre au-dessous de 500 UFC/m³ s'obtient sans trop de difficultés par filtration de l'air ; en revanche, un niveau inférieur à 100 UFC/m³ réclame des moyens plus lourds.

La désinfection des locaux

Lorsque la contamination est jugée excessive, on traite le local à l'aide d'un désinfectant. La destruction d'un micro-organisme est définie par son incapacité à se reproduire lorsqu'il est placé dans des conditions favorables à son développement. Pour être considéré comme un fongicide actif, un produit désinfectant doit assurer une réduction d'au moins 10 000 fois le nombre de spores revivifiables (c'est-à-dire réduire de 99,99 % la contamination initiale). Avant d'être commercialisé comme désinfectant, l'efficacité d'un produit est testée suivant des procédures normalisées. Une première série de tests vérifie l'activité fongicide ou sporicide du produit. On cherche ensuite à contrôler son efficacité pour désinfecter des surfaces comme le verre, l'acier inoxydable, les matières plastiques²²⁶. Un produit destiné à la désinfection par voie aérienne est testé suivant la norme NF T 72-281. Il convient également de s'assurer de l'innocuité des produits utilisés sur les documents et sur l'homme.

Il existe quelques grandes familles de composés actifs pour la désinfection des locaux dont :

- les aldéhydes (formaldéhyde, glutaraldéhyde, etc.) ;
- les dérivés halogénés (chloré, iodé) ;
- les phénols (thymol, orthophénylphénol, etc.) ;
- les ammoniums quaternaires.

Tous ne peuvent être appliqués dans les magasins de conservation. Les ammoniums quaternaires forment des solutions mixtes, à la fois détergentes et désinfectantes. Parmi les produits actuellement utilisés en France dans les réserves d'archives, de bibliothèques et de musées, citons le Vitalub QC 50,

Tableau 58

Désinfection par voie aérienne.

<i>mode</i>	<i>type</i>	<i>principe</i>
hétérogène	<ul style="list-style-type: none"> • dispersat dirigé • dispersat (aérosolisation, brumisation, nébulisation, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • pulvérisation de la substance sur une paroi • diffusion de microgouttelettes (moins de 5 microns) dans l'atmosphère atmosphérique
homogène	<ul style="list-style-type: none"> • vapeur 	<ul style="list-style-type: none"> • vaporisation par sublimation ou ébullition du composé ou d'un mélange azéotropique

à base de chlorure de diméthylbenzylammonium dilué à 2 % dans l'eau, ainsi que le thiabendazol. Ces produits sont employés pour la désinfection aérienne par thermonébulisation : le produit est dispersé dans l'atmosphère en gouttelettes très fines²²⁷. L'efficacité maximale d'un dispersat atmosphérique est obtenue lorsque les microgouttelettes ont une taille comprise entre 1 et 2 microns : le produit reste ainsi en suspension dans l'air plus longtemps et gagne en efficacité. On observe actuellement un certain intérêt pour l'usage des huiles essentielles extraites de plantes comme le romarin, le thym, le pin, l'eucalyptus, la citronnelle. Les essences naturelles contiennent des dérivés phénoliques et terpéniques qui ont des propriétés antiseptiques, bactériostatiques et fongistatiques²²⁸. Elles sont utilisées dans des établissements hospitaliers²²⁹ et on étudie la possibilité d'en employer certaines dans les aires de stockage en élaborant des techniques d'encapsulation qui permettraient de libérer lentement dans l'air leurs principes actifs.

L'innocuité de tous ces agents de désinfection vis-à-vis des collections et le problème lié à leur rémanence n'ont pas encore été étudiés. On conseille avant une désinfection de retirer les collections pour éviter tout contact entre les produits désinfectants et les photographies. Après avoir dépoussiéré les sols et les surfaces avec un aspirateur muni d'un filtre absolu, on les nettoie soigneusement avec une solution détergente pour éliminer les salissures adhérentes ainsi que les mycéliums apparents. On peut ensuite procéder à la désinfection proprement dite. La désinfection aérienne est réalisée hors de toute présence humaine.

La contamination des œuvres

La mise en évidence

des micro-organismes sur des photographies

Lorsqu'on s'interroge sur la nature d'une altération présente sur une photographie, ou sur des traces suspectes, il est nécessaire de réaliser un prélèvement pour vérifier s'il s'agit d'un développement de micro-organismes. Ce prélèvement non destructif consiste à effectuer un frottis à l'aide d'une anse stérile qui sert à ensemençer un milieu de culture. Après incubation (21 jours, 25 °C), le développement de colonies sur le milieu de culture confirme la vitalité des spores et la contamination biologique de l'œuvre. Les espèces sont identifiées par observation au microscope optique. Ces prélèvements peuvent être réalisés par les responsables de collections eux-mêmes, grâce à des écouvillons disponibles dans le commerce. Ces écouvillons sont ensuite rapidement envoyés dans un laboratoire afin d'être mis en milieu de culture.

Illustration 94

❶ Prélèvement biologique sur des œuvres. Il consiste à effectuer un frottis à l'aide d'un écouvillon stérile, puis à ensemencer un milieu de culture.

❷ Vue d'un milieu de culture après incubation.

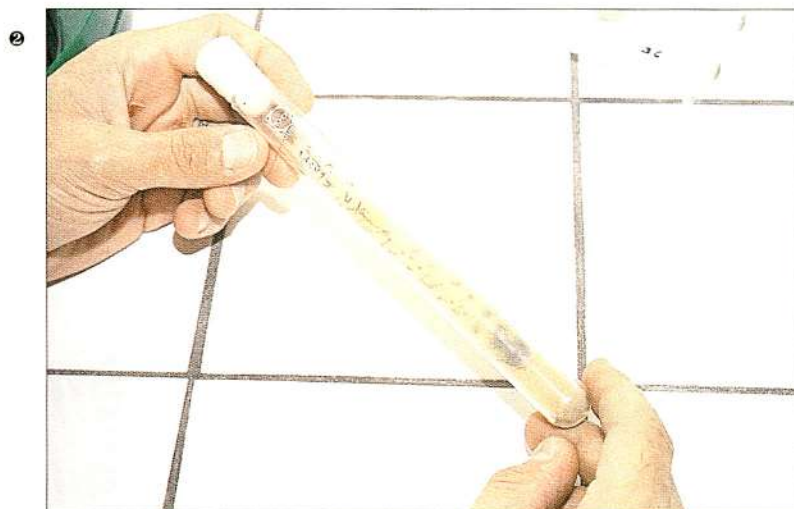


Tableau 59

Désinfection des photographies.

<i>agent de désinfection</i>	<i>mode d'application et action</i>	<i>avantage</i>	<i>inconvenient</i>
oxyde d'éthylène (et oxyde de propylène)	gaz fongicide, bactéricide, insecticide	<ul style="list-style-type: none"> • large spectre d'action • semble sans danger pour les œuvres • traitement de masse 	<ul style="list-style-type: none"> • action potentielle sur les protéines (alkylation) • déconseillé avec les matériaux humides • toxique pour l'homme, usage réglementé • rétention importante dans les matières plastiques
formaldéhyde	gaz ou solution bactéricide, fongicide	<ul style="list-style-type: none"> • anciennement utilisé en photographie comme agent de tannage ou stabilisant dans certains traitements chromogènes 	<ul style="list-style-type: none"> • toxique pour l'homme • produit de l'acide formique • réagit avec les protéines • moins bonne pénétration que l'oxyde d'éthylène • déconseillé
dérivés du phénol (thymol, orthophényl- phénol...)	fumigation (par sublimation) ou dispersat fongicides		<ul style="list-style-type: none"> • peu d'action sur les spores • endommage les œuvres • déconseillé
bromure de méthyle	gaz fongicide et insecticide		<ul style="list-style-type: none"> • toxique pour l'homme • interaction avec les matériaux organiques et rétention • activité fongicide médiocre • déconseillé
rayonnements : hautes fréquences, micro-ondes, rayons UV, rayons gamma, faisceaux d'électrons	irradiation fongicide, insecticide, bactéricide	<ul style="list-style-type: none"> • absence de produit résiduel 	<ul style="list-style-type: none"> • effets cumulatifs, • effets secondaires : les rayonnements interagissent avec les matériaux organiques et peuvent être à l'origine de dégradations (dépolymérisation) • jamais étudiés pour la désinfection des photographies • déconseillé

La désinfection des œuvres

Mettre au point un traitement qui soit à la fois efficace contre les micro-organismes et inoffensif pour l'homme, l'environnement et les photographies, semble une gageure difficile à tenir.

Les traitements physiques, qu'ils fassent appel à la température ou aux rayonnements électromagnétiques (ultraviolets, rayonnements ionisants, micro-ondes) n'ont pas, jusqu'à présent, donné de résultats satisfaisants : les conditions nécessaires à la destruction des micro-organismes sont telles que les œuvres sont endommagées.

Nombreux sont les traitements chimiques qui ont été expérimentés pour désinfecter les documents et les œuvres graphiques. Il s'agit généralement d'agents d'alkylation (formaldéhyde, oxyde d'éthylène), d'organobromés (bromure de méthyle), d'ammoniums quaternaires ou de dérivés du phénol (thymol, orthophénylphénol...) (Tableau 59). Ces derniers, qui ont été longtemps recommandés pour les documents graphiques, sont cependant peu actifs sur les spores et leur innocuité vis-à-vis des photographies ne paraît pas certaine. On a aussi préconisé l'application d'ammoniums quaternaires, comme le fluosilicate de zinc et l'Hyamine 1622 de Röhm et Hass, pour désinfecter les photographies. L'Hyamine 1622 qui semble utilisable sur des images en noir et blanc, est nocif sur certaines photographies en couleurs car il réagit avec le colorant cyan. Le fluosilicate de zinc ne semble pas produire d'effets néfastes sur les photographies, qu'elles soient en noir et blanc ou en couleurs²³⁰. Néanmoins, ces composés s'appliquent par immersion en solution aqueuse, et l'eau risque de provoquer de graves dommages si les micro-organismes ont rendu la gélatine soluble. D'autre part, ils présentent l'inconvénient de ne pas être utilisables pour des traitements de masse. Parmi les procédés de désinfection utilisés actuellement, c'est l'oxyde d'éthylène qui constitue le compromis le plus acceptable.

L'oxyde d'éthylène, ou oxirane, est un gaz fongicide, bactéricide et insecticide puissant. Très dangereux pour l'homme (on le suspecte d'être cancérigène), il est de plus très réactif et peut s'enflammer, voire exploser à l'air à une concentration supérieure à 3 %. Sa manipulation et son rejet dans l'atmosphère sont donc sévèrement réglementés. Il est utilisé dilué dans un gaz inerte comme l'azote, un hydrochlorofluorocarbure (HCFC) ou le dioxyde de carbone. Ce dernier composé présente quelques inconvénients : d'une part, il peut se polymériser avec l'oxyde d'éthylène ; d'autre part, le mélange de ces deux gaz sous pression ne restant pas homogène, on court le risque d'injecter des préparations trop pauvres en oxyde d'éthylène et donc inefficaces, ou trop riches mais alors dangereuses. L'usage des HCFC a été introduit pour remplacer le fréon interdit par le protocole de Montréal (le chlorotétrafluoroéthane ou HCFC-124 est un substitut cinquante fois moins agressif pour la couche d'ozone que le fréon 12). Divers mélanges prêts à l'emploi sont commercialisés : l'Oxyfume 2000 est un mélange à 8,6 % (en masse) d'oxyde d'éthylène dans du HCFC-124. On utilise également des mélanges d'oxyde d'éthylène dans l'azote à une concentration de 10 à 30 % (en masse). Après traitement, l'oxyde d'éthylène, qui ne peut être rejeté dans l'atmosphère, est neutralisé par brûlage ou hydrolyse, ou encore piégé sur des charbons actifs. On doit veiller également à la quantité résiduelle de gaz dans les documents. Cette question est primordiale pour la sécurité des utilisateurs, et la réglementation en la matière est assez stricte. En France, la teneur en oxyde d'éthylène résiduel des objets doit être inférieure à 2 ppm²³¹, ce seuil risquant d'être abaissé prochainement à 1 ppm. Le dosage du taux résiduel dans les documents réclame des analyses en chromatographie en phase gazeuse. La quantité d'oxyde d'éthylène dans l'air peut se mesurer par diverses méthodes (détecteurs à semi-conducteurs,

Illustration 95

Procédure suivie en cas de contamination biologique.

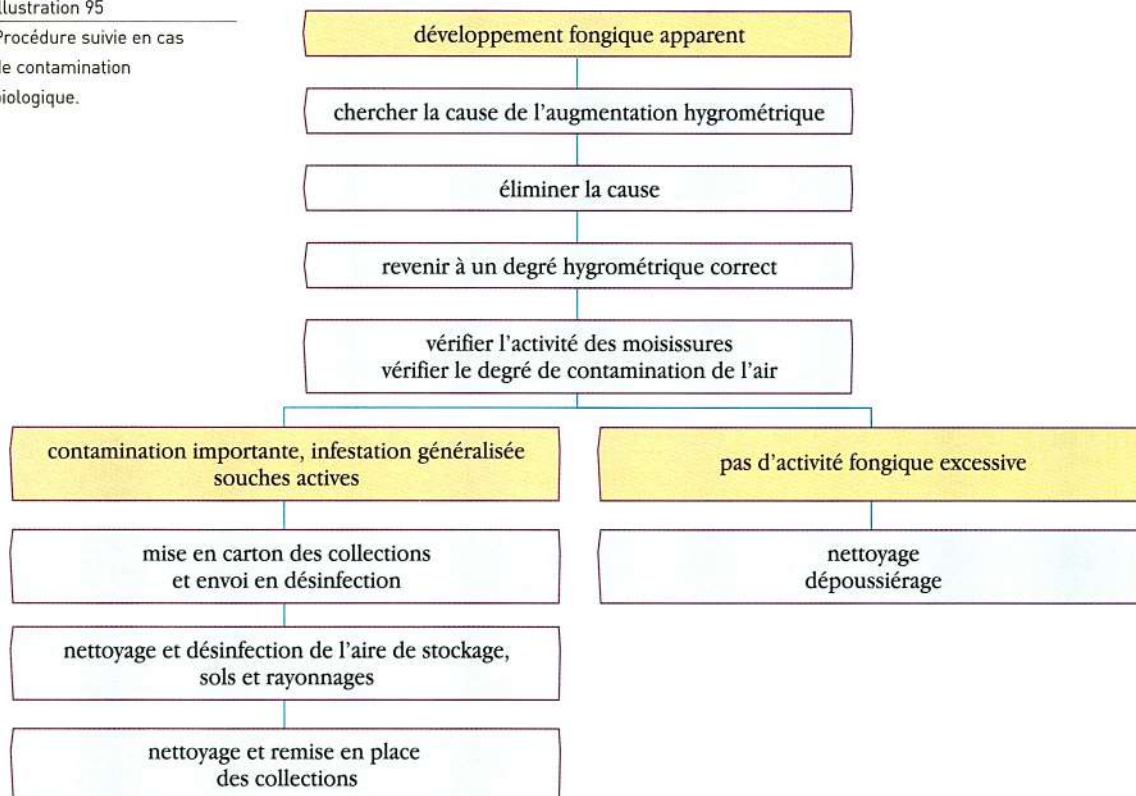


Tableau 60

Échéances établies par le protocole de Montréal. Le protocole de Montréal, en 1987, et les textes adoptés au cours des réunions qui ont suivi, établissent un calendrier pour le retrait progressif des composés dangereux pour la couche d'ozone. Cette nouvelle réglementation s'applique aussi au domaine de la conservation, car certains traitements font appel à ces produits nocifs. C'est ainsi que, pour remplacer les chlorofluorocarbones (CFC), on a adopté de façon provisoire des produits moins agressifs, les hydrochlorofluorocarbones (HCFC) : moins stables que les CFC, ils se décomposent dans la basse atmosphère avant d'atteindre la couche d'ozone. Dans l'attente d'un produit totalement inoffensif, ils sont admis comme substituts de transition, mais on doit limiter leur utilisation aux cas pour lesquels il n'existe aucune substance ou technique de remplacement.

<i>composé</i>	<i>application</i>	<i>échéance pour le retrait total</i>	<i>substitut</i>
CFC	inertant pour la désinfection à l'oxyde d'éthylène	1996	HCFC 124
HCFC	inertant pour la désinfection à l'oxyde d'éthylène, substitut provisoire des CFC	2030	-
halon	agent d'extinction	1994	FM-200 (Great-Lakes), FE-13 (du-Pont), HCFC-123
1,1,1 trichloroéthane	nettoyage des films	1996	trichloroéthylène
bromure de méthyle	gaz pour la désinsectisation	1995	anoxie, congélation

explosimètres, analyseurs à absorption infrarouge, etc.) la plus simple étant l'utilisation de tubes dosimètres (Gastec par exemple).

La stérilisation des documents est faite dans un autoclave en légère dépression pour éviter les fuites de gaz. Le traitement est réalisé à température ambiante (environ 20 °C) avec un taux d'humidité relative de 50 % dans l'autoclave. L'oxyde d'éthylène, à une concentration de 500g/m³, est mis en contact avec les œuvres pendant six heures, puis le gaz est évacué. Il est ensuite nécessaire de rincer plusieurs fois les documents à l'air afin d'éliminer l'oxyde d'éthylène retenu dans les matériaux.

Pour les supports en papier, on descend facilement à moins de 2 ppm d'oxyde d'éthylène résiduel après trois rinçages à l'air. En revanche, pour les supports en polymères synthétiques comme le papier PE (RC) ou le triacétate de cellulose, le taux de rétention est beaucoup plus important²³², ce qui oblige à pratiquer une ventilation pendant au moins trente jours dans un local aéré.

Pour s'assurer de l'efficacité du traitement, il existe des indicateurs biologiques sous forme de bandelettes contenant des spores d'espèces particulièrement résistantes (AttestTM de 3M, Bacterial Spore Tests Strip de Raven Biological Lab Inc, etc.). Ces bandelettes sont placées au milieu des œuvres à traiter. Après désinfection, on vérifie par une procédure assez simple que les micro-organismes présents sur la bandelette ne sont plus viables. On trouve également des indicateurs imprégnés d'un réactif qui change de couleur au contact du gaz (Indox 1224 de 3M, Thermalog G de PyMatH Corp²³³, etc.). Placés à l'intérieur d'une pile de documents, ils peuvent attester que l'oxyde d'éthylène a bien pénétré.

Plusieurs institutions ou entreprises privées (Frigoscandia, Stérichem, MXM, CICL) offrent au public la possibilité d'utiliser leur installation de désinfection et traitent des masses importantes de documents sans qu'on ait à les sortir de leurs emballages. Les observations faites depuis plus de dix ans sur différents types de photographies n'ont jamais mis en évidence une altération due à l'oxyde d'éthylène, les réticence actuelles étant plutôt liées aux dangers potentiels pour les utilisateurs.

Une fois les micro-organismes tués, il est nécessaire d'en éliminer les traces. Malheureusement, il existe très peu de traitements adaptés aux photographies. Le développement des champignons dégrade et rend soluble la gélatine, et un traitement aqueux aurait pour conséquence de dissoudre l'image. Le restaurateur déterminera la technique la plus adaptée, à sec, ou à l'aide d'un solvant organique, après avoir procédé à des essais préliminaires.

Les politiques d'intervention

Devant les dangers liés à l'utilisation de l'oxyde d'éthylène, on a vu se dessiner deux lignes de conduite. Dans certains pays, dont la France, on pense qu'il est dangereux de laisser, même dans une atmosphère saine, des documents très contaminés. Au moindre dérèglement hygrométrique, la germination des spores reprend de façon accrue, avec des effets d'autant plus graves que leur population est abondante. C'est pourquoi on a recours à la désinfection à l'oxyde d'éthylène, que l'on considère comme un moindre mal, à condition de replacer les documents dans une atmosphère assainie. La réglementation très contraignante attachée à l'utilisation de l'oxyde d'éthylène et l'absence de traitement alternatif, ont conduit les spécialistes anglo-saxons à une approche différente. Ils estiment qu'en cas d'accident, il est possible, avec le seul contrôle thermohygrométrique, de parer efficacement à toute germination, et d'éviter la prolifération des micro-organismes. La rapidité de l'intervention, guidée par le plan d'urgence, limitera les dégâts. Les traitements chimiques sont totalement exclus.

Illustration 96

Pièges engluants.

Ces pièges sont utiles pour détecter la présence des insectes.



Les insectes

Les conditions de développement des insectes

Ne pouvant réguler leur propre température, les insectes sont dépendants des conditions ambiantes. De nombreux insectes nuisibles pour les collections se reproduisent et se développent rapidement au-dessus de 25 °C, leur activité diminue entre 15 et 20 °C et cesse en dessous de 10 °C²³⁴. La présence d'humidité, d'obscurité et d'une source de nourriture favorisent la prolifération. Certains insectes se nourrissent des matériaux organiques constitutifs des images : gélatine, amidon, cellulose...

Les poissons d'argent, les blattes, les vrillettes, les termites, sont les espèces qui dégradent le plus fréquemment les collections.

La détection

On suspecte la présence d'insectes par les dégâts qu'ils occasionnent sur les œuvres, la découverte de cadavres, d'excréments, ou par observation de spécimens vivants. Une technique efficace de détection consiste à disposer sur le sol, le long des murs, des pièges constitués de petites boîtes en carton ouvertes sur un ou plusieurs côtés et dont l'intérieur est recouvert d'une substance poisseuse sur laquelle les insectes viendront s'engluer. Ces pièges peuvent être conçus pour des espèces particulières : vrillettes, blattes, coléoptères, etc. Leur pouvoir attractif créé avec des odeurs de produits alimentaires est alors renforcé par l'adjonction de phéromones²³⁵. Ces substances chimiques, sécrétées par les insectes et spécifiques à chacune des espèces, permettent d'attirer sélectivement leurs congénères et peuvent permettre de transformer un système de détection en un piège efficace, adapté à une espèce particulière. Les pièges engluants sont très utiles pour identifier les zones à risques, donner l'alarme ou vérifier l'efficacité d'un traitement de désinfestation. Pour les insectes volants, des plaquettes gluantes à suspendre remplissent les mêmes fonctions. Des pièges électriques sur lesquels les insectes s'électrocutent ont été testés aussi bien pour les insectes volants que rampants, mais la plupart des spécialistes préfèrent les pièges engluants.

Illustration 97

Désinsectisation par privation d'oxygène. Les œuvres sont traitées dans cette bulle [système Rentokil].



Tableau 61

La lutte contre l'infestation.

[D'après un document de David Pinniger :
Pest Management]

<i>phase</i>	<i>observation-réaction</i>	
identification	y a-t-il des dégâts ? y a-t-il des indices de la présence d'insectes ? sont-ils vivants ou morts ? quelles sont les espèces d'insectes ? de quoi se nourrissent-ils ?	
évaluation	nombre d'insectes ? les trouve-t-on sur des pièges ? où sont-ils ? y a-t-il eu des précédents à cet endroit ? se multiplient-ils ? sont-ils dans le mobilier ? sont-ils dans les bâtiments ? le nettoyage est-il correct ? fait-il humide ? fait-il chaud ?	
actions envisageables	documents	aucune action nécessaire nettoyage transfert observation/quarantaine traitement
	mobiliers	aucune action nécessaire nettoyage/destruction traitement
	bâtiments	aucune action nécessaire nettoyage séchage abaissement de la température traitement
traitement	vérifier le déroulement du traitement se protéger contre la toxicité documentation	
contrôle	surveiller les effets sur les œuvres contrôler les effets sur les insectes surveiller la présence d'insectes sur le site	

Tableau 62

Contrôle et désinsectisation des locaux.

<i>type de désinsectisation</i>	<i>nature du traitement</i>	<i>avantage</i>	<i>inconvenient</i>
substances chimiques	fumigation insecticide	traitement uniforme	traiter les locaux vides
pièges engluants	substance engluante	peu onéreux, sans risque	efficacité limitée si l'infestation est importante : surtout un moyen de mise en évidence
pièges lumineux	attraction lumineuse et électrocution	peu onéreux, sans risque	efficacité limitée aux insectes volants

La désinsectisation des collections

Par le passé, de nombreux produits chimiques ont été conseillés : oxyde d'éthylène, fluorure de sulfuryle, etc. Ces traitements sont aujourd'hui abandonnés car on dispose de deux techniques efficaces et sans danger : la congélation et l'anoxie. Les basses températures sont fatales aux insectes. Il suffit pour les détruire de placer les documents infestés à $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant deux jours²³⁶, après les avoir enveloppés dans des sacs en polyéthylène, pour éviter que l'eau ne se condense à leur surface quand on les extraira du congélateur. Il est conseillé de revenir très lentement à la température ambiante (au moins huit heures), en procédant par paliers. Si on ne peut atteindre $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, température à laquelle les larves cryorésistantes sont détruites, on conditionne les documents une semaine à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, puis après une semaine à température ambiante, on renouvelle le traitement. De façon similaire, des collections de photographies et des appareils photographiques infestés de l'Université d'Austin (Harry Ransom Center, Texas) ont été réfrigérés à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 72 heures à deux reprises^{237, 238}.

L'anoxie, qui consiste à asphyxier les insectes dans une atmosphère appauvrie en oxygène, est en plein développement. Si elle semble bien adaptée à des objets de faible volume, le traitement de grandes collections reste plus délicat. Les documents sont placés dans des sacs étanches à l'oxygène en poly(chlorure de vinyle) ou en polychlorofluoroéthylène^{239, 240}. Le taux d'oxygène est réduit par l'intermédiaire d'absorbant (Ageless de Mitsubishi Gas Chemical Company ou Atco de Standa-Industrie) (voir p. 74), et/ou d'un gaz inerte (argon, hélium, azote). Une concentration en oxygène n'excédant pas 0,1 % pendant deux semaines à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a été préconisée à l'origine ; par la suite, les travaux ont montré que 0,3 % à $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, pendant 10 jours, ou 0,6 % à $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, pendant 6 jours donnaient également de bons résultats²⁴¹. On peut traiter les documents en mode statique ou en mode dynamique. Dans ce cas, l'intérieur du sac est balayé par un courant de gaz inerte. L'apport continu de gaz permet d'éviter une augmentation du taux d'oxygène, malgré des défauts d'étanchéité. Ces gaz renferment très peu d'humidité et afin d'éviter un dessèchement excessif, on maintient l'hygrométrie à l'aide de gel de silice.

Sur un principe et une mise en œuvre identiques, l'utilisation d'atmosphère enrichie en dioxyde de carbone (à plus de 60 %) est appliquée en France

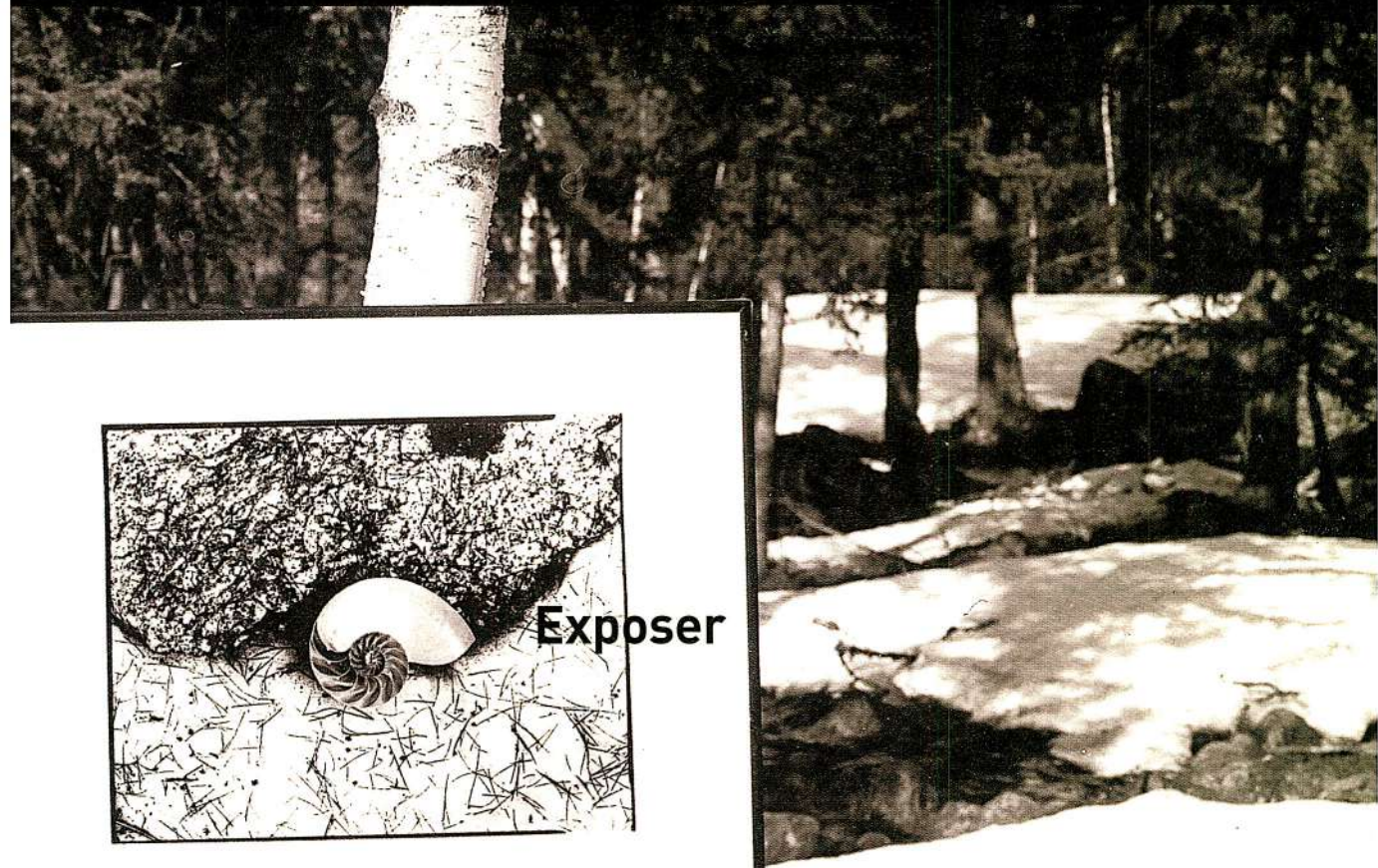
par la société Rentokil (Illustration 97). Le dioxyde de carbone a l'avantage d'être tout aussi efficace que les gaz inertes, même à des concentrations plus faibles. On l'applique à basse humidité pour éviter la formation d'acide carbonique. Il faut rester vigilant car, en cas de fuite, un excès de CO₂ dans l'atmosphère peut faire courir des risques au personnel.

La désinsectisation des locaux

La surveillance et l'entretien des aires de stockage (étanchéité des fermetures, nettoyage des locaux à l'aide d'un aspirateur, lavage des surfaces en évitant de laisser des zones humides...) sont indispensables pour prévenir ou limiter la multiplication des insectes. En cas d'infestation, il faut traiter les aires de stockage vides, et attendre quelque temps avant de replacer les collections qui auront été traitées séparément.

Les insectes sont éliminés par des thermonébulisations ou des fumigations de produits de la famille des pyrèthres²⁴². Ces traitements se font en dehors de la présence humaine.





Exposer



La lumière

Notre œil perçoit les rayonnements dont les longueurs d'onde (λ) s'étendent approximativement de 400 à 780 nanomètres (nm). C'est cette infime partie du spectre électromagnétique qui compose ce que l'on appelle la lumière. Comme le souligne Y. Legrand²⁴³, « dans cet ensemble qui, pour employer un langage musical, possède une étendue de plus de 70 octaves (...) la lumière n'occupe pas même une octave ».

Les sources lumineuses artificielles et naturelles ne se limitent pas à diffuser un rayonnement visible. Celui-ci est, en général, accompagné de radiations infrarouges (IR) et ultraviolettes (UV), situées de part et d'autre du spectre visible. Le soleil, par exemple, émet des radiations UV de longueurs d'onde comprises entre 13 et 400 nm. Seuls les rayonnements pour lesquels λ est supérieur à 290 nm atteignent la Terre, les autres étant absorbés par la couche d'ozone.

Tableau 63

Les classes de rayons UV.

UV-a	entre 315 et 400 nm
UV-b	entre 280 et 315 nm
UV-c	entre 100 et 280 nm

QUALIFIER LA LUMIÈRE

La température de couleur

Lorsqu'on chauffe un objet incombustible, il émet de la lumière. Ainsi, aux alentours de 1000 °C, une pièce de métal produit une lumière rouge ; lorsque la température s'élève, cette lumière jaunit. C'est le principe des lampes à incandescence : le passage du courant produit un échauffement qui porte un filament à incandescence. Pour qualifier l'aspect de cette

Illustration 98

Représentation de la température de couleur.

Lorsqu'on chauffe un objet incombustible, il émet de la lumière. Ainsi, aux alentours de 1 000 °C, une pièce de métal produit une lumière rouge ; lorsque la température s'élève, cette lumière jaunit. La lumière solaire a une température de couleur de 6 500 K au-dessus de l'atmosphère ; en traversant l'atmosphère, elle tombe à environ 5 400 K, ce qui représente une moyenne entre les 5 077 K mesurés à midi en hiver et les 5 740 K relevés en été. La lumière du ciel, beaucoup plus riche en radiations bleues, a une température de couleur qui s'étend entre 10 000 et 20 000 K. Il faut aussi compter avec une quantité non négligeable de rayonnements UV et IR.

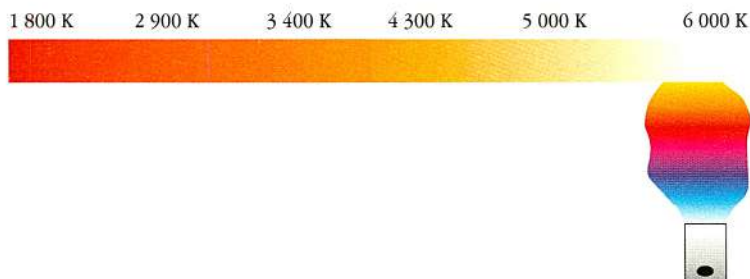
Tableau 64

Température de couleur de quelques sources lumineuses et longueur d'onde d'émission maximale.

source lumineuse	température de couleur	λ_{max}	domaine
bougie	1 800 K	1 602 nm	infrarouge
lampe 100 W	2 900 K	994 nm	infrarouge
lampe tungstène halogène	3 400 K	848 nm	infrarouge
lampe aux halogénures métalliques 150 W	4 300 K	670 nm	rouge
lampe aux halogénures métalliques 250 W	5 000 K	577 nm	jaune
flash électronique	6 000 K	480 nm	bleu
lumière solaire	6 500 K	444 nm	bleu
lumière du ciel	8 000 K	360 nm	ultraviolet

lumière, les physiciens ont conçu un outil de référence. Il s'agit du corps noir qui, lorsqu'on le chauffe, transforme tout l'apport d'énergie en un spectre de rayonnement continu. La température de couleur (T_c) d'une source lumineuse correspondra à la température à laquelle il faudra porter le corps noir pour qu'il émette une lumière ayant la même distribution spectrale. Inversement, on peut aussi présenter le corps noir comme un corps capable d'absorber la totalité des radiations lumineuses qu'il reçoit et de les transformer en chaleur pour atteindre une certaine température, dite température de couleur. Celle-ci s'exprime en kelvins (il suffit de soustraire 273 à la température en kelvin pour obtenir la température en degrés Celsius) et donne une information importante sur la qualité de la lumière. Quand la température de couleur augmente, la couleur de la lumière émise se déplace des tons chauds (rouge) vers des tons plus froids (bleu).

Une lampe à incandescence de 100 W a une température de couleur de 2 900 kelvins, et l'on peut constater que l'émission la plus intense (λ_{max}) se situe dans l'infrarouge. Pour la lumière solaire, une température de couleur de 6 500 K correspond à un maximum d'émission dans le bleu (Tableau 64). Dans le cas des lampes fluorescentes, la lumière n'étant pas émise par l'échauffement d'une substance, il n'y a plus d'analogie possible avec un corps noir. La lumière produite par fluorescence a en effet une distribution spectrale particulière, discontinue, qu'il ne sera pas possible de reproduire en chauffant un matériau. On utilise alors la notion de température de couleur corrélée ou équivalente : c'est celle à laquelle il faudrait chauffer le corps noir pour qu'il produise la même qualité de lumière. Toutefois, cet élargissement du concept peut être source d'erreurs : il arrive



que deux tubes fluorescents de même température de couleur corrélée aient, sur des objets colorés, des effets totalement différents. On a recours alors à la notion d'indice de rendu des couleurs (IRC).

L'indice de rendu des couleurs (IRC)

Si la température de couleur donne des indications qualitatives sur l'aspect d'une lumière, elle ne permet pas de déterminer comment un observateur va percevoir des objets illuminés par cet éclairage, en comparaison avec un éclairage de référence. Pour résoudre ce problème, on a défini un indice de rendu des couleurs (IRC). Huit échantillons colorés sont mesurés colorimétriquement sous la source étudiée, et les résultats sont comparés aux mesures obtenues sous un éclairage de référence. La moyenne des huit écarts représente l'indice de rendu des couleurs. Un système relatif d'évaluation a été établi : l'éclairage de référence a une valeur IRC = 100, et plus la source étudiée approchera cette valeur maximale de 100, plus le rendu des couleurs sera « fidèle ». Les indices de rendu des couleurs ont été regroupés en cinq catégories (Tableau 65). Un éclairage d'un IRC supérieur à 90 est tout à fait satisfaisant pour l'observateur.

Tableau 65

Classification des IRC.

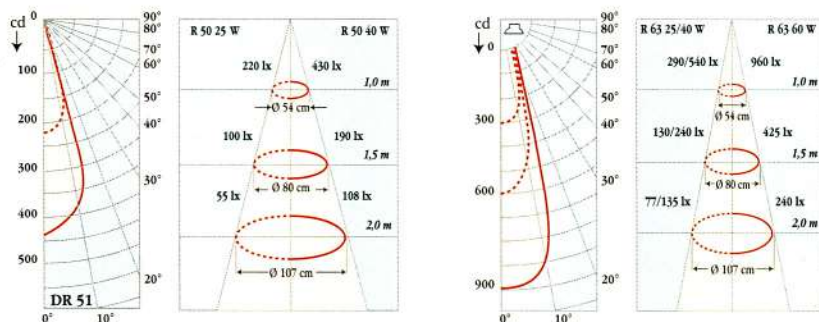
groupe	IRC correspondant
groupe 1a	90 < IRC ≤ 100
groupe 1b	80 < IRC ≤ 90
groupe 2	60 < IRC ≤ 80
groupe 3	40 < IRC ≤ 60
groupe 4	20 < IRC ≤ 40

QUANTIFIER LA LUMIÈRE

Outre la température de couleur ou l'indice de rendu des couleurs qui permettent de qualifier une source lumineuse, il existe un certain nombre d'unités de mesure pour quantifier une lumière émise, réfléchiée ou transmise. Deux approches vont être utilisées, voire mêlées, dans les paragraphes suivants : l'aspect énergétique et l'aspect sensoriel de la lumière. Les unités de mesure énergétiques sont le watt, le watt par mètre carré, le watt par stéradian. Ce sont des valeurs objectives qui correspondent à l'énergie transportée par un rayonnement, mais qui n'évoquent en rien la sensation lumineuse créée. On a donc développé des valeurs subjectives attachées à un récepteur spectral tout à fait sélectif : l'œil humain. Ces unités de mesure permettant d'évaluer les effets sensoriels sont le lux, le lumen et la candela : elles constituent les outils d'une discipline appelée photométrie. Par commodité, ces grandeurs photométriques sont largement appliquées pour les recommandations sur l'éclairage dans les musées. Cela ne doit pas masquer le fait que des éclairages ou des luminations identiques peuvent produire des effets détériorants différents selon la distribution spectrale de la source. C'est pourquoi il a été proposé récemment d'utiliser une lumière blanche

Illustration 99

Exemples de courbes photométriques de lampes à incandescence. (Schéma Osram)



R 50 Spotlight, 30°, 25 et 40 W

R 63 Spotlight, 30°, 25, 40 et 60 W

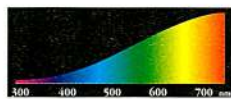
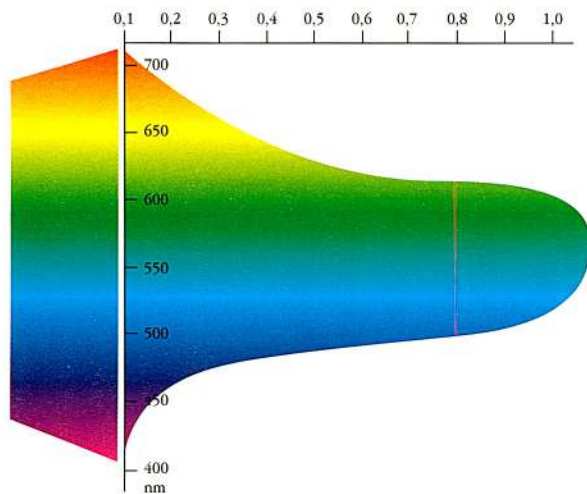
Tableau 66

Flux lumineux de diverses sources.

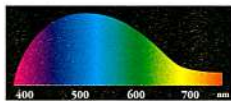
source	flux lumineux
lampe 100 W	1 380 lm
lampe 200 W	3 150 lm
tube fluorescent	600 à 6 000 lm

Illustration 100

Sensibilité relative de l'œil aux radiations.
La sensibilité maximale se situe dans le jaune-vert.



Distribution spectrale
d'une lampe halogène,
3 100 K



Distribution spectrale
de la lumière naturelle
du jour, 6 500 K

composée à partir de trois sources primaires, bleu, rouge, vert. On élimine ainsi les longueurs d'onde qui n'apportent rien à la vision (*Museum Lighting Protocol Project*, Lighting Research Center, New York).

L'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse définit la quantité de lumière émise par une source dans une direction donnée. Elle s'exprime en candela (cd). La valeur d'une candela correspond à l'intensité lumineuse, mesurée au travers d'une ouverture ayant une surface de $1/60$ de centimètre carré, du corps noir porté à 2 042 K, température de solidification du platine.

Une lampe n'émet pas de façon uniforme dans l'espace : il existe certaines directions privilégiées où l'intensité lumineuse sera plus forte. Les fabricants peuvent fournir avec les lampes des diagrammes en coordonnées polaires, schématisant l'intensité relative d'une source lumineuse dans l'espace (Illustration 99).

Le flux lumineux

Le flux lumineux correspond à la quantité de lumière produite par une source d'une candela et mesurée dans un stéradian (angle ayant son sommet au centre d'une sphère et découpant sur sa surface une aire égale à celle d'un carré qui aurait pour côté le rayon de la sphère). Il s'exprime en lumens (lm).

Notre sensibilité visuelle n'est optimale que vers 555 nm (lumière jaune-vert) : la totalité de l'énergie transportée par le rayonnement est alors transformée en sensation lumineuse. En deçà ou au-delà de cette valeur, l'œil a une efficacité qui va en décroissant. Un simple décalage de 40 nm, par rapport à cette valeur, suffit à abaisser le « rendement » de l'œil d'environ 50 %. Pour chaque longueur d'onde, un coefficient d'efficacité photopique, ou coefficient de visibilité, a été calculé : il permet de convertir des valeurs énergétiques en valeurs photométriques²⁴⁴.

L'éclairage

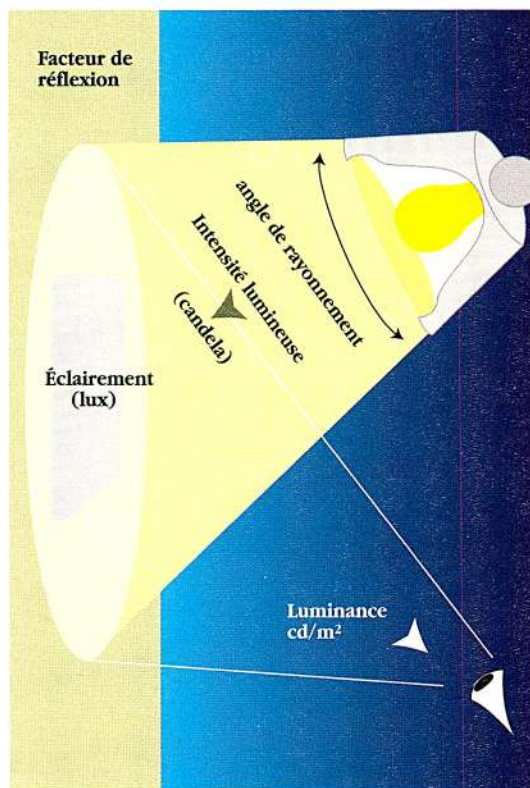
L'éclairage est le flux lumineux reçu par une surface. Il s'exprime en lux. Une paroi d'un mètre carré irradiée de façon uniforme par un flux lumineux d'un lumen, reçoit un éclairage d'un lux (1 lux = 1 lm/m²). Cette unité est établie en fonction de la perception humaine ; c'est aussi celle qui est utilisée dans les recommandations pour les expositions

d'œuvres fragiles. Néanmoins, les objets peuvent absorber des radiations qui ne sont pas perçues par l'œil et qui sont susceptibles d'avoir des effets détériorants importants.

L'éclairage dépend de l'intensité de la source lumineuse et de l'éloignement entre l'œuvre et la source. Il est proportionnel à l'inverse du carré de la distance ; ainsi, placé à trois mètres d'une source, un objet reçoit un éclairage neuf fois moins intense qu'à un mètre.

Illustration 101

Représentation schématique de grandeurs photométriques.



La luminance

La luminance est l'intensité lumineuse par unité de surface d'une source ou d'une surface réfléchissante. Elle s'exprime en candelas par mètre carré (cd/m^2) et permet d'évaluer l'éblouissement. Une source ou une paroi réfléchissante d'une surface d'un mètre carré et qui émet une intensité d'une candela a une luminance de $1 \text{ cd}/\text{m}^2$.

La lumination

La lumination représente le produit de l'intensité d'éclairement par la durée d'exposition. Elle s'exprime en lux.seconde ($\text{lx}\cdot\text{s}$) ou en lux.heure ($\text{lx}\cdot\text{h}$). Ces unités sont couramment utilisées pour étudier les caractéristiques des surfaces sensibles (courbes de noircissement photographique) ; elles servent également, lors de la présentation des œuvres, à quantifier la dose de lumière reçue par l'objet, au cours de son exposition. Dans ce cas, on l'appelle aussi « dose totale d'exposition » (DTE).

La quantité de rayons ultraviolets

La quantité de rayons ultraviolets représente le rapport entre l'énergie du rayonnement UV d'une source et le flux lumineux. Il s'exprime en microwatts par lumen. Pour des valeurs d'éclairement identiques, des sources lumineuses peuvent avoir des effets plus ou moins nocifs sur les œuvres exposées, selon leur richesse en rayons ultraviolets. Si les lampes à fluorescence sont, en

raison de leur conception, plus aptes à émettre des rayonnements UV, il faut se garder de généraliser : certaines d'entre elles, conçues pour des applications muséographiques émettent peu d'UV. En revanche, on sous-estime souvent la part nocive de rayonnements UV des éclairages halogènes (voir p.178). Quant aux lampes aux halogénures métalliques, extrêmement riches en UV, elles ne peuvent être utilisées sans filtrage.

Tableau 67

Comparaison de la richesse en UVa-b-c de diverses sources.

source	UV-a $\mu\text{W}/\text{lumen}$	UV-b $\mu\text{W}/\text{lumen}$	UV-c $\mu\text{W}/\text{lumen}$
lampe à incandescence 100 W	62,5	0,985	0,003
lampe tungstène halogène Halostar UV-stop 20 W, 12 V - Osram 64425 U	48,2	0,012	0,019
lampe tungstène halogène 20 W, 12 V Osram 64425 Ax	91,5	5,86	1,29
tube fluorescent 36 W	93	6,9	0

Tableau 68

Efficacité lumineuse de diverses sources.

source	durée de vie	efficacité lumineuse
lampe à incandescence	1 000 heures	15 lm/W
lampe tungstène halogène	3 000 heures	25 lm/W
lampe fluorescente	8 000 heures	95 lm/W
lampe aux halogénures métalliques	10 000 heures	120 lm/W

L'efficacité lumineuse et la quantité de rayons infrarouges

Dans une source d'éclairage, une partie de l'énergie est dissipée par rayonnement ultraviolet, mais aussi dans l'infrarouge sous forme de chaleur. L'efficacité lumineuse est le rapport entre le flux lumineux produit et l'énergie consommée par la lampe. Elle permet d'évaluer le rendement d'une source lumineuse et s'exprime en lumens par watt (lm/W). Plus l'efficacité lumineuse est élevée, meilleur est le rendement de la source, moins grande est la perte d'énergie sous forme d'IR. Dans les lampes à incandescence, l'efficacité lumineuse est faible, car environ 80 % de l'énergie sont dissipés sous forme de rayonnements IR. L'efficacité augmente avec la température du filament, et les éclairages halogènes ont un meilleur rendement que les simples lampes à incandescence.

Plus l'efficacité lumineuse est élevée, meilleur est le rendement de la source, moins grande est la perte d'énergie sous forme d'IR. Dans les lampes à incandescence, l'efficacité lumineuse est faible, car environ 80 % de l'énergie sont dissipés sous forme de rayonnements IR. L'efficacité augmente avec la température du filament, et les éclairages halogènes ont un meilleur rendement que les simples lampes à incandescence.

LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE

Les sources d'éclairage artificiel peuvent se répartir en deux familles : les lampes à incandescence et les lampes à décharge. Certaines ne sont pas employées dans le cadre domestique ou dans celui d'une salle d'exposition, et nous ne les décrivons pas de façon détaillée. Citons les lampes au xénon haute pression, dont le spectre est proche du spectre solaire, les lampes à vapeur de sodium qui produisent un éclairage quasi monochromatique jaune-orangé (589 et 596 nm), les lampes à induction électromagnétique et les lampes à vapeur de mercure, très riches en rayons ultraviolets. Certaines lampes UV à vapeur de mercure, dites à lumière noire ou lampes de Wood, génèrent des UV-a.

Les lampes à incandescence

Ces lampes sont constituées d'un filament de tungstène dans une ampoule contenant un gaz inerte (argon, krypton, azote...). Le filament joue le rôle de résistance et convertit le courant en chaleur, par effet Joule. En s'échauffant, le fil de tungstène émet de la lumière. Les lampes à incandescence produisent une quantité importante de rayonnements infrarouges, et leur utilisation dans des lieux clos ou peu ventilés peut entraîner une élévation non négligeable de la température.

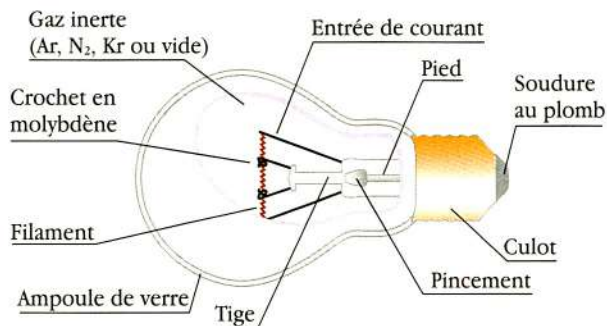
Les lampes à incandescence produisent une quantité importante de rayonnements infrarouges, et leur utilisation dans des lieux clos ou peu ventilés peut entraîner une élévation non négligeable de la température.

Les lampes tungstène

Dans une ampoule tungstène, le filament est porté à environ 2 600 °C. La température de couleur de la lumière ainsi produite varie généralement entre 2 700 K et 3 200 K, valeurs limites car la température du filament ne peut être augmentée indéfiniment. Le filament de tungstène fond à 3 650 K ; à des températures plus basses, il se consume par un

Illustration 102

Schéma d'une lampe à incandescence. (Schéma Osram)



phénomène d'évaporation qui se traduit par l'apparition d'un dépôt noir sur les parois de l'ampoule. La durée de vie de ces lampes est d'environ mille heures, mais cette durée peut être considérablement réduite en cas de surtension. Ces éclairages génèrent assez peu d'UV : la quantité produite est inférieure à 75 microwatts par lumen.

Les lampes tungstène halogène

Elles sont également appelées quartz-iode. L'introduction d'une petite quantité d'un gaz halogène (iode) permet d'élever la température du filament de tungstène sans craindre qu'il se consume rapidement. Quand le filament est chauffé, une partie du métal s'évapore et réagit avec l'iode pour former de l'iodure de tungstène qui, au contact du filament, se décompose en iode et en tungstène. Il y a ainsi une régénération permanente du métal et la durée

de vie de la lampe est accrue. Le quartz est généralement substitué au verre pour résister aux températures plus élevées. Cependant, le quartz est plus transparent aux UV, et comme la température de couleur de ces lampes peut s'élever jusqu'à 3 400 K, il en résulte également un accroissement important de la quantité d'ultraviolets. Pour ce type de lampes, il sera prudent de vérifier la teneur en UV et éventuellement de disposer des filtres.

On voit apparaître sur le marché des lampes halogènes basse tension, dont les rayonnements UV-b et UV-c sont éliminés, et les UV-a réduits de moitié. L'usage des lampes halogènes basse tension à réflecteur dichroïque s'est fortement répandu chez les particuliers et dans les galeries. Chaque œuvre peut être ainsi équipée de façon esthétique avec sa propre lampe qui, parfois, fait corps avec le système d'accrochage. Le faisceau lumineux est intense et étroit. Il convient de s'assurer que le réflecteur dichroïque permet bien d'éliminer vers l'arrière les rayonnements les plus nocifs ; il faut également contrôler l'intensité de l'éclairage et la chaleur, qui peuvent être dangereux lorsque les lampes sont placées trop près des œuvres (Illustration 116).

Les lampes à décharge

Ces lampes tubulaires ou ovoïdes contiennent un gaz (vapeur de mercure, de sodium, xénon, etc.), et comportent à chaque extrémité une électrode. La lumière n'est plus produite par le chauffage d'un filament métallique : lorsque le tube est mis sous tension, des électrons sont éjectés de la cathode vers l'anode, à l'autre extrémité du tube. Au cours de leur trajet ils entrent en collision avec les atomes du gaz et il en résulte l'émission d'un rayonnement.

Illustration 103

Schéma d'une lampe halogène.

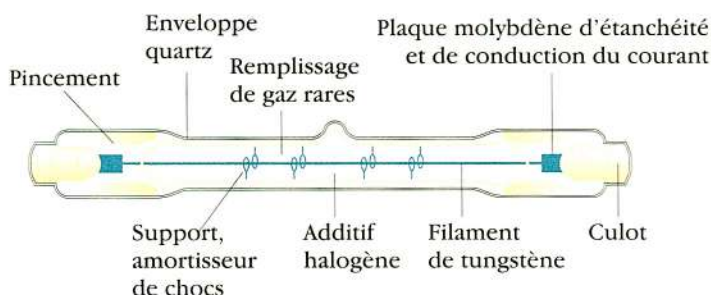


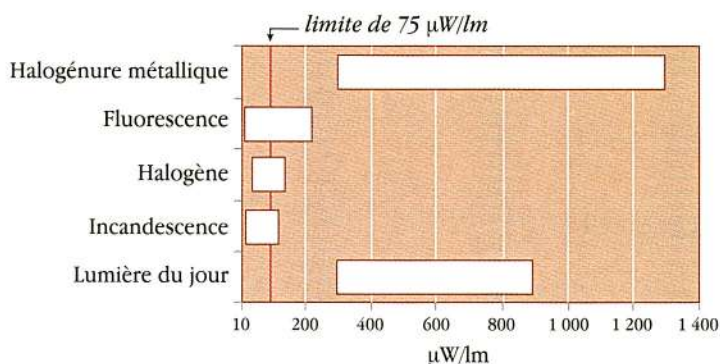
Tableau 69

Caractérisation de quelques tubes fluorescents (tubes fluo Osram, Lumilux de luxe).

<i>nom français</i>	<i>nom anglais</i>	<i>température de couleur équivalente</i>	<i>IRC</i>
blanc chaud	warm white	3 000 K	95
blanc froid (blanc de luxe)	cold white	4 200 K	96
lumière du jour	daylight white	5 400 K	98

Illustration 104

Quantité d'UV émis par diverses sources²⁴⁶.



Les tubes fluorescents

Un tube fluorescent²⁴⁴ contient des vapeurs de mercure et ses parois intérieures sont recouvertes de substances fluorescentes, comme des halophosphates de calcium.

Les atomes de mercure, excités par la collision avec les électrons, retournent à leur état fondamental en libérant des rayonnements UV ; ceux-ci vont alors heurter les parois du tube et rendre fluorescent le composé présent. Le spectre de la lumière ainsi émise dépend de la substance appliquée, c'est un spectre continu auquel s'ajoutent des rayonnements monochromatiques dans l'UV et le visible.

Ces éclairages offrent, contrairement aux lampes à incandescence, des qualités de lumière très variées ; ils ont en outre l'avantage de dissiper beaucoup moins d'énergie sous forme de chaleur que les lampes à incandescence. Mais ils peuvent être plus riches en rayonnements UV et par conséquent nécessiter l'emploi de filtres.

Les tubes fluorescents sont regroupés, selon la couleur de l'éclairage qu'ils produisent, en plusieurs catégories. Le qualificatif « froid » se réfère à un éclairage pauvre en lumière rouge (température de couleur élevée) tandis que le qualificatif « chaud » s'applique à un éclairage pauvre en lumière bleue (température de couleur plus basse).

Les lampes fluorescentes existent sous forme de tubes rectilignes ou courbés ; ces derniers sont éventuellement contenus dans une ampoule (lampes fluocompactes). La taille de ces tubes varie de 13,6 à 150 cm avec un diamètre compris entre 7 et 38 mm ; leur puissance s'échelonne entre 4 et 215 watts. À puissance équivalente, le tube fluorescent a une efficacité lumineuse au moins cinq fois plus élevée que les lampes tungstène. Ainsi, un tube fluorescent de 18 W émet un flux lumineux identique à celui d'une lampe de 100 W.

Illustration 105

Schéma d'un tube fluorescent.
(Schéma Osram)

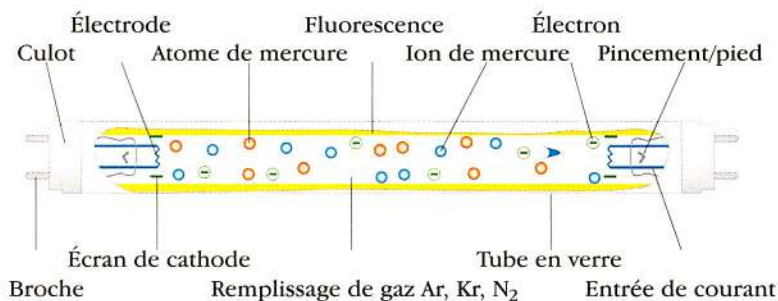


Tableau 70

Résumé des caractéristiques de quelques sources lumineuses.

type de lampe	coût à l'achat	efficacité lumineuse	durée de vie	quantité d'UV	dégagement de chaleur	IRC
tungstène	F	F	M	F	E	F à E
tungstène halogène	M	M	M	M	E	F à E
fluorescente	F à M	E	E	M à E	F	F à E
iodure métallique	E	E	E	E	E	E

F = faible, M = moyen, E = élevé, en grisé les points bénéfiques.

Les lampes aux halogénures métalliques

Ces lampes renferment de la vapeur de mercure ; les petites quantités d'iodures de thallium, d'indium, de scandium, de dysprosium ou de sodium que l'on y ajoute permettent de produire une lumière blanche plus équilibrée, avec un meilleur indice de rendu des couleurs sans que l'on ait à introduire une couche fluorescente. Leur durée de vie est supérieure à celle des autres lampes et leur consommation moindre. Mais la très forte quantité d'ultraviolets qu'elles émettent en limite l'usage aux seules fibres optiques pour l'éclairage des œuvres.

L'éclairage par fibre optique

Ce dispositif connaît actuellement un fort développement parce qu'il permet de résoudre des problèmes d'éclairage parfois complexes. La fibre optique n'est pas à proprement parler une source lumineuse, mais un dispositif d'éclairage. La fibre ou le câble optique (ensemble de quelques dizaines à quelques centaines de fibres) ne sont que le moyen de propager la lumière d'une source conventionnelle au tungstène halogène ou à iodure métallique. À partir de cette source lumineuse, placée à un endroit acces-

Illustration 106

Éclairage par fibre optique à l'exposition « Les écoles pictorialistes en Europe et aux États-Unis vers 1900 », au musée Rodin (1993).

(Photographie de S. Engbrox et J. Manoukian)

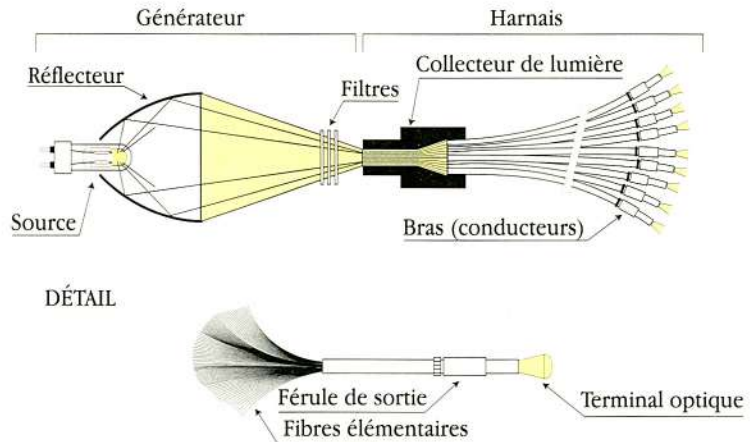


Illustration 107

Principe général des fibres optiques.

(Document Thom Europhan)

Une fibre optique est le plus souvent constituée d'un cœur de silice d'un diamètre compris entre 0,005 et 0,1 mm entouré d'une gaine d'un indice de réfraction plus faible. Quand on éclaire l'une des extrémités, la lumière se propage à l'intérieur de la fibre en se reflétant sur les parois comme sur un miroir, ce qui permet, malgré la longueur de la fibre, de véhiculer le flux lumineux à l'autre extrémité. La souplesse des fibres permet d'acheminer la lumière à des points précis dont l'éloignement de la source peut atteindre une quinzaine de mètres. Si la lumière peut encore contenir des rayonnements infrarouges, son trajet dans le verre l'a débarrassée des rayons ultraviolets. À l'extrémité de la fibre il est possible, par l'adjonction de filtres et de lentilles, de modifier l'aspect et la focalisation du faisceau lumineux.



sible, on peut illuminer plusieurs éléments (vitrines, objets, photographies). Le changement des lampes ne risque pas de dérégler l'orientation de l'éclairage. On évite aussi des manipulations parfois malencontreuses, avec des sources disposées en hauteur ou proches d'objets fragiles.

Les flashes

Les flashes²⁴⁷ employés comme éclairage d'appoint en prise de vue sont des lampes à décharge. Couramment dénommés flashes électroniques, ils émettent en une fraction de seconde une lumière d'une température de couleur d'environ 6 000 K. Une grande partie des radiations UV est généralement arrêtée par un filtre incorporé. La quantité de lumière fournie par la lampe est indiquée par son nombre guide qui croît avec la puissance du flash, les valeurs courantes s'échelonnant entre 20 et 60. L'intensité d'irradiation dépendra donc du modèle utilisé. Le nombre d'éclairs susceptibles de fournir la dose de rayons ultraviolets équivalents à une heure d'exposition à 50 lux, varie de 9 à 220, suivant le type de lampe²⁴⁸. Pour les flashes les plus puissants, il convient d'être attentif à la fréquence d'utilisation face à une œuvre fragile en se souvenant que leur effet est cumulatif²⁴⁹. Jusqu'à présent on n'a jamais relaté une détérioration de photographies provoquée par des lampes flashes.

Les photocopieurs et les scanners

Les sources d'éclairage des photocopieurs sont souvent des lampes halogènes. On trouve également des photocopieurs équipés de tubes fluorescents ou de lampes flashes au xénon. Quel que soit le modèle, la quantité de rayonnements UV et de lumière est loin d'être négligeable. Sur certains photocopieurs, on atteint des doses d'irradiation correspondant à une heure d'exposition à 50 lux (lampe à incandescence) après seulement cinq photocopies²⁵⁰. Il peut donc être très dangereux de photocopier intensivement des documents fragiles, sans compter qu'après un usage répété, la vitre de la photocopieuse s'échauffe et augmente les risques d'altération des documents. Bien que l'information fasse défaut en ce qui concerne les scanners de bureau, on peut raisonnablement estimer que les problèmes sont du même ordre. Lors de la numérisation à des niveaux élevés de résolution, le balayage de l'image est plus lent et la dose reçue peut atteindre quelques centaines de milliers de lux.secondes, soit l'équivalent de plus d'une heure d'exposition sous 50 lux.

Le montage et l'exposition

La vocation d'une œuvre est d'être exposée et diffusée auprès d'un large public, et l'amélioration des conditions de conservation n'a d'autre but que de la rendre accessible le plus longtemps possible. Or c'est pendant les expositions que l'œuvre peut subir des modifications rapides, si on ne prend pas un minimum de précautions. C'est pourquoi on tend à remplacer certaines images historiques trop fragiles par des fac-similés, et à mettre en place un système d'exposition par intermittence ou de rotation des œuvres les plus sensibles. Mais les altérations photochimiques des photographies ne se produisent pas seulement au cours des expositions dans des galeries. Il faut éviter que des œuvres que l'on veut consulter ou reproduire restent de façon injustifiée sous des éclairages puissants. Certaines normes, qui indiquent des niveaux d'éclairage allant de 1 000 à 2 000 lux pour l'examen des photographies²⁵¹, ou aux alentours de 500 lux pour l'éclairage des lieux de travail²⁵², ne prennent pas en considération les impératifs de la conservation.

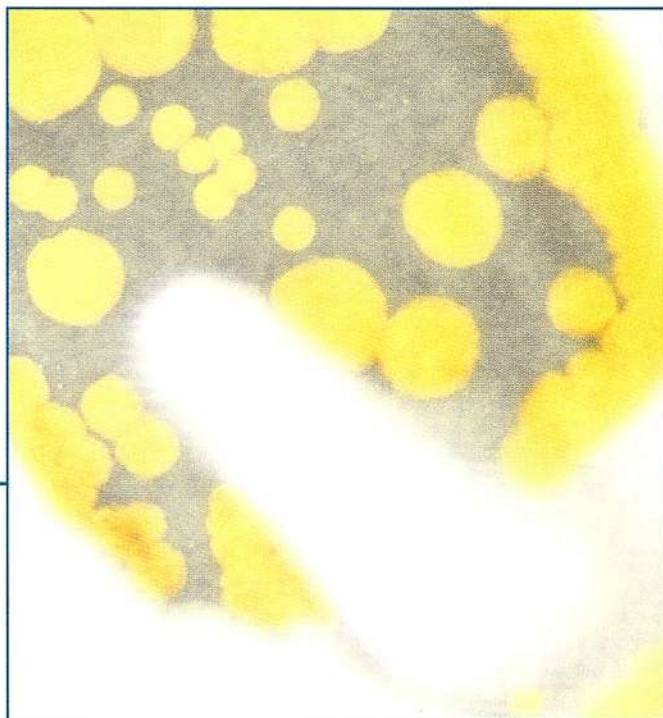
LES RECOMMANDATIONS POUR L'ÉCLAIRAGE

L'action nocive de la lumière

Les responsables de collections ont pris conscience de l'action nocive de la lumière sur les biens culturels et diverses publications ont été consacrées à ce sujet^{253, 254, 255}. L'Institut canadien de conservation (Ottawa) a notamment mis au point une règle à calcul qui permet de visualiser rapidement la

Illustration 108

Taches d'oxydoréduction sur un papier
PE (RC). (Collection Trehony)



relation entre la dégradation, l'intensité lumineuse et la durée d'exposition. Les expositions d'objets fragiles font l'objet d'une attention particulière, et des mesures physiques (colorimétrie, densitométrie, etc.) sont effectuées sur les œuvres. Ces travaux ont, entre autres, permis de mieux appréhender la sensibilité des différents types de photographies²⁵⁶.

Dans une collection photographique, certaines images sont par nature plus sensibles à la lumière que d'autres. Bien que les images argentiques (en noir et blanc) soient généralement réputées stables à la lumière, on signale régulièrement des altérations survenant au cours d'expositions et qui se traduisent par l'apparition d'un voile coloré, accompagné de taches et de craquelures, en particulier sur les tirages PE (RC)²⁵⁷. Les supports traditionnels en papier baryté sont assez résistants, sans doute en raison de la présence de la couche de sulfate de baryum qui protège de la lumière la cellulose du papier. Toutefois, pour augmenter la blancheur de ces papiers, les fabricants y introduisent des azurants optiques. Ces composés tendent à se dégrader à la lumière et le support perd de sa blancheur. Cette altération est particulièrement visible sur les marges de l'épreuve lorsque l'image est présentée sous un passe-partout. La très légère coloration que prennent les parties exposées contraste alors avec les zones intactes protégées par le passe-partout.

La gélatine semble relativement résistante à la lumière. Ce n'est pas le cas des tirages sur papier albuminé. La lumière conduit à la formation dans l'albumine de composés chromophores, qui produisent un jaunissement. Mais c'est l'action de la lumière sur les matériaux constituant l'image ou sur des produits résiduels du traitement qui reste la cause la plus courante

d'altération des images photographiques. La stabilité photochimique des tirages en couleurs dépend de la technique mise en œuvre. Chaque procédé de photographie en couleurs est associé à une famille de colorants qui lui confère un caractère plus ou moins éphémère. Ainsi, les colorants azométhiniques (procédés chromogènes) sont réputés moins stables que les azoïques (Ilfochrome Classic) et lorsqu'un colorant s'affaiblit, il apparaît une dominante colorée. Les procédés à blanchiment de colorants (Cibachrome, Ilfochrome Classic) sont parmi les plus stables. Les tirages chromogènes restent encore fragiles à la lumière, même si leur qualité s'est beaucoup améliorée au cours de ces vingt dernières années. Quant aux nouvelles techniques d'impression en sortie d'ordinateur (impressions à jet d'encre), elles sont loin de faire preuve des meilleures performances.

La qualité du traitement joue un rôle non négligeable : selon qu'elle a été correctement ou passablement traitée, une image peut se révéler assez résistante ou particulièrement fragile. Si le fixage des tirages en noir et blanc n'a pas été effectué de façon conforme, la décomposition par la lumière de sels argentiques résiduels en argent métallique peut se produire au cours de l'exposition et se traduire par l'apparition d'un voile. Ce phénomène, assez rare, s'est produit en 1989, lors de l'exposition d'un dessin photogénique intitulé *Linen textile fragment* attribué à William Henry Fox Talbot. Ce type de photographie, datant des années 1835, était stabilisé avec des chlorures ou des iodures, le thiosulfate de sodium n'étant pas, à cette époque, encore usité. Or les sels argentiques ainsi formés restent sensibles à la lumière : pendant l'exposition, les parties claires ont noirci et l'image a été fortement endommagée²⁵⁸.

Les photographies sont donc des documents sensibles à la lumière. La stabilité relative des différents types de photographies est schématisée dans le tableau 72. Une classification plus précise, selon la marque et le type d'émulsion, reste néanmoins difficile à établir.

La composition spectrale

La lumière naturelle est complexe à appréhender, car ses caractéristiques changent selon les heures du jour, la période de l'année et le lieu. C'est pourquoi, dans le cas d'exposition de documents fragiles, on préfère éviter la lumière naturelle directe et utiliser une source artificielle qui peut être plus aisément contrôlée. Toutes les radiations que l'on trouve dans la lumière blanche n'ont pas la même activité. Les faibles longueurs d'onde sont plus énergétiques et aptes à provoquer des transformations chimiques dans les matériaux organiques. La première action de prévention consiste à réduire, et même à éliminer les radiations ultraviolettes, c'est-à-dire inférieures à 400 nm, qui sont inutiles et dangereuses. Les recommandations généralement admises dans les institutions muséales stipulent que le rayonnement ultraviolet ne doit pas excéder 75 microwatts par lumen. Cette limite, proposée par G. Thomson, il y a une vingtaine d'années, était basée sur la quantité d'UV émise par une lampe standard à incandescence. Grâce aux filtres disponibles aujourd'hui dans le commerce, il est aisé d'être plus exigeant et d'abaisser la limite à 10 microwatts par lumen.

Si les rayons ultraviolets sont à l'origine d'importantes altérations photochimiques, les rayons infrarouges produisent des dégradations par élévation de température. Pour éviter tout échauffement excessif, il convient donc d'assurer une ventilation parfaite, voire de filtrer le rayonnement IR. L'importance de ce rayonnement se mesure par l'échauffement qu'il

Tableau 71

Valeurs maximales d'éclairement recommandées lors d'expositions à des sources n'émettant pas de rayonnement ultraviolet (inférieur à 400 nm).

<i>catégorie</i>	<i>intensité maximale</i>
objets particulièrement sensibles à la lumière	50 lux
objets assez sensibles à la lumière	75 lux
objets sensibles à la lumière	150 lux
objets peu sensibles à la lumière	300 lux

occasionne à la surface de l'objet ; il est recommandé que celui-ci ne dépasse pas 1 °C après quelques heures d'exposition.

L'intensité lumineuse et la lamination

Même débarrassée des rayonnements ultraviolets, la lumière est dangereuse et il faut limiter son intensité et la durée d'exposition des objets. Notre confort visuel réclame un minimum d'environ 50 lux, et c'est à partir de cette valeur que des recommandations ont été édictées pour les musées et les galeries. On a créé quatre classes de sensibilité à la lumière pour les objets patrimoniaux. À chacune d'elles est associée une intensité maximale d'éclairement^{259, 260}. La sensation de luminosité ne croît pas linéairement avec l'éclairement, et un accroissement de quelques dizaines de lux peut améliorer considérablement la vision d'une œuvre à faible éclairement ou être totalement imperceptible à fort éclairement. Ainsi, au-delà de ces recommandations, il convient de trouver un juste équilibre entre l'intensité et la durée d'exposition, pour améliorer la présentation et réduire les risques d'altération.

Plus qu'une durée d'exposition en semaines ou en mois, il est conseillé de ne pas dépasser une lamination ou dose totale d'exposition (DTE), que l'on calcule en multipliant la valeur de l'éclairement (lux) par la durée d'exposition (nombre d'heures) ; l'unité est le lux.heures (lx.h). Le responsable aura simplement la charge, chaque fois que l'œuvre est prêtée pour une exposition, de noter la durée d'exposition et de la multiplier par la valeur de l'éclairement, en vérifiant qu'au total on ne dépasse pas annuellement la valeur limite. À titre d'exemple, en considérant que la durée hebdomadaire d'éclairement d'une œuvre dans une galerie est de 40 heures, une épreuve en couleurs chromogène ne pourra être exposée plus de 3 semaines par an sous 100 lux ($40 \times 3 \times 100 = 12\,000$ lx.h), si l'on s'en tient au tableau 72.

Tableau 72

Recommandations pour l'exposition à la lumière des photographies de collection.

<i>catégorie</i>	<i>procédé</i>	<i>DTE annuelle</i>
catégorie 1 particulièrement sensibles	photographies du XIX ^e siècle photographies instantanées photographies en couleurs à développement chromogène	12 000 lx.h
catégorie 2 assez sensibles	photographies Dye-Transfer photographies en couleurs à blanchiment de colorants (Ilfochrome Classic) photographies noir et blanc sur papier PE (RC)	42 000 lx.h
catégorie 3 sensibles	photographies noir et blanc sur papier baryté photographies monochromes ou en couleurs pigmentaires	84 000 lx.h

Illustration 109

Gamme de laines bleues normalisée partiellement exposée à la lumière.



Afin de créer une classification internationale pour la tenue à la lumière des colorants textiles, on a commercialisé des gammes comportant huit morceaux de laine teintés avec des colorants bleus dont la stabilité à la lumière est croissante : le deuxième échantillon étant deux fois plus stable que le premier, le troisième, deux fois plus stable que le deuxième et ainsi de suite (norme NF G 07-012-1:1988). La gamme est exposée dans les mêmes conditions que l'échantillon dont on veut connaître la stabilité. La corrélation entre la dégradation de l'échantillon et celle d'un des huit échantillons de bleu permet d'attribuer la sensibilité ISO (de 1 à 8) au colorant testé. On regroupe dans la catégorie 1 les niveaux de sensibilité ISO allant de 1 à 3, dans la catégorie 2 les niveaux de sensibilité allant de 4 à 6 et enfin dans la catégorie 3 les niveaux de sensibilité supérieurs à 7. Par analogie, on a utilisé ces catégories pour répartir les procédés photographiques, selon leur plus ou moins grande résistance à la lumière.

Tableau 73

Perte de densité (ΔD) et perte de couleur (ΔE^*), de diapositives couleurs après deux heures de projection par période de 20 secondes toutes les 20 minutes, dans un projecteur muni d'une lampe halogène 24 V, 250 W, d'après Fujii et Hisanaga²⁶⁸.

film	colorant le plus fragile (a)	ΔD	ΔE^* (CIELab)
Kodachrome 64	cyan	3,1	7,52
Ektachrome 100	cyan	2,6	3,04
Fujichrome 100	cyan	3,1	2,32
Agfachrome 200	cyan	5,6	1,89
3M 100	jaune	20,4	7,94
Polachrome CS 135	bleu	5,7	8,46

(a) Mesure sur une plage gris neutre de densité de 1,0.

La DTE est un système souple à mettre en œuvre pour une exposition, car il permet de jouer soit sur la durée d'exposition, soit sur l'intensité d'éclairement. Il repose sur deux principes physiques. L'action de la lumière suit, en effet, une loi de réciprocité, et exposer une photographie brièvement sous une intensité lumineuse très forte a des effets équivalents à ceux qui résultent d'une exposition longue sous une faible intensité. Dans le cadre d'une présentation de photographies, 30 heures sous un éclairage de 50 lux

produisent les mêmes altérations qu'une exposition de 10 heures sous 150 lux. L'effet destructeur de la lumière est également cumulatif : six expositions de dix minutes produisent les mêmes effets qu'une exposition d'une heure.

On trouve dans la littérature des seuils-limites de DTE qui sont très différents^{261, 262, 263}. Il faut voir dans ces écarts d'appréciation l'impossibilité d'acquiescer des données expérimentales exhaustives face à la multiplicité des produits commerciaux et des traitements. Dans ces conditions, on s'est bien souvent contenté d'attribuer des DTE aux différents types de photographies d'après une estimation empirique de leur stabilité à la lumière. On comprendra ainsi que les DTE sont des estimations qu'il est prudent de respecter mais qui ne suffisent pas à garantir la pérennité de l'œuvre exposée. Des photographies réputées stables ont parfois rapidement montré des signes de détérioration à la lumière, tandis que d'autres ont dépassé le seuil de 400 000 lx.h sans la moindre marque visuelle d'altération²⁶⁴. Ce problème lié à la diversité des objets et à l'incertitude quant à leur sensibilité à la lumière n'est pas propre à la photographie. Des recherches sont en cours pour développer une méthodologie afin d'évaluer la fragilité des matériaux colorés. Il s'agit de soumettre une très petite portion de l'œuvre à une lumière très intense à l'aide d'un microfaisceau lumineux, jusqu'à ce qu'un changement perceptible soit noté. On obtient ainsi des données quantitatives sur la fragilité à la lumière des objets^{265, 266, 267}.

La projection de diapositives

En règle générale, il faut éviter de projeter régulièrement des diapositives originales ; la chaleur et les intensités lumineuses élevées à l'intérieur des projecteurs de diapositives conduisent rapidement à un affaiblissement des couleurs. La projection d'originaux ne doit pas dépasser quelques dizaines de secondes et on veillera à ce que la puissance de la lampe du projecteur ne soit pas supérieure à 200 W ; un filtre IR et un système de ventilation efficace sont par ailleurs indispensables. Certaines marques de diapositives sont plus sensibles que d'autres, et il faut souligner que les films qui

Illustration 110

Exposition de photographies anciennes au Metropolitan Museum (New York, 1999) *Inventing a New Art*.

(© The Metropolitan Museum of Art)



présentent une bonne stabilité lors d'une conservation dans l'obscurité peuvent être les plus fragiles à la lumière, et *vice versa* (Tableau 73).

C'est le cas du film Kodachrome : s'il est beaucoup plus stable conservé dans l'obscurité que son homologue Ektachrome, il résiste beaucoup moins bien à une exposition prolongée à la lumière. Pour les diapositives précieuses, on aura intérêt à projeter uniquement des duplicatas, que l'on peut réaliser sur films Ektachrome duplicating film (5071, 6021, SO-366), Agfachrome (CRD) ou Fujichrome (CDU).

LES SALLES D'EXPOSITION

Le confort visuel

Les paramètres évoqués précédemment ne tiennent compte que de la protection des œuvres exposées. Il est également important de prendre en considération le confort visuel du visiteur. Si certaines œuvres claires sont parfaitement lisibles sous 50 lux, d'autres plus sombres réclament des

niveaux supérieurs, notamment les épreuves en couleurs. L'œil s'adapte à de faibles éclairagements, mais l'acuité visuelle diminue avec l'âge, et les visiteurs âgés auront plus de mal à distinguer les détails de photographies peu éclairées. L'organisation des grandes expositions est confiée à des cabinets spécialisés qui, en fonction des impératifs muséographiques, établissent des conditions d'exposition optimales pour le visiteur et la sécurité des œuvres. Le travail de la lumière dépasse alors le simple respect de quelques recommandations techniques. La subjectivité liée à la vision fait de la tâche de l'éclairagiste un difficile compromis, où le respect des consignes devra être perçu par le visiteur comme un art plus que comme une contrainte. Mais aborder un sujet aussi complexe sort du cadre de cet ouvrage, et l'on se contentera de rappeler quelques notions élémentaires. La mise en place d'une exposition, le choix et la disposition de l'éclairage entraînent plusieurs types d'exigences architecturales. Il faut positionner les sources en tenant compte des reflets. De faibles niveaux d'éclairage obligent à

concevoir, à l'entrée de l'exposition, un sas d'accoutumance où la vision du visiteur pourra s'adapter progressivement. Diminuer la température de couleur de l'éclairage permet parfois de compenser un faible éclairage : la sensation lumineuse est plus importante et le rendu plus agréable. La couleur et le type des revêtements doivent être choisis avec pertinence. Les panneaux supportant les œuvres sont généralement de couleur neutre ou peu saturée, d'un aspect mat et d'un facteur de réflexion (rapport du flux réfléchi sur le flux incident) proche de 0,5. Les photographies étant, dans la majorité des cas, des objets plans, de faibles dimensions, l'utilisation d'un éclairage face à l'objet et orienté avec

Illustration 111

Lors de la mise en place d'une exposition, il faut être attentif au choix des peintures et attendre un séchage complet accompagné d'une ventilation efficace.



un angle d'environ 30° (ou compris entre 15 et 40°) avec la verticale donne d'excellents résultats. Enfin, pour des expositions prolongées il faut prévoir la rotation des œuvres les plus fragiles et éventuellement installer des systèmes d'éclairage discontinu : déclenchement par minuterie, détecteur de mouvement, cellule photoélectrique, protection à l'aide d'un rideau amovible, etc.

L'environnement

La mise en place d'une exposition est souvent l'occasion de restructurer le lieu avec des cloisons amovibles. Bien souvent l'accrochage se fait alors que les peintures sont encore fraîches et que les nouveaux matériaux introduits émettent encore des produits volatils. On ne saurait trop conseiller d'attendre le séchage complet et d'assurer une bonne ventilation avant de placer les œuvres. Malheureusement, cela semble peu réaliste, les galeries d'exposition étant tenues à des calendriers stricts. Il faut donc exiger l'emploi de peintures acryliques et assurer la protection des photographies par un encadrement hermétique.

Les conditions thermohygrométriques de la salle d'exposition doivent rester aussi stables que possible, le meilleur compromis qui assure à la fois la sécurité des photographies et le confort des visiteurs se situe dans une marge de 30 à 50 % HR et 18 à 21 °C. Idéalement, la qualité de l'air devrait être contrôlée, mais c'est une recommandation pour l'instant utopique, la plupart des galeries ou des lieux d'exposition n'étant pas climatisés. Un encadrement hermétique constitue là encore la meilleure protection.

Illustration 112

Mesure de l'éclairement à l'aide d'un luxmètre.



Illustration 113

Mesure de la quantité d'UV.



LES APPAREILS DE CONTRÔLE

La mesure de la température de couleur

Le thermocolorimètre compare, grâce à une cellule photoélectrique, l'intensité lumineuse à diverses longueurs d'onde et en déduit la température de couleur. Cette valeur est fiable pour des sources à spectres continus (lampes à incandescence), mais rappelons qu'elle peut être erronée pour des sources à spectres discontinus (éclairages fluorescents). La température de couleur est souvent spécifiée dans les notices techniques des sources lumineuses.

La mesure de l'éclairement

La mesure de l'éclairement se fait à l'aide d'un luxmètre, appareil contenant une cellule photoélectrique du type de celle que l'on trouve dans les appareils photographiques. La sensibilité spectrale d'un luxmètre est, en théorie, alignée sur celle de l'œil. Les radiations présentes dans la zone centrale du spectre visible sont donc privilégiées par la mesure.

Tableau 74

Émissivité de divers matériaux dans l'infrarouge.

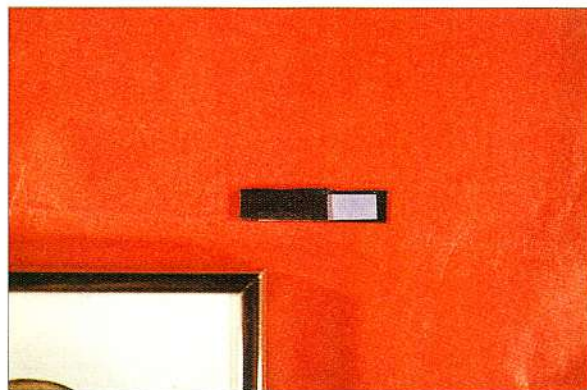
<i>matériaux</i>	<i>émissivité</i>
aluminium	0,02 à 0,4
verre	0,85
argile, béton, bois, caoutchouc, céramique, gravier, peinture, plâtre, papier, plastique, tissu	0,95
calcaire	0,98

La mesure de la quantité de rayons ultraviolets

Cette mesure se fait à l'aide d'un radiomètre qui comporte une cellule photoélectrique mesurant la quantité de rayonnements entre 300 et 400 nm (UVa) dans l'éclairage ambiant. Elle s'exprime en microwatt par lumen ($\mu\text{W}/\text{lumen}$) ou en W/m^2 . Certains appareils de mesure comportent des cellules adaptables qui permettent de passer de la fonction de luxmètre à celle de radiomètre selon les besoins.

Illustration 114

L'utilisation d'un dosimètre, formé d'une substance qui se décolore rapidement à la lumière permet de vérifier que les œuvres fragiles n'ont pas été exposées de façon excessive.



La mesure du rayonnement infrarouge

L'évaluation du rayonnement infrarouge se fait simplement en mesurant la température de la surface de l'objet exposé aux rayonnements. Au thermo-

mètre classique, on préférera un thermomètre à infrarouge qui est d'un maniement plus aisé. Il suffit de pointer le boîtier de mesure vers l'objet, et de lire la température indiquée par l'instrument qui se révèle également d'une aide précieuse pour repérer les parois plus froides où pourraient se produire des condensations. La seule limite réside dans l'étalonnage de l'instrument, qu'il convient de régler en fonction de l'émissivité de la surface mesurée. Pour bon nombre de matériaux, on connaît cette valeur (Tableau 74) ; celle des métaux peut varier considérablement selon leur nature, le traitement de surface, l'oxydation, etc. Pour les photographies, elle reste à déterminer précisément ; on peut néanmoins, comme pour la plupart des matériaux organiques, la situer aux alentours de 0,95.

La mesure de la lumination, les dosimètres

Il existe des cellules électroniques que l'on place non loin des œuvres, pour qu'elles soient soumises aux mêmes conditions d'éclairage. Ces appareils cumulent les quantités de lumière reçues et fournissent ainsi les luminations et la dose d'UV (appareils Hanwell).

La fabrication de dosimètres à base d'un colorant sensible à la lumière a fait l'objet de diverses études, mais aucun n'est disponible dans le commerce^{269, 270}. Le changement de couleur est

proportionnel à l'irradiation et on peut estimer ainsi l'importance de la DTE. L'utilisation d'un dosimètre constitué des gammes normalisées de laine bleue²⁷¹ a été proposée par R. Feller²⁷², il y a une vingtaine d'années. Ce système, réduit souvent aux deux ou trois échantillons de laine les plus sensibles²⁷³, est utilisé de nos jours dans certaines demeures historiques²⁷⁴. Ces gammes ont l'avantage d'être commercialisées et sont utiles dans le cas d'éclairages importants. Cependant, elles ne sont pas assez sensibles pour donner des indications quand on a affaire à de faibles luminations. Leur usage sera donc peu adapté au suivi des expositions d'œuvres de sensibilité de 1 à 3 (Tableau 72). Des travaux plus récents décrivent un dosimètre dont la couleur vire du bleu au violet puis au rose et enfin au blanc après plus de 100 000 lux.heures²⁷⁵. Pour les rayonnements UV, entre 290 et 400 nm, N. Tennent²⁷⁶ a proposé de les mesurer avec un dosimètre constitué d'un film de poly(chlorure de vinyle) dopé avec de la phénothiazine et dont la coloration vire au jaune.

Illustration 115

Filtre arrêtant les rayons UV pour tubes fluorescents.



LA FILTRATION DE LA LUMIÈRE

Ce chapitre traite des moyens d'éliminer les radiations nocives sans trop altérer la qualité de la lumière. Il ne sera donc pas fait état des filtres colorés destinés à créer une ambiance particulière, voire des filtres utilisés pour la prise de vue afin d'améliorer les contrastes ou changer la température de couleur.

Les filtres pour rayons ultraviolets

Les radiations dans l'ultraviolet sont particulièrement agressives pour les œuvres exposées, et elles n'apportent rien au confort de la vision. Il est donc nécessaire de les éliminer à l'aide d'un système de filtrage. Le filtre UV doit posséder trois qualités :

- Arrêter les radiations inférieures à 400 nm ; certains filtres peuvent laisser passer une faible quantité d'UV proches, qui suffit à détériorer les œuvres fragiles.
- Ne pas modifier excessivement le rendu des couleurs, comme c'est le cas des écrans jaunes placés contre les vitrines pour atténuer l'action du soleil et qui dénaturent la couleur des objets.
- Posséder une certaine longévité ; rien n'est plus dangereux de croire que les filtres anti-UV ont une durée de vie illimitée, et il convient de s'assurer régulièrement de leur efficacité.

Filter la lumière artificielle

Couper un rayonnement nocif au plus près de la source qui le génère permet de réduire la surface des filtres, et par là même le coût et la conception du système de filtration.

Dans le cas des lampes fluorescentes, il existe deux types de filtres. Les premiers sont des films en polyester ou en acétate de cellulose, conditionnés sous forme de films ou d'enveloppes tubulaires au format des tubes fluorescents et contenant des substances organiques propres à absorber les UV. Les seconds sont des plaques en polycarbonate ou acryliques, utilisées comme écrans (Tableau 75). La quantité d'UV peut être ainsi réduite à moins de 5 microwatts par lumen.

La plupart de ces polymères résistent mal à la température élevée qui règne à proximité des lampes à incandescence. Il faut alors choisir des filtres en verre. Les filtres traités dans la masse par ajout d'absorbant UV (oxydes métalliques) ne sont pas une solution idéale : lorsqu'ils sont efficaces, ils

Tableau 75

Différents filtres étudiés par D. Saunders pour les sources lumineuses à faible échauffement ²⁷⁷.

<i>filtrage</i>	<i>IRC</i>	<i>UV (μW/lm)</i>
source de référence Thorn Kolor-rite 3930K	89	85
enveloppe Erco fluorescente	89	2
enveloppe Encapsulite fluorescente	89	1
enveloppe Chamberlain fluorescente	89	< 1
enveloppe Morden fluorescente	89	12
Plexiglas 201, feuille acrylique 3 mm	89	11
Plexiglas 209, feuille acrylique 3 mm	89	12
Lexan, feuille en polycarbonate 3 mm	90	2
Perspex VE, feuille acrylique 3 mm	89	< 1
Makrolon 281, feuille en polycarbonate 3 mm	89	< 1

présentent une absorption parasite dans le visible (couleur jaune) qui diminue considérablement la température de couleur de la source ; *a contrario*, ceux qui ne modifient pas significativement la température de couleur sont souvent trop transparents aux rayonnements ultraviolets. La commercialisation des filtres interférentiels a permis de résoudre ce problème. Leur action repose non plus sur une absorption physico-chimique de certaines longueurs d'onde par une substance, mais sur un phénomène physique d'interférence. On dépose sur une lame de verre, par sublimation sous vide, une succession de fines couches d'oxydes métalliques dont l'indice de réfraction est très différent. On élimine ainsi les radiations nocives par des phénomènes de réfraction et d'interférence : certaines longueurs d'onde sont transmises, les autres sont réfléchies. Ces filtres portent également le nom de filtres dichroïques, car ils présentent deux couleurs selon qu'on les observe en lumière transmise ou diffuse.

Les filtres dichroïques anti-UV sont particulièrement efficaces pour la protection des œuvres. Très sélectifs, ils arrêtent 99 % des radiations en dessous de 400 nm, et la quantité d'UV tombe à moins d'un microwatt par lumen ; l'indice de rendu des couleurs est de 99 et la lumière visible est transmise à plus de 85 %. De surcroît, ces filtres sont durables et résistants à la chaleur (filtre Optivex UV de Bausch & Lomb, filtre Balzers).

D'autres types de filtres dichroïques sont utilisés pour les réflecteurs des lampes halogènes basse tension. À l'inverse des précédents, ces filtres sont conçus de façon à réfléchir la lumière visible et à transmettre les rayons infrarouges et ultraviolets. Le réflecteur renvoie vers l'objet uniquement la lumière visible, en éliminant vers l'arrière les radiations UV et IR.

Tableau 76

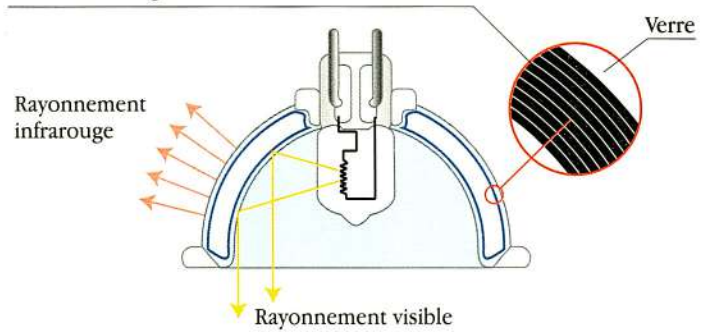
Matériaux protégeant des UV pour l'encadrement des œuvres.

<i>feuilles plastiques</i>	<i>verre</i>
Acrylite : OP-3, FF-OP-3, FF-OP-3P99	Tru Vue Conservation Glass
Lexan : 9034, MR-5	Tru Vue Conservation Reflection Glass
Lucite : UF1, UF3, UF4	Amiran TN (Schott)
Perspex UVA-5	Mirorgard Protect (Schott)
Picture Saver UVF	

Illustration 116

Lampe halogène avec réflecteur dichroïque.

19 couches de dioxyde de silicium, fluorure de magnésium et sulfure de zinc



Filter la lumière naturelle

Bien que très agréable, l'éclairage naturel a l'inconvénient d'être changeant et parfois trop agressif. On évite de placer des œuvres face aux fenêtres, et particulièrement face aux plus ensoleillées. Volet, rideau ou verre à vitre gris neutre atténuent une lumière naturelle jugée excessive. Le verre à vitre coupe les rayonnements UV inférieurs à 310 nm, mais il ne permet pas d'éliminer les radiations dans le proche UV. Aussi doit-on appliquer sur les fenêtres des filtres anti-UV. Il peut s'agir de filtres conditionnés sous feuilles ou bien de films adhésifs plastiques que l'on colle sur les vitres. Ils sont disponibles avec différents niveaux de densité gris neutre.

La pose d'un vernis sur les vitres ne va pas sans difficulté : il faut l'appliquer de façon uniforme, et veiller à ne pas l'endommager lors du nettoyage. Il faut savoir, en outre, que la durée de vie de ces vernis est limitée et que leur élimination n'est pas toujours aisée.

Les stores vénitiens ont l'avantage de renvoyer, si nécessaire, la lumière vers le plafond. On pourra enduire ce dernier d'une peinture blanche utilisant comme pigment du dioxyde de titane qui a la propriété d'absorber les rayonnements ultraviolets²⁷⁸. Il est possible de produire ainsi une lumière réfléchie débarrassée de ses radiations les plus nocives.

Le traitement des photographies

Les vernis pour photographies et films ont fait l'objet de diverses recherches^{279, 280}, et plusieurs vernis aérosols anti-UV, destinés aux tirages, sont commercialisés. Leur utilisation doit être réduite aux épreuves dont on veut accroître la durée de vie, mais dont on sait pertinemment qu'elles sont vouées à la destruction. En effet, l'application, puis l'élimination, d'un vernis ancien, dégradé, sont des opérations parfois délicates et dangereuses pour l'image²⁸¹. Il en est de même de la plastification.

Certaines études ont montré que le simple fait d'isoler les photographies de l'oxygène par un film de polyester de 100 microns ralentissait la dégradation des colorants. Plusieurs sociétés proposent des films autocollants (MACtac Permacolor, Filmolux, etc.) ou thermocollants (Duraseal, Durafilm, etc.) à appliquer aux épreuves en couleurs. Pour les documents de collection, il est exclu de recourir à ces procédés qui sont irréversibles. Remplacer les verres d'encadrement des photographies par des verres traités, ou par des polymères filtrant les UV, est une solution plus adaptée qui, même si elle n'élimine pas tout danger, permet de se rapprocher des conditions préconisées. Plusieurs produits ont été testés par M. MacDonald, et sont recommandés par l'Institut canadien de conservation²⁸² (Tableau 76).

Les filtres pour rayons infrarouges

L'utilisation d'un éclairage localisé proche des œuvres (comme c'est souvent le cas avec les lampes halogènes basse tension), peut conduire à un échauffement qui risque d'altérer les photographies. Il convient d'éloigner la source pour limiter l'échauffement, ou de filtrer les rayons infrarouges avec des filtres interférentiels, ou des filtres IR traditionnels en verre.

LE MONTAGE POUR UNE EXPOSITION

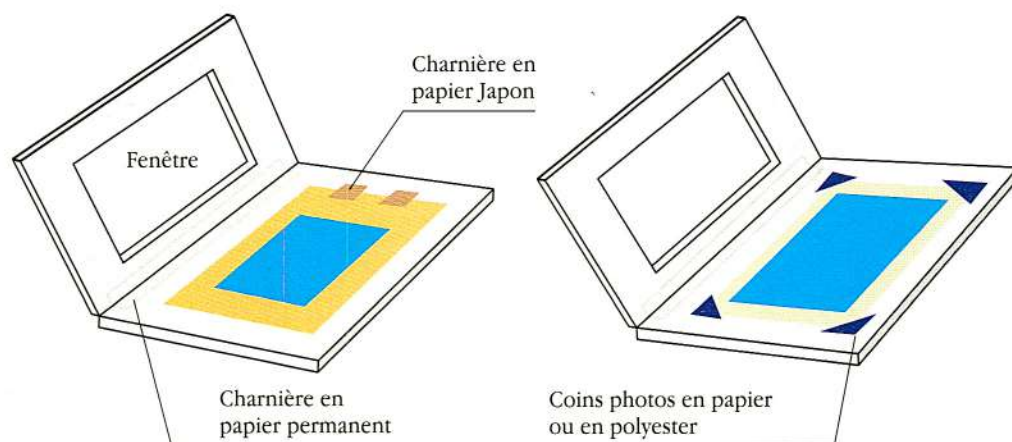
L'exposition est l'occasion de mettre en valeur les photographies, grâce à différents types de présentation. Si l'exposition est temporaire, le montage, ou une partie de celui-ci, est quant à lui attaché à la photographie pour des périodes de stockage bien plus longues. Certaines techniques sont parfaitement éprouvées, comme le passe-partout. Utilisé largement dans les collections patrimoniales d'art graphique et photographique, il a l'avantage d'être totalement réversible, et d'assurer la meilleure protection pendant l'exposition, les manipulations et le stockage. Grâce au passe-partout, les photographies de formats les plus divers peuvent être mises à des dimensions standardisées, ce qui en facilite le rangement. Mais s'il convient parfaitement aux petits et moyens formats (jusqu'à 50 x 60 cm) il pose pour les grands formats des problèmes de planéité de l'image qui poussent certains artistes à contrecoller leurs épreuves à l'aide de techniques industrielles (thermocollage, adhésifs double face) dont les incidences sur la conservation à long terme sont incertaines.

Le montage sous passe-partout

Un passe-partout est constitué de deux feuilles de carton de même format et de grammage parfois différent, réunies par une charnière, de papier ou de toile, sur le plus grand des côtés. L'une de ces feuilles présente une ouverture, d'un format supérieur ou égal à celui de l'image, et dont les bords peuvent être biseautés. Ce carton n'a pas seulement un intérêt décoratif : il évite le contact de la photographie avec le verre du cadre lors d'une exposition, ou avec les autres cartons lors du stockage. Pour les formats

Illustration 117

Le montage sous passe-partout et les types de charnières.



supérieurs à 30 × 40 cm, l'épaisseur du carton du passe-partout doit être de l'ordre de quelques millimètres. La photographie est maintenue par des coins photos ou des charnières en papier Japon. Le montage à l'aide de coins photos est applicable à la plupart des épreuves contemporaines, de préférence de petit format, pour autant que les marges le permettent. Les coins photos en papier permanent ou en polyester sont réalisés sur mesure, et d'un format suffisant pour maintenir l'épreuve efficacement et sans risque. Si les marges sont trop petites ou inexistantes, on a recours à des charnières en papier Japon.

Le choix des matériaux

Le carton doit répondre aux mêmes critères que les matériaux cellulosiques destinés à la conservation (Tableau 10). Il peut être de couleur blanche, crème, grise... Si on utilise du carton coloré, il faudra vérifier que la matière tinctoriale n'est pas source d'altération (acidité, migration...). Les adhésifs à

Illustration 118

Tirages altérés par un passe-partout dont le carton n'est pas conforme à la norme ISO 14523.

(Photographie de J.-H. Lartigue
© MCC - France - AAJHL)

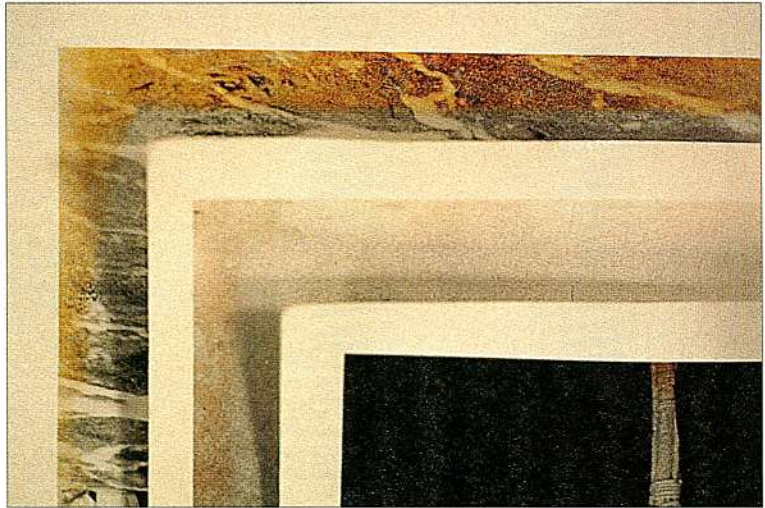
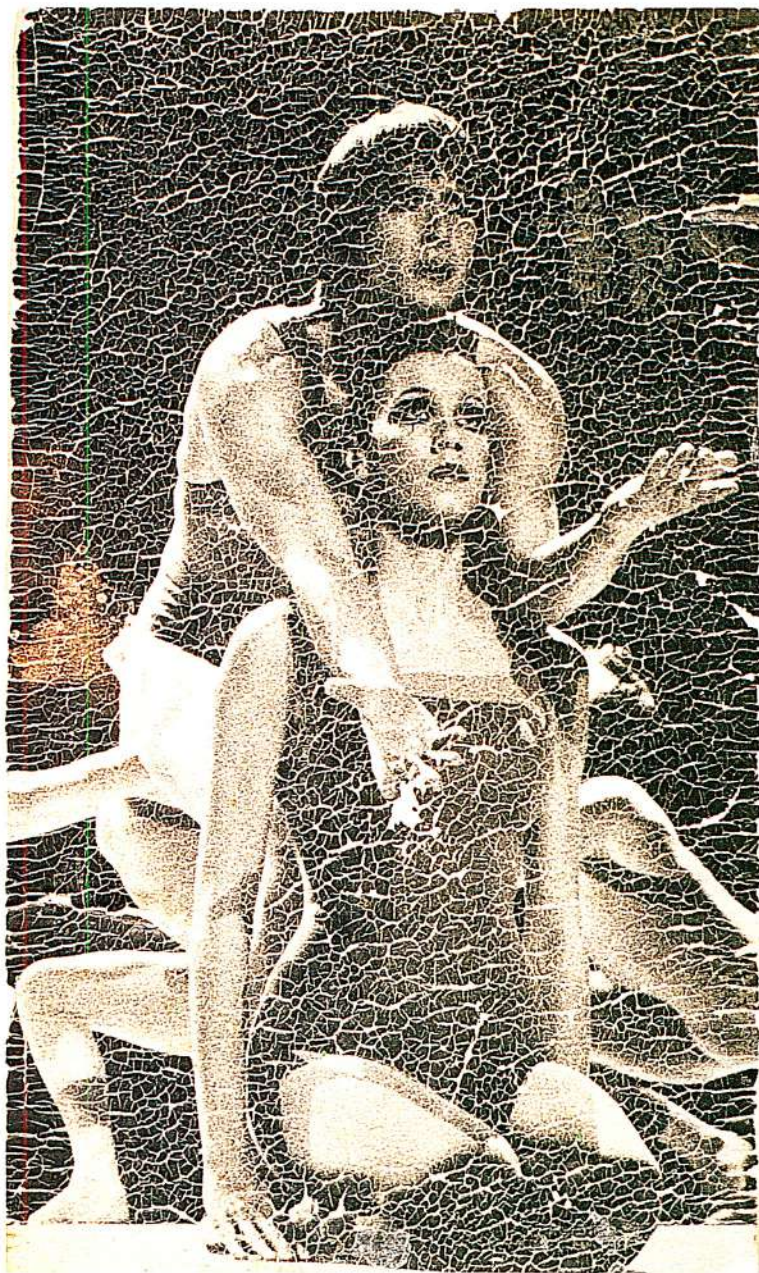


Illustration 119

Tirage sur papier baryté contrecollé sur du contreplaqué. Les variations thermo-hygrométriques ont généré l'apparition de craquelures.



utiliser pour le montage sont ceux que l'on emploie traditionnellement pour les arts graphiques ; ils auront été testés d'après les normes et les critères en vigueur pour la photographie.

Le contrecollage

Bien que cette pratique ne soit pas recommandée dans le milieu de la conservation, de nombreux artistes préfèrent recourir au contrecollage pour des raisons pratiques et esthétiques. Outre qu'il assure la planéité des tirages, il dispense du cadre et des marges qui ne sont pas toujours neutres dans les rapports que les artistes veulent établir entre le public et leurs œuvres.

Les adhésifs

Les colles aqueuses (méthyl cellulose, amidon, etc.), les plus stables chimiquement, ne sont que rarement utilisées dans ces montages. Elles sont inefficaces sur les papiers plastifiés, et sur les papier barytés il peut apparaître, au cours du séchage, des tensions et des distorsions. Les photographes ont recours aux colles vendues en aérosols, ou aux procédés disponibles dans le commerce, montages sous presse à chaud (thermocollage) ou collages à froid avec un adhésif double face ou de transfert.

On a peu d'informations sur le comportement à long terme des photographies montées, qui dépend pour l'essentiel de l'adhésif utilisé et du support. Ces deux éléments doivent donc être pris en compte pour évaluer la stabilité d'une œuvre. La pratique du contrecollage remonte à plusieurs dizaines d'années, et certaines photographies nous sont parvenues en parfait état. La seule raison pour rejeter ces montages, quand l'adhésif et le support sont fiables, réside dans leur faible réversibilité : lorsque le démontage s'impose à la suite d'altérations physiques ou chimiques, le traitement de conservation devient complexe, voire impossible sans risques. Un montage « démontable », faute d'être totalement réversible, a été proposé. Il consiste à interposer une couche de polyester dont l'une des faces est siliconée entre le support d'aluminium (ou tout autre support) et le dos de l'image. La photographie est d'abord montée à l'aide d'un adhésif double face sur le film de polyester qui est à son tour collé avec le même adhésif sur le support de montage. La face siliconée du polyester permet de désolidariser la photographie du support²⁸³.

Les supports de collage

Les supports les plus courants sont le carton, l'aluminium, le PVC et les feuilles en acrylique. En vue d'un archivage de longue durée, on fera appel au carton permanent qui sera, par ailleurs, le plus simple à éliminer le cas échéant. L'aluminium est reconnu pour ses qualités physiques (légèreté, solidité) et chimiques (stabilité), mais il se tord et tout démontage est complexe. Malgré cela, on le préférera au PVC ou à un support plastique de nature inconnue.

L'encadrement

Il ne s'agit pas d'entrer dans les détails des techniques de l'encadrement : c'est une discipline spécialisée qui dépasse l'objet de cet ouvrage. Seules seront abordées ici les quelques précautions à respecter pour ne pas mettre en danger les œuvres.

La structure du cadre

L'usage de cadres en aluminium est préférable à celui de cadres en bois susceptibles de générer des composés agressifs (voir p. 80). On peut cependant prévenir toute émanation nocive en isolant la photographie par son montage ou en appliquant un revêtement hermétique sur les bords intérieurs du cadre. Le recours aux peintures ou aux vernis (Tableau 15) est une solution pratique, mais qui reste insatisfaisante en raison de la présence de solvants et du manque d'étanchéité à long terme de ces revêtements. L'isolation par un ruban en polyester ou en polyéthylène/aluminium est plus efficace. Il existe, dans cette dernière catégorie, des produits thermocollables très intéressants, comme le Marvelguard ou le Marvelseal 360.

Le système d'accrochage doit être conçu lors du montage : on utilisera par exemple des pattes de fixation qui permettront de visser les cadres sur les cimaises.

La vitre

La vitre de protection est le plus souvent en verre, ce qui pose peu de problèmes pour l'entretien et la conservation, sinon de fragilité et de poids. Lorsqu'on veut déplacer l'exposition sans procéder au démontage, on recouvre la vitre de morceaux de ruban adhésif pour éviter qu'un éclat de verre n'endommage la photographie, en cas d'accident. L'usage de polymères peut se révéler alors préférable. De plus, quand on ne peut complètement se fier aux conditions d'éclairage, l'utilisation d'un plexiglas de type UF1 ou UF4 prévient les radiations UV (Tableau 76). Les plastiques, outre un prix plus élevé, ont l'inconvénient d'être plus ou moins électrostatiques et de se rayer facilement ; certains présentent une légère teinte jaune.

On nettoie le verre d'une image encadrée avec des solutions alcooliques qui ne laissent pas de résidus, comme des produits antistatiques. L'application ne se fait pas en pulvérisant le produit sur le cadre, mais en imprégnant le chiffon de nettoyage. Si le verre est remplacé par un matériau synthétique du type plexiglas, il faut s'assurer de la compatibilité du solvant de nettoyage.

Illustration 120

Exemple de montage sous verre des photographies.

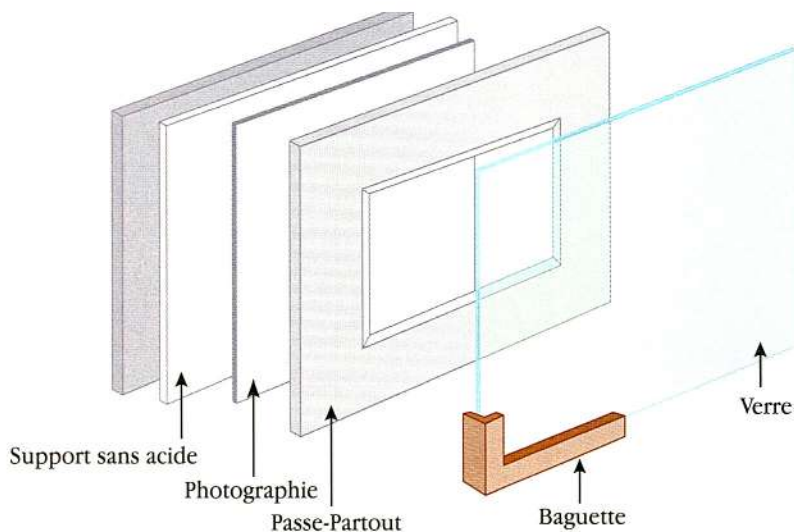
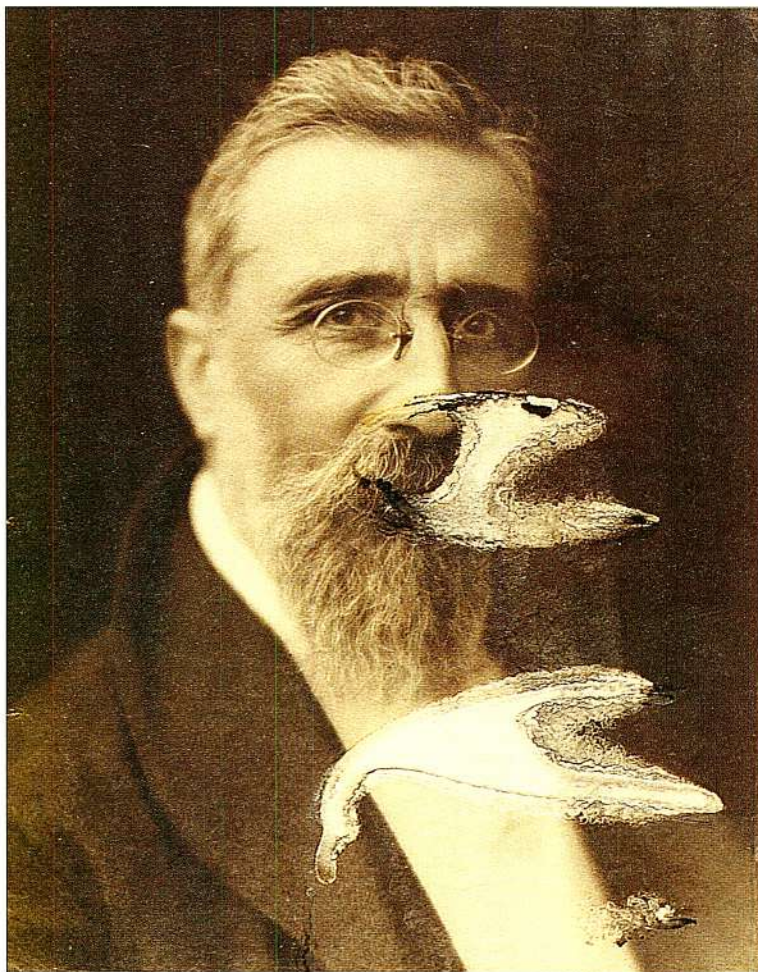


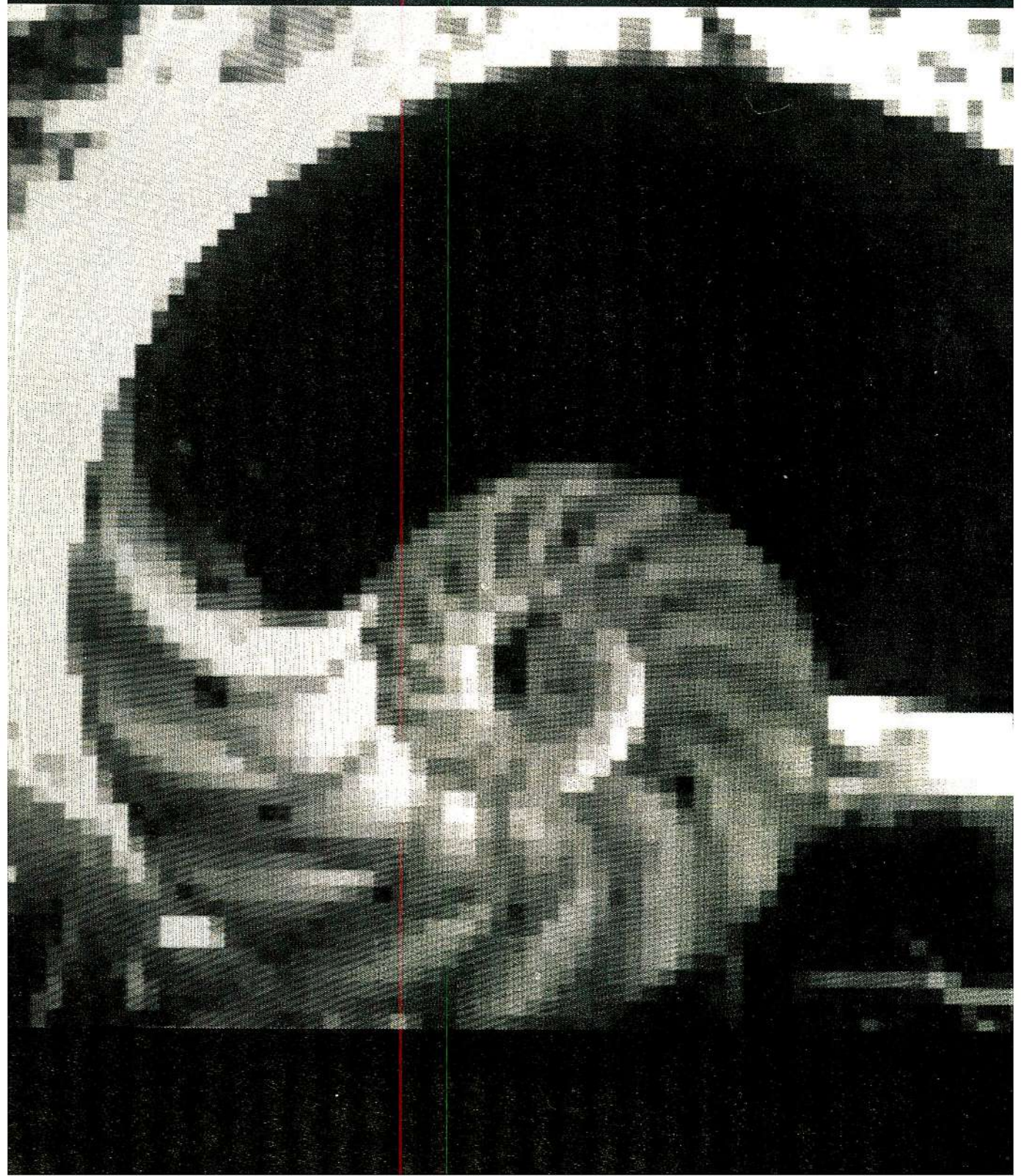
Illustration 121

Tirage au gélatino-bromure d'argent exposé sous verre sans passe-partout. La condensation d'eau a provoqué le collage de la photographie sur le verre et la destruction de l'image à ces endroits.

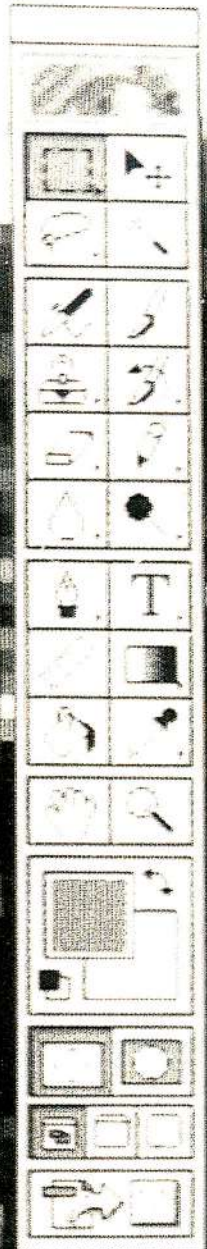


L'isolation

La photographie ne doit pas se trouver en contact avec le verre, ce que permet généralement le passe-partout. Si l'épreuve est bien maintenue et isolée, elle ne risque pas de se déformer et de coller à la vitre en cas de variations hygrométriques. Ce type d'accident s'est déjà produit et le décollement est périlleux. Il existe plusieurs techniques de montage destinées à isoler la photographie des contaminants externes. Certains disposent au dos du passe-partout une feuille de polyester, et à l'avant la plaque de verre ; cet ensemble est ensuite serti à l'aide d'un ruban adhésif adapté à l'archivage. On place ce « sandwich » dans le cadre, et on colle au dos une feuille du type papier kraft aux dimensions du cadre. L'humidité, souvent plus importante au contact des murs, conduit parfois à remplacer cette feuille de papier par une feuille hermétique en polyéthylène-aluminium thermocolable (Marvelseal 360).



Diffuser



Les supports traditionnels de substitution

La consultation directe et répétée des œuvres et leur exposition sont susceptibles de provoquer des dégradations irréversibles, d'autant plus que de nombreux matériaux sont de nature instable et s'auto-détruisent. Il faut donc favoriser, autant que possible, le transfert des informations pour assurer leur sauvegarde et leur diffusion auprès d'un vaste public. Cette pratique est largement répandue pour les imprimés et les manuscrits : depuis de nombreuses années le microfilmage s'est imposé dans les archives et les bibliothèques comme l'alternative efficace à la consultation des originaux et un moyen de pérennisation de l'information. Pour le cinéma, la copie systématique des films en nitrure de cellulose a permis de sauver une partie du patrimoine filmique ; on estime toutefois que 90 % des films muets et 50 % des films sonores produits avant 1950 ont disparu²⁸⁴. Le recours à la duplication est beaucoup moins courant dans le domaine de la photographie, car les méthodes et les procédures sont loin d'être normalisées, et même maîtrisées.

La mise en œuvre d'une politique de transfert des photographies dépend de la nature des risques encourus. Si c'est une utilisation incontrôlée ou excessive des documents qui conduit à leur dégradation, la réalisation de copies (numériques ou analogiques) pour la consultation et la diffusion est une nécessité absolue qui préservera les originaux. Dans le cas d'images intrinsèquement instables (supports en ester de cellulose, photographies en couleurs), la priorité est de les placer dans un environnement propre à leur assurer une durée de vie optimale : ce sera sans doute moins onéreux et

plus fiable que d'envisager une duplication systématique. Le substitut obtenu par l'opération de transfert ne pourra jamais remplacer l'original, mais s'il est correctement réalisé, ses qualités pourront satisfaire à la majorité des demandes.

LA DUPLICATION DES PHOTOGRAPHIES

La reproduction des photographies est soumise à un ensemble de contraintes techniques trop souvent négligées. En apparence, quoi de plus facile que de « prendre une photographie d'une autre photographie » ? En réalité, chaque type de photographie (négatif, positif, inversible...) possède des caractéristiques qui lui sont propres ; le support de transfert doit y être adapté. Ainsi, on ne reproduit pas des tirages en utilisant les mêmes outils que ceux que l'on met en œuvre pour des négatifs ou des diapositives. La terminologie américaine traduit cette différence en nommant *copying* l'action de reproduire une image qui est visible en lumière transmise (tirage sur papier) et *duplicating* celle de reproduire une image qui est observée par transparence (négatif, diapositive, épreuve transparente). Dans cet ouvrage nous utiliserons ces termes indistinctement.

Un aspect fondamental des méthodes analogiques de duplication, quelles qu'elles soient, réside dans la dégradation de l'information qui survient à chaque génération d'éléments, et tout l'art consiste à minimiser ces pertes d'information. Si la meilleure qualité de duplication n'est pas obtenue, le document produit ne pourra se substituer à l'original, en raison de ses qualités esthétiques médiocres ou de la perte d'information occasionnée par l'opération. Les surfaces sensibles ne reproduisent pas avec la même fidélité toutes les luminances que l'œil discerne naturellement. Pour une épreuve sur papier, en noir et blanc ou en couleurs, les zones de demi-teinte du sujet sont transposées selon un mode que l'on peut qualifier de linéaire. Il n'en est pas de même pour les zones correspondant aux hautes lumières et aux ombres ; dans ces parties extrêmes, l'enregistrement photographique provoque une compression des valeurs du sujet. Si ce phénomène est accentué, à la suite d'un réglage d'exposition inadéquat, du choix d'une couche sensible inadaptée ou par un développement mal maîtrisé, les qualités de l'image se trouvent altérées : on obtient alors des « noirs bouchés » et/ou une perte de détails dans les hautes lumières. Le même phénomène peut survenir lorsqu'on reproduit une photographie, au risque d'accroître les distorsions.

Pour les travaux de contretypage, on emploie, généralement, des émulsions spécifiques, appelées autrefois « films techniques » ou « films de laboratoire » de manière à ne pas les confondre avec les films conventionnels destinés à la prise de vue.

Le format

La qualité du travail de reproduction est naturellement liée au format du film utilisé pour la duplication. On a tout intérêt à travailler avec un format suffisamment grand pour restituer au mieux les informations inscrites sur le document original. Néanmoins, les progrès accomplis par les fabricants de films, depuis l'invention du procédé au gélatino-bromure d'argent à la fin du XIX^e siècle, ont permis de réduire constamment la dimension des surfaces sensibles tout en conservant, globalement, le niveau de qualité des images produites. L'introduction du format APS (*Advanced Photographic*

System) s'inscrit dans cette suite d'innovations en proposant une surface image réduite d'environ 50 % par rapport au format 24 × 36 mm standard. Les formats de films utilisés en prise de vue et en laboratoire se répartissent en trois grandes catégories :

- Le petit format : il s'agit, essentiellement, aujourd'hui du 24 × 36 mm (film perforé de 35 mm de large, code format : 135), conditionné en cartouches étanches à la lumière de 12 à 36 poses et en métrages de 30 ou 120 m pour les caméras de reproduction. Il faut y ajouter le format APS (code format : 240).
- Le moyen format : c'est l'ensemble des formats compris entre le 4 × 4 cm et le 6 × 9 cm. Les films sont conditionnés en rouleaux (code format : 120 et 220) de 8 à 24 poses ou en bobines pour les caméras de reproduction.
- Le grand format : il comprend des films coupés à des formats compris entre le 9 × 12 cm et le 20 × 25 cm pour la prise de vue. Les films de laboratoire sont disponibles dans des formats supérieurs coupés (30 × 40, 40 × 50, 50 × 60 cm...) et en rouleaux.

Tableau 77

On classe le pouvoir résolvant en sept catégories²⁸⁵.

<i>pouvoir résolvant R en paires de lignes par millimètre</i>	<i>niveau de résolution</i>
R ≤ 55	faible
56 ≤ R ≤ 68	assez faible
69 ≤ R ≤ 95	moyen
96 ≤ R ≤ 135	élevé
136 ≤ R ≤ 225	très élevé
226 ≤ R ≤ 600	extrêmement élevé
R > 600	ultra élevé

Le pouvoir résolvant

Le rendu des détails définit l'aptitude d'une couche photographique à enregistrer un certain niveau d'information. Il est influencé par plusieurs paramètres, dont le pouvoir résolvant, qui mesure la capacité d'une couche sensible à enregistrer avec netteté les détails les plus fins d'un sujet. Pour l'évaluer, on photographie une mire de contrôle composée de lignes parallèles formant des réseaux de fréquence spatiale variable. Après développement, l'image est observée au microscope pour déterminer la mire la plus fine discriminée par l'émulsion testée. Le pouvoir résolvant est exprimé en paires de lignes par millimètre.

Les dispositifs de reproduction

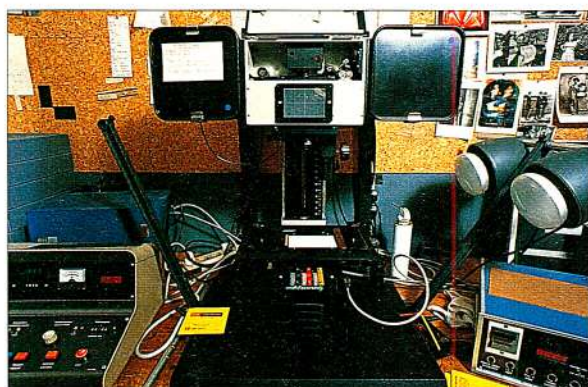
La reproduction conventionnelle des photographies met en œuvre deux techniques : la copie par contact et la copie optique.

La copie par contact

Dans la copie par contact, l'original (qui doit être transparent) et le support vierge sont placés en contact direct. Cette technique permet de conserver exactement les dimensions de l'original tout en réduisant les pertes d'information durant le transfert. La qualité photographique de la reproduction est liée à la précision du contact entre les deux films. La copie se fait « émulsion contre émulsion » pour éviter la diffusion liée à l'épaisseur du support film (en duplication « art graphique », on peut être amené à copier une image à travers son support – support original contre face émulsionnée du film vierge – ; les pertes liées à cette configuration de transfert sont contrôlables en employant une tireuse pneumatique et un dispositif d'insolation équipée d'une source ponctuelle). Lorsqu'elle est correctement réalisée, la copie par contact permet d'accéder à un très haut niveau de restitution des détails présents sur l'original.

Illustration 122

Photo-caméra 70 mm.



La copie optique

Dans la copie optique, on utilise un objectif pour projeter une image de l'original sur un film de copie. Dans ces conditions, on peut faire varier la taille de la reproduction (réduction, copie à l'identique ou agrandissement). La copie optique permet d'unifier les formats d'un ensemble de documents hétérogènes (dimensions, procédés, etc.). Lorsque l'original est opaque (tirage photographique, document imprimé, etc.), c'est la seule méthode praticable. En termes de productivité, c'est également une technique intéressante car elle offre la possibilité de travailler sur des bandes de film conditionnées sous forme de rouleaux de plusieurs dizaines de mètres et de diverses largeurs (35, 70, 105 mm...), les plus grands formats assurant une qualité de duplication supérieure à celle du 35 mm. Les avantages sont multiples. Il y a d'abord moins de manipulations à la prise de vue. Ensuite, il est possible

de traiter rapidement et avec une garantie de qualité ce rouleau sur une développeuse automatique, puis de le copier dans une tireuse (du type de celle qu'on utilise pour copier les microfilms ou les films cinématographiques). Présenter une collection de négatifs sous forme de films pourra éventuellement faciliter les opérations de numérisation. Avec un tel dispositif, un opérateur peut produire de 100 000 à 150 000 copies par an, ce qui est de bien loin supérieur à ce qu'il peut réaliser en travaillant par contact²⁸⁶. Aux États-Unis, ce dispositif de reproduction est appliqué pour le noir et blanc par les Archives nationales à Washington ou par des sociétés spécialisées dans la duplication.

Le choix définitif est un compromis et on conçoit aisément que chaque situation constitue un cas particulier qui devra faire l'objet d'une analyse des contraintes et des objectifs de l'opération envisagée.

L'éclairage du document à reproduire doit être parfaitement uniforme. Pour la prise de vue en réflexion, on emploie généralement un statif équipé de deux ou de quatre (selon le format du document) lampes identiques orientées à 45°. Pour l'éclairage en transmission, la boîte à lumière doit être conçue avec un éclairage homogène. La ventilation du plan de prise de vue devra être suffisante pour éviter l'échauffement des documents.

Tableau 78

Les paramètres de la duplication.

<i>opération</i>	<i>possibilité</i>	<i>commentaire</i>
prise de vue	<ul style="list-style-type: none"> • contact • appareil photo • caméra 	La copie contact assure une bonne qualité d'image. Les autres systèmes doivent posséder de bonnes caractéristiques optiques, et être protégés des vibrations.
choix des formats	<ul style="list-style-type: none"> • au format (1 : 1) • réduction • agrandissement 	L'intégralité de l'image doit être reproduite, le format idéal doit être supérieur ou égal à celui de l'original. Il n'est pas conseillé de réduire de plus de 25 %.
choix des surfaces sensibles	<ul style="list-style-type: none"> • positif direct • inversible • négatif-positif 	La filière « négatif-positif » est recommandée. Les caractéristiques et les performances du film doivent correspondre aux exigences de la duplication (rendu des couleurs, des valeurs, des détails et permanence).

L'utilisation de la lumière électronique (flashes) est recommandée pour les documents très fragiles ; elle bénéficie, par ailleurs, d'un équilibre chromatique compatible avec les prises de vue en couleurs.

Les techniques de restitution

Il est possible, lors de la duplication, d'améliorer les caractéristiques d'une image. Des négatifs trop contrastés pour être tirés correctement sur des papiers modernes pourront être adoucis, les taches sur les photographies atténuées, les épreuves affaiblies ou les couleurs altérées corrigées. Dans un passé encore proche, le mot de restauration (optique ou numérique) désignait ces opérations. G. Brunel a clarifié avec discernement une terminologie héritée des pratiques antérieures²⁸⁷. Il convient selon lui d'écarter le terme abusif de restauration au profit de celui de restitution, tant il est vrai que l'œuvre originale reste épargnée de toute intervention directe et que le contretype réalisé ne sera qu'une reconstitution subjective de ce qu'on estime avoir été l'image originale. Avec la même circonspection, il faut se garder de vouloir créer des photographies que l'on voudrait parfaites, en supprimant quelques défauts liés à la nature même du procédé ou à la technique du photographe. La restitution optique des images exige, de la part des intervenants dans ce domaine, une excellente connaissance des rendus spécifiques à chaque procédé. L'étude de la matérialité des œuvres (stratigraphie, traitements appliqués, etc.) permet d'accéder à une meilleure compréhension de leurs caractéristiques. Le photographe aura bien sûr intérêt à tirer la meilleure copie possible de son original avec les moyens techniques dont il dispose, mais il devra également, pour respecter l'artiste, l'œuvre et son histoire, savoir limiter ses interventions et les documenter avec précision, de manière à laisser aux utilisateurs ultérieurs des informations sur les opérations entreprises.

Photographies en noir et blanc

Quand on copie une image dégradée, on peut améliorer l'aspect de la reproduction en interposant des filtres correcteurs. Ainsi le contraste d'une image affaiblie et ayant jauni sera-t-il renforcé en employant un filtre bleu (Tableau 79). Le filtre coloré laisse passer la lumière correspondant à sa couleur et arrête les radiations des couleurs complémentaires. En noir et blanc,

Tableau 79

Restitution optique des photographies en noir et blanc.

<i>défait de l'original</i>	<i>filtre à employer</i>	<i>type d'émulsion</i>
image uniformément décolorée et perte de contraste	filtre bleu Wratten n° 47 ou 47 B	panchromatique ou orthochromatique
miroir d'argent (en lumière réfléchie)	filtre polarisant sur l'objectif ou sur l'éclairage	panchromatique ou orthochromatique
taches rougeâtres	filtre rouge Wratten n° 25	panchromatique
taches jaunes miroir d'argent (en lumière transmise)	filtre jaune Wratten n° 15	panchromatique
taches vertes	filtre vert Wratten n° 58	panchromatique
taches bleues, bleu-vert	filtre bleu Wratten n° 47	panchromatique ou orthochromatique

les filtres les plus usuels²⁸⁸ sont les Wratten n°s 15, 16, 21, 22, 24, 25, 47, 47B, 58, 70, 72B. On peut associer des filtres, mais il est conseillé de ne pas en utiliser plus de deux sur un appareil de prise de vue, car au-delà, on risque de perdre de la lumière et de la netteté. Sur les chambres photographiques, les filtres peuvent être répartis de part et d'autre de l'objectif : un filtre à l'intérieur de la chambre contre l'objectif et les autres à l'extérieur. Lorsqu'on duplique par contact, la source lumineuse doit être pourvue d'un logement pour filtres. Il est possible de sélectionner un révélateur en fonction de la restitution souhaitée (augmentation ou réduction du contraste). Avant de commencer la campagne de reproduction, il est souhaitable de procéder au classement des originaux en fonction de leurs caractéristiques individuelles (format, densité générale, écart de densité, etc.) afin d'optimiser les opérations.

Photographies en couleurs

Les dégradations d'une photographie se traduisent en général par deux phénomènes : d'une part, l'apparition d'un voile jaune qui se développe sur les zones les plus claires (hautes lumières ou marges dans le cas d'une épreuve sur papier) des procédés chromogéniques ; d'autre part, l'affaiblissement des colorants révélé par l'apparition d'une dominante. La restitution des couleurs se fait en interposant un filtrage lors de la prise de vue. On peut obtenir une impression visuelle approximative de l'effet d'un filtre ou d'une combinaison de filtres, en observant l'image à travers le filtrage estimé. La dominante n'est pas toujours uniforme et il faut recourir à des masques, ce qui alourdit considérablement l'opération. Dans les années 1980, la société Kodak a publié plusieurs procédures de restitution optique des diapositives en couleurs. Les solutions proposées s'inspiraient très largement des méthodes mises au point pour la restauration optique des copies cinématographiques²⁸⁹ et pour les trucages optiques. Aujourd'hui, le traitement numérique a pris, avec beaucoup plus de souplesse, le relais de ces méthodes traditionnelles et propose une alternative intéressante et efficace pour tenter de restituer l'état initial des images dégradées.

Ces nouveaux outils autorisent un degré d'intervention et une facilité qui n'étaient pas accessibles avec les méthodes traditionnelles : l'impression de netteté, les valeurs, la perspective, les lacunes, l'apparence des personnes représentées peuvent désormais être l'objet de retraitements. Des algorithmes sont développés pour éliminer automatiquement les rayures et les altérations mécaniques sur les films^{290, 291}. Ces méthodes, en plein développement, sont encore trop récentes pour qu'on puisse en percevoir tous les

Illustration 123

Restitution numérique d'une diapositive couleurs dégradée. (R. Gschwind)



effets pervers ; la colorisation systématique des films noir et blanc, par exemple, est l'un des abus qui a déjà été dénoncé, y compris par certains réalisateurs des films concernés. Selon les points de vue, toutes ces opérations flatteuses constituent soit une trahison de l'œuvre originale, soit la création d'une œuvre dérivée. G. Romer a réalisé une expérience riche d'enseignement²⁹² : ayant confié à un infographe une reproduction de daguerréotype altéré, il lui a demandé de procéder à sa restitution numérique. L'image obtenue présentait les aspects d'une photographie moderne et avait perdu toutes les caractéristiques d'une image ancienne ; certaines altérations typiques de ces photographies avaient été mal comprises, voire interprétées. Ainsi, des marques de ternissure avaient été traitées comme un détournage... Comme pour la restitution optique, la restitution numérique demande non seulement un certain savoir-faire mais aussi une connaissance de l'histoire des techniques et du contexte historique.

Il existe depuis plusieurs années des logiciels pour les professionnels et le grand public (type Photoshop®) ou des logiciels d'applications spécifiques développés par des institutions ou des laboratoires. La restitution numérique des photographies en couleurs et des films altérés compte parmi les exemples d'utilisation les plus convaincants. Mais il ne faut pas se méprendre : si l'on veut traiter numériquement des images en couleurs très affaiblies, même s'il est théoriquement possible de restituer exactement les couleurs originales, il y a peu de chance pour que l'on y parvienne sans repères colorimétriques. La tendance actuelle est de limiter la part de subjectivité dans la restitution des couleurs par une approche mathématique, en cherchant à établir les matrices qui régissent la décoloration. Il est ensuite possible d'extrapoler aux valeurs originales. Ces travaux ont été réalisés aussi bien pour des films cinématographiques que pour des images fixes^{293, 294, 295}.

LA MICROGRAPHIE

Même si la micrographie n'est pas une technique de substitution adaptée à la diffusion, à la duplication ou à la sauvegarde des photographies, elle est suffisamment utilisée dans les archives et les bibliothèques pour les imprimés et les manuscrits, pour qu'il nous paraisse utile de présenter brièvement les différents types de microformes. Nous nous bornerons ensuite à rappeler quelques principes de conservation spécifiques à ce support.

Les formats

Les surfaces sensibles sont généralement vendues en films de 16, 35 et 105 mm de largeur et de 30 ou 60 m de long²⁹⁶. Après la prise de vue et le traitement, ces microformes

sont conditionnées en divers formats, dont les plus courants sont les rouleaux (microfilms 16 ou 35 mm), les microfiches (105 × 148 mm), les cartes à fenêtres (CAF) où une vue sur microfilm est montée dans une ouverture pratiquée dans une fiche cartonnée (187,3 × 83 mm), et la jaquette, composée de bandes de films 16 mm. Le taux de compression que permet le microfilmage peut atteindre 95 % selon l'échelle de réduction qui peut aller jusqu'à 1/50. Dans ce cas, sur une seule microfiche

Tableau 80

Capacité des microformes.

<i>format</i>	<i>capacité d'enregistrement</i>
16 mm (30 m)	2 500 images A4
16 mm (duo 30 m)	5 000 images A4
35 mm (30 m)	550 images A4
microfiche A6	jusqu'à 420 images A4

Tableau 81

Les différents procédés pour le microfilmage et leur durabilité.

<i>type</i>	<i>nature de l'image</i>	<i>domaine d'application</i>	<i>polarité</i>	<i>stabilité*</i>
■ argentique à développement chimique	• argent	• prise de vue • duplication • COM	inversée ou conservée	> 100 ans
■ couleurs Ilfocolor micrographic	• colorants azoïques	• prise de vue • duplication	conservée	> 25 ans
■ argentique à développement thermique	• argent	• duplication • COM	inversée	> 25 ans
■ diazoïque	• colorants azoïques	• duplication	conservée	> 25 ans
■ vésiculaire	• microbulles d'azote	• duplication	inversée	> 25 ans
■ électrographique (AB Dick)	• particules de carbone	• duplication	conservée	> 10 ans

* Stabilité minimale dans des conditions thermohygrométriques contrôlées ; les altérations dues à des manipulations ne sont pas prises en considération.

Tableau 82

Rappel des normes sur le traitement et l'archivage des microformes.

<i>référence</i>	<i>titre</i>	<i>domaine d'application</i>	<i>nouvelle référence</i>
ISO 5466	Photographie – Films photographiques de sécurité traités – Directives pour l'archivage	archivage	ISO 18911
ISO 9718	Photography – Processed vesicular photographic film – Specifications for stability	traitement	ISO 18912
ISO 8225	Photography – Ammonia processed diazo photographic film – Specifications for stability	traitement	ISO 18905
ISO 10214	Photographie – Produits photographiques après traitement – Contenants pour classement destinés à l'archivage	archivage	ISO 18902
ISO 14806	Imaging media (film) – Thermally processed silver microfilm – Specifications for stability	archivage	ISO 18919

Tableau 83

Conditions de conservation des microformes pour une durée indéfinie d'après la norme ISO 5466.

<i>type d'image</i>	<i>support</i>	<i>température</i>	<i>humidité</i>
■ gélatino-argentique	• ester de cellulose	inférieure à 7 °C	20 à 30 % HR
		inférieure à 5 °C	20 à 40 % HR
		inférieure à 2 °C	20 à 50 % HR
■ gélatino-argentique	• polyester	inférieure à 21 °C	20 à 50 % HR
■ argentique thermique	• polyester	inférieure à 21 °C	20 à 50 % HR
■ diazoïque couleurs chromogène	• polyester ou ester de cellulose	inférieure à 2 °C	20 à 30 % HR
		inférieure à - 3 °C	20 à 40 % HR
		inférieure à - 10 °C	20 à 50 % HR
■ Cibachrome, Ilfochrome micrographic	• polyester	inférieure à 21 °C	20 à 50 % HR
■ vésiculaire	• polyester	inférieure à 21 °C	20 à 50 % HR
■ électrographique (AB Dick)	• polyester	inférieure à 21 °C	20 à 50 % HR

(105 × 148 mm), il est possible de copier 420 pages de format A4 (Tableau 80). L'échelle de réduction est déterminée par la taille des caractères du document, la plus courante étant le 1/24 ; pour les documents de mauvaise lisibilité ou rares, on la limite à 1/9.

La prise de vue se fait avec des caméras ou sur un «imageur» en sortie d'ordinateur : ce sont les microfiches COM (*Computer Output Microform* ou composition sur sortie d'ordinateur en micrographie).

Illustration 124

Microfiche en couleurs Cibachrome, procédé à blanchiment de colorants.



Les procédés

Les procédés argentiques

Les procédés argentiques utilisés en micrographie sont le plus souvent des procédés gélatino-argentiques de même type que ceux qu'on emploie en photographie traditionnelle, à la différence qu'ils possèdent une capacité de très haute résolution. Il existe également des films argentiques thermiques développés avec une source de chaleur.

Les procédés vésiculaires

L'exposition à la lumière d'un film thermoplastique renfermant des sels de diazonium décompose ces sels en libérant des gaz (azote, dioxyde de carbone) qui restent piégés dans la matrice. Le film est alors traité thermiquement, la chaleur ramollit le polymère et dilate les gaz pour conduire à la formation de microbulles qui, en diffractant la lumière, constitueront l'image. Ce procédé n'est plus que rarement utilisé.

Les procédés diazoïques

Une couche renferme des sels de diazonium qui, en milieu alcalin, se combineront avec un coupleur pour former un colorant. L'exposition à une source riche en UV détruit les sels de diazonium ; dans les zones exposées il ne se formera donc pas de colorants au cours du développement.

Les procédés couleurs

Ce sont des procédés similaires à ceux utilisés en photographie traditionnelle ; on trouve généralement des émulsions inversibles chromogènes (type Ektachrome, Kodachrome) et des émulsions à blanchiment de colorant (Cibachrome ou type Ilfochrome Classic).

Le procédé AB Dick

L'image est obtenue par un procédé électrophotographique (photocopie). On n'utilise plus guère ce système.

La pérennité des microformes

Du point de vue de la stabilité dans le temps, seules les microfiches argentiques à développement chimique classique (procédé au gélatino-bromure d'argent) sont prévues pour un archivage de longue durée. Leur support doit être en polyester. On trouve encore des microfilms sur support en triacétate, qui ne doivent pas être utilisés pour l'archivage de longue durée. Les microfiches argentiques ne présentent pas de différences de structure majeures avec les films photographiques traditionnels. Afin de renforcer la

résistance de ces images aux gaz polluants, un traitement incluant un bain de virage au polysulfure est vivement recommandé. Le taux de thiosulfate résiduel et celui des sels argentiques devront être contrôlés. Dans les cas de microformes qui ont subi un traitement d'inversion (comme on le pratique pour certaines microformes COM), il est possible que la séquence des bains n'inclue pas de fixage. Le dosage des thiosulfates résiduels est donc superflu ; il faut cependant soigneusement vérifier que tous les sels argentiques ont bien été éliminés.

Les contenants en papier avec une réserve alcaline sont recommandés pour ranger les microfiches (il faut veiller à ne pas mettre les joints de collage en contact avec la face image). On les place verticalement, et si plusieurs microfiches sont conservées dans la même pochette, on dispose parfois une feuille intercalaire en papier pour éviter tout risque de collage. Les films sont mis dans des boîtes en carton permanent, en polyéthylène ou en métal (voir p. 77). Pour maintenir le film compact, il ne faut pas utiliser de ruban élastique, mais par exemple entourer le rouleau d'une bande de papier dont l'extrémité est collée par un morceau de ruban adhésif éprouvé. Les boîtes contenant des films enroulés autour d'un noyau sans flasque sont de préférence rangées à plat pour éviter l'écrasement du film ; les autres sont stockées sur la tranche, dans des tiroirs ou sur des étagères.

Le stockage s'effectue dans des meubles adaptés (voir p. 82). S'il s'agit de meubles résistant au feu, il faut tenir compte des risques de création d'un microclimat. Faiblement ventilées, ces armoires sont susceptibles de favoriser l'accumulation de vapeurs nocives et d'élever le niveau hygrométrique. D'une façon générale, la température ne doit pas excéder 21 °C et l'humidité relative doit être comprise entre 30 et 40 % (Tableau 83). Une humidité de 30 % convient à des collections mixtes. Cependant, il faut prendre garde à ne pas mélanger les microfiches de natures différentes. Des dégagements d'acide chlorhydrique ont été observés sur des microfiches vésiculaires.

Les microfiches de sécurité n'étant utilisées que de façon exceptionnelle, elles sont stockées à part, et il est même conseillé d'en déposer une copie dans un lieu géographiquement éloigné, pour en conserver la disponibilité en cas de catastrophe. Tous les deux ans, 1 % des microformes de la collection et leurs contenants, choisis aléatoirement, doivent être examinés visuellement. Si cet examen révèle des processus d'altération en cours, il convient de développer un plan d'échantillonnage pour une analyse minutieuse du fonds.

La procédure suivie par les institutions consiste à réaliser une microfiche argentique de conservation, dite « mère », destinée à n'être jamais communiquée. De cette microforme mère sont tirées deux générations de copies : la copie de travail qui sera utilisée ultérieurement pour la duplication, et la copie de consultation (en diazoïque par exemple), celle que l'on communique à la place de l'ouvrage.

Les supports numériques

L'objectif de ce chapitre n'est pas de traiter la question de la numérisation des fonds sous l'aspect technique, mais de donner quelques éléments de réflexion sur les problèmes posés par l'utilisation et la préservation des données numériques.

La gestion informatique des documents photographiques, c'est-à-dire un dispositif permettant de retrouver, de visualiser ou de diffuser rapidement des images, est l'un des apports indiscutables du numérique. Il existe des possibilités extraordinaires en matière de diffusion de l'information pour les collections photographiques au travers des réseaux et des nouveaux supports. Le numérique suscite l'enthousiasme et de nombreux arguments sont avancés pour développer des plans de numérisation : celui de la conservation n'est pas des moindres. S'il est vrai que diffuser une image numérique préserve l'original de tout danger, un effet pervers veut que celui-ci risque d'être plus fréquemment réclamé pour des expositions et des consultations. Quant à prêter à l'image numérisée une longévité supérieure à celle des photographies, nous verrons qu'il n'est rien de plus hasardeux. Le numérique ne peut être considéré aujourd'hui comme support de substitution pour la conservation à long terme. De surcroît, jamais un CD-Rom sur les peintures ou les dessins du musée du Louvre n'a prétendu se substituer aux originaux : il en est de même pour les photographies dans les musées et les fonds d'arts graphiques. Rappelons que les œuvres photographiques sont constituées de matériaux qui changent selon les époques et les artistes. La conservation de l'œuvre originale prime, et tout programme de numérisation devrait s'accompagner d'un programme de conservation préventive des fonds.

Toutefois, l'utilisation du numérique ne se réduit pas à des programmes de numérisation des collections. On assiste à un développement très rapide des techniques numériques dans le domaine traditionnel de la prise de vue. Le traitement numérique est devenu un outil pour de nombreux artistes, voire un passage obligé dans les laboratoires photographiques pour la production d'œuvres contemporaines. Certains photographes ont résolument abandonné l'argentique, et le nombre d'œuvres originales transmises sous forme de fichiers numériques qu'il faut espérer pouvoir conserver ne peut que s'accroître.

LA CONSERVATION DE L'ACCÈS À L'INFORMATION

Un fichier numérique est constitué d'un ensemble de données informatiques dont l'organisation permet de représenter le document qui a été créé. L'élément unitaire de ce fichier est le bit, qui prend la valeur de 0 ou de 1. Les bits sont généralement associés en séquences de huit bits pour former un octet ; néanmoins, cette séquence de base peut être de longueur inférieure ou supérieure à celle de l'octet. Une suite de données binaires composant un fichier commence toujours par une clé de codage dont la fonction est de renseigner l'utilisateur – ou l'ordinateur – sur la longueur des séquences qui a été retenue pour composer le document. Sans ces informations, l'exploitation du document qui leur est attaché est impossible. Le décodage de la suite binaire qui compose le fichier conduit à des représentations multiples selon la longueur de la séquence qui est privilégiée. Connaître la clé de codage représente une étape essentielle dans le processus d'accès au fichier, mais ce n'est pas suffisant ; une même suite de caractères binaires peut décrire un message textuel exprimé selon des alphabets différents, des sons, des nombres, une image photographique, un schéma, etc. D'où la nécessité de disposer de l'application – ou logiciel – qui a permis de générer le fichier, de préférence dans une version relativement proche, de façon à limiter les problèmes d'incompatibilité partielle qui pourraient se manifester. Dans la plupart des cas, les sociétés qui éditent des programmes informatiques retirent de leurs catalogues les anciennes versions de leurs logiciels au profit des évolutions les plus récentes. Le même raisonnement s'applique au processeur et au système d'exploitation qui équipent l'unité centrale de l'ordinateur et qui assurent le traitement des données contenues dans les fichiers et dans l'application chargée de les exploiter. Certains fichiers ne pourront pas être ouverts lorsque la machine est dotée d'un processeur d'un type trop ancien, ou trop récent relativement à la date de création de l'application, si l'on ne dispose pas du périphérique de lecture et de son logiciel de pilotage.

Ainsi le problème posé par la conservation du numérique dépasse-t-il le cadre strict de la durée de vie des supports d'écriture ou de lecture. Dans une filière numérique, il faut aussi considérer les outils d'accès à l'information : l'ordinateur, le lecteur et les logiciels. L'instabilité des supports est paradoxalement celle qui poserait le moins de problèmes. Il est possible d'estimer leur durabilité et de recopier, ou de conserver dans un environnement adapté, les plus fragiles et même s'ils sont éphémères, leur durée de vie se révèle jusqu'alors supérieure à celle des autres éléments de la chaîne. En effet, de nombreux formats sont condamnés à l'obsolescence.

En 1995, le journal *Scientific American* publiait un article de J. Rothenberg²⁹⁷ « Ensuring the longevity of digital documents », qui peut être considéré comme le point de départ d'une réflexion généralisée sur le problème des archives numériques, si l'on en juge par l'écho important qui en a résulté. Certes, les centres d'archives étaient depuis plusieurs décennies confrontés au problème de l'obsolescence des appareils de lecture de bandes magnétiques analogiques, et les professionnels avaient déjà entamé une réflexion. Avec le développement du numérique, ils avaient très naturellement mis en garde les utilisateurs contre les risques que comportent ces technologies²⁹⁸ : avertissements souvent restés lettre morte. L'argument d'alors était la recopie. En effet, contrairement aux documents magnétiques analogiques, c'est la nature même du numérique que de se prêter au transfert rapide, et sans perte d'informations, sur un nouveau support ou sur un réseau. La mise au point de nouveaux standards et de normes devait rassurer quant à la pérennité de certains formats. Les années qui suivirent jetèrent quelques doutes dans l'esprit des utilisateurs. L'apparition répétée et accélérée de nouvelles gammes d'ordinateurs et de logiciels plus performants mit rapidement au rebut les versions anciennes de seulement quelques années. Des informations stockées au début des années 1980 devenaient difficilement lisibles si l'on n'avait pris soin de les copier régulièrement sur des nouveaux supports, mais aussi de les traduire pour qu'elles soient lisibles avec les nouveaux logiciels ; soit un investissement important et permanent en matériel et un travail parfois considérable pour réussir à ouvrir certains fichiers. Ces expériences, vécues par un public beaucoup plus large que celui du monde de la conservation, suscitèrent une prise de conscience plus générale qui émergea au travers de l'article de J. Rothenberg et d'autres qui suivirent^{299, 300}. En 1996, un groupe de vingt et un experts réunis par la commission *Preservation and Access* arrivait à la conclusion inquiétante qu'il n'y avait, à ce jour, aucun moyen pour garantir la conservation de l'information numérique. Les expériences dans ce domaine n'ont pas été jusqu'à présent couronnées de succès. Les matériels (supports, formats, logiciels, ordinateurs) évoluent rapidement, le DVD remplace déjà le CD et nous n'avons aucune assurance sur la compatibilité entre les systèmes, ni sur la stabilité des supports.

Les multiples contraintes que doit affronter l'utilisateur d'un support informatique, pour avoir accès aux informations enregistrées, permettent de mieux vérifier la pertinence des expressions usitées par les archivistes anglo-saxons pour qualifier les documents dont ils ont la charge : *human readable* et *non human readable* ou DLM (données ou documents lisibles par machines). Loin de constituer un motif de défiance à l'égard des nouvelles techniques, ces contraintes doivent inciter à une grande rigueur dans les procédures d'exploitation de ces supports que l'homme ne peut lire sans intermédiaire. Dans l'univers numérique, la conservation d'une œuvre et sa diffusion ne sont plus des actions difficilement conciliables, mais des enjeux indissociables, la garantie de l'accès étant l'une des composantes de la conservation. La conservation d'un « patrimoine numérique » est aujourd'hui un processus dynamique qui réclame une veille technologique et un financement continu pour le transfert des données vers de nouveaux systèmes et la mise à jour des informations. Au grand dam de Rothenberg, le temps des manuscrits ou de partitions oubliés et redécouverts cent ans plus tard est révolu, des informations numériques oubliées aujourd'hui risquant de ne plus être lisibles demain.

Le transfert

Plusieurs parades ont été proposées. L'une d'elle consiste à imprimer les documents sur du papier ou sur des supports photographiques (à l'aide d'un «imageur») et de garder ces impressions comme copie de sécurité, mais cette solution n'est satisfaisante que lorsque les données ne sont pas liées par un système interactif comme dans les CD-Rom. Il faut également trouver un support d'impression en sortie d'ordinateur qui soit stable dans le temps et qui ne dénature pas la qualité des informations. C'est possible pour des documents textuels mais exclu pour les séquences multimédia. Or les données numériques englobent et associent aujourd'hui toutes ces formes. Ce serait dénaturer un document numérique que de le réduire à une forme papier. On a également proposé d'imprimer les bits pour pouvoir les conserver (programme Paperdisk³⁰¹), ce qui reviendrait à engranger des kilomètres de feuilles couvertes de 0 et de 1 ! Des centres de conservation de logiciels et d'ordinateurs permettant dans le futur de relire n'importe quel document ont été envisagés, à l'instar de ce qui est appliqué dans le domaine de l'audiovisuel (cinéma, vidéo et son) où des appareils anciens sont maintenus en état de fonctionnement. Pour le numérique, cette solution apparaît peu réaliste : les chances de conserver pendant plusieurs décennies des informations numériques sur leur support original sont relativement faibles. De plus, les logiciels et les modèles sont très nombreux et, contrairement à un film ou une bande, on ne peut déterminer visuellement le format des informations enregistrées : si rien n'est indiqué sur la disquette ou le CD, le décodage peut prendre du temps. Enfin, si tant est que l'on ait pu accéder au contenu numérique, le fait de ne pouvoir le faire que sur des appareils conservés dans des musées en réduit l'accès et donc l'intérêt. La solution à la préservation du numérique ne peut se trouver au travers d'une technologie du passé : elle doit être développée concurremment aux recherches sur les outils de demain.

Deux notions ont été introduites dans la littérature anglo-saxonne : celle du *refreshing* et celle de la *migration*. Le *refreshing* consiste à recopier les informations sur un nouveau support. C'est qui a été fait à la Bibliothèque nationale de France lorsque les bandes DAT ont été recopiées sur des DON-WORM pour l'exploitation et des CD en verre pour l'archivage. Les Archives des Indes à Séville ont dû, quant à elles, transférer leurs données sur pas moins de quatre générations de supports numériques. Le terme de *refreshing* peut donc se traduire par recopie, cette opération permettant de pallier l'obsolescence ou le manque de stabilité d'un support d'écriture. La transcription peut être automatisée, par utilisation du système dit *juke-box*. Dans le cas des CD, on estime qu'elle doit être renouvelée tous les cinq ans. Il convient désormais d'inclure dans les plans de sauvegarde ce passage obligé qui réclame compétences et moyens.

La *migration* ou transcodage est une méthode plus radicale et plus complexe. Les données sont converties – transcodées – afin de pouvoir être lues et traitées avec un nouveau logiciel et/ou ordinateur. Ce changement de format n'est pas toujours anodin et peut s'accompagner de la perte de données ou de la désorganisation du document. On manque encore de recul pour estimer la faisabilité du transcodage qui n'est pas automatisable et dont les résultats sont incertains. Même si la normalisation peut faciliter les opérations, l'existence de nombreux logiciels «exclusifs» et la crainte que les pertes soient trop importantes et s'additionnent à chaque fois, font douter que ce mode de conservation des données soit acceptable à long terme. Avec ces nouvelles pratiques culturelles se profile la question du coût,

puisqu'il faut inclure dans les plans de gestion, les frais représentés par les opérations de transfert. Les conséquences financières de ces programmations qui, pour les volumes importants, s'apparentent à des traitements de masse, sont encore mal définies. Les simulations réalisées pour des bibliothèques indiquent que pendant les premières années, le stockage numérique est plus coûteux que le stockage traditionnel ; c'est à partir de la quatrième année que cette tendance s'infléchit³⁰². Pour d'autres³⁰³, le coût de la conservation de ces archives numériques dépasse d'un facteur dix celui de leur création. Une analyse récente des Archives nationales des États-Unis montre qu'au cours des dix premières années, il faut investir entre 50 et 100 % du coût initial pour assurer la sauvegarde des données numériques. Mais toutes ces estimations sont entachées de l'incertitude quant aux coûts des opérations de recopie, de migration voire d'émulation ». De plus, pour les collections de musées, le coût du numérique ne vient pas se déduire des coûts du stockage traditionnel mais bien s'ajouter, puisqu'il faut conserver les œuvres. Alors, si dans des périodes fastes on peut espérer en assumer la charge, le risque subsiste qu'en cas de crise économique, la gestion de ces fonds ne soit plus une priorité, et que l'on oblitère, en quelques années, tous les espoirs de conservation.

L'émulation

Une des approches prometteuses qui s'esquisse actuellement est l'émulation³⁰⁴, c'est-à-dire la possibilité pour tout nouveau système informatique de faire tourner des logiciels tombés en désuétude et d'ouvrir ainsi les documents enregistrés avec ces logiciels. Cela oblige à préserver un certain nombre d'informations : le document numérique tel qu'il a été enregistré, le logiciel original et celui du système d'exploitation. On introduit également des explications qui donnent la possibilité à quiconque dans l'avenir de connaître et d'utiliser toutes les informations « encapsulées » avec le document. Elles constituent, en quelque sorte, une table des matières et un mode d'emploi des données ; elles peuvent aussi comporter des renseignements historiques, des annotations, etc. La normalisation doit contribuer à ce que ces informations restent lisibles. L'intégrité d'un document « encapsulé » doit pouvoir être préservée contre toute violation ou modification, ce sera la garantie d'authenticité du document numérique. Cette stratégie de la préservation par émulation doit encore faire les preuves de sa faisabilité. D'autres propositions plus « futuristes » se fondent sur le réseau Internet : le fait de diffuser des informations à grande échelle doit permettre leur sauvegarde. Ce peut être de façon accidentelle, en espérant que lorsqu'on cherche un document, une personne au moins ait eu la bonne idée de le stocker dans son ordinateur. On peut également imaginer une approche plus organisée, où chaque ordinateur pourrait servir de relais pour faire circuler en permanence les informations, qui tourneraient ainsi indéfiniment sur le réseau. C'est la négation même de l'idée du stockage !

L'outil numérique est récent et il est difficile de fixer des repères dans un paysage en perpétuelle mouvance. Des comités travaillent sur ces problèmes, et la normalisation des formats et des métadonnées devrait offrir certaines garanties : mais la logique économique et celle du développement technique ne se conforment pas toujours à des normes et des mesures conservatoires. C'est donc au milieu de la conservation d'être attentif afin d'éviter un développement anarchique et de garantir la sauvegarde de ces archives.

L'authenticité

De ces nouvelles pratiques naît également le besoin d'un encadrement juridique et d'une réflexion éthique. La conservation physique des documents est à la base de l'activité traditionnelle de la conservation. Ainsi en est-il dans les archives et les cabinets d'arts graphiques pour les manuscrits, les gravures, les estampes, les dessins, les photographies, etc. Si l'on assimile les œuvres numériques à ce type de patrimoine, il faut considérer que le fichier enregistré et son support (disquette, bande, CD), déposés dans un centre d'archivage, forment le document authentique qu'il faudra conserver indéfiniment même si l'on sait que l'on a peu de chance après quelques années de pouvoir relire les informations inscrites. Nous avons attaché à la matérialité des objets un caractère probant qui, en dernier lieu, peut servir de recours pour en vérifier l'authenticité. Cette conception qui lie authenticité et matière est héritée de l'archéologie, de l'histoire de l'art et, depuis le XIX^e siècle, de la restauration des monuments. Elle conduit logiquement à démontrer que la notion d'authenticité n'aurait pas de sens pour des œuvres qui se développent à partir d'un système de notation, comme en musique ou en littérature, et que N. Goodman qualifie d'allographiques³⁰⁵. Ce même raisonnement s'applique aux œuvres numériques.

Pour échapper à cette ambiguïté qui supposerait que l'on ne peut parler d'authenticité pour ce nouveau média, il convient de considérer le document numérique comme une donnée immatérielle, une suite de nombres, qui s'incarne dans tout nouvel enregistrement à condition qu'il soit authentique, en prenant l'authenticité dans son acception première : « L'authenticité implique conformité non tronquée à un original textuel³⁰⁶. » Comme le résume R. Lemaire, un message est authentique s'il est transmis sans subir d'altération, même dans ses nuances, d'un émetteur à un récepteur³⁰⁷. Le problème de la conservation du support matériel informatique original ne se pose donc plus, seules importent la qualité, la fidélité et l'intégrité de la copie du fichier et son accessibilité. En effet, il ne suffit pas que les données soient recopiées convenablement, il faut également que la structure logique du document, sa présentation et son mode de fonctionnement soient respectés. C'est dans ce sens qu'il faut orienter tous les efforts, car un fichier numérique peut facilement et rapidement subir des transformations, volontaires ou involontaires, sans que cela soit toujours perceptible ; dans des cas extrêmes, il peut devenir illisible. On sait d'ores et déjà qu'il n'y a pas de système de migration standardisé pour toutes les applications. Il convient alors de sécuriser ces fichiers numériques en attachant toutes les informations nécessaires dans les métadonnées et en suivant les évolutions techniques de sorte que toute migration se fasse dans le respect de l'authenticité.

Le groupe JPEG de l'ISO, qui travaille sur les protocoles de codage et de compression des images fixes et animées est à l'origine d'une réflexion sur la protection des fichiers décrivant des images numériques. Quatre niveaux de définition ont été proposés :

- premier niveau (codé 1) : première version existante du fichier, statut de master. Aucune manipulation des données n'est tolérée sur ce document ;
- deuxième niveau (codé 2) : correspond à un extrait du fichier original sans intervention sur les données qui le composent ;
- troisième niveau (codé 3) : le fichier original a subi un traitement irréversible, total ou partiel ;
- quatrième niveau : (code 0) : concerne un fichier de niveau inconnu : l'authenticité par rapport au document original est indéterminée.

Les trois premiers niveaux sont protégés. Un en-tête stipule le nom du créateur, le niveau (1, 2, 3 ou 0), le copyright, les personnes à contacter pour

l'utilisation et éventuellement un historique du fichier accompagné d'informations techniques et commerciales³⁰⁸.

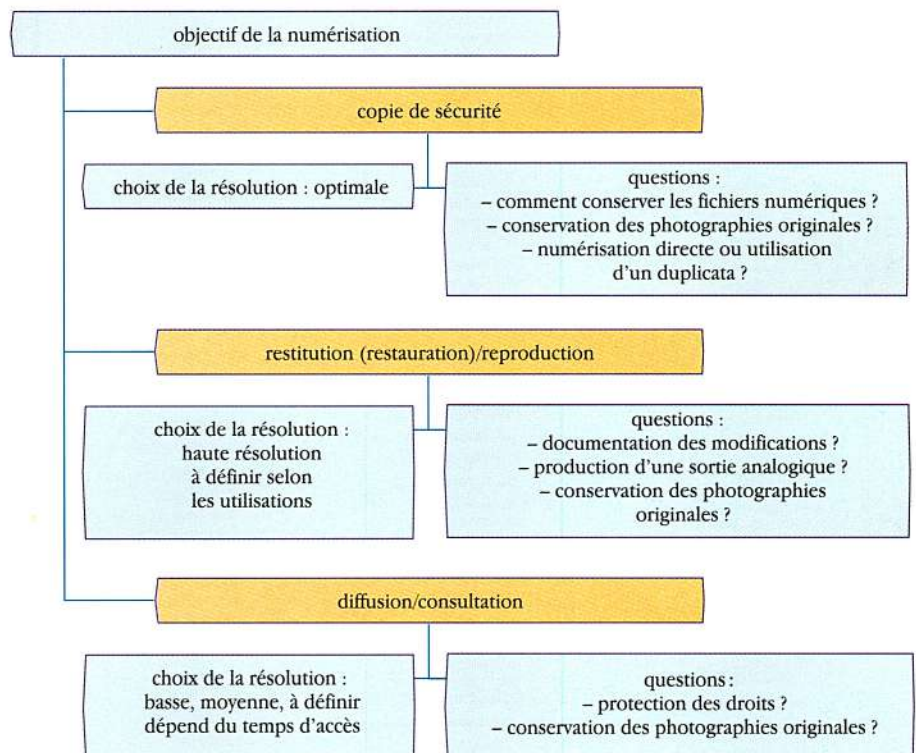
LA CRÉATION DES FICHIERS IMAGES

La saisie d'une image se fait habituellement à l'aide d'un numériseur, que ce soit une caméra numérique ou un scanner. De nombreux modèles sont disponibles sur le marché et leur coût est lié à leurs performances. Les scanners à tambour sont les plus onéreux. Réservés aux applications professionnelles, ils permettent de traiter de grands formats avec une résolution élevée. Le document à numériser est enroulé autour d'un cylindre et doit donc être suffisamment souple. Les scanners à plat sont des outils courants de la micro-informatique. Ils numérisent des documents opaques ou transparents mais plans, d'une taille allant de la diapositive au format A3. Pour des documents de très grande taille ou en relief, il existe des caméras numériques ou des appareils photos à dos numérique, bien que dans de nombreux cas on ait encore recours à une prise de vue traditionnelle que l'on numérise ensuite.

C'est dans le choix du niveau de résolution que réside toute la difficulté : jusqu'où aller ? À l'heure actuelle il n'existe pas de recommandations normalisées. Une résolution trop basse condamne l'utilisateur à rechercher l'original pour tout projet d'exposition ou d'édition ; elle ne permettra pas non plus de produire une copie de sécurité. Une résolution élevée, destinée à produire un document de substitution, génère des fichiers numériques volumineux et difficiles à gérer.

Illustration 125

Avant de procéder à une opération de numérisation, il convient d'en définir les objectifs.



L'intérêt d'un document textuel résidant davantage dans son contenu sémantique que dans le modelé de l'image (sauf pour les enluminures, par exemple), il est rarement utile de viser une résolution au-delà de celle qui est nécessaire à une bonne lisibilité des caractères alphanumériques. Pour cela, il suffit d'une résolution de 8 à 16 pts/mm à 2 niveaux de gris (noir ou blanc), ce qui permet de placer environ 12 000 documents sur 600 Mo, après compression. Des travaux ont permis d'établir des recommandations et de définir un indice de qualité à l'instar de ce qui existe pour le micro-filmage³⁰⁹.

La numérisation des photographies à modelé continu exige une plus haute résolution que celle qu'on applique aux textes, car traitée dans les mêmes conditions, elle aboutirait à une disparition des détails et à une piètre reproduction des demi-teintes. La qualité de la numérisation est liée non seulement à la résolution mais aussi à la reproduction des valeurs. En noir et blanc, les utilisateurs sont satisfaits avec une profondeur d'échantillonnage de 8 bits par point, soit 256 niveaux de gris, mais sont plus exigeants vis-à-vis de la résolution. Avec une image en couleurs, l'observateur est moins attentif à la résolution, et davantage aux couleurs. Or, pour les recréer, il faut tripler le volume du fichier, soit $3 \times 8 = 24$ bits par point : on peut ainsi – en théorie – obtenir 16,7 millions de nuances³¹⁰. On a souvent tendance à souhaiter une résolution maximale : il faut cependant réaliser que cela accroît la durée de numérisation et la taille des fichiers. La photocomposition réclame déjà une résolution supérieure à 40 pts/mm. La taille du fichier d'une diapositive en couleurs (24 × 36 mm) avec une résolution de 100 points par millimètre est simple à évaluer. Il suffit de calculer combien la surface de la photographie représente de points à enregistrer (24 × 100) × (36 × 100) puis de multiplier cette valeur par 24 (bits) pour la couleur ; on obtient ainsi 207 millions de bits, soit 26 Mo. Dans la pratique, les équipements professionnels réalisent des acquisitions en 10, 12, voire 16 bits par couleur.

On considère plus généralement qu'une numérisation optimale pour une diapositive 24 × 36 sur émulsion standard nécessite environ 35 mégaoctets³¹¹, soit seulement 18 images sur un CD de 650 mégaoctets. Avec des diapositives d'un format plus important (6 × 6 cm ou 4 × 5 inches) ou un tirage 30 × 40 cm, la taille du fichier image croît suivant le même principe de calcul. Tous ces paramètres ont une incidence directe sur la place occupée en mémoire : quand la résolution double, la taille du fichier mémoire quadruple.

Tableau 84

Pouvoir résolvant de trois films Kodak. Le pouvoir résolvant variant selon le contraste, il en est fait état dans deux conditions extrêmes, l'une calculée avec une mire à fort contraste (1000:1) et l'autre avec une mire à faible contraste (1,6:1) qui simule des conditions normales de prise de vue.

<i>émulsion</i>	<i>mire à fort contraste</i>	<i>mire à faible contraste</i>
Technical Pan (ISO 16/13°)	400 paires de lignes/mm = 20 080 dpi	125 paires de lignes/mm = 6 350 dpi
Plus X (ISO 125/22°)	125 paires de lignes/mm = 6 350 dpi	50 paires de lignes/mm = 2 540 dpi
Tmax (ISO 100/21°)	200 paires de lignes/mm = 10 160 dpi	63 paires de lignes/mm = 3 200 dpi
Tri X (ISO 400/27°)	100 paires de lignes/mm = 5 080 dpi	50 paires de lignes/mm = 2 540 dpi

Il convient de numériser avec une qualité qui correspond à ses besoins. Si une image est destinée à se substituer à un original en cas de perte, la résolution devra être aussi élevée que possible ou du moins équivalente à celle du document original. Des performances aussi poussées sont bien sûr largement au-delà de ce qui est requis pour une simple vision à l'écran d'une image de bonne qualité. Afin d'évaluer la qualité de l'image numérisée, il est souhaitable de comparer l'original (épreuve, diapositive, négatif...) à une impression photographique similaire obtenue à partir du fichier numérique. L'objectif est d'obtenir une reproduction fidèle. La numérisation peut aussi permettre de restituer une image altérée, de corriger une photographie imparfaite (sous-exposée, surexposée, trop contrastée...). Les manipulations, si elles sont justifiées, doivent être documentées (voir p. 147).

La taille importante des fichiers conduit à appliquer des systèmes de compression : en réduisant leur taille on accroît non seulement le nombre d'images sur une unité de stockage mais aussi la vitesse de transmission des données sur un réseau. Plusieurs recommandations pour la compression des documents textuels ont été émises par l'UIT (Union internationale de télécommunications) ou le JBIG (Joint Bi-level Image Group), mais elles ne sont pas toujours efficaces pour les photographies. Des normes plus adaptées aux images à modelé continu ont été introduites : Joint Photographic Experts Group (JPEG 2000) pour les images fixes, Moving Picture Experts Group (MPEG) pour les images animées et le son. Elles autorisent des taux de compression très importants (100 et plus) ; cependant, au-delà d'un rapport de 3:1 il y a perte d'informations, donc dégradation de l'image, et au-delà de 10:1 à 20:1, ces pertes d'informations sont perceptibles. Les enjeux de la compression peuvent être illustrés par l'exemple d'une image représentant un ciel bleu uniforme traversé par un avion volant à altitude élevée. Après un compactage non destructif, la réouverture du fichier permettra de constater la présence de l'appareil, alors qu'un traitement destructif pourra amener la disparition de cette information. Quelques sociétés ont développé leur propre algorithme de compression, qui n'est pas toujours compatible avec les standards en vigueur. C'est le cas de Kodak pour le CD-Photo (compression photo-YCC, 100 images par CD), le logiciel Scopyr développé par Netimage (400 images par CD). On comprend que pour numériser de grandes photothèques ou des films cinématographiques (une heure trente de film équivaut à 129 600 images), il faille des capacités de stockage très importantes et que les techniques de compression s'affinent et se normalisent. Rappelons qu'il n'est pas recommandé de compacter des fichiers destinés à l'archivage.

LE STOCKAGE SUR BANDES MAGNÉTIQUES

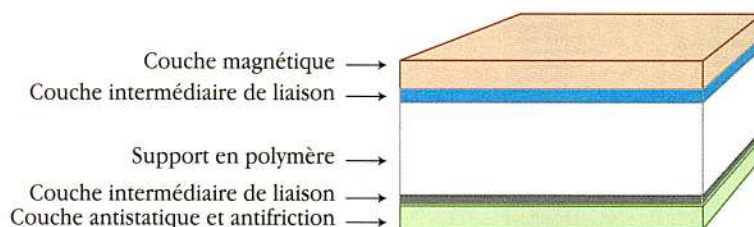
Les informations numériques peuvent être stockées sous forme optique ou magnétique sur des disques, des bandes ou des cartes. Les bandes magnétiques sont potentiellement aptes à stocker des quantités de l'ordre de plusieurs centaines de gigaoctets, mais cela implique des pertes de temps liées au déroulement et au réembobinage de la bande (accès séquentiel).

La structure des bandes magnétiques

Les médias utilisés pour les enregistrements magnétiques numériques mais aussi analogiques comportent généralement trois éléments : le support, les particules magnétisables et le liant. À quelques exceptions près

Illustration 126

Structure des bandes magnétiques.



(disque dur, mémoire vive), le support est en polyester conditionné soit sous forme de bande (cassette audio, vidéo, *Recordable digital audio tape* [R-DAT], *Digital compact cassette* [DCC], etc.), soit sous forme de disque (disquette). Les particules magnétisables sont constituées d'oxydes de métaux de transition : oxydes de fer, de chrome, de cobalt, ou de particules métalliques de fer (*metallic particle* [MP]). Pour assurer la cohésion de ces particules sur le polyester, on applique un liant en résine polyester-uréthane. Les bandes magnétiques les plus récentes (vidéo) ne comportent plus de liant : la couche métallique déposée par évaporation (*metal evaporating* [ME]) sur le support, est constituée d'un alliage magnétique de cobalt et de nickel dispersé dans une matrice non magnétique d'oxydes de cobalt et de nickel³¹².

La dégradation du signal

La stabilité du signal est liée à la rémanence magnétique et à la coercivité des particules magnétiques. La rémanence magnétique caractérise la propriété des particules à conserver, avec le temps, un champ magnétique alors que la coercivité traduit leur capacité à résister à une démagnétisation. Les oxydes de fer et de fer-cobalt présentent une bonne rémanence, mais une faible coercivité : c'est pourquoi on a souvent craint les phénomènes de démagnétisation que pourraient subir les enregistrements à proximité d'un champ magnétique. Ce risque d'accident a été surestimé pour des environnements traditionnels. Dans un champ de l'ordre de 2 500 gauss la perte du signal est inférieure à 5 %. Les consignes de sécurité recommandent néanmoins d'éviter des champs magnétiques dont l'intensité est supérieure à 10 gauss. Certains champs magnétiques comme ceux qui sont générés par les détecteurs de métaux ou les transformateurs peuvent altérer le signal.

Une élévation de la température pourrait provoquer une perte des propriétés magnétiques si elle dépassait une limite dite température de Curie. Parmi les composés magnétiques, les oxydes de chrome ont la température de Curie la plus basse qui est de 120 °C. Seul un incendie est susceptible de provoquer une telle élévation de température, mais dans ces conditions, le support en polyester aura déjà subi des modifications rendant la bande inutilisable. Si les catastrophes liées à des conflits peuvent conduire à la destruction de toutes sortes d'archives, les supports magnétiques sont eux très sensibles aux perturbations électromagnétiques créées par une explosion nucléaire en haute altitude. L'induction électromagnétique (IEM) d'origine nucléaire est d'une telle puissance qu'elle peut endommager les enregistrements magnétiques sur des milliers de kilomètres.

Les oxydes de fer sont chimiquement plus stables que les dépôts métalliques des bandes MP ou ME. Si le fer s'oxyde rapidement à l'air, il est

également sensible à la corrosion et aux composés chlorés et sulfurés. Les quelques tests réalisés sur des bandes DAT laissent espérer une durabilité d'environ 8 ans. Néanmoins, de nombreux systèmes de lecture comportent des corrections automatiques d'erreurs qui n'empêchent pas la dégradation du signal enregistré, mais la masquent pendant un certain temps.

La dégradation du liant et du support

La stabilité des supports magnétiques dans des conditions ambiantes de stockage dépend essentiellement de la stabilité chimique des constituants³¹³ : support, liant, couche dorsale, lubrifiant ; ces problèmes sont étudiés depuis plusieurs années pour les enregistrements audio et vidéo³¹⁴. Les supports instables en acétate de cellulose des premières bandes magnétiques des années 1950 ont été remplacés par du polyester, dont nous avons déjà signalé qu'il est parfaitement apte à la conservation de longue durée (voir p. 69). Cependant toute exposition, même brève, à des températures élevées (supérieures à 80 °C) peut conduire à une rétraction suffisante pour rendre la lecture impraticable. Si les oxydes magnétiques sont relativement stables chimiquement, il n'en est pas de même des particules métalliques qui sont potentiellement sujettes à l'oxydation et à la corrosion, et donc plus sensibles à la pollution. Les altérations des médias magnétiques sont essentiellement associées à l'hydrolyse du liant. À l'origine en nitrate de cellulose puis en résine vinylique, acrylique ou époxy, il est aujourd'hui en polyuréthane³¹⁵. Dans des conditions de conservation contrôlées, la quantité de produits d'hydrolyse s'équilibre à 6,7 % en masse. Quand ces produits de dégradation, hygroscopiques et poisseux, atteignent 14 %, les dommages sont perceptibles³¹⁶. L'adhésion sur le support polyester est réduite, les spires des bandes adhèrent les unes aux autres, la tête de lecture s'encrasse et l'enregistrement subit des dommages irréversibles.

Il est à noter que le phénomène d'hydrolyse des liants en polyuréthane est réversible et que l'état d'un support détérioré peut être amélioré par stockage dans une atmosphère sèche. Le temps requis est néanmoins très long : les travaux du Jet Propulsion Laboratory montrent que les effets d'un stockage de trois mois à 100 % HR et 35 °C peuvent être corrigés par un traitement de 27 semaines à 0 % HR et 35 °C. Cette durée peut être ramenée à quelques jours à 50 °C, mais un tel traitement est loin d'être bénin et risque de provoquer plus de dommages si l'origine des altérations est autre que l'hydrolyse du polyuréthane.

La dégradation de l'enregistrement est très souvent le résultat d'abrasions ou de manipulations inadaptées : doigts sur la surface d'enregistrement, matériel de lecture défectueux ou mal entretenu. La friction entre la tête de lecture et la piste magnétique est une source d'abrasion qui sera d'autant plus dommageable en présence de poussières. Sur une bande magnétique, l'accès séquentiel, par les cycles d'enroulage-déroulage et les étirements auxquels il oblige, constitue un facteur supplémentaire de dégradation.

Tableau 85

Conditions thermohygro-métriques recommandées pour l'archivage de longue durée des bandes magnétiques^{317, 318}.

<i>température maximale</i>	<i>humidité relative</i>
20 °C	20-30 %
15 °C	20-40 %
10 °C	20-50 %

Variations limitées à ± 5 % HR et ± 2 °C sur 24 heures.

La conservation des supports magnétiques

Les informations stockées aujourd'hui sur supports magnétiques et optiques comprennent des enregistrements analogiques et numériques de type audio et vidéo, ou encore des enregistrements de données informatiques. Que les données soient analogiques ou numériques ne change pas fondamentalement l'espérance de vie de ces matériaux, qui est estimée au mieux à quelques décennies. La norme ANSI/NAPM IT 9.23-1996 contient les recommandations normalisées en matière de stockage des bandes magnétiques sur support en polyester (Tableau 85). Les facteurs les plus agressifs à l'égard des médias magnétiques étant l'excès d'humidité et de température, il est recommandé, pour ralentir l'hydrolyse du liant, de choisir une humidité inférieure à 50 % et une température inférieure à 20 °C avec des variations sur 24 heures limitées à ± 5 % HR et ± 2 °C. En attendant des recherches approfondies, la conservation à des température inférieures à 8 °C est à éviter car on craint que le lubrifiant puisse être exsudé de la couche de polyuréthane.

Les recommandations sur la qualité de l'air sont semblables à celles préconisées pour les collections photographiques (voir p. 125). L'air doit être débarrassé des particules en suspension (voir p. 126) et des gaz agressifs. La protection contre les champs électromagnétiques est assurée par un blindage, relié à la terre, de l'aire de stockage ou la réalisation d'une cage de Faraday au moyen de toile métallisée³¹⁹. Il faut rester à distance de champs magnétiques importants. L'intensité des champs magnétiques parasites ne doit pas excéder 50 œersteds (4kA/mètre) pour les courants alternatifs et 10 œersteds pour les courants continus.

Les disques, les disquettes et les cassettes vidéo sont, à l'origine, protégées par leur enveloppe de plastique, mais il convient de les placer aussi dans un contenant de protection. Il doit être stable chimiquement, ne pas produire de poussières et résister à une température de 150 °C pendant 4 heures. Le matériau peut être choisi parmi ceux qui sont conseillés pour la conservation des photographies (voir p. 65). Les disquettes, rangées dans des pochettes de protection, sont classées verticalement. Les cassettes ne doivent jamais être rangées à plat pour éviter la déformation des bords de la bande ; elles sont rembobinées et stockées verticalement. La tension de la bande doit être périodiquement contrôlée pour éviter des risques de déformation du support ; c'est pourquoi il est conseillé de procéder à intervalles réguliers – tous les trois ans à cinq ans – à un enroulement suivi d'un déroulement de la bande pour la remettre sous tension. Dans la pratique, ce n'est pas toujours réalisable : on se contente alors, après un stockage prolongé, de ne pas utiliser la bande avant une période de remise en condition de plusieurs heures (si les conditions climatiques d'utilisation sont différentes de celles régnant dans l'air de stockage, voir Tableau 86) ; il est également nécessaire d'embobiner et de rembobiner la bande.

Tableau 86

Temps de remise en condition de supports magnétiques dont on a changé les conditions environnementales³²⁰.

<i>type</i>	<i>temps de mise en équilibre de la température</i>	<i>temps de mise en équilibre de l'humidité</i>
cassette audio	1 heure	6 heures
cassette VHS	2 heures	4 jours

L'entretien du matériel de lecture joue un grand rôle : il faut éviter qu'il ne s'empoussière, les normes recommandant de filtrer les particules à partir de 0,3 micron. Dans le cas des lecteurs de disques magnéto-optiques, il est conseillé de nettoyer les dispositifs optiques associés aux sources laser tous les trois mois pour conserver le niveau de performances du dispositif.

Les enregistrements doivent être recopiés sur des supports de haute qualité, et il est conseillé de réaliser des doubles et de les conserver à des endroits différents.

En cas de transport, les médias magnétiques doivent voyager dans la même position que celle où ils sont stockés. L'emballage doit prévenir des chocs et des variations excessives de température et d'humidité : une protection constituée d'une épaisseur de 5 cm d'un matériau isolant non magnétique est suffisante. Le passage sous des scanners de contrôle à rayons X dans les aéroports ne présente pas de risques, contrairement aux détecteurs de métaux utilisés pour la fouille manuelle.

LE STOCKAGE SUR DISQUES OPTIQUES

Le principal avantage des disques optiques réside dans l'accès rapide à une information qui peut être obtenue sans avoir à parcourir celles qui précèdent, comme c'est le cas sur une bande magnétique. Il existe divers formats dont les plus populaires sont le *compact disc* (CD) et le *digital versatile disc* (DVD). On peut les regrouper en deux catégories (Tableau 87). La première comprend les supports éditoriaux destinés à être produits en grandes quantités, disques compacts audio (CD-A, CD-DA) ou CD-Rom (cédéroms), qui sont obtenus par moulage sur une matrice. La deuxième est composée de disques enregistrables sur lesquels l'utilisateur peut inscrire lui-même ses données. Ils connaissent un grand développement et sont souvent utilisés comme support de stockage et de conservation des fichiers numériques. Il en existe de deux sortes, les disques enregistrables sans possibilité de modifications ultérieures des enregistrements (CD-R, DVD-R) et ceux qui sont réinscriptibles (CD-RW).

La structure des disques optiques numériques

Un disque optique numérique est constitué généralement d'une galette de plastique transparente en polycarbonate dont l'une des faces est recouverte d'une surface réfléchissante. L'enregistrement numérique est créé par un changement de réflectivité de cette surface.

Le CD

Les disques pressés (CD-Rom ou CD-A) sont façonnés par moulage d'une matière plastique sur une matrice, le signal est inscrit sous forme de creux et de bosses : microcuvettes et méplats. La couche métallique réfléchissante appliquée sur la surface est en or, en aluminium ou en chrome-aluminium. L'enregistrement est formé d'une succession de creux et de plats sur une piste en forme de spirale. La lecture se fait à l'aide d'un faisceau laser parcourant la surface du disque en rotation. Chaque fois qu'il passe d'un creux à un plat ou d'un plat à un creux, le faisceau est dévié et le système attribue la valeur de 1 ; sinon, tout au long du creux ou du plat, le faisceau est renvoyé par la couche réfléchissante et la valeur du signal est de 0. Ces modifications dans la lumière réfléchie sont suivies par une cellule photoélectrique, puis converties en une succession de chiffres (bits) qui ont la valeur 0 ou 1 et qui forment le fichier numérique.

Tableau 87

Les familles de disques optiques.

<i>famille</i>	<i>diamètre</i>	<i>acronyme</i>	<i>nom</i>	<i>données stockées</i>
■ disques pressés	• 30 cm	LVD (vidéodisque)	laser video disc	analogiques : audio/vidéo
	• 12 cm	CD-DA CD-A	compact disc digital audio compact disc audio	numériques : audio
	• 12 cm	CD-Rom (cédérom)	compact disc read only memory	numériques : audio, images
	• 12 cm	DVD-Rom	digitale versatile disc read only memory	numériques : audio/vidéo
■ disques optiques inscriptibles	• 9-13 cm	Don-Worm	write once read many	numériques
	• 30-35 cm			
	• 12 cm	CD-Photo CD-R DVD-R	compact disc photo (Kodak) compact disc recordable digital versatile disc recordable	100 images numériques
■ disques optiques réinscriptibles	• 8 cm	CD-RW	compact disc rewritable	numériques
	• 12 cm	DVD-RW DVD+RW DVD-Ram	digital versatile disc rewritable digital versatile disc rewritable random access memory	

Ces disques sont habituellement vendus dans des boîtiers transparents en polystyrène. La société Digipress a développé le *Century disc* qui est en verre trempé avec une couche réfléchissante en nitrure de titane ou en or. Cela en fait un média très résistant mécaniquement et inaltérable chimiquement. Avec le même souci de longévité, le Laboratoire national de Los Alamos (États-Unis) a proposé un CD métallique, le *HD-Rosetta*, qui peut contenir 165 Go grâce à une gravure nanométrique réalisée par un faisceau de particules chargées et une lecture par faisceau laser particulièrement fin⁵²¹. Les CD-R font appel à diverses techniques et peuvent être lus avec des lecteurs standard CD. L'enregistrement est réalisé grâce à l'énergie dégagée par le rayon laser : la chaleur modifie la structure d'un composé thermosensible (colorant, polymère, alliage métallique), uniformément répandu à la surface du disque (Tableau 90). Ces altérations changent les propriétés réfléchissantes de la surface, et le même rayon laser, avec une énergie moindre, est utilisé pour la relecture. Ainsi, les CD-R vierges usuels sont constitués d'une galette de polycarbonate recouverte d'une fine couche d'un colorant organique bleu-vert de la famille des cyanines ou des phtalocyanines, puis d'une couche métallique d'or ou d'argent qui est protégée par un vernis. Le polycarbonate comporte un sillon moulé en forme de spirale le long

Illustration 127

Structure schématique d'un CD-Rom ou CD-A. (D'après un document Kodak)

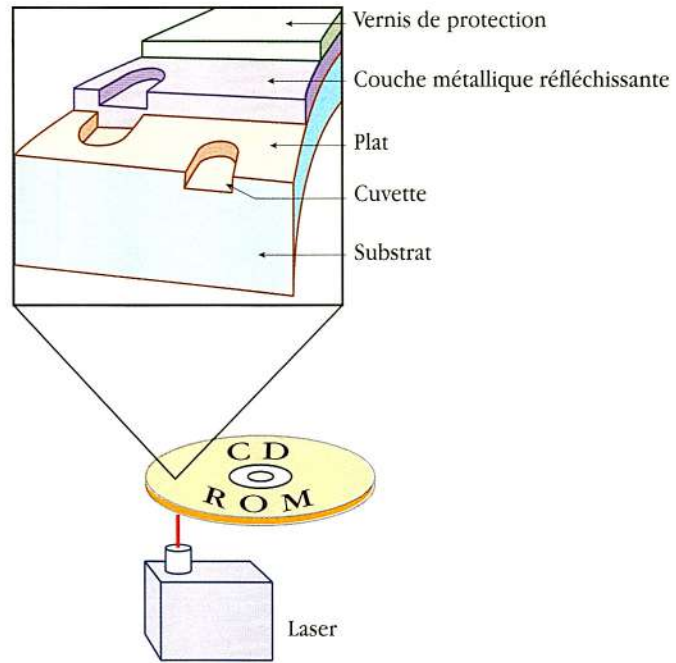


Illustration 128

Structure d'un CD-R.

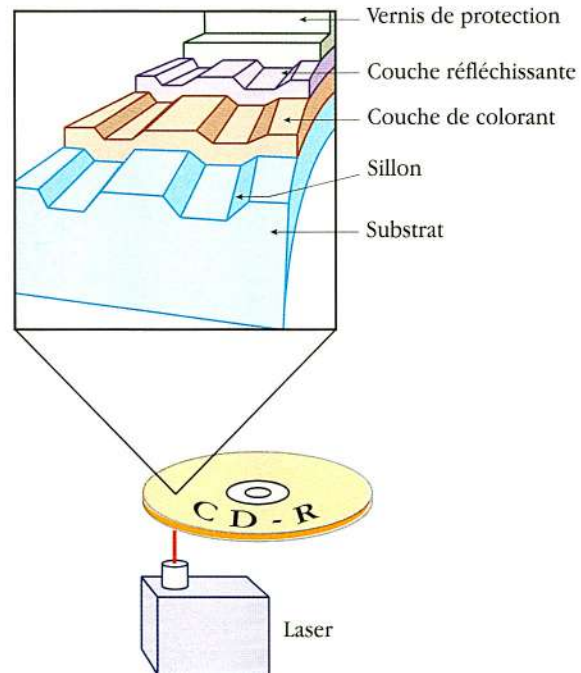
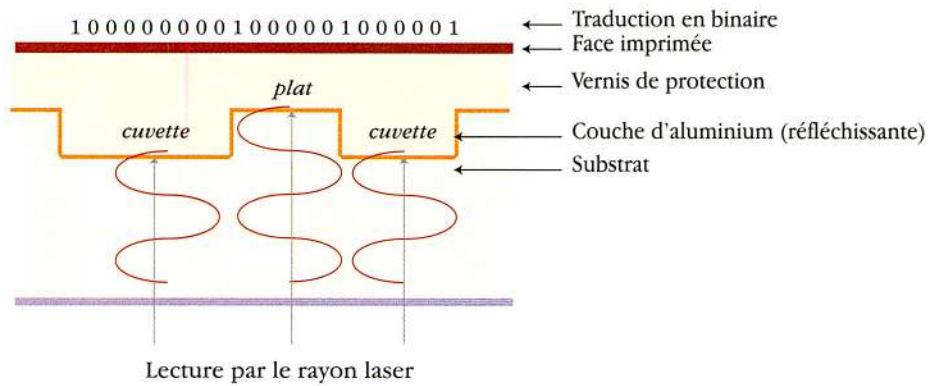


Illustration 129

Traduction des plats
et des cuvettes
en langage binaire
sur un CD ou un DVD.



Lecture par le rayon laser

duquel seront gravées les informations. Lors de l'enregistrement, le faisceau laser traverse la couche de polycarbonate, l'énergie lumineuse est absorbée par la couche de colorant et transformée en chaleur (250 °C). Cette élévation de température décompose le colorant et crée une micro-déformation du polymère (Illustration 130). Lors de la lecture, le faisceau laser parcourt le sillon et se réfléchit sur la couche métallique sauf aux endroits où des déformations ont été créées. On reconstitue ainsi le fichier numérique enregistré.

Les disques réinscriptibles sont principalement des disques magnéto-optiques (MO), qui font appel à une technique hybride : le signal est stocké magnétiquement mais l'enregistrement et la lecture sont optiques. La surface du disque est recouverte d'un film constitué d'alliages de métaux de transition qui ont la propriété, en s'orientant magnétiquement, de changer la polarisation de la lumière (effet Kerr). Les alliages utilisés présentent une forte coercivité et l'effet d'un champ magnétique, même puissant, ne suffit pas à modifier leur orientation ; il convient d'appliquer, sur une surface de quelques microns, la puissance du rayon laser qui élève la température au-dessus du point de Curie et permet au matériau de s'orienter suivant un champ magnétique. En se refroidissant, la structure se fige, et suivant l'orientation du champ, la lumière réfléchie est polarisée dans un sens ou dans l'autre. La lecture s'effectue avec le rayon laser, à moindre puissance. Une autre technique est basée sur le changement de phase. La chaleur (500 à 700 °C) apportée par le rayon laser fait fondre les cristaux d'un alliage d'argent, de tellure, d'indium ou d'antimoine, et le refroidissement rapide fige le composé dans un état amorphe dont le facteur de réflexion est moindre. Pour effacer les données, il suffit de réaliser un recuit à une température moindre (200 °C) à l'aide du faisceau laser pour restituer la structure cristalline (Illustration 131). Les CD magnéto-optiques ou à changement de phase réclament des lecteurs adaptés.

Le DVD

Le DVD, *digital versatile disc* parfois improprement nommé *digital video disc*, est un disque optique numérique introduit en 1996 et qui devrait, à terme, se substituer au CD. Sa taille est la même que celle d'un CD (12 cm de diamètre et 1,2 mm d'épaisseur) mais sa capacité de stockage est beaucoup plus importante : entre 7 et 26 fois celle d'un CD classique. Il devrait trouver des applications pour le son (DVD audio), pour la vidéo (DVD vidéo), comme support éditorial (DVD-Rom) et pour l'enregistrement et le

Illustration 130

Vue au microscope à force atomique de la surface d'un CD-R après enregistrement. On distingue le long des sillons les points d'impact du laser qui forment l'enregistrement.
(Photographie CRCDG-Veeco)

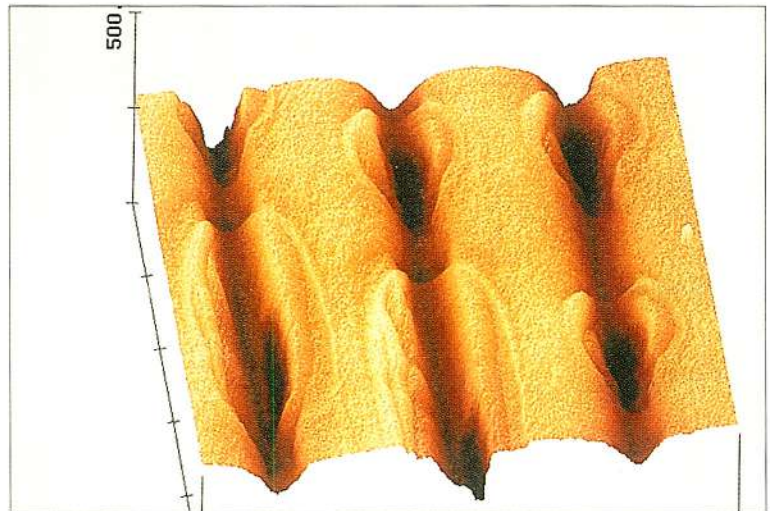


Illustration 131

Principe du changement de phase.

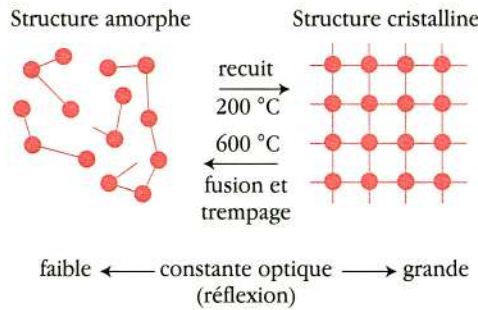


Tableau 88

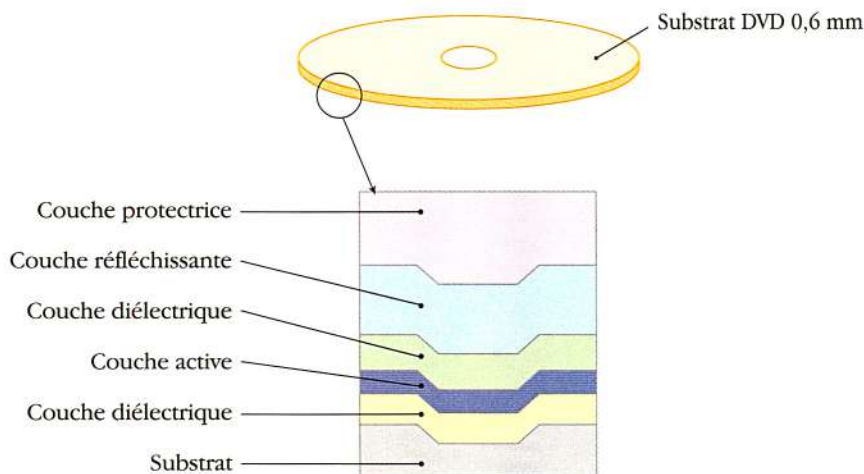
Capacité de quelques disques optiques disponibles à la fin du XX^e siècle.

type	diamètre	caractéristique	capacité
CD-Rom	12 cm	-	650 Mo
CD-R	12 cm	inscriptible	650 Mo
CD-RW	12 cm	réinscriptible	650 Mo
DVD-Rom	12 cm	simple couche simple face	4,7 Go
		double couche simple face	8,5 Go
		simple couche double face	9,4 Go
		double couche double face	17 Go
DVD-R	12 cm	inscriptible	4,7 Go
DVD-RW	12 cm	réinscriptible	4,7 Go
DVD + RW	12 cm	réinscriptible	3,0 puis 4,7 Go par face
DVD-Ram	12 cm	réinscriptible	2,6 puis 4,7 Go par face

stockage des données numériques (DVD-R, DVD-Ram, DVD-RW, etc.). Pour parvenir à cette haute densité d'information, il a été nécessaire de rapprocher et de réduire la taille des signaux (les pits) gravés sur le disque. Sur les DVD pressés, on a la possibilité de superposer deux couches d'information. Sur la première couche, la surface métallique est semi-transparente, ce qui permet en focalisant correctement le faisceau laser, de lire une seconde couche (DVD double couche) ; enfin, en collant dos à dos deux disques de 0,6 mm d'épaisseur (DVD double face), on double encore la capacité de stockage des informations. Les DVD-R ont une capacité de 4,7 Go. Le principe de l'enregistrement est identique à celui des CD-R. Pour les DVD réinscriptibles, l'enregistrement repose sur le principe du changement de phase d'un alliage (Ag-In-Sb-Te ou Te-Ge-Sb) identique à celle décrite pour les CD, mais plusieurs formats sont en concurrence et pour l'instant il n'y a pas de standard. Le DVD-RW est un disque utilisable sur des lecteurs de DVD-R ; toutefois, sa couche ne peut supporter plus de 1 000 cycles écriture/effacement/réécriture. Le DVD-Ram (*random access memory*) a été introduit en 1997 : il supporte 100 000 cycles écriture/effacement/réécriture, et l'accès aux informations est plus rapide. Le DVD+RW (*rewritable*) est un format, proposé par un groupe d'industriels, non compatible avec le DVD-Ram mais dont le lecteur pourrait également lire les DVD-Rom, les DVD vidéo et les CD.

Illustration 132

Structure schématique d'un DVD-RW à changement de phase.



Système Al-In-Sb-Te	
Al-alloy	150 nm
ZnS-SiO ₂	40 nm
Ag-In-Sb-Te	30 nm
ZnS-SiO ₂	130 nm
Total	350 nm

Système Te-Ge-Sb	
Al-alloy	150 nm
ZnS-SiO ₂	50 nm
Couche interface	10 nm
Te-Ge-Sb	20 nm
Couche interface	10 nm
ZnS-SiO ₂	150 nm
Total	390 nm

Les dégradations physiques des CD

La plupart des CD commerciaux (CD-Rom, CD-R) sont sur support en polycarbonate moulé à haute température et refroidi rapidement, ce qui crée des tensions internes. En cas d'élévation de la température, elles induisent une déformation qui rend le disque illisible³²². Les cycles de variations en température et en humidité peuvent provoquer les mêmes effets, ainsi que l'apparition de craquelures et le décollement des couches, dus aux différences de coefficient de dilatation des divers constituants ou au manque d'adhérence des couches entre elles. Les rayures peuvent gêner la lecture, en particulier si elles suivent la circonférence du disque. Aucune étude sur la stabilité des DVD n'a encore été publiée. La structure plus complexe, par assemblage de deux galettes de PMMA, amène à s'interroger sur leur comportement dans le temps.

Illustration 133

Points d'oxydation sur la couche réfléchissante en argent d'un CD-R.

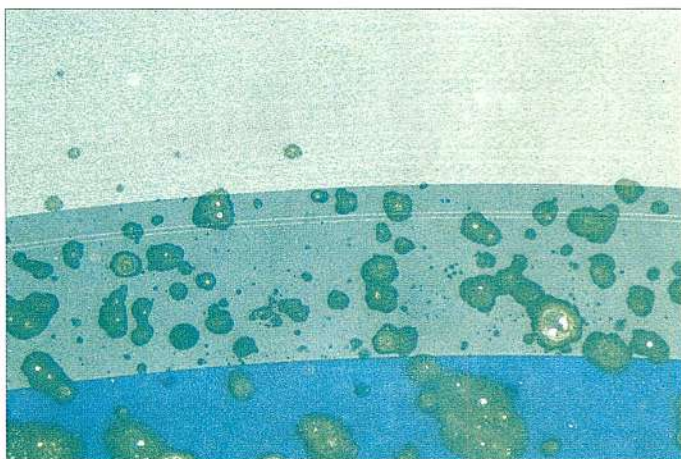
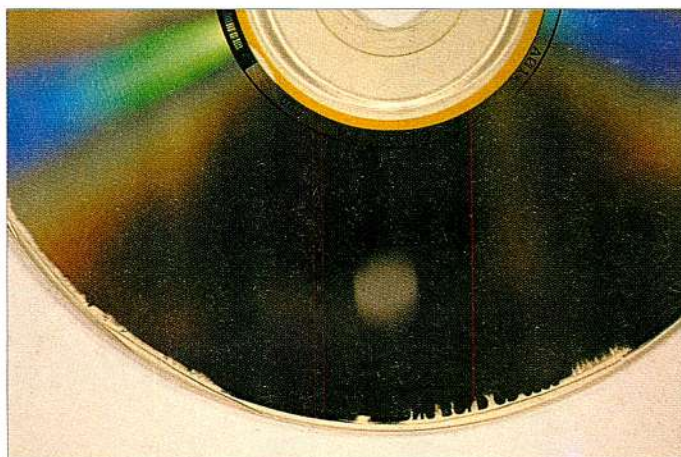


Illustration 134

Les polluants atmosphériques peuvent corroder la couche d'aluminium, comme c'est le cas sur ce CD-A.



Les dégradations chimiques des CD

La stabilité chimique du support en polymère (polycarbonate ou polyméthacrylate de méthyle) ne semble pas menacée lorsqu'il est conservé dans l'obscurité. Les problèmes résident dans la couche réfléchissante et les vernis qui y sont apposés. Il est en effet consternant de constater que les premiers CD-A, commercialisés en 1985, étaient vernis avec une laque à base de nitrate de cellulose, polymère peu stable dont on connaît les problèmes dans les archives photographiques et cinématographiques ! Et on ne sait pas ce que les autres vernis nous réservent.

Des impuretés résiduelles à la fabrication, présentes sur la surface réfléchissante, provoquent à la longue des défauts de surface. Il est arrivé également que les encres appliquées comme label sur les CD-A migrent et corrodent la couche métallique³²³. Le support en polycarbonate absorbe l'humidité qui se diffuse vers la couche métallique en aluminium et crée une oxydation ; les polluants atmosphériques, oxydes d'azote et dioxyde de soufre, attaquent le métal et rendent transparente cette couche. Les couches d'argent se ternissent en présence de sulfure, cette corrosion risquant de compromettre la relecture des informations. Pour prévenir ces dégradations, des alliages spécifiques, des couches de protection ou des techniques de passivation ont été appliquées. Si elles réussissent à retarder ces phénomènes, elles ne

permettent pas de les éviter. Seuls les CD-R comportant une couche en or sont à l'abri de ce type d'altération. On détermine l'espérance de vie des CD en appliquant des méthodes normalisées (voir p. 55). Selon les disques optiques considérés, les estimations vont de cinq ans à plus de cent ans³²⁴. Les performances annoncées par les fabricants sont parfois supérieures : soit 217 ans à 25 °C et 40 % HR pour le *Kodak Writable CD* (enregistrés sur un *Kodak PCD Writer 200*³²⁵). Ces évaluations concernent la stabilité thermique. La stabilité photochimique a fait l'objet de quelques tests et l'on sait par exemple que les CD-R fabriqués avec des cyanines sont très sensibles à la lumière.

La conservation des CD

On estime que les disques optiques numériques ont une espérance de vie supérieure à celle des supports magnétiques. Du point de vue de l'utilisation, ils présentent un avantage important : la lecture par un rayon laser élimine tout contact mécanique et les risques d'abrasion qui y sont liés. Cependant, les types de disques optiques sont trop diversifiés et récents pour que l'on soit bien renseigné sur leur stabilité. Il existe aujourd'hui diverses qualités de CD qui ont certainement des performances différentes. Comme pour tous les objets, leur comportement dans le temps dépendra des matériaux utilisés et de leur mise en forme. Seule la mise en œuvre de vieillissements artificiels, aujourd'hui normalisés, nous donne une idée approximative de leur pérennité, avec toutes les incertitudes qui accompagnent ces tests.

La norme ISO 16111 et le projet AFNOR NF 42011-2 définissent les conditions de stockage des disques optiques numériques. Il faut éviter les excès de température et d'humidité et maintenir des conditions thermohygro-métriques stables. Comme pour les matériaux traditionnels, en conservant ces disques dans un environnement frais et sec, on ralentit les mécanismes d'altération. Il est conseillé d'acclimater progressivement les disques lorsqu'ils doivent être transférés dans des environnements très différents. Ainsi, les gradients de température et d'humidité doivent être limités, et il faut éviter une condensation de la vapeur d'eau à la surface du disque quand il est

Tableau 89

Conditions thermohygro-métriques préconisées pour l'archivage des CD³²⁶.

	<i>support en polymère</i>	<i>support en verre</i>
température	5 °C à 20 °C variations limitées à ± 1 °C sur 24 heures, ± 3 °C sur 1 an	- 5 °C à 50 °C
humidité relative	30 à 50 % variations limitées à ± 5 % HR sur 24 heures	5 à 95 %
gradient de température	4 °C par heure au maximum	15 °C par heure au maximum
gradient d'humidité relative	10 % HR par heure au maximum	10 % HR par heure au maximum

Tableau 90

Les disques optiques numériques
inscriptibles³²⁷.

<i>type de DON</i>	<i>principe de l'enregistrement</i>	<i>durée de vie estimée par le fabricant</i>	<i>fabricants</i>
couche de tellure	ablation d'un film de tellure par le rayon laser	10-40 ans	Fujitsu, Hitachi, Mitsubishi, Toshiba, Laser Magnetic Storage Int.
polymère coloré	déformation d'un polymère thermosensible par le rayon laser	100 ans	Eastman Kodak, Pioneer, Ricoh, Mitsui
double alliage	fusion par le rayon laser de deux alliages pour en former un nouveau à base de sélénium, tellure, antimoine et bismuth	100 ans	Sony
changement de phase	changement de phase (amorphe/cristallin) d'un alliage par le rayon laser	15-30 ans	Matsushita, Eastman Kodak, Hitachi, Pioneer
bulles thermiques	formation par le rayon laser de bulles dans une couche de collodion	50 ans	New ATG Gigadisc
magnéto-optique	Changement de polarisation d'un alliage par effet Kerr	10-30 ans	Canon, Hewlett-Packard, Hitachi, IBM, LMSI, Matshushita, Maxoptix, Mitsubishi, Pioneer, Ricoh, Sharp, Sony, Toshiba

Tableau 91

Recommandations pour la conservation
des CD³²⁸.

- protéger le CD des rayures, des abrasions, de la poussière et des polluants ;
- protéger le CD de la lumière et le placer dans des conditions thermohygro-métriques stables ;
- ne pas toucher la surface du CD, utiliser des gants (le tenir par les bords) ;
- ne pas appliquer de solvants ;
- ne pas écrire sur la surface au stylo bille ou au crayon, ne pas coller d'étiquettes ;
- ne pas enlever les étiquettes autocollantes présentes sur la surface.

Tableau 92

Nombre de pages A4 contenues sur un DON de 600 Mo.

<i>résolution/compression</i>	<i>8 pts/mm</i>	<i>12 pts/mm</i>	<i>16 pts/mm</i>
CCITT* groupe III taux de compression 10:1	12 020	5 340	3 005
CCITT* groupe IV taux de compression 15:1	18 040	8 020	4 510

* Aujourd'hui UIT.

Tableau 93

Performance de différents médias.

<i>critère</i>	<i>papier</i>	<i>microfilm (16 mm x 30 m)</i>	<i>CD (600 Mo)</i>
capacité de stockage* (nombre de feuilles A4)	1	2 500	12 020
taux de réduction du volume d'archives*	0	99,9950 %	99,9988 %
vitesse d'accès à l'information*	-	1 mn.30 à 2 mn [par RAO]**	moins d'une minute
espérance de vie du support	plus de 100 ans	plus de 100 ans	plus de 10 ans
permanence de l'accès à l'information	pas limitée	pas limitée	inconnue : obsolescence des interfaces de lecture

* D'après W. Saffady, *Optical Disks vs. Micrographics*, Westport, London, Melbourne : Meckler, 1993. ISBN 0-88736-904-9

** RAO : Recherche assistée par ordinateur.

Tableau 94

Avantages et inconvénients des disques optiques numériques par rapport aux microformes.

<i>avantage</i>	<i>inconvénient</i>
<ul style="list-style-type: none"> • grande capacité de stockage • accès rapide à l'information • documents couleurs ou noir et blanc, au trait ou demi-teinte • possibilité d'améliorer la lisibilité d'un document • peut être lu indéfiniment sans dommage • reconnaissance optique des caractères envisageable et traitement du texte • image visualisée rapidement sans traitement chimique (développement) • transmission à distance • recopie rapide pratiquement sans perte 	<ul style="list-style-type: none"> • pas de recul en matière de conservation • illisible à l'œil • pas de compatibilité entre tous les disques optiques ou bandes • risques d'obsolescence : format, support, logiciel et ordinateur • stabilité incertaine du support (DON ou bandes)

réchauffé ou refroidi. On estime qu'une douzaine d'heures est suffisante pour la remise en condition.

La qualité de l'air est celle qui est recommandée pour les collections photographiques. Les poussières constituant une source importante d'abrasion, il est important de tenir les locaux propres en éliminant les particules en suspension (supérieures à 0,3 micron) et de ne pas toucher la surface du disque lorsqu'elle est accessible. L'usage de gants qui ne peluchent pas est conseillé pour les manipulations de disques optiques numériques. Si l'on doit éliminer des salissures à la surface du disque, on applique un jet d'air ou d'azote, sinon on utilise un pinceau doux ou un chiffon humidifié en le passant délicatement dans le sens radial, du centre vers les bords du disque. L'usage de solvants organiques est déconseillé. La protection contre la lumière est requise pour la plupart des disques, les rayonnements visibles et ultraviolets pouvant dégrader des constituants organiques comme les colorants, les vernis ou le polycarbonate. Les disques magnéto-optiques, moins sensibles que les bandes magnétiques, doivent être préservés d'un champ magnétique supérieur à 600 œrsteds. Les enveloppes doivent donc être opaques et protéger le disque des chocs et des poussières. Les boîtiers en polystyrène dans lesquels les disques sont commercialisés sont acceptables pour une conservation de longue durée tout comme le polypropylène et le polycarbonate. Les pochettes en papier, en carton, en PVC, ou en polymères plastifiés, ne sont pas recommandées parce que ces matériaux peuvent libérer des particules ou des émanations nocives. Il convient d'être très réservé sur l'application d'étiquettes autocollantes qui peuvent poser des problèmes à long terme et modifier l'équilibrage du disque lors de la lecture. Toutefois, si le disque en comporte, on ne cherchera pas à les arracher car on peut endommager la couche métallique. Les encres, les solvants ou la chaleur risquant d'endommager le disque, il est conseillé de s'informer auprès des fabricants si l'on veut écrire à sa surface à l'aide d'un stylo-feutre ou d'un procédé thermique. Les disques optiques sont rangés verticalement. Au moins tous les cinq ans, il convient d'inspecter la collection en contrôlant l'aspect physique et la lisibilité des disques. On procède au transfert sur de nouveaux médias en cas d'altération ou lorsque le système est obsolète.

LA MICROGRAPHIE ET LE NUMÉRIQUE

Avec le développement des mémoires optiques, on met souvent en concurrence le microfilmage avec le stockage des informations sur disque optique numérique. Si beaucoup se défendent de vouloir abandonner la microforme comme support de sécurité en vue de la conservation, la tentation est grande, faute de moyens, de vouloir privilégier une technique d'avenir aux dépens du microfilmage qui apparaît quelque peu désuet et moins séduisant dans ses perspectives. Les possibilités offertes par la numérisation sont inconcevables avec les supports traditionnels : l'information est accessible et transmissible rapidement, on peut la traiter (annoter, sélectionner des parties de texte, appliquer des logiciels de reconnaissance de caractères), l'améliorer (augmenter la lisibilité), la trier, la reproduire et la transférer avec un faible taux d'erreur, consulter des documents en couleurs, en demi-teinte, etc. Des travaux préliminaires réalisés par les Archives américaines ont montré qu'il n'y a pas d'alternative pour assurer une reproduction de qualité de documents dont l'écriture est très affaiblie : les microfilms ne donnent que des images plates et de moindre résolution. Le document est numérisé avec une résolution de 8 pts/mm, il est indexé et la qualité de

l'image est contrôlée à l'écran. En cas d'insuffisance, la numérisation est reprise avec une plus haute résolution (16 pts/mm) et complétée par un traitement numérique de l'image pour en améliorer la lisibilité. Les données sont ensuite transférées d'un support magnétique provisoire sur des DON-WORM³²⁹. Soyons clairs, le microfilmage comme source d'accès à l'information est largement dépassé par le numérique, mais le microfilmage comme moyen de préservation (en cas de destruction de l'original) est bien plus fiable que le numérique. Il ne faut pas que les innombrables possibilités du numérique masquent son défaut majeur : le manque de pérennité. Il est certain qu'aujourd'hui une institution ne pourra assurer que les coûts de maintenance des archives numériques qui sont utilisées et que, dans ces conditions, il est prudent de posséder des copies analogiques de sécurité comme les microformes. Les techniques de micrographie sont aujourd'hui normalisées, le matériel ne devrait pas subir d'évolution majeure, la mise en œuvre et les coûts sont faciles à évaluer, de surcroît le microfilm a une valeur probante que n'a pas le numérique. De nombreux documents numériques sont d'ailleurs créés à partir des microformes, et cette opération peut s'automatiser et être ainsi réalisée à faible coût. Il faut encore, pendant quelques années, assurer la coexistence d'une technique éprouvée comme la micrographie avec des technologies nouvelles en pleine genèse. Chacun s'accorde à reconnaître leur complémentarité³³⁰, les disques optiques numériques permettant la gestion des documents et la microforme assurant leur pérennité. Ainsi, il sera souhaitable, lorsque les microformes n'existent pas, d'en générer à partir des fichiers en utilisant une sortie appropriée (type COM) ; certaines sociétés commercialisent des scanners-caméras qui effectuent ces deux opérations simultanément.

Sans doute faudra-t-il un jour résolument opter pour le tout numérique, mais ce choix implique, au-delà des garanties technologiques une évolution culturelle pour accepter une « dématérialisation », de l'information au risque de remettre en question quelques dogmes de l'archivistique. Enfin, pas plus la microforme que l'image numérisée ne permettront un accès rapide au document si celui-ci n'est pas correctement indexé ; le passage obligé de la numérisation ou du microfilmage reste le travail de préparation et d'organisation des documents : classement, catalogage, et éventuellement remise à plat et traitements de conservation, opérations qui réclament du temps et des compétences et dont rien ne laisse encore supposer qu'à l'avenir on puisse les réduire.

**Les informations
techniques et pratiques**

Le traitement des photographies pour un archivage de longue durée

LA PHOTOGRAPHIE EN NOIR ET BLANC

L'exposition à la lumière d'une émulsion photographique se traduit par la formation de noyaux constitués d'au moins 4 à 10 atomes d'argent métallique dans les cristaux d'halogénure. Ce dépôt compose l'image latente et demeure invisible car sa taille est trop faible pour être perçue par l'œil. Le rôle du révélateur est d'amplifier cette image latente, dont la masse initiale croît dans un rapport qui peut atteindre plusieurs milliards : les cristaux porteurs d'images latentes sont transformés en argent métallique. En fin de traitement, dans le fixateur, les cristaux d'halogénure d'argent restants sont dissous et éliminés. Le lavage final permet de débarrasser la couche sensible des produits résiduels de traitement qui ont pu s'y accumuler.

Le traitement des photographies en noir et blanc destinées à un archivage de longue durée ne nécessite pas d'opérations complexes et coûteuses. Depuis le milieu du XIX^e siècle, on sait que les bains de fixage, de lavage et de virage, s'ils sont correctement appliqués, contribuent à assurer une bonne stabilité aux épreuves. Il n'y pas de formules miracles : seuls un travail soigné et le suivi minutieux des différentes phases du traitement peuvent garantir la qualité du résultat.

La propreté est la condition *sine qua non* pour obtenir des documents stables. Le laboratoire, les cuvettes, les laveuses, les buvards, la glaceuse, les

Illustration 135

Tache accidentelle sur un négatif
sur plaque de verre.



serviettes et les éponges doivent être régulièrement nettoyés ou remplacés. Les mains, lorsqu'elles ont été en contact avec les solutions de traitement, peuvent contaminer les images lors des manipulations : il faudra donc s'efforcer de limiter à un strict minimum les contacts directs avec les produits.

Le révélateur

Le développement, qui transforme en argent métallique les cristaux d'halogénure d'argent exposés à la lumière, exerce une influence déterminante sur la structure finale de l'image : granulation, contraste, forme et taille des amas de filaments dépendent, en partie, de la formulation du révélateur et de ses conditions d'emploi. Néanmoins, aucune relation réellement significative n'a été établie entre l'apparition d'une altération du dépôt argentique et l'application d'un type particulier de révélateur, même si certaines images sont potentiellement moins fragiles que d'autres, parce que les amas de filaments qui les constituent ont une taille plus importante.

Signalons que le pH élevé des bains de révélateur (pH : 9 à 11) provoque un gonflement qui fragilise la couche de gélatine.

Le bain d'arrêt

Le bain d'arrêt (formule 1, voir p. 259) neutralise le révélateur absorbé par la couche image en abaissant le pH. Comme il permet d'exercer un contrôle strict du temps de développement, son emploi est particulièrement recommandé avec des révélateurs très énergiques qui induisent des temps de traitement relativement courts. Le bain d'arrêt prévient également la formation du voile dichroïque, dépôt mordoré qui se produit à la surface des épreuves lorsque le développement se poursuit dans le bain de fixage³³¹.

Du point de vue de la permanence des images photographiques, l'intérêt essentiel du bain d'arrêt est d'assurer le bon déroulement du fixage, son omission pouvant réduire de moitié la durée de vie d'un fixateur. Le pH des bains d'arrêt est généralement compris entre 5 et 5,5 ; un pH trop acide peut entraîner une dégradation irréversible des caractéristiques physiques de la couche de gélatine. L'acide acétique est utilisé pour préparer les bains d'arrêt car il est compatible avec les constituants du fixateur. Pour des raisons évidentes de sécurité, on préfère utiliser l'acide acétique à 28 % plutôt que sa forme concentrée, appelée également acide acétique glacial. L'addition de sulfate de sodium (environ 5 %) limite le gonflement de la gélatine.

Le temps d'immersion de la photographie dans un bain d'arrêt est de quelques dizaines de secondes. Après des utilisations répétées, le bain d'arrêt perd progressivement son activité ; il convient donc de le contrôler régulièrement, à l'aide d'un papier imprégné de quelques gouttes d'une solution alcoolique de vert de bromocrésol à 0,5 %, puis trempé dans le bain, ou d'un papier indicateur coloré que l'on trouve dans le commerce.

Tableau 95

Colorations de l'indicateur au vert de bromocrésol.

pH < 4	jaune
4,5 < pH < 5	vert
pH > 5	bleu

Le fixage

Le fixateur (formule 2, voir p. 259) solubilise les sels sensibles résiduels encore présents dans la couche photographique. Un fixage inefficace produit une image instable qui a tendance à se voiler quand on l'expose à la lumière. Les halogénures sont éliminés avec une solution de thiosulfate (anciennement appelé hyposulfite) de sodium ou d'ammonium ; ce dernier agit quatre fois plus vite que le précédent et entre dans la composition des fixateurs « rapides » du type Ilfospeed et Hypam (Ilford) ou Kodak Rapid Fixer (Kodak).

Un bain de fixage contient généralement un acide destiné à neutraliser les traces de révélateur, un antioxydant (sulfite ou bisulfite de sodium) qui prévient le risque de décomposition du thiosulfate en milieu acide, et parfois un agent tannant (alun de potassium) pour durcir la couche de gélatine (bien que l'utilisation d'un bain tannant ne soit pas recommandée).

Le pH du fixateur

Il est conseillé de fixer en milieu acide pour éviter la formation éventuelle d'un voile dichroïque. Le pH de la solution de fixateur doit être réglé avec précision en respectant les prescriptions de la formulation. Un pH trop acide (inférieur à 4) peut entraîner une décomposition du thiosulfate ou de l'agent tannant, alors qu'un pH trop élevé (supérieur à 5,5) inhibera le tannage de la gélatine. Le pH du bain de fixage influe sur l'efficacité du lavage. Les protéines qui forment la gélatine possèdent des fonctions acides (carboxyliques) et basiques (amines) ; selon le niveau d'acidité du fixateur, certains de ces groupements vont s'ioniser pour former soit des anions soit des cations. Il existe cependant une valeur de pH, habituellement située vers 4,9 et appelée point isoélectrique, pour laquelle les charges positives et négatives se neutralisent. Si le fixateur présente un pH inférieur à 4,9, il favorise la formation sur la gélatine d'ions ammonium chargés positivement. Les ions thiosulfate, chargés négativement, sont alors soumis à leur attraction électrostatique et cette interaction ralentit leur élimination au cours du lavage. La stabilisation du pH des bains de fixateur passe par l'utilisation de tampons (association d'un acide faible ou d'une base faible avec un sel qui possède la propriété de limiter les variations de pH d'une solution, par exemple acide acétique et acétate de sodium).

Temps de fixage

L'agitation, la température et la concentration influencent la vitesse du fixage. On sait qu'un fixage écourté produit des images dont les parties claires auront tendance à jaunir avec le temps. Dans la réalité, les photographes pèchent souvent plus par excès que par défaut et laissent séjourner trop longtemps les photographies dans le bain de fixateur. Lorsqu'il s'agit d'épreuves sur papier, les sels de fixateur pénètrent profondément

Tableau 96

Concentration en thiosulfate résiduel dans une épreuve, selon le temps de fixage³³², après la même séquence de lavage.

<i>temps de fixage</i>	<i>thiosulfate présent dans l'image (g/m²)</i>
30 secondes	0,001 4
1 minute	0,001 6
2 minutes	0,006
3 minutes	0,01

Tableau 97

Séquences de traitement pour l'archivage des épreuves sur papier baryté (Ilford).

étape	traitement	temps
développement	révélateur Ilfobrom (1 + 9)	1-2 minutes
bain d'arrêt	bain d'arrêt IN1	5-10 secondes
fixage	Hypam (1 + 4)	1 minute
lavage	lavage à l'eau courante	5 minutes
auxiliaire de lavage	auxiliaire de lavage Ilford Galerie Wash Aid (1 + 4)	10 minutes
lavage	lavage à l'eau courante	5 minutes

Tableau 98

Séquences de traitement recommandées pour des films et des épreuves (Kodak).

étape	temps
fixateur	temps prescrit par la notice
lavage	30 secondes
auxiliaire de lavage (hypo clearing agent)	1 à 2 minutes
lavage final	10 minutes (film) 20 minutes (papier)

Tableau 99

Traitements recommandés pour des épreuves destinées à l'archivage.

étape	temps
bain d'arrêt	30 secondes
premier fixateur	3 à 5 minutes
deuxième fixateur	3 à 5 minutes
lavage	5 à 10 minutes
auxiliaire de lavage	5 à 10 minutes
lavage	5 à 10 minutes
virage au sélénium	3 à 15 minutes
lavage	20 minutes
séchage	

dans les fibres et sont adsorbés par la gélatine : il sera ensuite très difficile de les éliminer ; par ailleurs, le thiosulfate d'ammonium peut avoir une action dissolvante sur l'argent et induire un affaiblissement de l'image. Ce phénomène concerne, en particulier, les émulsions à grain fin et les épreuves à tons chauds que la finesse du dépôt d'argent rend plus sensibles à la corrosion. Le temps de fixage est déterminé assez simplement avec les émulsions négatives : il suffit de multiplier par deux la durée du temps de clarification (temps au bout duquel une émulsion négative plongée dans le fixateur abandonne son aspect laiteux). Pour déterminer le temps de fixage des tirages, les méthodes sont plus empiriques. À titre d'exemple, avec un fixateur neuf

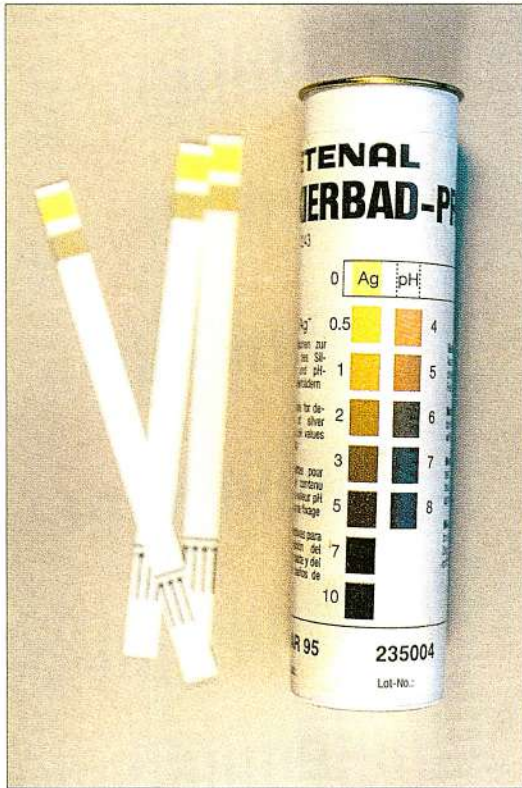
au thiosulfate d'ammonium, le temps de fixage, à 20 °C, d'un tirage est d'une minute (avec une agitation continue) ; avec un fixateur conventionnel au thiosulfate de sodium, la durée moyenne de traitement sera de 7 à 8 minutes. Pour les produits manufacturés, les fabricants indiquent, dans leur documentation, les temps de traitement adaptés à leurs surfaces sensibles.

Limite d'utilisation

Le thiosulfate «capture» les halogénures d'argent en formant des sels argentithiosulfates. Plus le fixateur est usagé, plus ces complexes se chargent en argent et deviennent insolubles ; il est alors impossible, même avec un lavage prolongé, de les extraire de la couche image. Au cours du temps, ces sels sont susceptibles de se décomposer en acide sulfurique et en sulfure d'argent ; les parties claires de la photographie jauniront avec l'apparition de sulfure d'argent, tandis que les demi-teintes seront attaquées par l'acide sulfurique. Pour prévenir ces accidents, il faut travailler avec des bains neufs ou régulièrement contrôlés. On peut aussi recourir à une technique ancienne, le double fixage, bien connu des photographes : le phototype est trempé dans un bain de fixateur moyennement usagé puis dans un bain neuf. Mais ce traitement est délicat à mettre en œuvre : il occasionne des manipulations de solutions, et demande à être vigilant sur l'état des

Illustration 136

Bandelettes commercialisées pour le dosage des composés argentiques résiduels dans les bains de fixateur (Téténal).



bains ; enfin, la photographie séjourne plus longtemps dans les solutions, ce qui peut faciliter l'adsorption des produits chimiques dans le support, notamment dans le cas des tirages sur papier baryté.

Contrôle de l'épuisement du bain de fixage

On peut s'astreindre à changer la solution chaque fois qu'une surface donnée de couche sensible a été traitée. Il n'est toutefois pas possible d'estimer exactement, en mètres carrés de surface traitée, la capacité d'un bain de fixage, elle varie avec la densité d'argent présente sur les photographies : une image très sombre épuise moins le fixateur qu'une image très claire, des épreuves margées sollicitent plus le bain. La norme indiquant les taux maximaux admissibles pour les épreuves sur papier est en cours de révision. G. Haist conseille de ne pas dépasser 0,05 gramme d'argent par litre de fixateur au thiosulfate de sodium. Cette limite, très sévère, permet à peine de fixer trois épreuves 13 x 18 cm par litre³³³. On peut raisonnablement envisager de porter cette quantité à 0,5 g/l sans grand risque pour la permanence des œuvres. La société Téténal autorise même des valeurs allant jusqu'à 5 g/l (Tableau 100).

Pour les films, la norme ISO 10602 indique les valeurs limites suivantes :

0,5 % (5 g/l) d'argent pour un fixateur film au thiosulfate de sodium ;

0,8 % (8 g/l) d'argent pour un fixateur film au thiosulfate d'ammonium.

La société Téténal commercialise des bandelettes tests dont on trempe l'extrémité dans le fixateur et dont la coloration change en fonction de l'usure du bain. On peut ainsi déterminer à tout moment la teneur en argent mais également l'acidité du bain, qui est signalée par un indicateur coloré.

D'autres méthodes ont été publiées pour déterminer l'état d'un bain, ou estimer sa capacité, notamment le test Kodak FT1 (formule 3, voir p. 259).

Une technique de contrôle, parfois décrite, consiste à se débarrasser du bain lorsque le temps de clarification d'une émulsion a plus que doublé par rapport au temps mesuré avec un bain neuf. Cette méthode s'avère peu fiable avec les bains au thiosulfate d'ammonium.

Tableau 100

Concentrations maximales d'argent dans le fixateur recommandées par la société Téténal.

<i>type d'image</i>	<i>fixage au thiosulfate de sodium</i>	<i>fixage au thiosulfate d'ammonium</i>
épreuve en noir et blanc	3 g/litre	5 g/litre
négatif en noir et blanc	5 g/litre	8 g/litre
procédés couleurs	5 g/litre	5 g/litre

Le contrôle du fixage : dosage qualitatif des sels d'argent résiduels

Afin de s'assurer que l'image est bien fixée, c'est-à-dire que tous les sels d'argent sont éliminés, on pratique un test qui est destructif, d'où la nécessité de laisser des marges un peu plus grandes que les marges définitives. Un fragment de quelques centimètres carrés est découpé sur le bord de la marge pour y déposer une goutte d'une solution de sulfure de sodium à 0,2 %. On évalue alors visuellement le jaunissement qui est proportionnel à la quantité de sels d'argent résiduels. L'absence de toute trace visible à l'œil indique un fixage correct. La norme ISO 10602 décrit ce test pour les films. Kodak propose une méthode similaire (formule 4, voir p. 260).

Le lavage

Les traces de fixateur doivent être éliminées par lavage, pour éviter les risques de décomposition ultérieure et donc d'altération de la photographie : un taux de thiosulfate résiduel trop élevé entraîne, à la longue, une sulfuration de l'image argentique.

Le lavage ne sera accompli de façon satisfaisante que si le fixage a été bien fait. L'agitation, le renouvellement, la dureté et la température de l'eau sont des facteurs déterminants pour la bonne conduite du lavage. L'eau doit être agitée et renouvelée régulièrement. La durée du lavage varie selon les types de supports et les traitements. L'imperméabilité du support des papiers PE (RC) autorise des durées de lavage extrêmement courtes, de l'ordre de quelques minutes. Il peut être dangereux de prolonger inutilement ce traitement en raison des risques d'exfoliation inhérents à ces supports. Les épreuves tirées sur papier baryté doivent subir un cycle de lavage plus long, car les fibres de cellulose sont imprégnées des solutions de traitement. Une eau trop froide (inférieure à 15 °C) fait perdre au lavage une grande partie de son efficacité ; on conseille de se placer entre 15 et 25 °C en limitant à 3 °C l'écart avec la température du révélateur³³⁴. Le lavage avec de l'eau distillée ou désionisée est beaucoup moins efficace qu'avec une eau minéralisée ; la dernière eau de rinçage doit cependant être assez douce pour prévenir les risques de dépôt après séchage.

G. Eaton³³⁵ a montré que cinq minutes de lavage dans de l'eau de mer étaient suffisantes car, dans cette situation, la gélatine a tendance à se déshydrater au lieu de gonfler. Cette constatation a été mise à profit pour commercialiser des « auxiliaires de lavage », aussi appelés bains de clarification, qui permettent de réduire sensiblement la durée de l'opération. Il s'agit généralement de solutions salines qui sont employées pendant quelques minutes en début de lavage. Le chlorure de sodium présent dans l'eau de mer et qui pourrait se combiner à l'image argentique, est avantageusement remplacé par du sulfate³³⁶ ou du sulfite de sodium (solution de 1 à 2 %). Les ions sulfite ou sulfate qui vont prendre la place des ions thiosulfate présents dans la photographie s'élimineront plus rapidement au cours du lavage. L'autonomie de ces bains est d'une cinquantaine de tirages 18 × 24 cm par litre.

Le lavage des films

Le lavage de films développés dans des cuves cylindriques à spires s'effectue de façon efficace en connectant une arrivée d'eau à l'entrée de la cuve par le biais d'un raccord « laveur-injecteur ». Les plans-films peuvent être lavés en changeant régulièrement l'eau de la cuve ou en utilisant une laveuse verticale pour épreuves sur papier.

Illustration 137

Vue sous éclairage UV du dos d'une photographie. Les traces fluorescentes (claires) montrent que pendant le traitement les épreuves ont été au contact les unes des autres, ce qui a permis le transfert d'azurants optiques de la couche de sulfate de baryum vers le dos des tirages voisins, sauf dans les parties sombres.



Le lavage des épreuves sur papier

Que ce soit au cours du fixage ou du lavage, les épreuves ne doivent jamais être en contact les unes avec les autres. On a en effet observé, sur des papiers barytés, la migration d'une partie des azurants optiques de la couche de sulfate de baryum d'une épreuve vers le verso d'une autre épreuve qui était à son contact. Les traces jaunes qui en ont résulté n'étaient pas des taches, mais des zones où il n'y avait pas eu de transfert d'azurant³³⁷ (Illustration 137).

Pour éviter ces phénomènes et améliorer l'efficacité du lavage, on peut utiliser des laveuses verticales (type Maco, Nova, Gravity ou Zone VI) dont certaines sont équipées d'un dispositif de bullage d'air. Les épreuves sont placées individuellement dans des compartiments, l'eau est introduite sous pression dans la partie inférieure de la cuve à l'aide d'un injecteur qui crée une aspiration d'air ; il se produit dans les compartiments de lavage une légère turbulence qui assure l'agitation des épreuves.

Si on ne dispose pas de laveuse, on peut parvenir à un lavage efficace en employant une méthode plus conventionnelle. Les épreuves sont placées, image vers le haut, dans des cuvettes de dimensions suffisantes (compter une taille de plus par rapport au format des épreuves, par exemple une cuvette de 30 × 40 cm pour des tirages de 24 × 30 cm). On procède à plusieurs (de six à douze) cycles de lavage de cinq minutes chacun en prenant soin d'agiter les tirages. Un dernier rinçage dans une solution d'agent mouillant (Kodak Photo Flo) facilite l'élimination des gouttelettes d'eau qui laissent des traces au séchage.

Quelle que soit la procédure retenue, une fois que tous les paramètres sont fixés, il est recommandé de s'assurer de son efficacité en analysant la quantité de sels résiduels. Il existe différentes méthodes qu'on trouvera à la fin de ce chapitre. Il est aussi possible d'en évaluer qualitativement la présence dans les bains de lavage avec la solution test Kodak HT-1a (formule 5, voir p. 260), dont la couleur est modifiée par la présence de thiosulfate.

L'éliminateur d'hyposulfite

Il ne faut pas le confondre avec l'auxiliaire de lavage dont nous avons parlé précédemment. L'éliminateur d'hyposulfite (formule 6, voir p. 260) agit chimiquement, et oxyde le thiosulfate en sulfate inoffensif. Ce traitement n'est pas sans danger pour les photographies : il y a des risques d'altérations chimiques et physiques de l'image ; il n'est pas non plus d'un emploi aisé car le bain ne se conserve pas. Préconisé par les normes dans les années 1960 (norme ISO R421-1965), il est aujourd'hui fortement déconseillé. L'expérience montre que des tirages ainsi traités peuvent se colorer à la lumière et virer vers des tonalités chaudes de jaune, rosé, à rouge, particulièrement visibles sur les demi-teintes. L'action oxydante du bain agit, en effet, non seulement sur les sels résiduels mais également sur les matériaux constitutifs de l'image en transformant une partie de l'argent en sels d'argent qui peuvent se réduire à la lumière. Cette réduction photolytique produit de l'argent colloïdal de tonalité plus chaude que l'argent initialement présent dans la couche. L'utilisation de cette formule doit donc être impérativement accompagnée par un virage à l'or, au sélénium ou au sulfure.

D'autres traitements, décrits dans la littérature du siècle passé, peuvent aboutir aux mêmes effets. S'il est reconnu que l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) permet de détruire le thiosulfate, il produit également, en milieu acide, la conversion d'une partie de l'argent en chlorure d'argent, qui est réduit à son tour, à la lumière, en argent colloïdal. Dans la pratique,

l'emploi des auxiliaires de lavage est la seule alternative valable pour réduire la durée de cette phase du traitement, et l'utilisation de tout éliminateur d'hyposulfite doit être écartée.

Le contrôle du lavage

Les normes

Étant donné le caractère déterminant de la teneur en sels résiduels sur la conservation, le besoin s'est imposé de normaliser le taux maximal admissible de produits résiduels dans des documents photographiques destinés à un archivage de longue durée, ainsi que les moyens de mesurer ce taux. Le seuil à ne pas dépasser est fonction de la nature des photographies (Tableau 101). Cependant les normes ne sont pas immuables, elles ont connu et risquent de connaître des modifications dans l'avenir, selon les résultats des travaux en cours. Plusieurs études ont en effet montré que des traces de thiosulfate dans une image photographique n'altèrent pas fondamentalement sa permanence, si elle est conservée dans une atmosphère sèche. Aussi la limite tolérée pour les microfiches argentiques a-t-elle subi une révision, passant de 0,007 à 0,014 gramme par mètre carré. Les films à grains fins devraient eux aussi être soumis à ces nouveaux taux. Pour les tirages photographiques, la norme est en cours d'élaboration³³⁸. Jusqu'à présent, on considérait qu'une épreuve était correctement lavée lorsqu'on ne détectait pas de thiosulfate par les méthodes de dosage normalisées. Le niveau recommandé s'établira sans doute dans la fourchette de 0,015 à 0,020 g/m².

Un faible taux de thiosulfate améliore sensiblement la résistance des photographies aux gaz polluants³³⁹, en particulier lorsque les images sont exposées non protégées dans un environnement non contrôlé. Cette action protectrice est attribuée par certains à la transformation à la surface des grains argentiques, au cours du stockage, du thiosulfate en sulfure d'argent qui joue le rôle d'une barrière anticorrosion³⁴⁰. Pour d'autres, le thiosulfate

Illustration 138

Cuve de lavage.
Laveuse verticale.

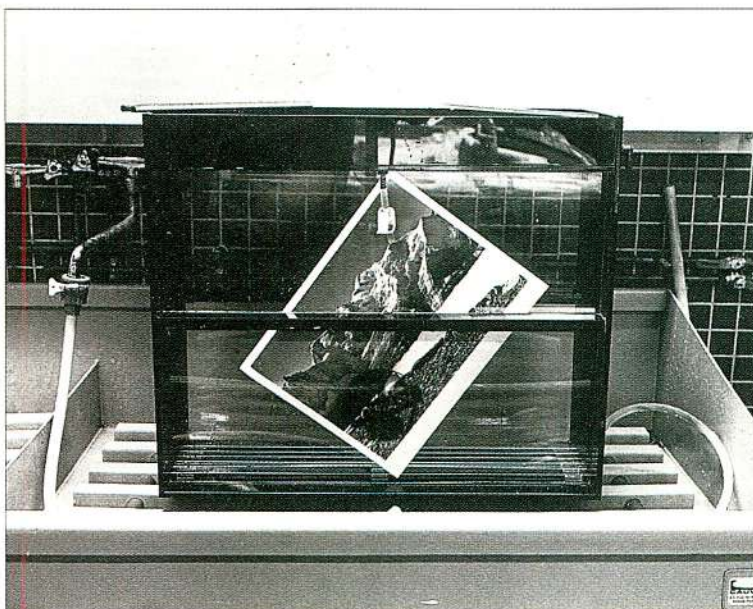


Tableau 101

Limites pour la teneur en thiosulfate
(ISO 10602:1993).

<i>type de film</i>	<i>classification</i>	<i>concentration maximale en thiosulfate (g/m²)</i>
radiographiques	moyen terme	0,100
	long terme	0,050
	archivage	0,020
microfilms	long terme	0,030
	archivage	0,014
autres films à grain fin	archivage	0,007*
autres films à gros grain	archivage	0,020
papier PE	long terme	en cours de révision
	archivage	en cours de révision
papier baryté	archivage	en cours de révision

* Valeur susceptible d'être revue à la hausse.

Tableau 102

Méthodes normalisées de dosage des
thiosulfates résiduels (ISO 417).

<i>méthode</i>	<i>domaine d'application</i>	<i>niveau détectable</i>	<i>commentaire</i>
bleu de méthylène	film, plaque de verre, papier baryté, papier PE ne contenant pas d'activateur incorporé, non viré au sulfure	0,001 à 0,45 g/m ²	méthode applicable dans un délai de deux semaines après le traitement
iodure-amylose	film, plaque de verre, papier baryté, papier PE	0,002 à 0,40 g/m ²	méthode applicable dans un délai de deux semaines après le traitement
nitrate d'argent	film, plaque de verre, papier baryté, papier PE ne contenant pas d'activateur, non viré au sulfure	plus de 0,009 g/m ²	

empêche la décomposition catalytique des peroxydes sur l'argent³⁴¹. Maîtriser la quantité de thiosulfate résiduel pour qu'il ne soit ni en excès ni en défaut est une opération pratiquement irréalisable. Dans un cas, la photographie risque de jaunir sous l'effet de l'humidité, tandis que dans l'autre ce sera sous celui des polluants oxydants. Il est plus prudent d'éliminer au mieux le fixateur résiduel et de protéger l'image contre les gaz oxydants avec un bain de virage. Le Sistan commercialisé par Agfa est un bain stabilisant à base de sulfocyanure pour les négatifs et les papiers PE.

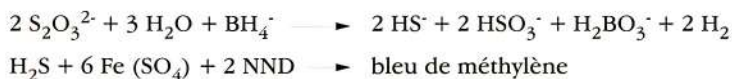
Le dosage des thiosulfates

Le dosage des sels résiduels de thiosulfate se heurte à deux difficultés. Il faut utiliser une méthode assez sensible pour détecter, dans les quelques centimètres carrés de surface photographique prélevés, des quantités de l'ordre du microgramme (un millième de milligramme). Par ailleurs, le thiosulfate n'est pas stable, il se décompose en polythionates (trithionate, tétrathionate), sels également nocifs pour l'image mais pas toujours détectables. Il existe plusieurs méthodes normalisées, dont celles au bleu de méthylène et à l'iodure-amylose. Ces techniques de dosage précises ne prennent pas en considération les polythionates : il est donc nécessaire de les appliquer aussi rapidement que possible après le traitement, avant que la décomposition du thiosulfate ne fausse les résultats. La méthode au sulfure d'argent permet de mesurer à la fois la quantité de thiosulfate résiduel et celle de ses produits de décomposition, mais elle est moins sensible que les précédentes.

Ces analyses sont destructives et doivent être faites sur des zones sans image (marges blanches). La mise en œuvre de ces méthodes de dosage sur les papiers contenant un activateur (substance réductrice incorporée dans l'émulsion) peut conduire à des résultats erronés. Il en est de même pour les photographies virées à l'aide de composés sulfurés : la méthode de dosage ne distingue pas les ions sulfure issus du virage de ceux qui proviennent du thiosulfate. Dans ce dernier cas, on considère que quelle qu'en soit la provenance, la présence de composés sulfurés résiduels en excès est indésirable, et les valeurs limites recommandées par la norme sont à suivre *stricto sensu*.

La méthode au bleu de méthylène

Le thiosulfate résiduel est réduit en présence de borohydrure en sulfure qui réagit avec du NND (N,N-diméthyl p-phénylènediamine) pour former du bleu de méthylène. Plus la quantité de thiosulfate est importante, plus la coloration est intense.

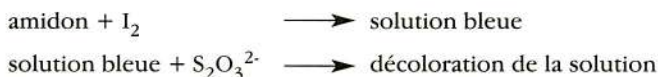


On mesure l'intensité de cette coloration avec un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 665 nanomètres. En se reportant à des courbes étalons, on déduit la concentration en thiosulfate.

Ce dosage est applicable pour des concentrations comprises entre 0,001 et 0,45 gramme de thiosulfate par mètre carré.

La méthode à l'iodure-amylose

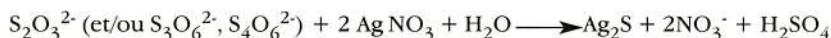
Dans cette méthode introduite par D. Owerbach³⁴² en 1986, et normalisée en 1993 (ISO 417), le thiosulfate résiduel décolore une solution bleue obtenue par réaction de l'iodure de cadmium et de l'amylose. Plus la quantité de thiosulfate est importante, moins la coloration est intense (contrairement à la méthode précédente).



On mesure l'intensité de cette coloration avec un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 610 nanomètres. En se reportant à des courbes d'étalonnage, on déduit la concentration en thiosulfate. Une méthode similaire utilisant l'iodure de zinc, moins nocif que l'iodure de cadmium, peut être appliquée.

La méthode densitométrique à l'argent

Le thiosulfate et ses produits de décomposition réagissent avec le nitrate d'argent pour donner du sulfure d'argent facilement détectable à sa couleur brune. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la quantité de sels résiduels.



En préparant des échantillons étalons contenant des quantités de thiosulfate résiduel connues, et en traçant une courbe d'étalonnage représentant la concentration de thiosulfate en fonction de l'intensité de la coloration, il est possible de déduire la quantité présente dans n'importe quel échantillon. La méthode, moins sensible que les précédentes, est applicable pour des taux supérieurs à 0,009 g/m² (0,9 µg/cm²).

Les tests commercialisés

La société Kodak commercialise un test HT-2 (formule 7, voir p. 260) sous le nom de Kodak Hypo Estimator. Son principe est identique à celui qui vient d'être décrit pour la méthode densitométrique à l'argent.

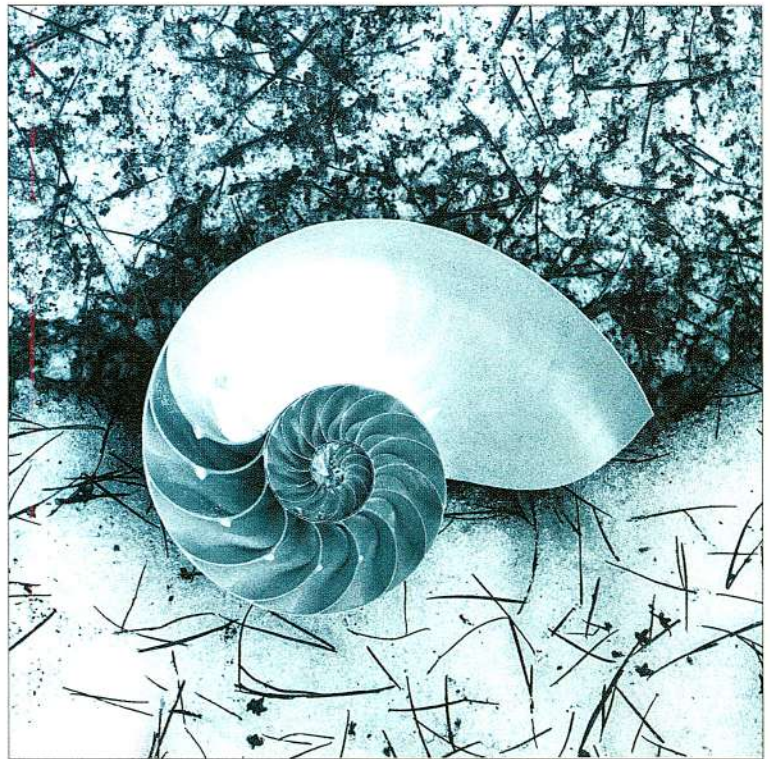
Les virages

Très en vogue au XIX^e siècle parce qu'ils donnaient aux tirages les colorations les plus diverses, les virages ont été ensuite progressivement délaissés. Ils suscitent depuis plusieurs années un regain d'intérêt, car ils peuvent accroître considérablement la stabilité des photographies, qu'il s'agisse d'épreuves, de négatifs ou de microfilms en noir et blanc. Mais aujourd'hui, si la coloration n'a guère d'importance pour un négatif ou un microfilm, elle n'est pas toujours souhaitée sur une épreuve.

Il existe un grand nombre de formules de bains de virage publiées dans la littérature technique depuis le milieu du XIX^e siècle, mais toutes n'ont pas un effet bénéfique sur la conservation : certaines ont même de ce point de vue des conséquences néfastes. Le virage à l'or a été fréquemment recommandé pour le traitement des microfilms ou des négatifs ; ceux au sélénium, ou aux polysulfures donnent d'excellent résultats ; le virage au platine est rarement appliqué, étant donné le coût du métal.



1



2

Illustration 139

❶ Tirages au gélatino-bromure d'argent : non viré, ❷ viré au sel de fer, ❸ viré au soufre.



❸

L'élément dissous dans le bain (or, sélénium, sulfure, etc.) se combine à l'argent pour former un composé beaucoup plus résistant aux attaques oxydantes des gaz polluants. Pour de grandes collections de microfilms, le virage aux polysulfures semble devenir un standard, le virage à l'or étant trop onéreux et celui au sélénium, outre sa toxicité, semblant moins efficace pour protéger les zones de faible densité³⁴³. Ces virages s'appliquent après fixage ; selon les cas, un lavage préalable de l'image est nécessaire.

Le virage à l'or

Dans un virage à l'or (formule 8, voir p. 261), il n'y a pas dépôt d'or sur le filament mais remplacement d'atomes d'argent par des atomes d'or. Le virage à l'or présente l'avantage de ne pas modifier excessivement la tonalité de la photographie, bien que les noirs acquièrent une légère tonalité bleuâtre. Seul le coût en limite considérablement l'emploi.

Le virage au sélénium

L'image virée est constituée d'argent, de sélénure d'argent et de sélénium. Ce virage (formule 9, voir p. 261) est moins coûteux que le bain à l'or, mais le sélénium est extrêmement toxique (risque de cancer de la thyroïde). L'emploi de sélénite de sodium, plutôt que de sélénium cristallisé, limite les risques ; il est cependant plus prudent de ne pas préparer le bain soi-même, mais d'acheter les solutions commercialisées et de respecter les précautions d'usage pour leur manipulation.

Les traitements au sélénium peuvent entraîner une légère intensification de l'image ; ils engendrent une tonalité pourpre violacée dont la présence dépend de la concentration du bain : les dilutions couramment utilisées

vont de 1 + 3 (un volume de bain pour trois volumes d'eau) à 1 + 20. Pour le traitement des épreuves, il est prudent d'avoir sous les yeux un tirage non viré pour mieux évaluer la modification de leur tonalité. Des essais³⁴⁴ montrent que le Kodak Rapid Selenium, dilué 1+19, ne change pas les caractéristiques de l'image tout en assurant une bonne protection des microfilms ; des travaux plus récents indiquent cependant que des différences de protection notables et imprévisibles se produisent selon le type d'émulsion³⁴⁵.

Le virage par sulfuration

Ce virage (formule 10, voir p. 262), peu coûteux, améliore considérablement la stabilité de l'image argentique. Il est moins toxique que le précédent, bien que les émanations de sulfure d'hydrogène (odeur d'œuf pourri) susceptibles d'être produites par ces bains soient nocives et puissent voiler les surfaces sensibles. Aussi est-il conseillé de travailler sous hotte ou dans un local bien ventilé. L'argent est converti en sulfure d'argent qui teinte les images en brun-sépia et génère une légère perte de densité et de contraste. Il est applicable soit directement, soit après un blanchiment préliminaire. Les particules de sulfure d'argent sont, dans ce cas, plus volumineuses que les particules d'argent initiales.

Le pH élevé de certains de ces bains ayant tendance à faire gonfler et à ramollir excessivement la gélatine, il faut manipuler les phototypes avec prudence pour éviter toute abrasion.

Le bain de virage Silverlock (formule 11, voir p. 262) a été développé et commercialisé aux États-Unis par l'Image Permanence Institute pour traiter les microformes argentiques destinées à l'archivage de sécurité. Il s'applique directement après le bain de fixage et peut être mélangé avec l'auxiliaire de lavage ; il est suivi d'un lavage.

Contrôle du virage

La résistance aux agressions chimiques de l'image traitée par virage sera proportionnelle au taux de conversion de l'argent. Le temps d'immersion, la concentration du bain de virage et sa température constituent des paramètres essentiels qui déterminent la quantité d'argent transformé. Toutes les images ne réagissent pas de la même façon à ces traitements : la structure du dépôt, la nature de l'émulsion influent sur la cinétique de transformation ainsi que sur le taux de conversion. Dans des conditions opératoires identiques, on observe seulement 10 % de conversion sur un film Kodak T-max 100 contre 70 % sur un film Kodak Plus 125³⁴⁶. Afin de contrôler l'efficacité du virage, la norme ISO 12206 (ou ANSI IT 9.15) préconise d'oxyder l'image dans un bain de blanchiment au bichromate pour éliminer tout l'argent non converti. L'utilisation d'un blanchiment de Farmer (formule 13, voir p. 263) permet d'éviter la teinte résiduelle du blanchiment au bichromate préconisé par la norme ISO et facilite ainsi le calcul du taux de conversion³⁴⁷ sur les tirages papier. Ces tests sont destructifs. La densité de l'image résiduelle (mesurée avec le filtre bleu du densitomètre) ne doit pas diminuer au-delà de 35 % après le blanchiment, ce qui assure qu'au moins 65 % de l'image argentique ont été convertis lors de la réaction chimique³⁴⁸ (les expériences montrent en effet que jusqu'à 35 % de perte de densité, il est encore possible de réaliser des copies satisfaisantes de l'image originale). Une autre procédure a été recommandée³⁴⁹ pour les virages aux polysulfures : elle consiste à immerger l'échantillon, après traitement, durant 10 minutes dans une solution d'eau oxygénée à 2 % (pour préparer une solution d'eau oxygénée à 2 %, diluer 6,7 ml d'une solution commerciale à 30 % d'eau oxygénée avec de l'eau distillée

pour faire 100 ml). La perte de densité visuelle ne doit pas être supérieure à 0,05 et aucune décoloration ne doit être perceptible.

Le tannage

Le tannage (formule 12, p. 263) améliore la résistance mécanique de la couche de gélatine et l'insolubilise en établissant des liaisons entre les macromolécules : c'est ce qu'on appelle une réticulation. Les bains tannants en photographie sont généralement des solutions de formaldéhyde (*attention ! produit très dangereux pour l'organisme, les expositions chroniques aux vapeurs de formaldéhyde peuvent être à l'origine d'allergies et de troubles respiratoires*) ou d'aluns de chrome ou de potassium. Les solutions de tannage sont efficaces dans des plages de pH définies par la nature de l'agent tannant employé :

Alun de potassium : pH compris entre 4,3 et 5,4

Sels de chrome : pH compris entre 2,5 et 3,3

Formaldéhyde : pH supérieur à 8,5

Pour supporter la plupart des traitements standards, sous nos latitudes, les émulsions sont suffisamment tannées au stade de la fabrication et il n'est pas nécessaire de pratiquer à nouveau ce traitement. Au contraire, ce serait un handicap pour le bon déroulement du lavage, car la réticulation de la gélatine diminue la perméabilité à l'eau et la diffusion des sels. Il est donc préférable d'éviter les bains de tannage et les bains de fixation tannants.

L'affaiblissement

L'emploi quasi général des cellules photoélectriques et la grande latitude de pose des émulsions a raréfié les cas de surexposition à la prise de vue. Quant aux épreuves, le tireur préfère recommencer le tirage ou avoir recours à des masques pour atténuer l'intensité d'une partie de l'épreuve, plutôt qu'à un traitement chimique. En cas d'absolue nécessité, l'affaiblisseur de Farmer (formule 13, voir p. 263) donne de bons résultats : il doit être appliqué sur une photographie bien lavée mais non virée.

Le séchage

Dernière opération de la séquence normale de traitement, le séchage doit également être l'objet de soin de la part du photographe.

Séchage des films

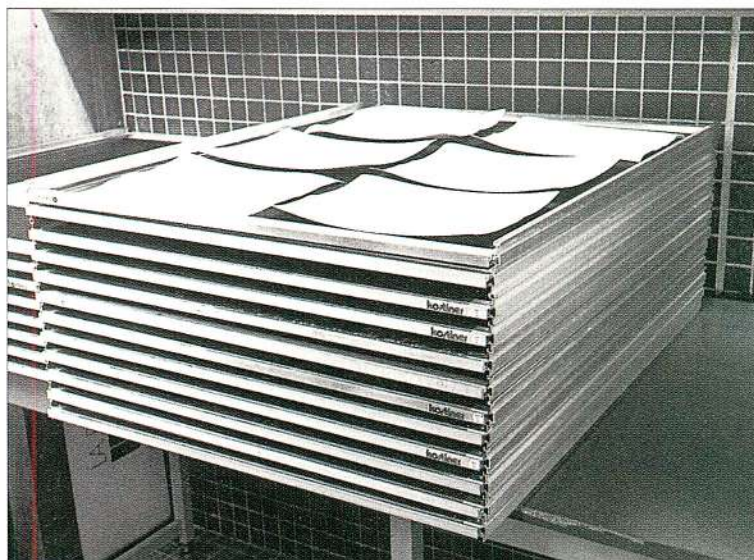
Après immersion dans un agent mouillant, les films sont suspendus dans une atmosphère sans poussière. La température dans les sècheuses électriques ne devra pas excéder 50 à 60 °C. Il faudra être attentif à tous les dispositifs d'essorage mécanique qui peuvent générer des abrasions lorsqu'ils sont mal entretenus.

Séchage des papiers PE (RC)

Après égouttage, ces supports sont généralement introduits dans des sècheuses à air chaud. Avec les dernières générations de papiers sur support synthétique, l'emploi de sècheuses de type infrarouge assure un gain de brillance. Si l'on utilise des sècheuses à air chaud pulsé, il faut veiller à ce que les filtres en amont des systèmes de ventilation soient efficaces. Ces papiers ne peuvent pas être séchés en glacéuse.

Illustration 140

Séchage sur des claies des épreuves photographiques sur papier baryté.



Séchage des papiers barytés

Après le dernier lavage, l'épreuve est essorée à l'aide d'une raclette caoutchoutée pour éliminer l'excès d'eau, puis séchée à l'air horizontalement sur des claies en fibres de verre ou verticalement par suspension. À la fin du séchage, l'épreuve doit être remise à plat. Cette opération peut se faire à froid par mise sous pression pendant plusieurs heures, ou à chaud à l'aide d'une presse de thermocollage réglée sur une température d'environ 60 à 75 °C. Dans le cas où les épreuves sont trop déformées par les effets d'une faible hygrométrie, on peut procéder à une légère réhumidification du côté support à l'aide d'un vaporisateur. Pendant les opérations de mise sous presse, les photographies sont placées entre des buvards ou des cartons adaptés à cet usage. Ces matériaux peuvent constituer des sources de contamination s'ils ont été souillés par des solutions chimiques (révélateur, fixateur, etc.), il faut donc les changer fréquemment. On doit éviter d'appliquer des substances destinées à aplanir les épreuves (*print flattening agent*) : ce sont des produits très hygroscopiques qui risquent de favoriser le développement des micro-organismes.

Les glaceuses (planes ou cylindriques) peuvent être utilisées. Dans tous les cas, on sera attentif à la parfaite propreté de toutes les surfaces en contact avec les épreuves.

La retouche

La retouche, aujourd'hui, n'a plus rien à voir avec celle que l'on pratiquait au XIX^e siècle. À l'époque, les négatifs étaient longuement retravaillés à l'aide de gouaches, de crayons ou d'abrasifs pour gommer les disgrâces naturelles du sujet ou modifier le fond. La retouche dont il est question ici se réduit à des interventions de repique sur des anomalies ponctuelles présentes sur les tirages (piqûres, poussières, rayures...).

Le photographe américain E. Weston employait une solution d'encre de Chine solide et de gomme arabique : un mélange à parts égales (en poids) de ces deux composés est dissous dans une petite quantité d'eau ; on laisse

ensuite sécher à l'air. Pour l'utiliser, on passe dessus un pinceau humidifié : la retouche est faite après quelques essais de rendu sur une feuille blanche. En augmentant deux à trois fois la quantité de gomme arabique, on obtient une retouche plus brillante.

La gomme arabique a tendance à jaunir légèrement (ce qui ne se voit pas forcément si la zone retouchée est sombre), et il est possible de la remplacer par une solution de méthylcellulose ou une solution à 2 ou 3 % de gélatine ; mais cela implique une préparation un peu plus complexe. L'Elvace 1874 et l'Acryloïd B-72, qui ont également été cités comme de bons médiums et sélectionnés pour leur innocuité³⁵⁰ vis-à-vis de l'image photographique moderne en noir et blanc, sont cependant plus délicats à utiliser et à éliminer. Les produits commerciaux les plus sûrs pour la retouche sont les couleurs d'aquarelles Winsor et Newton's (séries D), le kit de retouche photo Gamma et la gouache Schmincke.

Pour la photographie en couleurs, il faut ajouter à ces matériaux ceux commercialisés par les sociétés pour retoucher leurs propres produits (Kodak, Ilford). On manque d'information sur leur comportement à long terme.

Le marquage

L'usage d'encre, de stylos ou de feutres, pour porter des indications au recto ou au verso d'une photographie (signature, tampon) requiert une vigilance particulière. Les colorants qu'ils contiennent peuvent se diffuser latéralement ou migrer à travers le support et endommager l'image. Certains constituants des encres peuvent également produire des émanations agressives pour les photographies (voir p. 71, et Tableau 12). Il faut aussi veiller à la dureté de la pointe utilisée pour le marquage, afin d'éviter tout risque de déformation de la couche image par l'envers. Cette remarque vaut également pour les inscriptions portées sur les pochettes de rangement des phototypes.

Les vernis

L'emploi de vernis, de laques ou de cires demande de la prudence : on ne peut y avoir recours sans une connaissance approfondie du comportement de ces matériaux dans le temps. Si certaines substances peuvent effectivement protéger l'image contre les abrasions, la lumière ou les polluants, elles risquent de jaunir avec le temps, de s'altérer, d'endommager l'image et d'être difficiles à éliminer. Il en est de même pour toutes les techniques de plastification dans lesquelles une feuille de plastique (polyester, PVC) est appliquée de façon irréversible à la surface des épreuves.

LA PHOTOGRAPHIE EN COULEURS

(procédés chromogènes)

Les traitements des films à développement chromogène – exception faite des films Kodachrome – sont standardisés sous deux appellations : E6 et C41. Le traitement E6 s'applique aux diapositives (inversibles) et le C41 aux films négatifs. Le traitement standard des tirages en couleurs chromogènes d'après négatif est aujourd'hui désigné par le sigle RA-4, introduit en 1986. Ce traitement est devenu un standard et a remplacé son prédécesseur EP-2. Le traitement des papiers couleurs inversibles qui donnent une épreuve à partir d'une diapositive est connu sous le nom R-3.

Tableau 103

Les traitements standard couleurs.

sigle	type de photographies	exemples d'émulsions
E6	diapositive	Agfachrome, Ektachrome, Fujichrome, etc.
R-3	papier inversible (positif-positif)	Ektachrome, Fujichrome
C 41	négatif couleurs	Agfacolor, Kodacolor, Fujicolor
RA-4	tirage couleurs (négatif-positif)	Ektacolor
P3-X	papier inversible (positif-positif)	Ilfochrome classic
P4	papier inversible (positif-positif)	Ilfochrome rapid

Le développement des photographies en couleurs offre beaucoup moins de possibilités que celui des images en noir et blanc. Les traitements sont standardisés et automatisés, et on ne peut agir sur la durée des séquences de fixage et de lavage. Cependant, il est important de veiller à ce que l'entretien des bains de blanchiment et de fixage soit parfaitement assuré, pour ne pas risquer de compromettre la stabilité des colorants. Les traitements chromogènes incluent parfois un bain tannant-stabilisant, contenant généralement un dérivé du formol qui neutralise les coupleurs résiduels et tanne la gélatine. Les coupleurs stabilisés risquent moins de jaunir avec le temps ou de réagir avec des colorants, ce qui accélérerait la dégradation de l'image. Ce type d'altération est fréquent avec le traitement E6 : faute de stabilisant, le colorant magenta se dégrade en se combinant avec les coupleurs résiduels. L'image prend alors une tonalité verdâtre.

Comme pour le noir et blanc, la présence de produits chimiques résiduels au traitement peut être une source d'altération³⁵¹. En 1981, T. Hisanaga³⁵² a montré que le passage de 0,1 à 1 microgramme d'ion thiosulfate par centimètre carré diminuait la stabilité du colorant cyan dans l'obscurité. Si la nature du fixateur (thiosulfate de sodium, de potassium ou d'ammonium) peut intervenir dans le processus de dégradation, le pH de l'émulsion semble bien plus déterminant quant à l'importance de l'altération³⁵³. La qualité de l'eau de lavage (pH, teneur en ions chlorure...) peut également avoir une influence sur le comportement des colorants.

Depuis quelques années, de nouveaux traitements ont été introduits pour faciliter l'installation des « minilabs », dans des endroits sans eau courante et pour raccourcir la durée du traitement. Le bain final de lavage a été remplacé par un traitement de stabilisation³⁵⁴, ce sont les systèmes dits *washless* ou *waterless*. La société Konica a montré que, paradoxalement, les photographies ainsi traitées étaient plus stables que si elles avaient été lavées de façon traditionnelle³⁵⁵.

Les paramètres sont nombreux et il semble difficile de formuler des recommandations simples et adaptées à chacun des procédés. On ne peut donc que s'astreindre à respecter soigneusement les consignes de traitement fournies par les fabricants.

LES IMPRESSIONS EN SORTIE D'ORDINATEUR

Ces impressions représentent souvent l'aboutissement d'une chaîne de traitement numérique, l'élément matériel que l'on communique et que l'on archive. Bien qu'elles soient à tort rangées dans la catégorie des « photos numériques » alors qu'elles ne sont ni des photographies, ni numériques, il nous a semblé utile de présenter rapidement les différentes techniques mises en œuvre pour ce type d'impressions, ainsi que les perspectives de conservation qu'elles offrent aux documents produits de cette façon.

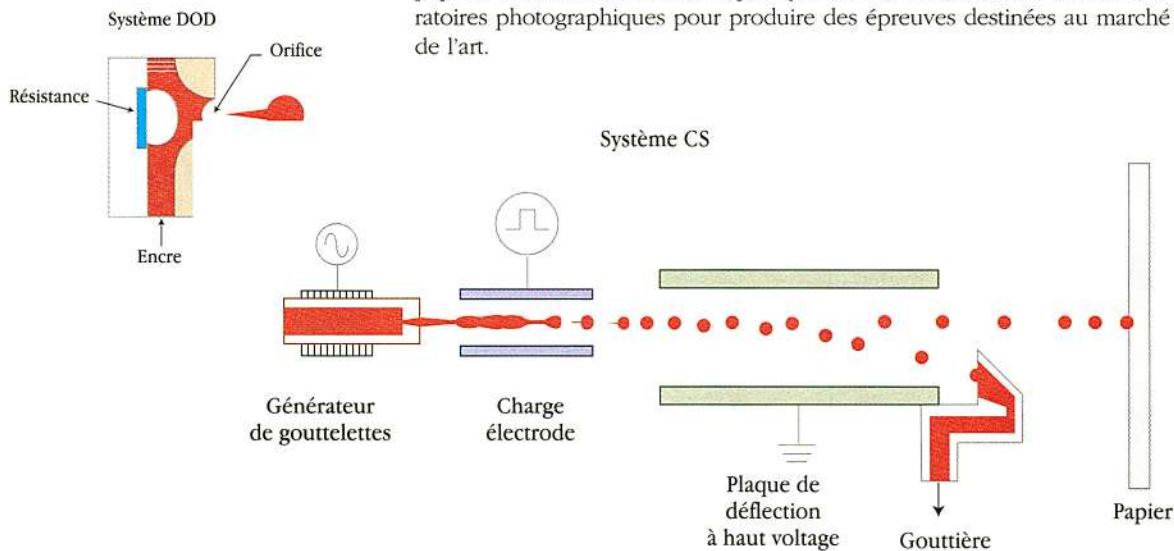
Autrefois réservées exclusivement à la restitution sur papier des documents textuels, les imprimantes ont fait l'objet, ces dernières années, d'améliorations sensibles visant à adapter leurs performances à l'impression des images. À moyen terme, l'objectif des fabricants impliqués dans la réalisation de ces équipements est de proposer des machines capables de produire des images en tout point comparables aux photographies conventionnelles, en termes d'aspect, de coût et de stabilité. Ce domaine d'application est sous le monopole quasi exclusif des imprimantes dites « sans impact », celles dont le mécanisme d'impression n'est pas en contact direct avec le papier. Les matériels entrant dans cette catégorie se répartissent en trois catégories : les imprimantes reposant sur la copie électrostatique, celles qui emploient le principe du jet d'encre, et les imprimantes à sublimation et à transfert thermique. Pour être exhaustif, il faut ajouter certains équipements qui exploitent des technologies « propriétaires » (Pictography ou Thermo-Autochrome Fuji). En raison de la relative nouveauté de ces procédés d'impression, nous ne possédons que peu d'informations sur leur comportement dans le temps.

Impression par jet d'encre

Cette technique a beaucoup évolué et occupe aujourd'hui une position de quasi-monopole dans le créneau des imprimantes individuelles d'entrée de gamme, où elle a supplanté les imprimantes à impacts (matricielles). On la retrouve également dans les segments spécialisés de l'impression tels que la réalisation de grands formats (traceurs) ou l'édition de prestige sur papiers d'art. Enfin, elle est adoptée par de nombreux artistes et des laboratoires photographiques pour produire des épreuves destinées au marché de l'art.

Illustration 141

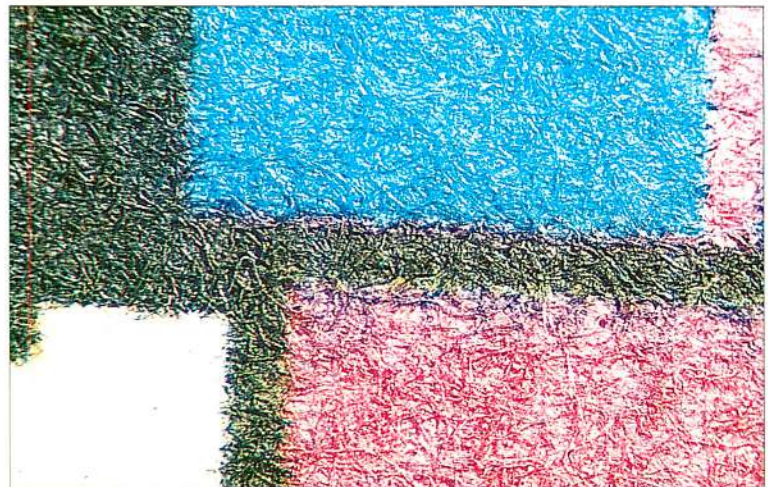
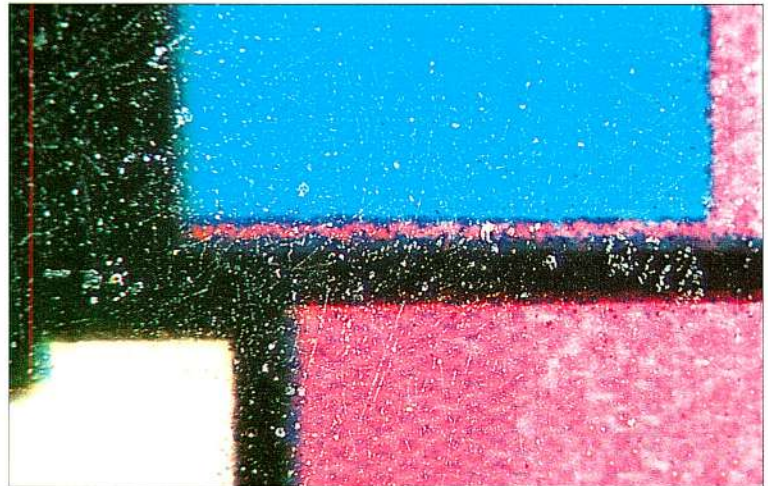
Système d'impression à jet d'encre DOD et CS.



Le passage en quadrichromie est réalisé en multipliant par quatre le nombre des têtes d'impression. L'impression à jet d'encre regroupe deux techniques, le jet d'encre « continu » (CS : *continuous stream*) et le jet d'encre « à la demande » (DOD : *drop on demand*). La première consiste en une projection continue de gouttelettes ; là où la feuille doit rester vierge, ce flux est dévié vers une gouttière. Les imprimantes Iris Graphics fonctionnent selon ce principe. Le système DOD ne libère des gouttelettes d'encre que lorsque l'impression l'exige. L'encre est projetée sur la feuille à travers une buse par des phénomènes thermiques ou piézo-électriques. Dans le mode piézo-électrique, l'encre est éjectée par la déformation d'un cristal. Dans le mode thermique, c'est une élévation rapide de température (300 °C) qui produit en l'espace de quelques microsecondes une bulle de vapeur d'eau qui comprime et projette l'encre à travers la buse. Les imprimantes courantes de bureau Canon Bubble Jet, Hewlett Packard ou Epson fonctionnent ainsi. Signalons que les encres ne sont pas toutes conditionnées sous forme de solution aqueuse. Tektronics a introduit le jet d'encre solide (Tektronics Phaser), également appelé à changement de phase. L'encre est stockée sous

Illustration 142

Vue au microscope optique d'une impression à jet d'encre (Iris). Selon le type de support, l'image vue à la loupe a une microstructure différente ; en haut, sur un papier couché spécialement conçu pour cet usage ; en bas, l'impression est faite sur du papier « art-graphique ».



forme solide dans la cartouche d'impression ; elle est liquéfiée avant d'être envoyée dans la tête d'impression, puis déposée sur le papier où elle revient à son état solide en se refroidissant. Il existe ainsi de multiples techniques qui sont appelées à disparaître ou à se répandre, et devant l'effervescence de ce marché il est difficile de prédire laquelle l'emportera demain.

Le jet d'encre conserve beaucoup d'atouts : il offre à l'utilisateur une grande diversité de supports puisqu'il peut choisir parmi les papiers utilisés dans les arts graphiques non seulement pour des raisons esthétiques mais également pour leur permanence. Il a aussi un contrôle plus direct sur la production de son œuvre. Bien que l'expérience fasse encore défaut, il est possible que la stabilité dans l'obscurité des impressions à jet d'encre soit supérieure à celle des tirages en couleurs chromogènes. Toutefois, les quelques travaux réalisés sur des épreuves à jet d'encre révèlent deux points faibles : d'une part, elles ont une stabilité à la lumière inférieure à celle des photographies en couleurs chromogènes^{356, 357} (Tableau 104) ; d'autre part, certaines encres sont très solubles. À la moindre éclaboussure, immersion accidentelle, ou stockage dans un lieu trop humide, les couleurs se diffusent. Ces défauts, que l'on pourrait qualifier de jeunesse, ne tarderont sans doute pas à disparaître : les fabricants cherchent à développer des encres plus stables à la lumière et se fixant mieux sur leur support papier.

Impression par copie électrostatique

La copie électrostatique, ou copie laser, n'est que l'application à l'univers numérique du principe de la xérographie popularisée par les photocopieurs. Son évolution vers la couleur a nécessité la mise au point d'une technique complexe, susceptible de gérer l'application de quatre couleurs, jaune, magenta, cyan et noir. Dans ce procédé, le papier est chargé électriquement par un dispositif électrostatique ; il est ensuite insolé avec une source laser qui va décharger toutes les zones ne correspondant pas à une impression. Le papier défile ensuite devant un réservoir de particules pigmentaires (toner) constituées d'une matière colorante (pigment ou colorant) et d'une résine qui vont venir se fixer, par attraction électrostatique, sur les parties encore chargées. Le processus est répété quatre fois pour une quadrichromie. Après impression, l'image formée est stabilisée par passage dans un four ou par laminage.

Pour une bonne conservation, on a tout intérêt à porter son choix sur des supports en papier permanent. Quant aux images obtenues par impression laser, on connaît peu leur comportement dans le temps. La résine, qui donne une cohésion et fixe les particules colorées sur leur support papier, peut se dégrader et conduire à une pulvérisation du tracé. Le problème le plus fréquemment rencontré est celui du transfert de l'encre lorsque le document est gardé au contact d'une surface lisse en papier ou en plastique. Ce problème mécanique pourrait s'expliquer par une insuffisance de « cuisson » du toner. La stabilité à la lumière ne semble pas poser de problème pour les toners noirs lorsqu'ils sont à base de noir de carbone.

Impression par transfert thermique

Ce mode d'impression repose sur la mise en œuvre d'un rouleau de transfert qui est recouvert d'un mélange pigmentaire présent sous forme de cire. Par chauffage localisé, la cire est fondue puis transférée sur le papier d'impression. Celui-ci doit présenter un état de surface particulièrement lisse

Tableau 104

Stabilité à la lumière d'impressions en sortie d'ordinateur (travaux du CRCDG, 2000).

<i>type d'impression et de support</i>	<i>colorant le plus fragile</i>	<i>durée* de vie estimée sous un éclairage sans UV de 300 lux, 10 h/jour</i>
Iris Equipoise Inkset sur papier satiné Iris	jaune	moins de 2 ans
Iris Equipoise Inkset sur papier Commercial Iris	jaune	moins de 2 ans
Iris Equipoise Inkset sur papier Vélin d'Arches	jaune	moins de 6 ans
Fuji Pictography	cyan	moins de 7 ans
Fujicolor Crystal Archive	cyan	moins de 23 ans

* *Durée théorique avant d'observer une perte de densité de 30 % du colorant le plus fragile mesuré sur une plage homogène de densité de 1.0. Cette durée est extrapolée à partir d'un vieillissement artificiel sous un éclairage continu de 1 400 lux, avec une lampe aux halogénures métalliques, à 25 °C et 50 % HR.*

pour permettre une bonne adhérence de la cire. On emploie fréquemment des papiers récepteurs d'une structure identique à celle des papiers PE (RC).

Impression par sublimation thermique

La sublimation d'un composé traduit un passage direct de l'état solide à l'état gazeux sans transition par l'état liquide. Cette propriété particulière de certains composés est à l'origine des dispositifs d'impression par sublimation thermique. La matière colorante est présente à l'état solide sur un support synthétique ; après chauffage, elle passe à l'état gazeux et se dépose à la surface du papier récepteur où elle retrouve un état solide. Ce mode d'impression permet d'obtenir un rendu photographique, car une observation attentive de la surface de l'image, même à l'aide d'un dispositif grossissant, ne laisse percevoir aucun motif géométrique. L'obtention d'une structure d'image « non mécanique » alors que la tête d'impression est asservie selon un mode « points » est rendue possible par la diffusion du colorant, alors qu'il possède encore les propriétés d'un gaz, dans la couche de gélatine du papier récepteur. L'aspect obtenu est proche de celui d'une épreuve en couleurs conventionnelle réalisée avec un procédé chromogène.

ANNEXE 1 : FORMULAIRE

Les produits sont à dissoudre dans l'ordre.

Formule 1

Bain d'arrêt Kodak SB-1

acide acétique à 28 %	48 ml
eau qspf	1 000 ml

Bain d'arrêt Kodak SB-5a

sulfate de sodium anhydre	45 g
acide acétique	20 ml
eau qspf	1 000 ml

Formule 2

Fixateur rapide Kodak F-32

solution de thiosulfate d'ammonium à 38 %	180 ml
sulfite de sodium anhydre	15 g
acide acétique glacial	18 ml
acide borique cristallisé	6 g
alun de potassium dodécahydraté	15 g
eau qspf	1 000 ml

Fixateur tannant Kodak F-5 (pour film et papier)

eau tiède	600 ml
thiosulfate de sodium pentahydraté	240 g
sulfite de sodium anhydre	15 g
acide acétique à 28 %	48 ml
acide borique cristallisé	7,5 g
alun de potassium dodécahydraté	15 g
eau froide qspf	1 000 ml

Fixateur tannant Kodak F-6 (pour films et papiers)

(formulation qui permet de préparer une solution de fixateur « sans odeur »)

eau tiède	600 ml
thiosulfate de sodium	240 g
sulfite de sodium anhydre	15 g
acide acétique à 28 %	48 ml
kodalk (métaborate de sodium)	15 g
alun de potassium	15 g
eau froide qspf	1 000 ml

Formule 3

Solution test Kodak FT1

iodure de potassium	19 g
eau qspf	100 ml

Ajouter 5 gouttes de la solution test à 5 gouttes du bain de fixage et 5 gouttes d'eau. Si un précipité jaune-blanchâtre se forme instantanément, le fixateur est épuisé, il faut le remplacer.

Formule 4*Solution test Kodak ST-1*

eau	100 ml
sulfure de sodium	2 g

Avant usage, diluer une partie de cette solution avec neuf parties d'eau. En verser une goutte sur une marge de la photographie, après 2-3 minutes. Absorber cette goutte à l'aide d'un buvard propre. Toute coloration plus prononcée qu'une simple teinte crème indique la présence de sels d'argent résiduels.

Formule 5*Solution test Kodak HT-1a*

eau distillée	180 ml
permanganate de potassium	0,3 g
hydroxyde de sodium	0,6 g
eau distillée qspf	250 ml

Pour les films

Remplir un récipient en verre de 250 ml d'eau distillée et ajouter 1 ml de la solution HT-1a. Sortir le film de sa cuve de lavage et le laisser égoutter 30 secondes au-dessus de la solution préparée précédemment. En présence de traces de thiosulfate, la couleur passe du violet à l'orange en une trentaine de secondes, et si la quantité est plus importante, l'orange vire au jaune. Le film doit être lavé aussi longtemps que ses effluents colorent la solution test.

Pour les épreuves

Diluer 1 ml de la solution test HT-1a dans 125 ml d'eau. Verser 15 ml de cette préparation dans un récipient en verre, prendre dans la cuve de lavage un tirage (9 × 12 cm) et le laisser s'égoutter au-dessus de cette solution pendant 30 secondes. La présence de sels de thiosulfate fait virer la couleur de la solution de violet à orange en 30 secondes, puis elle devient incolore après une minute.

Formule 6*Solution Kodak HE.1*

eau	500 ml
eau oxygénée (solution à 3 %)	125 ml
ammoniaque (solution à 3 %)	100 ml
eau qspf	1 000 ml

Préparer la solution juste avant l'emploi. La photographie est bien lavée et trempée pendant 6 minutes à 18 °C dans ce bain qui ne se conserve pas et ne doit pas être placé dans un flacon hermétique (risque d'explosion par dégagement gazeux de la solution d'eau oxygénée).

Formule 7*Solution test Kodak HT-2*

eau	750 ml
acide acétique à 28 %	125 ml
nitrate d'argent	7,5 g
eau qspf	1 000 ml

Un morceau de photographie prélevé sur le bord de la marge est trempé à moitié, pendant 4 minutes, dans la solution test HT-2, puis pendant 4 minutes dans une solution de chlorure de sodium à 5 %, et enfin fixé dans une solution contenant 19 grammes de sulfite de sodium et 50 grammes de

thiosulfate par litre. La coloration de la zone traitée est comparée avec la couleur d'un étalon pour évaluer approximativement la teneur en thiosulfate. Faute de référence, on considère qu'un papier est correctement lavé quand la zone immergée, mesurée à l'aide d'un densitomètre (filtre bleu), indique une différence de densité inférieure ou égale à 0,03 avec la zone vierge. Les papiers barytés sur support cartonné doivent être immergés plus longtemps dans la solution test.

Formule 8

Virage Kodak GP.1

eau	750 ml
solution de chlorure d'or à 1 %	10 ml
thiocyanate de potassium ou de sodium	10 g
eau qspf	1 000 ml

Les meilleurs résultats sont obtenus en préparant la solution juste avant emploi. Pour cela, ajouter la solution de chlorure d'or dans l'eau et dissoudre à part le thiocyanate (attention, produit toxique) dans 100 ml d'eau. Verser alors cette solution dans la solution de chlorure d'or en agitant énergiquement. Après l'avoir parfaitement lavée, plonger l'épreuve dans le bain pendant 10 minutes. à 20 °C, laver ensuite pendant 20 minutes. Une tonalité bleuâtre plus prononcée peut être obtenue en prolongeant le traitement pendant une heure. Un litre de solution permet de traiter environ 0,4 m². L'emploi de l'eau distillée est recommandé pour la préparation du bain.

Virage Kodak GP.2

eau distillée	750 ml
chlorure d'or	0,5 g
acide tartrique	1 g
thio-urée	5 g
sulfate de sodium anhydre	15 g
eau qspf	1 000 ml

Formule 9

Virage Kodak T-55

eau chaude	700 ml
sulfite de sodium sec	150 g
sélénium	6 g
chlorure d'ammonium	190 g
eau froide qspf	1 000 ml

Dissoudre le sulfite de sodium dans 700 ml d'eau chaude, ajouter le sélénium et porter à ébullition pendant 30 minutes. À ce stade de la préparation il existe un risque réel de projection, dont il faut se protéger. Le récipient utilisé devra être réservé exclusivement à cette opération. Filtrer si nécessaire et, après refroidissement, introduire le chlorure d'ammonium puis l'eau froide. Pour l'usage, diluer un volume de cette solution avec 5 volumes d'eau. L'épreuve doit être soit parfaitement lavée, soit plongée directement au sortir du fixateur, un lavage partiel provoquerait l'apparition de taches. Le virage dure de 10 à 15 minutes à 20 °C, puis l'épreuve est lavée soigneusement.

Formule 10*Virage Kodak T-7a (en deux bains)**a) solution de réserve pour le blanchiment*

eau	2 000 ml
ferricyanure de potassium	75 g
bromure de potassium	75 g
oxalate de potassium	195 g
acide acétique à 28 %	40 ml

Pour l'utilisation, diluer avec de l'eau à raison d'un volume d'eau pour un volume de solution de réserve.

b) solution de réserve pour le virage

sulfure de sodium	45 g
eau	500 ml

Pour l'utilisation, diluer avec de l'eau à raison de huit volumes d'eau pour un volume de solution de réserve.

La photographie doit être parfaitement lavée, sous peine d'obtenir des tons jaunâtres, des pertes de détails ou des taches. On procède au blanchiment dans le premier bain pendant environ 1 minute, l'image est rincée dans l'eau courante pendant 2 minutes, puis virée dans le deuxième bain pendant une trentaine de secondes. Elle est ensuite lavée et séchée.

Virage Kodak T-8 (un bain)

eau	750 ml
polysulfure de potassium	7,5 g
carbonate de sodium monohydraté	2,5 g
eau qspf	1 000 ml
ou	
eau	750 ml
polysulfure de potassium	7,5 g
borax	2,5 g
eau qspf	1 000 ml

Polysulfure de potassium : autrefois appelé foie de soufre ou esprit de soufre, il est constitué d'un mélange de plusieurs sulfures présents en proportions variables, selon la qualité du produit fourni. Ce produit, très sensible à l'oxydation, doit être conservé dans des récipients parfaitement bouchés.

Dissoudre dans l'ordre les produits.

La photographie, parfaitement lavée, est immergée pendant 15 à 20 minutes dans le bain, puis elle est rincée à l'eau courante, trempée pendant une minute dans une solution de bisulfite de sodium à 3 %, tannée dans un bain tannant du type Kodak F-5a, méticuleusement lavée et séchée.

Formule 11*Silverlock*

polysulfure de potassium	495 g
eau qspf	1 000 ml

Après dissolution ajouter :

borax	20 g
-------	------

Couvrir et laisser reposer pendant une nuit. Après décantation, utiliser en diluant. Pour les microfilms, appliquer à 1:25 à 27 °C pendant une dizaine de secondes.

Formule 12*Tannage Kodak SH-1*

eau	500 ml
solution de formaldéhyde à 37 %	10 ml
carbonate de sodium anhydre	6 g
eau qspf	1 000 ml

Formule 13*Affaiblisseur de Farmer*

a)	
ferricyanure de potassium	37,5 g
eau qspf	500 ml
b)	
thiosulfate de sodium pentahydraté	480 g
eau qspf	2 000 ml

Pour les négatifs

Mélanger juste avant l'emploi 30 ml de (a) avec 120 ml de (b) et compléter avec un litre d'eau. Plonger immédiatement le négatif. Avant que l'effet désiré ne soit atteint, le sortir, le laver à l'eau courante, fixer et traiter suivant les procédures décrites pour l'archivage.

Pour les épreuves

Mélanger 3 ml de (a) avec 12 ml de (b) et compléter avec un litre d'eau. Le tirage peut être immergé humide ou sec ; dans le second cas, l'affaiblissement est plus lent, mais il est impératif de bien agiter le bain pour que la solution soit répartie de façon homogène. Avant que l'effet désiré ne soit atteint, sortir l'épreuve, la laver à l'eau courante, fixer et traiter suivant les procédures décrites pour l'archivage. On peut aussi procéder à une application locale sur le tirage humide à l'aide d'un Coton-Tige ou d'un pinceau fin.

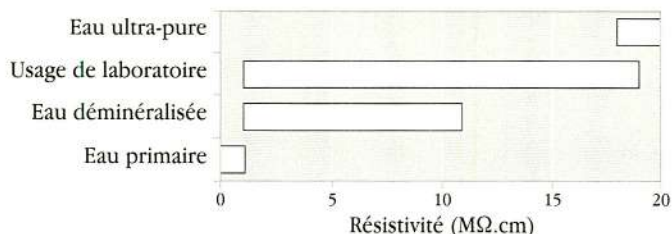
ANNEXE 2 : LE TRAITEMENT DE L'EAU

Si l'eau du robinet peut convenir à l'alimentation et aux usages courants, elle n'en contient pas moins un nombre important d'impuretés : particules en suspension, composés organiques et inorganiques dissous, micro-organismes, gaz, etc. Pour des applications particulières, il convient parfois de traiter cette eau, mais il serait faux de penser que l'on obtient ainsi de l'eau absolument pure. Celle-ci n'existe qu'en théorie : quel que soit le traitement, on trouve toujours dans l'eau des impuretés à l'état de traces. L'adoucissement de l'eau qui consiste à échanger, grâce à une résine, les ions calcium et magnésium responsables de la dureté de l'eau par des ions sodium, n'est pas une technique de purification. Une purification n'est d'ailleurs pas toujours souhaitable ; au contraire, dans certains cas, une eau traitée sera inefficace (lavage de photographies) ou aura des effets néfastes (corrosion). L'objectif de tout traitement est de disposer d'une eau dont la composition correspond à un usage spécifique (Tableau 105).

L'évaluation de la pureté de l'eau se fait couramment par la mesure de sa conductivité ou de sa résistivité (la résistivité est l'inverse de la conductivité). Plus une eau est pure, plus elle résiste au passage d'un courant électrique. Une eau très pure a une résistivité à 25 °C de 18,24 M Ω .cm ; mais elle ne pourra être maintenue, car les gaz contenus dans l'air (gaz carbonique, par exemple) se dissolvent très vite et abaissent cette valeur.

Illustration 143

Résistivité de l'eau selon les applications.



La distillation

Cette technique, l'une des plus anciennement utilisées, réclame beaucoup d'énergie : le liquide est porté à ébullition puis les vapeurs sont condensées sur une surface froide. Ce procédé de purification est efficace pour éliminer les composés inorganiques qui restent alors dans la cuve de distillation, mais les composés organiques volatils sont récupérés dans le distillat.

La déminéralisation

L'eau circule sur des grains de résine qui piègent, par un phénomène électrostatique, les espèces chimiques chargées ; ainsi les anions (chlorure, sulfate, nitrate...) sont retenus sur des résines dites anioniques et remplacés par des ions hydroxydes (OH^-), et les cations (calcium, magnésium, sodium...) sur des résines cationiques et remplacés par des ions hydronium (H_3O^+). Les composés organiques apolaires ne sont pas retenus par ces résines. Ces résines doivent être régénérées ou remplacées lorsqu'elles sont saturées.

L'osmose inverse

Le principe consiste à faire passer l'eau à travers une membrane imperméable aux impuretés, et à récupérer ainsi l'eau purifiée de l'autre côté. Pour cela, on doit appliquer une certaine pression destinée à vaincre le processus naturel d'osmose – l'eau purifiée traversant la membrane pour diluer l'eau primaire – dont les effets sont à l'opposé de ceux que l'on recherche. L'osmose inverse permet d'obtenir une eau d'une grande pureté. Elle peut être combinée à des résines échangeuses qui prétraiteront l'eau.

L'adsorption sur charbon actif

De même que le charbon actif est utilisé pour la purification de l'air (voir p. 127), il est appliqué au traitement de l'eau pour piéger des composés organiques et le chlore dissous.

Tableau 105

Le traitement de l'eau.

<i>type d'agent polluant</i>	<i>exemple</i>	<i>traitement recommandé</i>
particules en suspension	sable, colloïdes	micro et ultra-filtration osmose inverse
composés organiques	pesticides	osmose inverse
composés minéraux	bicarbonates de calcium, de magnésium, sulfates, chlorures, nitrates, phosphates, fer, aluminium, etc.	résines cationiques et anioniques
micro-organismes	bactéries	désinfectant
gaz	oxygène gaz carbonique	résines échangeuses d'ions

**ANNEXE 3
ÉLÉMENTS À INSÉRER DANS UN PLAN D'URGENCE,
D'APRÈS UN MODÈLE DU NORTHEAST DOCUMENT
CONSERVATION CENTER (ÉTATS-UNIS)**

Nom de l'institution :

Date de mise à jour de cette liste :

Liste du personnel à contacter en cas d'urgence

<i>Fonction administrative</i>	<i>Nom</i>	<i>Téléphone domicile</i>	<i>Fonction en cas de sinistre</i>
Directeur
Conservateur
Chef de l'équipe de sauvetage
Chef de la maintenance
Restaurateur
Équipe de sauvetage

Services externes utiles en cas de sinistre

<i>Domaine d'intervention</i>	<i>Société ou personne</i>	<i>Téléphone</i>
Ambulance
Architecte
Assurance
Charpentier
Compagnie d'assurance
Congélation/transport frigorifique
Conseiller juridique
Conseiller technique
Désinfection
Désinsectisation
Électricien
Lyophilisation
Photographe
Plombier
Police
Pompiers
Protection civile
Samu
Sauvetage après incendie
Sauvetage après inondation
Sauvetage des données informatiques
Sauvetage du matériel informatique
Serrurier
Service de sécurité
Surveillance
Transporteur
Vitrier
Divers

Équipements d'urgence disponibles et accès*(inventaire et localisation sur plan joint)*

<i>Objets</i>	<i>Type-nombre</i>	<i>Localisation</i>
Plan des locaux, circuits électriques, canalisations		
Clés		
Électricité : disjoncteur général		
Eau : coupure générale		
Gaz : vanne d'arrêt		
Sprinkleurs : localisation		
Climatisation : boîtier de commande		
Extincteurs portables : types d'extincteurs		
Alarme incendie		
Détecteurs d'incendie : types de détecteurs		
Éclairage de secours		
Pompe à eau		
Sacs en plastique		
Serpillières, éponges		
Trousse de secours		
Ventilateurs		
Table pliante		
Lit de camp		
Chariots		
Bacs en plastique et seaux		
Couvertures		
Espace d'entreposage/séchage		

Tous les membres des équipes d'intervention ont-ils pris connaissance de ces emplacements ?

Fournisseurs/location de matériel de secours

<i>Objets</i>	<i>Fournisseur</i>	<i>Téléphone</i>	<i>Adresse</i>
Aspirateur à eau			
Bâches en plastique			
Balais			
Bottes			
Cageots en plastique			
Camion frigorifique			
Casques			
Déshydrateur			
Éclairage de secours			
Entrepôt de séchage			
Éponges, serpillières			
Fil de nylon			
Gants			
Glace carbonique			
Groupe électrogène			
Lampes de poche			
Lunettes de sécurité			
Chariots			
Pompe à eau			
Poubelles			
Rallonges électriques			

Objets	Fournisseur	Téléphone	Adresse
Rouleaux de papier journal vierge			
Sacs en plastique armé			
Sacs poubelles en plastique			
Seaux en plastique			
Serviettes en papier			
Tables pliantes			
Tabliers			
Tuyaux d'arrosage			
Ventilateurs			
Divers			

Contrôles périodiques

- Responsable des fermetures et des clés
- Numéros d'urgence près de chaque téléphone
- Dernière inspection de la sécurité incendie
 - fréquence des inspections
 - contrôle des extincteurs manuels
 - contrôle des détecteurs d'incendie
 - contrôle des systèmes automatiques d'extinction
 - contrôle des détecteurs d'eau
 - contrôle des systèmes d'alarme
- Éclairage de secours en état de marche
- A-t-on montré au personnel l'emplacement des extincteurs, issues de secours, équipements d'urgence ? A-t-on désigné et fait connaître les membres des équipes d'intervention ?
- Dernier exercice incendie et fréquence de ces exercices
- A-t-on effectué un relevé photographique des bâtiments (intérieur et extérieur) ?
- Existe-t-il une copie (duplicata, image numérique) des documents conservés, stockée sur un autre site ? Est-elle remise à jour régulièrement ?

Inventaire de la collection et police d'assurance

Joindre une copie de l'inventaire et de la police d'assurance

Liste des œuvres ou des fonds à sauver ou à traiter en priorité

Joindre la liste et l'emplacement des objets qui doivent être sauvés en priorité dans chaque zone.

Équipe d'intervention

*Indiquer les membres du personnel en possession de ce document, et ceux qui sont familiarisés avec son contenu
Relever tous les endroits où ce plan est disponible*

Sauvetage des collections

Joindre les traitements préconisés pour le sauvetage des œuvres

Vocabulaire de base

Acétates de cellulose. Polymères obtenus à partir de la cellulose. Le triacétate de cellulose est utilisé comme support de films photographiques et cinématographiques ; sa stabilité dimensionnelle et sa durabilité sont moindres que celles du polyester.

Acide. Cet adjectif qualifie une solution aqueuse dont le pH est inférieur à 7,0. Beaucoup de papiers et cartons s'acidifient en vieillissant. Cette acidité, qui peut être mesurée par le pH de leur extrait aqueux, est due en partie à la pollution atmosphérique, mais résulte surtout de leur mode de fabrication. Ces papiers et cartons peuvent être à l'origine d'altérations des photographies.

Actinique. Qualifie le pouvoir de certains rayonnements d'agir sur des substances. La lumière rouge d'un laboratoire est inactinique pour les papiers photographiques. Les rayons ultraviolets sont actiniques sur de nombreux matériaux organiques.

Activité de l'eau. L'activité de l'eau d'un matériau traduit son aptitude à libérer de la vapeur d'eau. Elle est calculée en divisant la pression partielle de la vapeur d'eau mesurée au-dessus de ce matériau par la pression de vapeur de l'eau distillée.

Acuité visuelle. Capacité de distinguer des objets très rapprochés les uns des autres.

Adoucissement de l'eau. Opération qui consiste à remplacer les ions calcium et magnésium par des ions sodium.

Affaiblissement. Traitement chimique destiné à diminuer la densité d'une image photographique surexposée ou surdéveloppée. L'affaiblissement est aussi la conséquence d'une altération chimique des photographies, produite par un mauvais traitement et/ou par de mauvaises conditions de conservation.

AFNOR. Association française de normalisation.

Agent mouillant. Substance qui abaisse la tension superficielle de l'eau et permet ainsi d'éviter la formation de gouttelettes à la surface des photographies après le lavage.

Agrandisseur. Appareil optique utilisé par les photographes en laboratoire pour faire des tirages sur papier d'un format différent de celui du négatif.

Alcalin. Composé qui confère des propriétés basiques.

Amidon. Hydrate de carbone extrait des plantes, utilisé jadis en photographie pour l'encollage de certains papiers salés et la préparation de colles.

Analogique. Utilisé par opposition à numérique. La représentation du signal se fait par une grandeur physique continue.

Anion. Ion chargé négativement.

ANSI. American National Standards Institute.

Antihalo. Couche colorée introduite dans les films pour absorber, lors de la prise de vue, les rayons lumineux et éviter ainsi les phénomènes de réflexion à l'origine des halos.

APS. *Advanced Photographic System.* Standard photographique développé conjointement par les sociétés Canon, Kodak, Fuji, Minolta et Nikon et introduit sur le marché en 1996. Les pellicules photographiques sont des émulsions traditionnelles sur support souple, et comportent également des pistes magnétiques pour enregistrer des données de l'opérateur ou du laboratoire.

Argent. Élément de base pour la préparation des surfaces sensibles (représenté par le symbole Ag). Combiné avec un halogène (chlore, brome, iode), il forme un halogénure d'argent sensible à certains rayonnements électromagnétiques comme la lumière, les rayons UV, les rayons X, etc. Si on peut se passer de l'argent pour faire des tirages photographiques sur papier, il reste encore indispensable pour la prise de vue, où il permet d'obtenir des sensibilités très élevées associées à une grande qualité d'image.

Argent photolytique. Dépôt d'argent métallique formé par la seule action de la lumière. C'est le cas d'une image latente ou des procédés à noircissement direct utilisés au XIX^e siècle.

Arrêt (bain d'). Solution d'acide acétique destinée à arrêter l'action du révélateur par abaissement du pH.

ASA. Système d'évaluation de la sensibilité d'une couche sensible calculée d'après les recommandations de l'American Standard Association. Remplacé aujourd'hui par le système équivalent ISO.

Autopositif. Élément (positif ou négatif) de même polarité que l'original photographié obtenu par un traitement conventionnel. *Voir* Positif direct.

Auxiliaire de lavage. Solution saline (par exemple sulfite de sodium à 10 %) destinée à accroître l'efficacité du lavage des photographies.

Azurant optique. Composé fluorescent absorbant dans la région des ultraviolets et réémettant dans le visible. Ces composés sont utilisés pour accroître la blancheur de certains supports photographiques en papier.

Balance des couleurs. Équilibre harmonieux dans le mélange des trois couleurs de base, qui s'évalue par un rendu exact des tonalités grises de l'original dans une photographie en couleurs.

Baryté (papier). Papier photographique comprenant une couche intermédiaire de sulfate de baryum dispersé dans de la gélatine (avec parfois des azurants optiques). Inventée dans les années 1880, l'opération de barytage, qui vise à améliorer la surface des supports en papier, caractérise aujourd'hui les papiers photographiques dits traditionnels en opposition aux papiers plastifiés.

Basique. Se dit d'une solution aqueuse dont le pH est supérieur à 7,0.

Bit. Contraction de Binary Digit (chiffre binaire). Unité élémentaire d'un système informatique, qui peut prendre la valeur 0 ou 1.

Blanchiment. En photographie, opération chimique qui consiste à réduire l'argent d'une photographie en un sel d'argent incolore. L'image peut être ensuite redéveloppée, virée ou éliminée.

Bromure d'argent. Halogénure d'argent le plus couramment utilisé en photographie. Il permet, combiné à la gélatine, de préparer des émulsions sensibles à la lumière.

Candela. Unité d'intensité lumineuse dans le système international, noté cd.

Capacité. Exprime en nombre d'octets la quantité d'information que peut contenir un support informatique :

o : un octet ■ Ko : un kilo-octet , 1 024 octets (environ 10^3 octets)

Mo : un mégaoctet, 1 048 576 (environ 10^6 octets)

Go : un gigaoctet (environ 10^9 octets) ■ To : un téraoctet (environ 10^{12} octets)

Po : un pétaoctet (environ 10^{15} octets) ■ Eo : un exaoctet (environ 10^{18} octets)

Cation. Ion chargé positivement.

CD-R. Compact Disc Recordable. Disque optique numérique de 12 cm de diamètre, enregistrable mais ineffaçable.

CD-Rom, cédérom. Compact Disc Read Only Memory. Disque optique numérique de 12 cm de diamètre, non enregistrable, ineffaçable et utilisé comme support éditorial.

Cibachrome. Nom d'une émulsion photographique couleurs reposant sur une technique de destruction sélective des colorants au contact d'une image argentique. Cette technique est mise au point par le chimiste hongrois Bella Gaspard (procédé Gasparcolor) dans les années 1930. Elle est ensuite commercialisée sous le nom de Cibachrome (1963), puis de Cibachrome et enfin de Ilfochrome Classic (1991). Lors de la fabrication de la couche sensible, des colorants azoïques, jaune, magenta et cyan sont introduits. Ces colorants seront détruits sélectivement (blanchiment) au cours du développement, en utilisant les propriétés catalytiques de l'image argentique.

Ces procédés étant trop peu sensibles pour permettre l'utilisation en prise de vue, leur application est limitée aux supports de tirages ou aux microfiches.

Cliché. Photographie négative.

Colorimètre. Appareil destiné à mesurer les coordonnées trichromatiques d'une source lumineuse ou d'un objet coloré dans des conditions normalisées.

Colloïdal (argent). Très fines particules d'argent en suspension dans un milieu comme de la gélatine et qui produisent un aspect coloré.

Compression. Traitement des données informatiques destiné à réduire la taille des fichiers qu'elles occupent. L'objectif actuel est d'accroître le facteur de compression en minimisant les pertes.

Conservation. Action directe ou indirecte destinée à accroître l'espérance de vie d'un bien culturel, en bon ou en mauvais état, pour le transmettre au public d'aujourd'hui ou de demain.

Conservation préventive. Action(s) qui vise(nt) à assurer la pérennité du patrimoine sans intervention directe sur l'objet, mais en contrôlant son environnement.

Contraste. Appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement (norme AFNOR X35-103). Pour les tirages, le contraste désigne l'écart présenté par les valeurs extrêmes de densité de l'image. On l'évalue à partir de l'indice de contraste ou des mesures densitométriques.

Contretype. Copie d'une image photographique qui respecte sa polarité et son mode de restitution (transmission pour les images transparentes, réflexion pour les images opaques sur papier). Le terme contretype indique que la taille de l'original a été respectée.

Contretype négatif. Copie négative sur film d'un original négatif.

Contretype positif. Copie positive sur film d'un original positif.

Couche anticurl. Couche de gélatine présente au verso des supports de films qui limite le tuilage dû à l'émulsion.

Courbe caractéristique/Courbe H&D. Courbe qui traduit le comportement d'une surface sensible exposée à des intensités lumineuses croissantes. À partir de cette courbe, on peut évaluer le contraste et la sensibilité des émulsions.

COV. Composés organiques volatils. Sert à désigner l'ensemble des composés organiques polluant l'air.

DAT. Digital Audio Tape, bande magnétique sur laquelle est enregistré un signal numérique.

Décontamination. Opération au résultat momentané, permettant d'éliminer, de tuer ou d'inhiber les micro-organismes indésirables, en fonction des objectifs fixés. Le résultat de cette opération est limité aux micro-organismes présents au moment de l'opération. L'usage du terme « désinfection » comme synonyme de « décontamination » est prohibé (norme AFNOR NF T 72-101, mars 1981).

Dégénérescence. Phénomène de perte des capacités informatives d'un support photographique, qui est intimement lié au nombre de générations produites.

Demi-ton ou ton continu. Se dit d'une photographie qui comporte une gamme complète de valeurs allant des plus claires aux plus foncées en passant par les tons intermédiaires (antonyme : au trait).

Densité. En photographie, l'emploi de ce terme sous-entend qu'il s'agit de la densité optique. C'est la mesure du pouvoir d'une matière (colorée ou

non) d'absorber la lumière. Elle est définie par le logarithme de l'opacité (l'opacité est le rapport entre la lumière incidente et la lumière transmise). Les zones d'ombre correspondent à des valeurs élevées de la densité, les zones claires à des valeurs faibles.

Densitomètre. Appareil destiné à mesurer la densité optique, soit par réflexion, soit par transmission, des divers supports photographiques en noir et blanc ou en couleurs.

Désacidifier/désacidification. Traitement chimique destiné à neutraliser l'acidité que prennent certains papiers et livres au cours du temps. Traitement inadapté aux photographies.

Désinfection. Opération au résultat momentané, permettant d'éliminer ou de tuer les micro-organismes et/ou d'inactiver les virus indésirables portés par des milieux inertes contaminés en fonction des objectifs fixés. Le résultat de cette opération est limité aux micro-organismes présents au moment de l'opération. L'usage du terme « désinfection » comme synonyme de « décontamination » est prohibé (norme AFNOR NF T 72-101, mars 1981).

Développement. Traitement chimique qui consiste à transformer une image latente (invisible) en image visible. On distingue deux sortes de développement : le développement physique où l'argent qui forme l'image résulte en partie de la réduction d'un sel d'argent soluble présent dans la solution de révélateur, et le développement chimique où l'argent formé provient uniquement de la couche sensible.

Dextrine. Forme dégradée de l'amidon, utilisée comme adhésif. Sa viscosité est plus faible que celle de l'amidon et son séchage plus rapide.

Diapositive. Photographie positive que l'on observe par transparence.

Diazoïque (composé). Composé chimique comprenant une liaison (-N=N-) ; sensible à la lumière, il est à la base d'un procédé appelé diazotypie qui trouve son application avec les microformes diazoïques.

Dilatomètre. Appareil utilisé dans les laboratoires de recherche pour suivre le gonflement de la gélatine lors de son immersion au cours de traitement.

Dioxyde de titane. Pigment minéral blanc utilisé comme agent de blancheur pour la préparation des papiers plastifiés (PE/RC).

Dispersat (atmosphérique). Dispersion en particules très fines (moins de cinq microns) d'une solution dans l'atmosphère ; remplace les termes aérosol, nébulisation ou brumisation.

Disque compact (CD). Disque numérique, d'un diamètre de 12 cm, développé dans les années 1970 et 1980 par Sony et Philips. Plus connu sous sa forme audio, il tend à se développer largement pour des applications multimédias, comme support éditorial ou support de données informatiques (CD-Rom, CD-R). Le terme « Compact Disc » est une marque déposée.

Disque optique numérique (DON). Disque contenant des informations en code binaire et utilisant un dispositif de lecture optique du type du rayon laser.

Dominante. Anomalie dans l'équilibre chromatique d'une image, due au manque ou à l'excès d'un des trois colorants présents dans la couche image. Une dominante colorée peut être neutralisée par l'application d'un filtrage correctif.

DON. Disque optique numérique.

Dpi. *Dot per Inch* (point par pouce). Unité anglo-saxonne utilisée pour définir la résolution. En France, on emploie plus couramment le système métrique en caractérisant la résolution en points ou en paires de lignes par millimètre.

DTC/CCD. Dispositifs à transfert de charges (*Charge Coupled Device*), matrices de cellules qui captent les signaux lumineux dans les numériseurs, caméras vidéo et appareils photo numériques.

Duplicata/contretype. Copie d'une image photographique qui respecte sa polarité, ses dimensions originales et son mode de restitution (transmission pour les images transparentes, réflexion pour les images opaques sur papier).

Duplication. Reproduction d'images photographiques (négatifs, positifs) à des fins de conservation, de restauration ou de diffusion. *Voir* contretype.

Dureté de l'eau. Qualifie la présence de sels minéraux à l'origine de la formation de tartre. Elle s'exprime en degré français (°F). Un degré français est l'équivalent de dix milligrammes par litre de carbonate de calcium (Ca CO_3).

DVD. Digital Versatil Disc, disque optique numérique de 12 cm de diamètre avec des capacités de stockage de plusieurs gigaoctets.

Éliminateur d'hyposulfite. L'altération des images photographiques est souvent provoquée par des sels d'hyposulfite résiduels au fixage. Pour éviter ce phénomène, on peut traiter la photographie par un éliminateur d'hyposulfite, solution à base d'eau oxygénée et d'ammoniaque destinée à transformer le thiosulfate en sulfate. Ce traitement n'est plus recommandé.

Émulsion. En photographie, ce terme désigne une suspension d'halogénure d'argent dans de la gélatine ou du collodion qui, une fois coulée sur un support, constitue la couche sensible. L'invention des procédés à émulsion marque l'origine de la fabrication industrielle des surfaces sensibles. Auparavant, la préparation des papiers albuminés et des négatifs au collodion humide se déroulait en deux étapes : on recouvrait le support par le liant que l'on imprégnait ensuite des sels sensibles. Dans les procédés à émulsion, on recouvre directement le support d'un mélange liant-sels sensibles.

Encapsuler/encapsulation. Termes adaptés de l'anglais qui désignent l'opération consistant à enfermer un document de façon hermétique entre deux feuilles de polyester, dans le but de le protéger et de le conserver. Terme également utilisé en informatique pour désigner un ensemble d'informations numériques attachées à un fichier de données et indissociables de celui-ci.

Encodage. Modification de la nature du signal d'une information, par exemple l'encodage numérique d'un signal analogique.

Encollage. Traitement appliqué aux fibres du papier pour leur conférer certaines propriétés physiques, en particulier limiter la diffusion des encres.

Épreuve. Tirage positif sur papier.

Espérance de vie. Estimation du temps (à 21 °C et 50 % HR) pendant lequel l'accès à une information sera conservé.

Une ancienne classification distinguait la conservation à moyen terme, assurant aux documents une durée de vie d'un minimum de dix ans, de la conservation pour archives, qui concerne les documents d'une « valeur permanente » (norme ISO 5466:1992). On tend actuellement à utiliser plutôt la notion d'« espérance de vie ».

Étalonnage. En photographie (conventionnelle ou numérique), désigne l'ensemble des paramètres qui permettent d'exercer un contrôle rigoureux sur la restitution des valeurs et des couleurs d'une reproduction photographique.

Fac-similé. Épreuve, obtenue par reproduction ou à partir du négatif original, dont le support de tirage et le traitement associé sont identiques à ceux de l'image de référence.

Facteur de réflexion. Rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident.

Film de sécurité. Défini dans la norme ISO 543, désigne les supports transparents en triacétate de cellulose et en polyester introduits à partir de 1948, pour remplacer le nitrate de cellulose instable et inflammable.

Fixage. Traitement chimique destiné à éliminer les sels sensibles résiduels. Après le bain de fixage, l'image est stable et peut être observée à la lumière sans subir de modification. Le fixage se déroule en deux étapes : formation de complexes argent-thiosulfate, suivie de leur dissolution. Plusieurs composés peuvent jouer ce rôle, mais c'est à la suite des travaux de Herschel, en 1839, que le thiosulfate de sodium fut progressivement adopté. Aujourd'hui, on tend à le remplacer par du thiosulfate d'ammonium qui a une action plus rapide.

Fongicide. Qualifie un composé ou un traitement destiné à tuer les champignons et leurs spores dans des conditions déterminées.

Fongistatique. Qualifie un composé ou un traitement qui inhibe momentanément le développement des moisissures.

Formol/formaldéhyde. Gaz incolore et toxique utilisé jadis en solution aqueuse pour le tannage de la gélatine ou pour ses propriétés fongicides.

Gélatine. Protéine extraite de matières animales (os, peau, etc.). C'est le liant de base utilisé en photographie pour maintenir les halogénures d'argent en suspension ; mais elle peut être aussi photosensibilisée par l'action d'un bichromate alcalin.

Gélatino-bromure d'argent. Suspension de bromure d'argent dans la gélatine. Le procédé au gélatino-bromure d'argent, inventé par Maddox en 1871, est à la base des procédés photographiques contemporains.

Génération. Désigne la position chronologique d'un élément photographique dans un processus de reproduction. Dans un schéma conventionnel, le négatif original est dit de première génération, le premier interpositif constitue la deuxième génération et le contretype négatif la troisième. Si on emploie un film de copie inversible ou autopositif, le premier contretype négatif peut se situer en deuxième génération.

Glaçage. Opération qui donne aux photographies sur papier baryté une surface très brillante, dite « glacée ». Le glaçage s'obtient par séchage de l'épreuve, à chaud ou à froid, sur une surface parfaitement lisse. Ce traitement ne concerne pas les papiers plastifiés.

Go. Gigaoctet, environ mille millions d'octets, mille mégaoctets.

Halogènes. Classe d'éléments qui renferme l'iode, le brome, le chlore et le fluor. Les halogènes réagissent avec certains métaux pour former des halogénures comme des halogénures d'argent (iodure d'argent, bromure d'argent, chlorure d'argent). *Voir* argent.

Humidité absolue (HA). Masse de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air (grammes par mètre cube).

Humidité spécifique (HS). Masse de vapeur contenue dans un kilogramme d'air ou dans un kilogramme de matière. *Voir* teneur en humidité à l'équilibre.

Humidité relative (HR). Rapport entre la masse de vapeur d'eau contenue dans l'air et la masse d'eau que contiendrait le même volume à saturation.

Hydrolyse. Réaction de décomposition des matériaux organiques faisant intervenir l'eau (sous forme liquide ou vapeur).

Hydrophile. Se dit d'un composé qui a de l'affinité pour l'eau.

Hydrophobe. Se dit d'un composé qui n'a pas d'affinité pour l'eau.

Hygroscopique. Se dit d'un composé qui a la propriété d'absorber ou d'adsorber l'humidité de l'air.

Hypo/hyposulfite. Terme employé par les photographes pour désigner le thiosulfate de sodium ou d'ammonium qui entre dans la préparation du bain de fixage. *Voir* fixage.

Imageur. Dispositif permettant d'exposer une surface sensible à partir d'un fichier numérique, pour obtenir une photographie.

Inertant. Se dit d'un composé utilisé pour neutraliser certains effets indésirables d'un composé actif. Les halons et l'azote sont utilisés comme inertants lors de la désinfection à l'oxyde d'éthylène pour éviter les risques d'incendie.

Intensification. Traitement chimique ou physique destiné à augmenter la densité et les valeurs d'une photographie. Les négatifs sous-exposés ont parfois été intensifiés par traitement chimique. Des méthodes similaires ont été préconisées pour la restauration des photographies altérées. Il faut cependant rester très prudent, car ces traitements sont irréversibles et les résultats incertains à court et à long terme.

Internégatif. Intermédiaire négatif (intertype négatif) ; peut désigner une reproduction négative.

Interpositif. Intermédiaire positif (intertype positif) réalisé à partir d'un négatif original. Avec l'interpositif, on réalise un négatif (second original) qui pourra se substituer à l'original pour l'exploitation.

Inversible. Élément (positif ou négatif) de même polarité que l'original photographié. La conformité de polarité est obtenue à l'aide d'un traitement dit « par inversion » ou inversible, qui fait intervenir deux révélateurs (un premier révélateur : négatif, et un second révélateur : positif).

Ion. Atome ou ensemble d'atomes de petite taille chargés électriquement.

ISO. International Standard Organisation. Les normes internationales sont élaborées par des experts au sein du comité technique TC-42 où sont représentés une dizaine de pays qui adoptent les spécifications à la majorité des voix. Ces normes ISO sont souvent de simples transcriptions des normes ANSI (American National Standards Institute) ; le comité américain sur « les propriétés physiques et la permanence des images » (Committee IT9) est en effet très actif, et ses réunions régulières sont à l'origine de nombreuses propositions ou révisions de normes, qui seront ensuite adoptées au niveau international ISO.

Latente (image). Image invisible à l'œil, formée à l'échelle atomique après une brève exposition à la lumière de la surface sensible. L'image sera rendue visible par un développement.

Lavage. Opération qui achève le traitement des photographies et est destinée à éliminer les sels résiduels du bain de fixage. Un lavage insuffisant laisse des résidus chimiques qui se décomposent et attaquent l'image.

Liant. Constituant qui permet d'assurer la cohésion d'une couche contenant plusieurs composés. Aujourd'hui, pour la photographie, on utilise de la gélatine, et pour les supports magnétiques, du polyuréthane.

Lumière. Partie du spectre électromagnétique perçue par l'œil humain (entre 400 et 780 nanomètres).

Lux. Unité d'éclairement. Caractérise le flux de lumière reçu par unité de surface.

Macro-environnement. Conditions atmosphériques (température, humidité, pureté de l'air) qui règnent dans un espace de grande taille où sont conservés les documents.

Master. Utilisé pour désigner la première génération de supports photographiques qui servira à produire des duplicatas.

Microclimat. Conditions climatiques (température, humidité) qui règnent dans un volume restreint, et qui sont différentes des conditions ambiantes.

Microforme. Tout support contenant des micro-images.

Micro-environnement. Conditions atmosphériques (température, humidité, pureté de l'air) à l'intérieur d'un contenant où les documents sont conservés.

Micro-image. Image de taille réduite demandant à être agrandie pour la lecture.

Micro-organismes. Éléments biologiques capables de se multiplier lorsque les conditions sont favorables. On distingue deux familles : les champignons et les bactéries.

Micron (μm). Unité de mesure de longueur représentant un millième de millimètre.

Miroir d'argent. Voile bleuté que l'on observe, sous une certaine incidence, dans les parties sombres de photographies détériorées. Ce voile est constitué d'un dépôt superficiel d'argent provenant de l'image.

Mo. Mégaoctet, 1 048 576 octets ou environ un million d'octets.

Modelé continu (image). Image dans laquelle la transition du blanc au noir se fait par un accroissement continue de la densité (par opposition à image au trait). *Voir* demi-ton.

Négatif. Image dont les tonalités sont inversées par rapport à celles du sujet. Le procédé négatif a été inventé par Fox Talbot en 1841, et permet de produire un nombre illimité d'images positives.

Négatif original. Élément négatif exposé dans un appareil de prise de vue (équivalent de négatif caméra pour la filière cinématographique).

Neutre. Caractérise ce qui n'est ni acide, ni basique, c'est-à-dire à un pH de 7,0 (*voir* pH). Le caractère neutre d'un matériau n'est une condition ni nécessaire ni suffisante pour justifier son application en conservation des photographies. Abusivement employé dans le sens d'inerte.

Nitrate de cellulose. Le nitrate de cellulose a été utilisé, à partir de 1889, par la société Eastman-Kodak comme support en plastique pour remplacer le support en verre des négatifs photographiques. Très instable et inflammable, le nitrate de cellulose a été interdit en 1951. Les films sur support en nitrate de cellulose doivent être identifiés et stockés à part selon des conditions spécifiques. Le celluloid, le collodion, le coton-poudre sont constitués de nitrate de cellulose.

Nitrocellulose. *Voir* nitrate de cellulose.

Numérique. Technique de codage qui transforme un signal continu (analogique) en signal discontinu.

Octet. Ensemble de huit bits.

Opacité. Rapport entre le flux incident et le flux transmis à travers un support.

Orthochromatique. Caractère d'une émulsion qui est sensible uniquement à la lumière verte et à la lumière bleue.

Oxyde d'éthylène (ou oxirane). Gaz toxique utilisé pour la désinfection des collections.

Oxydoréduction. Lorsqu'une substance en réduit une autre, elle s'oxyde elle-même. C'est une réaction d'oxydoréduction qui est à la base du développement chimique des photographies. En s'oxydant, le révélateur réduit en argent métallique les halogénures d'argent impressionnés par la lumière. Les altérations des images argentiques se déroulent selon d'autres processus d'oxydoréduction.

Panchromatique. Se dit d'une émulsion sensibilisée à l'ensemble des radiations lumineuses.

Papier permanent. Papier qui, au cours d'un stockage de longue durée dans un environnement protégé, ne subira que peu ou pas de changement dans celles de ses caractéristiques qui ont une incidence sur son utilisation (norme ISO 9706 : 1994).

Papier photographique. Désigne généralement le papier sensible destiné au tirage des négatifs.

Passe-partout. Montage en papier ou carton utilisé pour la présentation des documents graphiques et photographiques.

Permanence. Capacité de rester chimiquement et physiquement stable durant de longues périodes (norme ISO 9760 : 1994).

pH. Potentiel hydrogène, correspond au cologarithme de l'activité en ion hydronium dans la solution. Il définit le caractère basique ou acide d'une solution. Un pH inférieur à 7,0 correspond à une solution acide, un pH supérieur à 7,0 correspond à une solution basique et à un pH de 7,0 la solution est neutre. Lorsque le pH augmente d'une unité, le caractère basique de la solution est multiplié par 10. L'échelle de pH s'étend de 0 à 14.

Photographie. Enregistrement permanent et visible de l'action d'un rayonnement électromagnétique sur une surface sensible ; cette définition tend à s'assouplir pour s'appliquer à de nouvelles techniques d'impression en sortie d'ordinateur.

Photomécanique (procédé). Procédé de reproduction mécanique d'une photographie. L'image finale n'est pas obtenue par l'action de la lumière sur un sel sensible, mais par des matrices (préparées suivant un procédé photographique) en métal ou en pierre imprégnées d'un pigment, puis déchargées sur un support papier.

Pigmentaire (procédé). Désigne des procédés dans lesquels l'image est formée par un ou plusieurs pigments et non par un métal (argent, platine, etc.). Les procédés pigmentaires sont très stables et autorisent une grande liberté d'interprétation. Ils demandent, en revanche, beaucoup de

savoir-faire. Très en vogue à la fin du XIX^e siècle, ils ont été exploités par les photographes pictorialistes.

Pixel. Formé sur PICture ELe ment, élément de base d'une image numérique représentant le plus petit élément homogène.

Plastifiant. Substance ajoutée à certains polymères pour les rendre plus souples.

Point de rosée. Voir température de rosée.

Polarité. En photographie, caractérise la distribution des valeurs de la représentation photographique par rapport au sujet ou à la référence (polarité négative, polarité positive).

Polaroid. Nom d'un procédé de photographie à développement instantané introduit par l'américain E. Land à la fin des années 1940. L'image positive est obtenue en quelques dizaines de secondes après la prise de vue. La formation de cette image utilise les propriétés du développement par diffusion-transfert. Initialement en noir et blanc, les Polaroid couleurs apparaissent dans les années 1960.

Polyester. Copolymère obtenu par condensation entre des polyacides et des alcools non saturés ou des glycols. En photographie, il s'agit de poly (téréphtalate d'éthylène) ou PET, ou de poly (naphtalate d'éthylène) ou PEN. Le PET est très stable dimensionnellement et dans le temps. Inventé en 1940 et utilisé en photographie à partir de 1955 comme support de surfaces sensibles et plus récemment pour la conservation des documents, il est connu sous différentes marques commerciales : Mylar (Du Pont), Estar (Eastman Kodak), Terphane (Rhône-Poulenc) et d'autres. Le PEN a été introduit plus récemment avec les nouveaux films au format APS : il présente la propriété de se remettre à plat plus facilement après avoir été enroulé.

Positif. Image dont les valeurs correspondent à celles du sujet.

Positif de projection. Image positive transparente dont les caractéristiques sensitométriques sont adaptées à la projection ; la densité minimale est très faible (0,05 à 0,10) alors que la densité maximale dépasse 3. À ne pas confondre avec un interpositif qui n'est pas destiné à la projection.

Positif-direct. Élément (positif ou négatif) de même polarité que l'original photographié et obtenu par un traitement conventionnel : développement suivi d'un fixage, sans bain d'inversion. Les émulsions dites «autopositives» ont été introduites pour simplifier les opérations de duplication.

Ppb. Partie par milliard, soit un millième de millilitre par mètre cube.

Ppm. Partie par million, soit un millilitre par mètre cube.

Ppp. Points par pouce. Voir dpi.

Préservation. Ensemble des dispositions prises pour minimiser ou prévenir la dégradation du patrimoine culturel. Ce terme englobe les mesures de conservation-restauration.

Procédé à blanchiment de colorants. Voir Cibachrome.

pts/mm. Points par millimètre. Voir dpi et résolution.

Recopie. Opération qui consiste à recopier des fichiers informatiques sur un nouveau support avant que l'ancien ne soit dégradé ou illisible en raison de l'obsolescence du système de lecture (en anglais *refreshing*). Il peut s'agir de la recopie sur un support identique ou différent.

Réflexion diffuse. Réflexion de la lumière par une surface dans toutes les directions.

Réflexion spéculaire. Réflexion de la lumière par une surface lisse dans une direction privilégiée : l'angle de réflexion est alors égal à l'angle d'incidence (c'est le cas avec un miroir).

Reformatage. Modification de la nature ou du format original d'un support d'information. En photographie, la duplication avec modification de l'échelle, le microfilmage, sont des opérations de reformatage.

Rendu des couleurs. Équilibre des couleurs dans une photographie qui conditionne la restitution fidèle des couleurs de l'original.

Renforcement. Consolidation mécanique d'une œuvre. Voir intensification.

Reproduction. Épreuve réalisée en l'absence du négatif original à partir d'un tirage disponible.

Reproduction en demi-teinte. Reproduction d'une image par une série de teintes intermédiaires de densité continue entre les valeurs extrêmes (synonyme : modelé continu).

Reproduction négative. Élément négatif réalisé à partir d'un original qui peut être une épreuve ou un négatif (le terme reproduction indique qu'il n'existe pas une conformité absolue avec la taille et la polarité de l'élément reproduit).

Réserve alcaline. Composé alcalin introduit dans la pâte à papier et destiné à neutraliser l'acidité que prend le papier en vieillissant. Improprement appelé tampon alcalin.

Résolution. Pouvoir résolvant ou résolution, indique l'aptitude d'un système (émulsion, capteur, imprimante, etc.) à discriminer les détails d'une image. Elle s'exprime en paires de lignes par millimètres, en points par millimètres ou en points par pouce (dpi). En prise de vue, la qualité de l'optique a une incidence sur la résolution.

200 dpi = 8 pts/mm = 4 paires de lignes/mm

300 dpi = 12 pts/mm = 6 paires de lignes/mm

400 dpi = 16 pts/mm = 8 paires de lignes/mm

1 000 dpi = 40 pts/mm = 20 paires de lignes/mm

Restauration. Intervention sur une œuvre endommagée destinée à améliorer la lisibilité de son message en respectant les différentes valeurs qui s'y attachent : historique, esthétique, d'ancienneté, d'usage.

Restitution. Opération analogique ou numérique pour la recréation ou la reconstitution d'une image à partir d'éléments dissociés, altérés ou manquants.

Retouche. Opération qui consiste à améliorer l'aspect esthétique d'une image négative ou positive en en masquant les défauts ; on utilise également le terme de repique lorsqu'il s'agit de masquer des rayures ou des points.

Révélateur. Bain utilisé pour le développement des photographies : c'est une solution réductrice permettant d'amplifier la masse argentique de l'image latente.

Réversibilité. Tout traitement de restauration se doit d'être réversible. Les matériaux ou composés étrangers apportés lors d'une restauration pour consolider ou reconstituer partiellement l'image doivent pouvoir s'éliminer sans aucune conséquence préjudiciable pour le document original.

Sans acide. Terme commercial utilisé pour qualifier des matériaux d'archivage dont le pH est supérieur ou égal à 7,0. Cela ne garantit pas que les matériaux soient utilisables pour la conservation des photographies.

Sensibilité. La sensibilité d'une émulsion photographique désigne soit la sensibilité spectrale, c'est-à-dire la région du spectre électromagnétique qui est actinique, soit son aptitude à réagir à une certaine intensité lumineuse ; elle s'exprime alors en ISO ou ASA. En outre, les œuvres photographiques peuvent être regroupées dans des classes de sensibilité à la lumière selon leur fragilité.

Sensitométrie. Discipline physique qui permet de caractériser les couches photographiques au cours de la fabrication (préparation de l'émulsion), de l'utilisation (prise de vue), voire de l'archivage.

Substratum. Couche intermédiaire destinée à faciliter l'adhésion d'une couche sensible sur un support.

Sulfate de baryum. Pigment blanc, de formule chimique BaSO_4 , introduit pour la préparation des supports photographiques industriels en papier à partir des années 1885.

Tampon (solution). Solution contenant des composés qui maintiennent le pH entre certaines limites, malgré l'ajout d'un acide ou d'une base.

Tannage. Durcissement des émulsions à la gélatine par un traitement avec un agent tannant tel que le formol (formaldéhyde), ou un alun de chrome de potassium ou d'ammonium. Le tannage améliore la résistance mécanique des émulsions en limitant leur gonflement et leur ramollissement dans les solutions aqueuses.

Température de rosée. Température à laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant commence à se condenser. La température de rosée varie selon la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air.

Teneur en humidité à l'équilibre (THE). Appelée également humidité spécifique. C'est le pourcentage de la masse d'un matériau constituée par de la vapeur d'eau :

$$\text{THE \%} = \frac{\text{masse d'eau}}{\text{masse du matériau sec}} \times 100$$

Tirage. Opération consistant à produire une image positive à partir d'un cliché ; désigne également l'épreuve photographique ainsi obtenue.

Tirage contact. Tirage obtenu en plaçant le négatif en contact direct avec la surface sensible. Un tirage contact a la même dimension que le négatif. Alors qu'au XIX^e siècle la plupart des tirages étaient réalisés par contact, ce qui nécessitait des négatifs de grand format, aujourd'hui les planches contact ne sont utilisées que pour choisir les meilleurs clichés susceptibles d'être agrandis et pour documenter les films archivés.

To. Téraoctet, environ un million de millions d'octets ou mille gigaoctets.

Trait (au). Définit une photographie ne comportant que les valeurs extrêmes de la gamme des tonalités : le noir et le blanc.

Traitement de conservation. Ensemble d'opérations réversibles destinées à stabiliser, à redonner une unité physique – voire une certaine lisibilité – à une œuvre détériorée, fragilisée ou menacée. L'objectif premier d'un traitement de conservation est d'assurer la pérennité de l'original dans son intégrité historique.

Transcodage. Opération qui consiste à traduire une information dans un nouveau code : les données informatiques sont converties dans un autre système pour être lisibles sur de nouveaux logiciels ou d'autres ordinateurs (en anglais *migration*). On utilise parfois le terme de reformatage.

Ultraviolet (UV). Partie invisible à l'œil du spectre électromagnétique, située au-delà du violet. Ce rayonnement est très actinique sur les surfaces sensibles et sur de nombreux composés organiques : albumine, colorants, etc.

Vésiculaire (image). Image formée par des microbulles, procédé appliqué pour les microformes.

Vidéodisque. Disque contenant des informations audio et vidéo inscrites en mode analogique.

Vintage. Épreuve réalisée par l'artiste, ou sous son contrôle direct, à une époque qui suit immédiatement celle de la prise de vue du cliché (on considère qu'un intervalle de quelques années est compatible avec la qualification de vintage).

Virage. Traitement chimique destiné à changer l'aspect visuel ou à améliorer la stabilité d'une photographie. L'argent est combiné à un autre composé comme l'or, le platine, le sélénium, le soufre, etc.

Vision mésotopique. Vision intermédiaire entre la vision scotopique et photopique.

Vision photopique. Vision de l'œil lorsqu'il est adapté à de hauts niveaux de luminance.

Vision scotopique. Vision de l'œil lorsqu'il est adapté à de faibles niveaux de luminance (vision de nuit).

Voile dichroïque. Dépôt mordoré, composé d'argent finement dispersé, qui apparaît en surface des photographies lorsque le développement se prolonge dans le bain de fixage ou lorsque le révélateur est pollué par des traces de fixateur. L'application d'un bain d'arrêt en évite la formation.

WORM. Write Once Read Many (désigne un disque optique numérique inscriptible).

Lexique anglais/français

anglais	français	anglais	français
acid free	sans acide	Gb : gigabyte	Go : gigaoctet
anti-curl layer	couche anticurl	gelatin silver	gélantino-argentique
antihalation	anti-halo	gelatin silver bromide	gélantino-bromure d'argent
baryta paper	papier baryté	H&D curve	courbe caractéristique- Courbe H&D
binder	liant	half tone reproduction	reproduction en demi-teinte
bleach	blanchiment	hardening	tannage
buffering solution	solution tampon	hypo eliminator	éliminateur d'hyposulfite
byte	octet	intensification	intensification, renforcement
capacity/size	capacité	Mb : mégabyte	Mo : mégaoctet
CCD	DTC/CCD	photomechanical process	procédé photomécanique
color balance	balance des couleurs	pigment process	procédé pigmentaire
colorimeter	colorimètre	plasticizer	plastifiant
color rendering	rendu des couleurs	preventive conservation	conservation préventive
compression	compactage/compression	print	épreuve, tirage
conservation treatment	traitement de conservation	reconstruction	restitution
conservator	restaurateur	reducer	affaiblisseur
contact print	tirage contact	reversal	inversible
continuous tone	modelé continu	safety film	film de sécurité
curator	conservateur	scanner	numériseur, scanneur
developer	révélateur	silver mirroring	miroir d'argent
dew point	point de rosée	sizing	encollage
diazo	diazoïque	slide	diapositive
digital	numérique	speed	sensibilité
digitization	numérisation	spray	dispersat
direct positive	autopositif, positif-direct	starch	amidon
dots/mm	pts/mm	stop bath	bain d'arrêt
dpi	ppp	Tb : terabyte	To : teraoctet
duplicate	contretype, duplicata	toning	virage
enlarger	agrandisseur	videodisc	vidéodisque
Equilibrium Moisture Content	teneur en humidité à l'équilibre	VOC	COV
(EMC)	(THE)	washing aids	auxiliaire de lavage
ethylene oxide	oxyde d'éthylène, oxirane	water hardness	dureté de l'eau
fading	affaiblissement	water softening	adoucissement de l'eau
ferrotyping	glaçage	wetting agent	agent mouillant
fixing	fixage		

Index

- A**
- AB Dick.....209
- Abrasion.....37
- Accès séquentiel.....219
- Acétate de cellulose.....39, 41, 269
- Acétobutyrate de cellulose.....38
- Acétopropionate de cellulose.....38
- Acide.....269
- Acides (captage des).....74
- Actinique.....269
- Activité de l'eau.....154, 269
- Acuité visuelle.....186, 269
- A-D Strips.....79, 80, 142
- Adhésif.....49, 66, 70, 71, 195
- Adoucissement de l'eau.....263, 269
- Adsorption.....71, 72, 108
- Advanced photographic system.....44, 202, 270
- Affaiblissement.....29, 269
- Affaiblissement des colorants.....35, 109
- AFNOR.....53, 269
- Ageless.....72, 74, 75, 166
- Agent mouillant.....269
- Agrandisseur.....269
- Air (agressivité de l').....130
- Air (purification de l').....126
- Air (qualité de l').....105
- Air (recyclage).....94
- Air (renouvellement de l').....93
- Air conditionné.....92
- Album.....77
- Alcalin.....66, 67, 269
- Alkylcétène.....46
- Allographique.....216
- Alpha-cellulose.....44
- Alphamat.....75
- Altération (facteurs d').....106
- Altération des supports.....38
- Altération du liant.....37
- Aluminium.....77, 81, 195
- Amidon.....269
- Ammonium quaternaire.....157
- Amorphe.....226
- Analogique.....269
- Analyse des risques.....137
- Anion.....270
- Anoxie.....74, 166
- ANSI.....53, 270
- Anti curl.....39, 272
- Antihalo.....270
- APS (*voir advanced photographic system*)
- Archivage des CD.....230
- Archivek.....70
- Archives des Indes.....214
- Argent.....270
- Argent colloïdal.....26, 28, 32, 60, 125, 130, 243, 271
- Argent photolytique.....270
- Aristotype.....144
- Armoires.....83, 118
- Arrêt (bain d').....270
- Arrhenius.....33, 39, 56, 57, 116
- Artcare.....75
- Artsorb.....84, 149
- ASA.....270
- ASHRAE.....93, 127
- Assèchement des bandes magnétiques.....152
- Assèchement des photographies.....150
- Authenticité.....215, 216
- Autopositif.....270
- Auxiliaire de lavage.....242, 270
- Azurants optiques.....46, 182, 243, 270
- B**
- Bain d'arrêt.....238, 259
- Balance des couleurs.....35, 143, 270
- Bandes magnétiques.....219
- Barytage (*voir papier baryté*)
- Basique.....271
- Bâtiments d'archives.....89
- Biréfringence.....44
- Bit.....212, 271
- Blanchiment.....271
- Bler.....58
- Bois.....80, 148
- Boîte de Pétri.....156
- Boîtes.....65, 77, 79
- Bouche de ventilation.....94
- Bromure d'argent.....271
- Bromure de méthyle.....161
- C**
- Caches pour diapositives.....78
- Cadre.....196
- Vitre.....191, 196
- Cage de Faraday.....76, 222
- Caisse.....148
- Calotype.....144
- Caméra numérique.....217
- Canalisation.....88
- Candela.....174, 175, 271
- Capacité.....219, 232, 271
- Capteurs en verre.....131
- Carbonate de calcium (*voir réserve alcaline*)
- Carey Lea.....60
- Carton.....77, 193
- Catalyst 75-1.....72
- Cation.....264, 271
- CCITT.....232
- CD-R.....224, 271
- CD-Rom, Cédérom.....223, 271
- Cellulose.....44

- Century disc224
 Chambre froide84, 118, 119
 Champignons (*voir moisissures*)
 Champs magnétiques220
 Changement de phase226, 227
 Charbon actif71, 75, 83, 128, 264
 Charcoal cloth82
 Charnières193
 Chimisorption72
 Chlorure de cobalt83
 Chlorure de lithium113
 Chocs thermiques117
 Chromogène33, 36, 183
 Cibachrome (*voir Ilfocrome Classic*)
 Claies252
 Clarification241
 Cliché271
 Climat105, 111
 Coercivité220
 Colle (*voir adhésif*)
 Collecteur d'air157
 Collodion231
 Colophane66, 67
 Colorimètre271
 Colorisation207
 Compact disc223
 Compactus82
 Composés organiques volatils122, 272
 Compression219, 271
 Condensation capillaire109
 Confort visuel186
 Congélateur84, 118
 Congélation151
 Conservation272
 Conservation des procédés couleurs
 (thermohygro-métrie)111, 117
 Conservation des procédés noir et blanc
 (thermohygro-métrie)111, 117
 Conservation préventive136, 272
 Constat d'état148
 Consultation217
 Contaminants (*voir polluants*)
 Contaminants biologiques114
 Contamination des magasins155
 Contamination des œuvres158
 Contamination156
 Contenant filtrant75
 Contenant hermétique73
 Contenants65
 Contenants (évaluation de la qualité des)59, 66
 Continuous stream255
 Contraste272
 Contrecollage195
 Contretypage202
 Contretype272
 Copie de sécurité217
 Copie électrostatique257
 Copie optique204
 Copie par contact203
 Copying202
 Corrosion Classification Coupons131
 Corrosion Intercept polyethylene films76
 Coupleurs résiduels254
 Coupleurs36
 Coupons Purafil131
 Courbe caractéristique/Courbe H&D272
 COV (*voir composés organiques volatils*)
 Craquelures38, 48, 110, 194
 CS (*voir continuous stream*)
 Curie (température de, point de)220, 226
 Curl (*voir tuilage*)
 Cyanine224
- D**
- Danhek79
 DAT272
 Data-loggers116
 Décongélation117
 Décontamination272
 Dégât des eaux150
 Dégénérescence272
 Démagnétisation220
 Déminéralisation264
 Demi-ton ou ton continu272
 Densité272
 Densitomètre143, 273
 Désacidifier/désacidification273
 Déshumidificateur113
 Déshumidification112, 114
 Déshydratation113, 114
 Désinfection273
 Désinfection des locaux157
 Désinfection des photographies160
 Désinsectisation166
 Détection incendie96, 97
 Développement273
 Dextrine273
 Diagramme d'isopermanence141
 Diapositive (classement)70, 78
 Diapositive185, 273
 Diazoïque209, 273
 Dichroïque177, 190, 191, 284
 Diffusion de la vapeur d'eau75
 Diffusion217
 Digipress224
 Digital versatile disc223, 226, 274
 Digital vidéo disc226
 Dilatomètre273
 Dioxyde d'azote122
 Dioxyde de carbone (agent d'extinction)99

- Dioxyde de soufre.....121, 122, 125, 128
Dioxyde de titane.....47, 48, 191, 273
Diphénylamine.....38
Dispersat (atmosphérique)158, 273
Dispositifs de reproduction.....203
Disque compact (CD)273
Disque optique224, 231, 273
Distillation264
DLM (*voir données lisibles par machines*)
DOD (*voir drop on demand*)
Dominante274
DON (*voir disque optique*)
Données lisibles par machine.....213
Dosage des thiosulfates résiduels.....245, 246
Dosage.....241
Dose totale d'exposition175, 184, 189
Dpi274
Drop on demand.....256
DTC/ CCD274
DTE (*voir dose totale d'exposition*)
Duplicata186, 274
Duplicating.....202
Duplication201, 202, 204, 274
Dureté de l'eau274
DVD (*voir digital versatile disc*)
- E**
Eau (agent d'extinction).....98
Eau de Javel243
Échanges thermiques.....88
Échantillonnage136, 143
Éclairage des aires de stockage.....89
Éclairage discontinu.....187
Éclairage.....184, 187
Effet Russel.....59
Efficacité lumineuse.....176
Élastique210
Éliminateur d'hyposulfite243, 274
Emballage148
Emplacement des magasins88
Émulation215, 274
Encadrement187, 195
Encapsuler/encapsulation78, 215, 274
Encodage275
Encollage46, 66, 275
Encre70, 71
Épreuve275
Épuisement des bains.....241
Espérance de vie35, 56, 275
Estar (*voir polyester*)
Étagères82
Étalonnage275
Exposition (recommandation).....184
Exposition.....181
Extincteur à mousse100
- Extincteur à poudre.....100
Extinction (agent d').....96
Extinction (dispositif automatique d')101
Extinction (dispositif mobile d')102, 103
- F**
Fac-similé50, 181, 275
Facteur de réflexion186, 275
Fade detector59
Feu (*voir incendie*)
Feux (classement des).....103
Fibre optique.....179
Fica (*voir film conditioning apparatus*)
Filament d'argent28
Film conditioning apparatus73
Films (rangement des)79, 118
Films cinématographiques en couleurs
(stabilité des).....33
Filtration126, 189
Filtres à particules126, 139
Filtres chimiques.....128
Filtres interférentiels190
Filtres pour rayon UV.....189
Filtres pour rayons infrarouges.....192
Filtres Purafils.....128, 129
Fixage31, 239, 275
Flash180
FM20099
Fongicide160, 161, 275
Fongistatique275
Formaldéhyde.....46, 80, 122, 123, 128, 275
Format202, 207
Froid (conservation au)84, 117, 118
Fumigation166
- G**
Gamma-cellulose44
Gel de silice.....72, 83, 113, 149
Gélatine.....25, 37, 108, 275
Gélatino-bromure d'argent276
Génération276
Génie climatique89
Glaçage276
Glacuse.....47, 252
Go/Gigaoctet276
Gomme arabique.....252
Gore-Tex84
- H**
Halogènes276
Halon99
Halotron100
Hatacides.....139
HCFC99
HD-Rosetta226

HFC 227EA	99
Hi-fog	98
Humidification	114
Humidité (effets de l')	109
Humidité (mesure de l')	115
Humidité (teneur en)	108, 154, 283
Humidité absolue	106, 276
Humidité relative	106, 276
Humidité spécifique	106, 276
Hydrocarbures halogénés (agent d'extinction)	99
Hydrogène sulfuré	128
Hydrolyse	109, 276
Hydrophile	276
Hydrophobe	276
Hygromètre	115, 116
Hygrométrie (choix de l')	110
Hygrométrie (variation de l')	93, 111
Hygroscopique	108, 276
Hypo/hyposulfite	239, 243, 276
Hypochlorite de sodium	243

I

Identification des supports des films	45
Identification du nitrate de cellulose	38, 45
IEM (<i>voir induction électromagnétique</i>)	
Ignifugeant (agent)	77
Ilfochrome Classic	49, 110, 271
Image Permanence Institute	59, 79, 141, 250
Imageur	276
Incendie	95, 149, 210, 220
Indicateurs d'acidité	79
Indice de rendu des couleurs	173
Induction électromagnétique	220
Inergen	100, 101
Inertant	162, 276
Infographe	207
Infrarouge	97, 132, 163, 171, 172, 180, 183, 188, 191, 192, 251
Inhibiteur de corrosion	115
Inondation	149, 150
Insectes	37, 164
Inspection des collections	135
Instrument society of America	131
Intensification	26, 277
Internégatif	277
Interpositif	277
Intervalle de confiance	33, 145, 146
Inversible	277
Ion	28, 277
IPI (<i>voir Image Permanence Institute</i>)	
IPI Storage guide	43
IRC (<i>voir indice de rendu des couleurs</i>)	
ISO	53, 277
Isolation	88, 89, 91
Isopermanence	140, 141

J

Jaunissement	31, 36
JBIG	219
Jet d'encre (impressions à)	183, 255
Jet Propulsion laboratory	221
JPEG	216, 219
Juke-box	214

K

Kelvin	172
Kerr (effet)	226, 231
Kodak photo Flo	243
Kodak storage envelop for processed film	73
Kodak writable CD	230

L

Laine bleue	185, 189
Lampe à décharge	177
Lampe aux halogénures métalliques	179
Lampe à incandescence	176
Lampe halogène	177
Lampe tungstène	176
Latente (image)	277
Lavage	242
Laveuse	243
LE (<i>voir Life expectancy</i>)	
Liant	277
Life expectancy	56
Linen textile fragment	183
Local de conservation	85, 86
Lumen	174
Lumière	171, 181, 277
Luminance	175
Lumination	175, 184
Luminescence	157
Lux	174, 277
Luxmètre	187

M

Macroenvironnement	277
Magasin de stockage	85, 139
Magnéto-optique	223, 226
Maintenance	139
Marquage	253
Marqueurs	70
Marvelguard	82, 197
Marvelseal	75, 82
Master	277
Matériaux de conservation	70, 77, 80, 86
Matériaux de contact	65
ME (<i>voir Metal evaporating</i>)	
Melinex (<i>voir polyester</i>)	
Méplats	223
Métadonnées	215
Metal evaporating	220

Métal peint.....	77, 81
Metallic particle.....	220
Méthode à l'iodure amylose.....	247
Méthode densitométrique à l'argent.....	247
MicroChamber.....	75, 76, 149
Microclimat.....	278
Microcuvettes.....	223
Micro-environnement.....	71, 83, 93, 278
Microfiche.....	207
Microfiche COM.....	209, 210
Microfilms (rangement des).....	210
Microformes.....	39, 207
Micrographie.....	207, 233
Micro-image.....	278
Micron.....	278
Micro-organismes.....	37, 114, 139, 154, 156, 252, 278
Migration.....	214, 216
Milieu de culture.....	37, 156, 158
Minilabs.....	254
Miroir d'argent.....	32, 33, 48, 69, 123, 278
MO (<i>voir magnéto-optique</i>).....	
Mo.....	278
Mobilier.....	82
Modélé continu.....	218, 278
Moisissures.....	37, 78, 155
Moistop.....	82
Monoxyde d'azote.....	122
Montage.....	192
Montréal (protocole de).....	99, 162
Mouchard.....	116, 149
MP (<i>voir Metallic particle</i>).....	
MPEG.....	219
Museum lighting protocol project.....	174
Mylar (<i>voir polyester</i>).....	

N

National Bureau of Standards.....	125
Négatif.....	278
Négatif de reproduction.....	51
Négatif original.....	278
Négatifs (rangement des).....	78
Neutre.....	68, 278
Nitrate de cellulose.....	201, 229, 278
Nitrate de cellulose (conservation du).....	85, 95, 111
Nitrate de cellulose (dégradation du).....	41
Nitrate de cellulose (films en).....	95
Nitrate de cellulose (identification du).....	38
Nitrocellulose (<i>voir nitrate de cellulose</i>).....	
Normes.....	52, 53, 61, 230, 244
Numérique.....	278
Numérisation.....	211, 218
Numériseur (<i>voir scanner</i>).....	

O

Obsolésence.....	213
Octet.....	212, 278
Oddy (Test d').....	80
Opacité.....	279
Orthochromatique.....	279
Osmose.....	264
Oxirane (<i>voir oxyde d'éthylène</i>).....	
Oxyde d'éthylène.....	160, 161, 279
Oxydes d'azote.....	121, 128
Oxydes de fer.....	220
Oxydoréduction.....	279
Oxyfume 2000.....	161
Oxygène (élimination).....	74
Ozone.....	121, 122, 123, 125, 162

P

Paillason.....	139
Panchromatique.....	279
Paperdisk.....	214
Papier.....	66, 67, 70, 77
Papier baryté.....	25, 44, 46, 270
Papier cristal.....	68
Papier neutre.....	66
Papier PE/RC.....	31, 47, 182
Papier permanent.....	66, 279
Papier photographique.....	279
Papier plastifié (<i>voir papier PE/RC</i>).....	
Papier salé.....	144
Pare-vapeur.....	91
Particules (filtration des).....	126
Passe-partout.....	78, 192, 279
PAT (<i>voir test d'activité photographique</i>).....	
Pâte de chiffon.....	44
Peintures pour contenant.....	82
Peintures.....	89, 186, 187, 191
PEM (<i>voir Preservation Environmental Monitor</i>).....	
Permanence.....	279
Permanence index.....	141
Peroxyde.....	26, 31, 59, 67, 68, 79, 124, 130
PET (<i>voir polyester</i>).....	
Petrifilm.....	156
pH.....	68, 239, 279
Photocopieur.....	180
Photographic activity test (<i>voir test d'activité photographique</i>).....	
Photographie.....	279
Photographie en couleurs.....	32
Photomécanique (procédé).....	279
Photométrie.....	173
Photoshop.....	207
Phthalocyanines.....	224
Physisorption.....	72
Pictography.....	255
Pièges à insectes.....	164

Piezo-électrique.....	256
Pigmentaire (procédé)	279
Pixel	280
Plan d'urgence	138, 163, 265
Plastifiant.....	39, 42, 68, 280
PNC	157
Pochettes.....	65, 76, 77
Pochettes Kodak.....	73
Point de transition vitreuse	109
Polarisant.....	44
Polarisation.....	226
Polarité	280
Polaroid	280
Pollens.....	123
Polluants.....	72, 79, 121
Polluants (captage des).....	127
Polluants (mesure des).....	130, 131
Pollution (effets de la)	123
Pollution (sources de).....	122
Poly(naphtalate d'éthylène) (<i>voir polyester</i>)	
Poly(téréphtalate d'éthylène) (<i>voir polyester</i>)	
Polyester.....	41, 69, 78, 280
Polyester voided.....	49
Polyéthylène	69, 79, 85
Polymères (abréviation des)	69
Polypropylène.....	69, 79
Polystyrène.....	70
Positif	280
Positif de projection	280
Positif-direct	280
Poussière	121, 122, 125
Pouvoir résolvant.....	203, 218
Ppb/Partie par milliard	121, 280
Ppm/Partie par million	121, 280
Ppp/Points par pouce	280
Prélèvements biologiques	159
Préservation	280
Preservation and Access.....	213
Preservation Environmental Monitor.....	141
Prêt des œuvres.....	147
Print flattening agent	252
Priorité d'intervention.....	137
Privation d'oxygène.....	164
Procédé à blanchiment de colorant (<i>voir Ilfochrome Classic</i>)	
pts/mm	218, 281
PVC	68

R

R-DAT	220
Réciprocité (loi de).....	58
Rééquilibrage	110, 119
Réflexion diffuse	281
Réflexion spéculaire	281
Reformatage	281
Refreshing.....	214
Réfrigérateur.....	84, 118
Relative light units	157
Rémanence.....	220
Rendu des couleurs	281
Renforcement	281
Rentokil	164
Reproduction en demi-teinte	281
Reproduction négative	281
Reproduction	281
Réserve alcaline.....	66, 75, 281
Réserves pour le stockage	81
Resin coated.....	47
Résolution	217, 281
Restauration.....	145, 281
Restitution	205, 217, 282
Retouche.....	252, 282
Révéléateur.....	238, 282
Réversibilité	282
Revêtements.....	89
Rhodoïd.....	69
Rideaux.....	91
RLU (<i>voir relative light units</i>)	

S

Safety film (*voir support de sécurité*)

Salles d'exposition	186
Sans acide	282
Sas.....	88, 119
Scanneur	180, 217, 223, 234
Séchage	150, 251
Sensibilité	282
Sensitométrie	282
Silicagel (<i>voir gel de silice</i>)	
Silver 6 pak	131
Sinistre	149
Solutions salines saturées	117
Sonde Onguard 2000.....	132, 134
Spectrale (composition).....	183
Spores.....	123, 154, 157
Sprinkleur.....	83, 101
Stabilité à la lumière.....	58, 183, 258
Stabilité thermique.....	120
Stain detector	59
Staining.....	143
Static Intercept films.....	76
Statistique (<i>voir échantillonnage</i>)	
Stérilisation	163
Stockage au froid.....	73, 84
Store.....	91
Sublimation thermique	258
Substratum	38, 42, 282
Suivi des œuvres.....	142
Sulfate de baryum	46, 182, 282
Sulfuration	29

Support	38
Support de sécurité	39, 275
Supports de collage	195
Supports de montage	49
Surface spécifique.....	72
Surveillance	139
Syndrome du vinaigre.....	39, 79, 109

T

Taches d'oxydoréduction	31, 48, 123, 182
Tamis moléculaires	71, 74, 75, 79, 83
Tampon (solution)	239, 282
Tannage.....	251, 263, 282
Affaiblissement.....	35, 251
Taux de compression	207
Température de couleur.....	171, 172, 187
Température de rosée.....	107, 112, 113, 280, 282
Température	116, 121
Teneur en thiosulfate.....	245
Terminologie	50
Terphane (<i>voir polyester</i>)	
Test d'activité photographique	57, 59, 67, 69, 71, 80
Téténal.....	241
THE (<i>voir teneur en humidité</i>)	
Thermo-Autochrome	255
Thermocolorimètre	187
Thermohygométrie (recommandation).....	111, 140
Thermonébullisation	167
Thiosulfate	183, 210, 240, 243
Tirage (rangement).....	78
Tirage	283
Tirage contact	283
Tirage d'époque	50
Tirage moderne de reproduction	51
Tirage original.....	50
To/Tétraoctet.....	283
Toner	257
Trait (au)	283
Traitement de conservation	283
Traitement de l'air	92
Traitement de l'eau.....	263
Transcodage	214, 283
Transfert thermique	258
Transfert.....	214
Transport	148
Triacétate de cellulose	
(dégradation du).....	42, 43, 79, 109
Triacétate de cellulose.....	39
Trichloroéthane.....	162
Tube fluorescent	178
Tubes Dräger	132, 133
Tubes Gastec.....	132, 133
Tuilage	37, 39, 110
Tyvek.....	70, 79

U

UIT.....	219
Unité déshydratante.....	83
UV	171, 175, 183, 283

V

Ventilation	92, 93
Vernis	66, 82, 191, 233, 253
Verre	196
Vésiculaire.....	209, 210, 283
VHS.....	222
Vidéodisque	283
Vieillessement artificiel.....	56
Vintage	50, 283
Virage	247, 283
Virage à l'or.....	249, 261
Virage au polysulfure	210, 262
Virage au sélénium.....	249, 261
Vision mésotopique	283
Vision photopique	284
Vision scotopique	284
VMC (<i>voir ventilation mécanique contrôlée</i>)	
Volets	91

W

Washless	254
Waterless.....	254
Watermist.....	98
WORM.....	234, 284

Z

Zéolites (*voir tamis moléculaires*)

Bibliographie

- 1 Pouradier J., Mailliet A.M., « Conservation des documents photographiques sur papier : influence du thiosulfate résiduel et des conditions de stockage » in Pouradier J., ed. *Photographic science symposium, Paris, 1965*. Londres, New York : Focal Press, 1967, p. 506-509.
- 2 Ctein., "Are black-and-white resin coated papers as permanent as fiber papers?". *Photo techniques*, March-April 1998, p. 44-47.
- 3 Krause P., "Properties and stability of color photographs" in *La conservation aux archives*. Actes du colloque international du Conseil international des archives (CIA), Ottawa, 10-12 mai 1988. Paris : CIA, 1989, p. 129-135.
- 4 Nakamura N., Umemoto M., Sakai N., Seoka Y., "Dark stability of photographic color print from the viewpoint of stain formation" in SPSE, *The stability and preservation of photographic images*. Second international symposium, Ottawa, Ontario, Canada, 25-28 August 1985. Springfield (VA, USA) : Society of photographic scientists and engineers (SPSE), 1985, p. 59.
- 5 Ram T. et al., "Status report on the worldwide molecular sieve trade test results". Paper presented at the Joint Technical Symposium of FIAT/FIAF, National Film Theatre, South Bank, London, UK, January 27-29, 1995.
- 6 Saffady W., *Stability, care and handling of microforms, magnetic media and optical disks*. Chicago, American library association (Library technology reports), 1991.
- 7 Reilly J.M., "The IPI storage guide for acetate film", Rochester (NY, USA) : Image permanence institute (IPI), 1993.
- 8 Shinagawa Y., Murayama M., Sakaino Y., "Investigation of the archival stability of cellulose triacetate film: the effect of additives to CTA support" in Allen N. S., Edge M., Horie C.V., eds. *Polymer in conservation*. Cambridge : Royal society of chemistry, 1992, p. 138-150.
- 9 Edge M., Allen N.S., Jewitt T.S., Horie C.V., "Fundamental aspects of the degradation of cellulose triacetate base cinematograph film", *Polymer degradation and stability*, 1989, vol. 25, n° 2-4, p. 345-362.
- 10 Saffady W., *Stability, care and handling of microforms, magnetic media and optical disks*. Chicago, American library association (Library technology reports), 1991.
- 11 Smith L.E., Bauer B.J., "Properties of PET films" in *La conservation aux archives*. Actes du colloque international du Conseil international des archives (CIA), Ottawa, 10-12 mai 1988. Paris : CIA, 1989, p. 103-115.
- 12 Adelstein P.Z., "History and properties of film supports" in *La conservation aux archives*. Actes du colloque international du Conseil international des archives (CIA), Ottawa, 10-12 mai 1988. Paris : CIA, 1989, p. 89-101.
- 13 Oliviera S. J. de, "Acetate or polyester?". *FIAF bulletin*, 1993, n° 46, p. 39-48.
- 14 Horvath D.G., *The acetate negatives survey*. Louisville (KY, USA) : University of Louisville, Ekstrom library, 1987, 91 p.
- 15 Glafkidès P., *Chimie et physique photographiques*. Paris : Publications photo cinéma Paul Montel, 1976, p. 578.
- 16 Gray G.G., "From papyrus to RC paper: history of paper supports" in *Pioneers of photography. Their achievements in science and technology*. Springfield (VA, USA) : SPSE-Society for imaging science and technology, 1987, p. 37-46.
- 17 Gray G.G., "From papyrus to RC paper: history of paper supports" in *Pioneers of photography. Their achievements in science and technology*. Springfield (VA, USA) : SPSE-Society for imaging science and technology, 1987, p. 37-46.
- 18 - Arles 1977. Colloque sur le papier photographique. « *Photo-revue*, septembre 1977, p. 480-481.
- 19 Reilly J.M., "Archival aspects of resin coated papers", *Photo Educator International*. Rochester, Eastman Kodak Company, septembre 1991, p. 30-31.
- 20 Lettre de Peter Krause, 15 mai 1993.
- 21 Lee M.K., "Treatment of an Ansel Adams mural photograph". Communication non publiée présentée lors de la réunion du Photographic Material Group de l'American Institut of Conservation (Winter meeting, Austin, Texas, mars 1993).
- 22 Adelstein P.Z., "International standards on permanence of imaging materials" in *Sauvegarde et conservation des photographies, dessins imprimés et manuscrits*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 30 septembre-4 octobre 1991. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1991, p. 21-28.
- 23 Seoka Y., Kubodera S., Aono T., Hirano M., "Some problems in the evaluation of color image stability", *Journal of applied photographic engineering*, 1982, vol. 8, n° 2, p. 79-82.
- 24 Lavédrine B., "Prediction of dark stability of color chromogenic films using Arrhenius' law and comparison after ten years of natural aging". *Research techniques in photographic conservation*, proceedings of the conference in Copenhagen, 14-19 May 1995. Copenhagen : Royal Danish academy of fine arts. School of conservation, 1996, p. 71-76. ISBN : 87-89730-18-6.
- 25 Nishimura D.W., "The practical presentation of research studies on film stability", *Research techniques in photographic conservation*, proceedings of the conference in Copenhagen, 14-19 May 1995. Copenhagen : Royal Danish academy of fine arts. School of conservation, 1996, p. 85-92. ISBN : 87-89730-18-6.
- 26 Reilly J.M., Adelstein P.M., Nishimura D.W., *Final report to the office of preservation national endowment for humanities: preservation of safety film*. Rochester (NY, USA) : Image permanence institute, 1991.
- 27 Seoka Y., Kubodera S., Aono T., Hirano M., "Some problems in the evaluation of color image stability", *Journal of applied photographic engineering*, 1982, vol. 8, n° 2, p. 79-82.

- 28 Lavédrine B., Robert F., Flieder F., "Evaluation of dark stability of reversal colours films using Arrhenius' law". *The Journal of Photographic Science*, vol. 36, n° 3, 1988, p. 68-71.
- 29 ANSI/NAPM IT9.21-1996: Life expectancy of compact discs (CD-Rom), method for estimating, based on effects of temperature and relative humidity.
- 30 Nugent W.R., "Issues in optical disc longevity, from Trithemius to Arrhenius testing", *Archiving the Audio-visual Heritage*. Third Joint Technical Symposium, May 3-5, 1990. Canadian Museum of Civilization, Ottawa, Canada. Bucks : Editor George Boston, 1992, p. 89-102. ISBN : 1-873902-02-6.
- 31 Murray W.P., "CD-Rom archivability". *NML Bits, Newsletter of the National Media Lab*, May 1992.
- 32 Adelstein P.Z., "Standards preservation of electronic imaging" in *International conference on conservation and restoration of archive and library materials*, Erice, April 22nd-29th, 1996. Preprints. Rome : Istituto centrale per la patologia del libro, 1996, vol. 2, p. 675-682.
- 33 Cinnamon B., *Gestion électronique de documents sur disques optiques*, Paris-La Défense : AFNOR, 1989, p. 40.
- 34 Seoka Y., Kubodera S., Aono T., Hirano M., "Some problems in the evaluation of color image stability". *Journal of applied photographic engineering*, 1982, vol. 8, n° 2, p. 79-82.
- 35 Collings T.J., Young F.J., "Improvements in some tests and techniques in photograph conservation". *Studies in conservation*, 1976, vol. 21, n° 2, p. 79-84.
- 36 Daniels V., Ward S., "A rapid test for the detection of substances which will tarnish silve". *Studies in conservation*, 1982, vol. 27, n° 2, p. 58-60.
- 37 Daniels V., "The Russell effect. A review of its possible uses in conservation and the scientific examination of materials". *Studies in conservation*, 1984, vol. 29, n° 2, p. 57-62.
- 38 Burgess H., Leckie C.G., "Evaluation of paper products to be used in the storage of photographic materials" in *Sauvegarde et conservation des photographies, dessins imprimés et manuscrits*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 30 septembre-4 octobre 1991. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1991, p. 29-35.
- 39 Chatzigeorgiou V., *Matériaux destinés à la conservation des photographies : contrôle de leur innocuité*. Mémoire de DEA-Histoire de l'art, Paris : université de Paris I, Panthéon-Sorbonne, 1992.
- 40 Nishimura D., Reilly J., Adelstein P., "Improvements to the photographic activity test in ANSI standard IT9.2". *Journal of Imaging Technology*, vol. 17, n° 6, December 1991, p. 245-252.
- 41 Réunion d'experts sur la conservation de documents sur papier acide et l'utilisation du papier permanent organisée par la Présidence néerlandaise et par la Commission des Communautés Européennes. 17-19 décembre 1991, La Haye, Pays-Bas. Rapport Complet édité par CNC, Bureau national de Préservation, La Haye, 1992. CNC-Publikaties, 3.
- 42 Norme ISO 9706 : 1994, *Information et documentation - Papier pour documents - Prescriptions pour la permanence*.
- 43 Young G.S., Burgess H.D., "Lignin in a paperboard advertised as lignin-free". *Abbey newsletter*, 1989, vol. 13, n° 6, p. 101-102.
- 44 Bigourdan J.-L., Adelstein P.Z., Reilly J.M., "Acetic acid and paper alkaline reserve: assessment of a practical situation in film preservation" in ICOM-Conservation committee. *11th triennial meeting, Edinburgh, 1-6 September, 1996. Preprints*. Londres : James and James, 1996, vol. 2, p. 573-579.
- 45 Wilhelm H., Brower C., *The permanence and care of color photographs: traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Grinnell (IA, USA) : Preservation publishing company, 1993, p. 497.
- 46 Bradley S.M., "Hydrogen sulphide scavengers for the prevention of silver tarnishing" in SSCR. *Environmental monitoring and control*. Preprints du symposium de la SSCR, Dundee, 15-16 mars 1989. Edimbourg : Scottish society for conservation and restoration (SSCR), 1989, p. 65-67.
- 47 Brandes H., "Are there alternatives to the traditional air-conditioned film stor?". *Archiving the Audio-visual Heritage*, Third Joint Technical Symposium. May 3-5, 1990. Canadian Museum of Civilization, Ottawa, Canada. Bucks : Editor George Boston, 1992, p. 23-27. ISBN : 1 873902 02 6.
- 48 Bigourdan J.-L., Reilly J.M., "Preservation strategy for acetate film collections based on environmental assessment and condition survey". *Care of photographic moving image & sound collections*, Conference papers, 20th-24th July 1998, York, England, Conference paper edited by Susie Clark, 1999, p. 28-37. ISBN 0 9533229 1 2.
- 49 Informations échangées avec J.-L. Bigourdan, Paris, le 12/9/96.
- 50 Ram A.T., Kopperl D.F., Sehlin R.C., Masaryk-Morris S., Vincent J.L., Miller P., "The effects and prevention of vinegar syndrome". *Journal of imaging science and technology*, 1994, vol. 38, n° 3, p. 249-261.
- 51 Grattan D., "Degradation rates for some historic polymers and the potential of various conservation measures for minimizing oxidative degradation" in Grattan D., ed. *Symposium '91: Saving the twentieth century*. Actes de la conférence de l'Institut canadien de conservation (ICC), Ottawa, 15-20 septembre 1991. Ottawa : Communications Canada, 1993, p. 351-360.
- 52 Burke J., "Anoxic microenvironments: a simple guide". *SPNHC leaflets*, vol. 1, n° 1, 1996.
- 53 Anon, *Ageless oxygen absorber. A new age in food preservation*, Mitsubishi Gas Chemical Company of Japan, Tokyo.

- 54 Grattan D., Gilberg M., "Ageless oxygen absorber: chemical and physical properties". *Studies in conservation*, 1994, vol. 39, n° 3, p. 210-214.
- 55 Lambert F.L., Vinod D., Preusser F.D., "The rate of absorption of oxygen by Ageless: the utility of an oxygen scavenger in sealed cases". *Studies in conservation*, 1992, vol. 37, n° 4, p. 267-274.
- 56 Gilberg M., Grattan D., "Oxygen-free storage using Ageless oxygen absorber" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 177-180.
- 57 Ballot G., Duminil M., *Isolation frigorifique, guide théorique et pratique*, Paris : Pyc édition, 1981.
- 58 Hollinger W.K., "MicroChamber papers used as a preventive conservation material" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 212-216.
- 59 Norme ISO 6051 : 1992 (F).
- 60 Norme ISO 5626, ISO 63283-2, ISO 1184, ISO/WD 16245.
- 61 Edge M., "Factors influencing the breakdown of photographic film: implications for archival storage" in *Environnement et conservation de l'Écrit, de l'image et du son*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 114-120.
- 62 Jacobsen M., "Film storage: state of the art and detection of the 'vinegar syndrome'". Communication faite lors des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris du 16 au 20 mai 1994.
- 63 Harthan J.C., Edge M., Allen N.S., Schou H., "The development and evaluation of a sensory system to detect degradation in cellulose triacetate photographic film. Part I: the detection of acetic acid evolved from degrading cellulose triacetate photographic film". *The Imaging Science Journal*, vol. 45, 1997, p. 77-79.
- 64 Harthan J.C., Edge M., Allen N.S., Bodnert M., "The development and evaluation of a sensory system to detect degradation in cellulose triacetate photographic film. Part II: Selection of a solid support for the indicator and field trials on indicator performance". *The Imaging Science Journal*, vol. 45, 1997, p. 81-83.
- 65 Oddy W.A., "An unsuspected danger in display", *Museums journal*, 1973, vol. 73, p. 27-28.
- 66 Oddy W.A., "The corrosion of metals on display", *Conservation in Archeology and the Applied Arts*, IIC, London, 1975, p. 235-237.
- 67 Green L.R., Thickett D. "Testing materials for use in the storage and display of antiquities, a revised methodology". *Studies in conservation*, 1995, vol. 40, n° 3, p. 145-152.
- 68 Hallebeek P.B., "Comparison of corrosive properties of seven types of plywood", contribution of the central Research Laboratory to the field of conservation and restoration. Amsterdam, Central Laboratory for Objects of Art and Science, 1994, p. 95-108, ISBN 90-72905-37-7.
- 69 Tétreault J., Stamatopoulou E., "Determination of concentrations of acetic acid emitted from wood coatings in enclosures". *Studies in conservation*, 1997, vol. 42, n° 3, p. 141-156.
- 70 Grzywacz C., Tennent N.H., "Pollution monitoring in storage and display cabinets: carbonyl pollutant levels in relation to artifact deterioration" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 164-170.
- 71 Druzik C.M., Stulik D.C., Preusser F., "Carbonyl and carboxylic acid pollutants in the museum environments". American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry, Preprints 198th National Meetings, Miami Beach, FL, 1989.
- 72 Sparkes A.J., "The effect of surface coatings on formaldehyde emission" in SSCR. *Environmental monitoring and control*. Preprints du symposium de la SSCR, Dundee, 15-16 mars 1989. Edimbourg : Scottish society for conservation and restoration (SSCR), 1989, p. 87.
- 73 Tétreault J., "Display materials: the good, the bad and the ugly" in *Exhibition and conservation*. Preprints de la conférence de la SSCR, Edimbourg, 21-22 avril 1994. Edimbourg : edited by E. Sage, Scottish society for conservation and restoration (SSCR), 1994, p. 79-87.
- 74 Eremin K., Wilthew P., "The effectiveness of barrier materials in reducing emissions of organic gases from fibreboard: results of preliminary tests" in ICOM-Conservation committee. *11th triennial meeting, Edinburgh, 1-6 September, 1996*. Preprints. Londres : James and James, 1996, vol. 1, p. 27-35.
- 75 Wilhelm H., Brower C., *The permanence and care of color photographs: traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Grinnell (IA, USA) : Preservation publishing company, 1993, p. 457.
- 76 Grosjean D., Parmar S.S., "Removal of air pollutant mixtures from museum display cases". *Studies in conservation*, 1991, vol. 36, n° 3, p. 129-141.
- 77 Adelstein P. Z., Bigourdan J.-L., Reilly J.M., "Moisture relationship of photographic film". *Journal of American institute for conservation*, 36, 1997, p. 193-206.
- 78 Wilhelm H., Brower C., *The permanence and care of color photographs: traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Grinnell (IA, USA) : Preservation publishing company, 1993, p. 655.
- 79 Padfield T., Johnsen J.S., "Preservation of photographs in a humidity-controlled freezer". *Preventive conservation practice, theory and research*. Résumés des panneaux du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994.

- 80 McCormick-Goodhart M., "Methods for creating cold storage environments" in *Care of photographic moving image & sound collections*. Conference papers, 20th-24th July 1998, York, England, Conference paper edited by Susie Clark, 1999, p. 19-23.
- 81 Thomson G., "Stabilization of RH in exhibition cases: hygrometric half-time". *Studies in conservation*, 1977, vol. 22, n° 2, p. 85-102.
- 82 Duchein M., *Les bâtiments d'archives construction et équipements*. Paris : Documentation française, Archives nationales, 1985.
- 83 Tétreault J., - Matériaux de construction, matériaux de destruction - in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAFU), 1992, p. 163-176.
- 84 Feldman L.H. "Discoloration of black-and-white photographic prints". *Journal of applied photographic engineering*, 1981, vol. 7, n° 1, p. 1-9.
- 85 Eshoj B., Padfield T., "The use of porous building material to provide a stable relative humidity" in ICOM-CC. 10th triennial meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993. Preprints. Paris : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), 1993, vol. 2, p. 605-609.
- 86 Scott G., "Moisture, ventilation and mould growth" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 149-153.
- 87 Oreszczyk T., Cassar M., Fernandez K., "Comparative study of air-conditioned and non air conditioned museums" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 144-148.
- 88 Camuffo D., "Modern technology: a new opportunity or a new challenge for the indoor conservation of the cultural heritage?". *European cultural heritage newsletter on research*, 1997, vol. 10, p. 77-83.
- 89 King S., Pearson C., "Environmental control for cultural institutions. Appropriate design and use of alternative technologies" in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAFU), 1992, p. 63-73.
- 90 Erhart D., Mecklenburg M.F., "Relative humidity re-examined" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 32-38.
- 91 Kennedy C.R., Distefano A.L., "Improving Building IAQ Reduces HVAC Energy Costs", *The Magazine of Mechanical Systems Engineering*, November 1991.
- 92 Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. *Advisory guide-line air quality archives*, Delta Plan Culture Preservation, June 1994.
- 93 Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. *Advisory guide-line air quality archives*, Delta Plan Culture Preservation, June 1994.
- 94 *Main principles of fire protection in libraries and archives: a RAMP study*. Paris : UNESCO-General information programme and UNISIST, 1992. (Document : PGI-92/WS/14).
- 95 Reimer C.R., Shefter M.R., "Clean-Agent Fire Suppression Alternatives", *Journal of SMPTE*, vol. 103, n° 8, August 1994, p. 523-527.
- 96 Cote A., Bugbee P., *Principles of Fire Protection*. Batterymarch Park Quincy, National Fire Protection Association, 1988.
- 97 Leighton P.D., - Un Américain à Paris -. *Bulletin d'information*. Association des bibliothécaires français, 1993, n° 159, p. 37-45.
- 98 Gros P., De Madre J., Dobel M., - Un accident mortel dans un centre informatique. Prévention des risques induits par la décharge accidentelle des agents extincteurs gazeux -. *Sécurité et médecine du travail*, 1987, n° 76, p. 40-42.
- 99 Baril P., - Introduction à la protection contre l'incendie -. *Bulletin de l'ICC*, n° 15, 1995, p. 4-6.
- 100 Lafon J., - La protection des œuvres d'art contre l'incendie par agent extincteur Inergen - in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 239-242.
- 101 Baril P., - Protection des musées contre les incendies -. *Programme d'appui aux musées*, ministère des Communications, Ottawa, Ontario, 1990, p. 5.
- 102 Log T., Cannon-Brookes P., "Water mist for fire protection of historic building and museums", *Museum Management and Curatorship*, vol. 14, n° 3, September 1995, p. 283-298.
- 103 Flieder F., Duchein M., *Livres et documents d'archives : sauvegarde et conservation*. Paris : Unesco, 1983. (Cahiers techniques : musées et monuments ; 6).
- 104 Briggs J.R., "Preservation factors in the design of new libraries: a building services engineers's viewpoint", *Conservation and preservation in small Libraries*, Cambridge, Published by Parker Library Publications, 1994, p. 49-69. ISBN 1 897852 029.
- 105 - Architecture et climatisation -. *Les rencontres de Barbizon, Architecture et confort thermique*, n° 2, p. 7-15, février 1995.
- 106 Tumosa C.S., Mecklenburg M.F., Erhard D., McCormick-Goodhart M.H., "A discussion of research of temperature

- and relative humidity on museum". *WAAC Newsletter*, vol. 18, n° 3, September 1996, p. 19-20.
- 107 Chardot P., *Le contrôle climatique dans les bibliothèques*. Saint-Rémy-lès-Chevreuse : Sedit éditeur, 1989, p. 1-11.
- 108 Adelstein P.Z., Graham C.L., West L.E., "Preservation of motion-picture color films having permanent value", *Journal of the SMPTE*, vol. 79, 1970, p. 1011-1018.
- 109 Padfield T., "Low energy climate control in museum stores: a postscript" in ICOM-Conservation committee. *11th triennial meeting, Edinburgh, 1-6 September, 1996. Preprints*. Londres : James and James, 1996, vol. 1, p. 68-71.
- 110 McCormick-Goodhart M. H., "The allowable temperature and relative humidity range for the safe use and storage of photographic materials", *Journal of the society of archivists*, 1996, vol. 17, n° 1, p. 7-21.
- 111 Reilly J.M., "The IPI storage guide for acetate film", Rochester (NY, USA) : Image permanence institute (IPI), 1993.
- 112 Mecklenburg M.F., McCormick-Goodhart M., Tumosa C.S., "Investigation into the deterioration of paintings and photographs using computerized modeling of stress development". *Journal of American institute of conservation*, 1994, vol. 55, n° 2, p. 153-170.
- 113 Adelstein P.Z., McCrea J.L., "Stability of processed polyester base photographic films". *Journal of applied photographic engineering*, 1981, vol. 7, n° 6, p. 160-167.
- 114 Adelstein P.Z., Graham C.L., West L.E., "Preservation of motion-picture color films having permanent value", *Journal of the SMPTE*, vol. 79, n° 11, novembre 1970, p. 1011-1018.
- 115 Pouradier J., "Le traitement et la conservation des documents photographiques". *Photo-revue*, novembre 1976, p. 575-581.
- 116 Adelstein P.Z., Reilly J.M., Nishimura D.W., "Recent changes in recommended storage of photographic film", *Environnement et Conservation de l'Écrit, de l'Image et du Son*, Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, du 16 au 20 mai 1994, p. 109-113.
- 117 Michalski S., "Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values" in ICOM CC. *10th triennial meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993. Preprints*. Paris : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), 1993, vol. 2, p. 624-629.
- 118 Shahani C., Hengemihle F.H., Weberg N., "The effect of fluctuations in relative humidity on library and archival materials and their aging within contained environments" in *Proceedings of the Pan-African Conference on the preservation and conservation of library and archival materials, Nairobi, Kenya, 21-25 jube 1993*. Ifla professional report n° 43, International Federation of Library Associations and institutions (Netherlands), 1995, p. 61-70.
- 119 "Smithsonian institution news". *Abbey Newsletter*, 1994, vol. 18, n° 4-5, p. 45.
- 120 Michalski S., "Directives concernant l'humidité relative et la température : du nouveau ?". *Bulletin de l'ICC*, 1994, n° 14, p. 4-6.
- 121 Wagener V., "Déshumidification : des précisions", *L'installateur*, 1989, n° 514, p. 116-123.
- 122 Karr L.F., *Proceedings of the conference on the cold storage of motion picture films*, Congrès de l'American film institute et de la Bibliothèque du Congrès, Washington DC, 21-23 avril 1980. Washington : American film institute (AFI), 1980.
- 123 Cargocaire, *Dehumidification handbook*, Amesbury, Massachusetts: Cargocaire Engineering Corporation, 1982.
- 124 Thomson G., *The museum environment*. Londres : Butterworth, 1978.
- 125 Kopperl D.F., Bard C.C., "Freeze/thaw cycling of processed motion-picture films", *Journal of the SMPTE*, vol. 94, n° 89, août 1985, p. 826-827.
- 126 Lavédrine B., Trannois C., Flieder F., "Étude expérimentale de la stabilité dans l'obscurité de dix films cinématographiques couleurs". *Studies in conservation*, 1986, vol. 31, n° 4, p. 171-174.
- 127 Adelstein P.Z., McCrea J. L., "Stability of processed polyester base photographic films". *Journal of applied photographic engineering*, 1981, vol. 7, n° 6, p. 160-167.
- 128 Nevell T.P., Zeronian S.H., eds. *Cellulose chemistry and its application*. Chichester: Ellis Horwood Ltd., 1985, p. 274.
- 128 Brown D.W., Lowry R.E., Smith L.E., *Prediction of the long term stability of polyester-based recording media*, NSBIR 83-2750, August 1983.
- 130 McCormick-Goodhart M., "Methods for creating cold storage environments", *Care of photographic moving image & sound collections*, Conference papers, 20th-24th July 1998, York, England, Conference paper edited by Susie Clark, 1999, p. 19-23. ISBN 0 9533229 1 2.
- 131 Adelstein P.Z., Graham C.L., West L.E., "Preservation of motion-picture color films having permanent value", *Journal of the SMPTE*, vol. 79, n° 11, novembre 1970, p. 1011-1018.
- 132 Wilhelm H., Brower C., *The permanence and care of color photographs: traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Grinnell (IA, USA) : Preservation publishing company, 1993, p. 714.
- 133 Karr L.F., *Proceedings of the conference on the cold storage of motion picture films*, Congrès de l'American film institute et de la Bibliothèque du Congrès, Washington DC, 21-23 avril 1980. Washington : American film institute (AFI), 1980.
- 134 Brown J.P., "Hygrometric measurement in museums: calibration, accuracy, and the specification of relative humidity" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 39-43.

- 135 Renaudot C., « Évolution et tendance de la qualité de l'air en Ile-de-France ». Communication non publiée présentée lors des Journées internationales d'études de l'ARSAG : Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son. Paris, du 16 au 20 mai 1994.
- 136 Gally N., Ritter P., Sepetjan M., « Pollution intérieure des locaux ». *Pollution atmosphérique*, n° 129, janvier-mars 1991, p. 6-10.
- 137 Hofenk de Graaff J.H., "The effects of pollutants on paper, a research programme in the Netherlands". Conférence présentée au séminaire IFLA/ICA on research in Preservation and Conservation, Colombia University in the City of New York, May 25-29, 1991.
- 138 Godish T., *Indoor air pollution control*. Chelsea (MI, USA) : Lewis publishers, 1990, p. 38.
- 139 Hatchfield P., Carpenter J., *Formaldehyde: how great is the danger to museum collection?* Harvard university art museums, Center for conservation and technical studies, 1987.
- 140 Brimblecombe P., Shooter D., Kaur A., "Wool and reduced sulphur gases in museum air". *Studies in conservation*, 1992, vol. 37, n° 1, p. 53-60.
- 141 Eastman Kodak Company, Technical Information Bulletin.
- 142 Grzywacz C.M., "Using passive sampling devices to detect pollutants in museum environments" in ICOM CC. *10th triennial meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993. Preprints*. Paris : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), 1993, vol. 2, p. 610-615.
- 143 Zinn E., Reilly J.M., Adelstein P.Z., Nishimura D.W., "Air pollution effects on library microforms" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 195-201.
- 144 Rogers G de W., "Particular aspects of silver tarnishing". Proceedings of the 1975 annual meeting of IIC-CG, *Bulletin*, 1976, vol. 1, n° 1, p. 5-6.
- 145 ASHRAE Standard 62-1989, "Ventilation for acceptable indoor air quality", *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Inc. Atlanta, Ga. 1989.
- 146 Nguyen T.P., Lavédrine B., Flieder F., « Effets de la pollution atmosphérique sur la dégradation de la gélatine photographique » in ICOM-Committee for conservation. *12th triennial meeting, Lyon, 1999, Preprints, Londres : James & James*, vol. 2, p 567-571.
- 147 Bard C., "Conservation of images", Proceedings of the international Symposium: *The stability and conservation of photographic images: chemical, electronic and mechanical*, Bangkok, Thaïlande, November 3-5, 1986, p. 1-13.
- 148 Zinn E., Reilly J.M., Adelstein P.Z., Nishimura D.W., "Preservation of color photographs: the danger of atmospheric oxidants in the storage environment" in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 25-30.
- 149 Grzywacz C.M., Stulik D.C., "Passive monitors for the detection of pollutants in museum environments", Presented to the Object Specialty Group at the Annual Meeting of American Institute for Conservation, Albuquerque, NM. 1991.
- 150 Bellan L.M., Salmon L.G., Cass G.R., "A study on the human ability to detect soot deposition onto works of art", *Environmental Science and Technology*, 2000, vol. 34, n° 10, p. 1946-1952.
- 151 Kodak, *How post-processing treatment can affect image stability of prints on Ektacolorpaper*, Kodak pamphlet n° E-30, 1982.
- 152 *Air quality criteria for storage of paper-based archival records*, National Bureau of Standards, 1983, NBSIR 83-2795.
- 153 Wilhelm H., Brower C., *The permanence and care of color photographs: traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Grinnell (IA, USA) : Preservation publishing company, 1993, p. 563.
- 154 Hendriks K.B., *Fundamentals of photograph conservation: a study guide*. Toronto : Lugus, 1991, p. 413.
- 155 Thomson G., *The museum environment*. Londres : Butterworth, 1978. p. 158.
- 156 Brown J.P., "Low humidity environmental control" in SSCR. Environmental monitoring and control. Preprints du symposium de la SSCR, Dundee, 15-16 mars 1989. Edimbourg : Scottish society for conservation and restoration (SSCR), 1989, p. 88-90.
- 157 Norme ASHRAE 52.
- 158 Chardot P. *Le contrôle climatique dans les bibliothèques*. Saint-Rémy-lès-Chevreuse, Sedit éditeur, 1989, p. 10-16.
- 159 Norme ISO 6051. 1992, p.4.
- 160 Sebor A.J., "Heating, ventilating, and air-conditioning systems" in Rose C.L., Hawks C.A., Genoways H.H., eds. *Storage of natural history collections: a preventive conservation approach*, Iowa city (IA, USA) : Society for the preservation of natural history collections (SPNHC), 1995, p. 135-146.
- 161 Thomson G., *The museum environment*. Londres : Butterworth, 1978. p. 130.
- 162 Norme ANSI/NISO Z39.54-199X.
- 163 McParland M., "Environmental conditions in the National gallery of Ireland". *The conservator*, 1992, n° 16, p. 55-64.
- 164 Rault J.-Y., *La filtration de l'air*. Paris : éditions parisiennes, 1987, p. 65.
- 165 *Deltaplan preservation of cultural heritage*. Final report on the pilot project "air purification".
- 166 Lavédrine B., "An assesement of pollution and its effects on photographic collections", *European cultural heritage newsletter on research*, 1997, vol. 10, p. 87-91.

- 167 Weyde E., "A simple test to identify gases which destroy silver images", *Photographic science and engineering*, vol. 16, n° 4, 1972, p. 283-286
- 168 Norme ISA-S71-04-1985 : *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants*.
- 169 Leissner J., Fuchs D.R., "Investigations by glass sensors on the corrosive environmental conditions at stained glass windows with protective glazings in Europe", *Material Issues in Art and Archeology III*, Symposium held April 27-May 1, San Francisco, California, USA. Materials Research Society Symposium Proceedings. Vol. 267, 1992, p. 1031-1038.
- 170 Vosteen R., *Guidelines and recommendation regarding air quality in repositories and exhibition rooms of archives and art*, State Buildings Service, Directorate Design & Technology, Department Climate Technology, Netherlands.
- 171 Stulik D., Grzywacz C., "Carbonyl pollutants in the museum environment: an integrated approach to the problem" in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAAFU), 1992, p. 199-205.
- 172 Gibson L. et al., "Simple fluxmeters for determining carbonyl pollutants arising from storage and display materials". *Preventive conservation practice, theory and research*. Résumés des panneaux du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994.
- 173 Martin G., Blades N., "Cultural property environmental monitoring" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 159-163.
- 174 Walker K., "Taking control of the stores: a conservator in charge" in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAAFU), 1992, p. 53-58.
- 175 Lettre de C.M. Grzywacz, The Getty conservation institute, 17 février 1994.
- 176 Frost M., "Preventive conservation: a major invisible design influence upon museum architecture" in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAAFU), 1992, p. 59-61.
- 177 Wolf S., ed., *The conservation assessment. A tool for planning, implementing, and fund raising*. Washington DC: Getty conservation institute, National institute for the conservation of cultural property, 1990.
- 178 Costain C., "Plan de préservation des collections de musées". Bulletin de l'IIC, n° 14, 1994, p. 1-4.
- 179 Michalski S., "A systematic approach to preservation: description and integration with other museum activities" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 8-11.
- 180 Forston J., "Disaster planing and recovery, how-to-do-it", *Manual for Librarians and Archivists*, n° 21, New York, London, Series Editor : Bill Katz, Neal-Schuman Publisher Inc, 1992. ISBN 1-5570-059-4.
- 181 Tapol B. de, "Conservation du mobilier des maisons coloniales - musée : ventilation, aération ou isolation ?" in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAAFU), 1992, p. 75-83.
- 182 Learmonth G.S., "Maintenance and hygiene in environmental control" in SSCR. *Environmental monitoring and control*. Preprints du symposium de la SSCR, Dundee, 15-16 mars 1989. Edimbourg : Scottish society for conservation and restoration (SSCR), 1989, p. 47-52.
- 183 Sebera D. K., *Isoperms, an environmental management tools*. Washington : Commission on preservation and access (CPA), 1994.
- 184 Reilly J.M., *IPI storage guide for acetate film*. Rochester (NY, USA) : Image permanence institute (IPI), 1993.
- 185 Giles C.H., Haslam R., "The keeping properties of some colour photographs". *The journal of photographic science*, 1974, vol. 22, p. 93-96.
- 186 Reilly J.M., "Preservation and the economics of information access in institutions, libraries and archives" in *La conservation : une science en évolution. Bilan et perspectives*. Actes des troisièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 21 au 25 avril 1997. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1997, p. 70-76.
- 187 Johnsen J. S., "Surveying large collections of photographs for archival survival" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 202-206.
- 188 Bigourdan J.-L., *Collection de négatifs photographiques noir et blanc, Agence Roger-Viollet. Examen et plan de conservation. Comportement en atmosphère acétique de la réserve alcaline des papiers d'archivage*. Mémoire de fin d'études de l'IFROA, Paris, décembre 1993.
- 189 Ford B. L., "Monitoring colour change in textile on display". *Studies in conservation*, 1992, vol. 37, n° 1, p. 1-11.
- 190 Saunders D., "Colour change measurement by digital image processing". *National Gallery Bulletin*, 12, 1988, p. 66-77.

- 191 Saunders D., Cupitt J., "Image processing at the National Gallery: the Vasari project", *National Gallery Bulletin*, 14, 1993, p. 72-85.
- 192 Wilhelm H., Brower C., *The permanence and care of color photographs: traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Grinnell (IA, USA) : Preservation publishing company, 1993.
- 193 Reedy T.J., Reedy C.L., *Principles of experimental design for art conservation research*. GCI Scientific Program Report, The Getty Conservation Institute, January 1992, p. 44.
- 194 NFX 06-022 (octobre 1991), intitulée « *Sélection de plans d'échantillonnage pour le contrôle par comptage de la proportion d'individus non conformes ou du nombre moyen de non-conformité par unité* ».
- 195 Drott C.M., "Random sampling: a tool for library research", *College and Research Libraries*, 30, May 1969, p. 119-125.
- 196 Goldstein M., Sedransk J., "Using a sample technique to describe characteristics of a collection", *Colleges and Research Libraries*, March 1977, p. 195-202.
- 197 Nishimura D.W., "Surveying a microfilm collection", rapport IPI 1994, non publié.
- 198 Erlandsen R., "The national plan for conservation of photographs in Norway", *Research Techniques in Photographic Conservation*, proceedings of the conference in Copenhagen, 14-19 May 1995, ISBN 87-89730-18-6.
- 199 Johnsen J.S., "Conservation management and archival survival of photographic collections", *Göteborg studies in conservation*, 5, Copenhagen : Acta Universitatis Gothoburgensis, 1997. ISBN 91-7346-318-3.
- 200 Genette G., *L'œuvre de l'art. Immanence et transcendance*. Paris : édition du Seuil (collection Poétique), 1994.
- 201 Brandt C., "Theory of Restoration, I", in *Historical and philosophical issues in the conservation of cultural heritage*, edited by Nicholas Stanley Price, M. Kirby Talley Jr, Alessandra Melucco Vaccaro, Los Angeles : The Getty Conservation Institute, 1996, p. 230-235.
- 202 Ardilly P., *Les techniques de sondage*, Paris, éditions Technip, 1994.
- 203 Salles G., *Le regard*, Paris (Plon, 1939), Paris, Réunion des musées nationaux, 1992, p. 21.
- 204 Bergeon S., « La formation des restaurateurs : niveaux, interdisciplinarité et recherches en conservation-restauration ». Conférence donnée à Parrariano le 30 septembre 1994.
- 205 Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques, groupe canadien : *Choisir un restaurateur d'œuvres d'art au Canada*.
- 206 Berducou, M.Cl., coord., *La conservation en archéologie*, Paris : Masson, 1990, p. 10-12.
- 207 Cartier-Bresson A., « Une nouvelle discipline : la conservation-restauration des photographies ». *La recherche photographique*, 1987, n° 3, p. 69-73
- 208 Ashley-Smith J., Umney N., Ford D., "Let's be honest-realistic environmental parameters for loaned objects" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 28-31.
- 209 Marcon P., « Étude sur l'expédition », *Bulletin de l'ICC*, n° 14, septembre 1994, p. 7-14.
- 210 Rémillard F., « Risques tous azimuts : biens culturels en transit » in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAFU), 1992, p. 223-229.
- 211 Marcon P.J., "The packing and transport of cultural property" in *La conservation préventive*. 3^e colloque de l'ARAFU sur la conservation-restauration des biens culturels, Paris, 8-10 octobre 1992. Paris : Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire (ARAFU), 1992, p. 211-222.
- 212 *États d'urgence. Guide des mesures d'urgence pour les bibliothèques (inondation, incendie, infestation)*. Vendôme : Agence interprofessionnelle régionale pour le livre et les médias (AGIR), 1992. (Plan pour la protection du patrimoine.)
- 213 Hess-Norris D., "Air-drying of water-soaked photographic materials: observations and recommendations" in ICOM-Conservation committee. *11th triennial meeting, Edinburgh, 1-6 September, 1996. Preprints*. Londres : James and James, 1996, vol. 2, p. 601-608.
- 214 Eastman Kodak Company. *Storage and care of Kodak color film*. Kodak Pamphlet N°. E-30.
- 215 Hendriks K.B., *Fundamentals of photograph conservation : a study guide*. Toronto : Lugus, 1991, p. 423-427.
- 216 Cuddihy E.F., "Storage, preservation, and recovery of magnetic recording tape" in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 182-186.
- 217 Michalski S., "Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values" in ICOM CC. *10th triennial meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993. Preprints*. Paris : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), 1993, vol. 2, p. 624-629.
- 218 Roquebert M.-F., « Admirables et redoutables moisissures » in *Patrimoine culturel et altérations biologiques*. Actes des journées d'études de la SFIIC, Poitiers, 17 et 18 novembre 1988. Champs-sur-Marne : Section française de l'Institut international de conservation (SFIIC), 1989, p. 15-25.
- 219 Florian M.-L. E. "Conidial fungi (mould) activity on artifact materials. A new look at prevention, control, and eradication" in ICOM CC. *10th triennial meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993. Preprints*. Paris : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), 1993, vol. 2, p. 868-874.

- 220 Opela V., "Fungal and bacterial attack on motion picture film, archiving the audio-visual heritage", Third Joint Technical Symposium. May 3-5, 1990. Canadian Museum of Civilization, Ottawa, Canada. Bucks : Editor Georges Boston, 1992, p. 139-144. ISBN : 1 873902 02 6.
- 221 Czerwinska E., Kowalik R., "Microbiodegradation of audiovisuals collections". *Restaurator*, 1979, vol. 3, n° 1-2, p. 63-80.
- 222 Aranyanak C., "Microscopical study of fungal growth on paper and textiles" in *Biodeterioration of cultural property 3*. Actes de la 3^e conférence internationale de l'ICBCP, 4-7 juillet 1995, Bangkok, Thaïlande. Bangkok : International conference on biodeterioration of cultural property (ICBCP), 1996, p. 83-95.
- 223 Gallo F., Marconi C., Valentini P., Colaizzi P., Pasqueriello G., Scorrano M., Maggi O., Persiani A.M., « Recherches sur quelques facteurs clés dans la détérioration biologique des livres et des documents » in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 63-71.
- 224 Chevalier P., Coffinier P., « L'aérobiocontamination », *Food Hygienepraxis*, 3-4, 1995, p. 36-37.
- 225 Godish T. *Indoor air pollution control*. Chelsea (MI, USA) : Lewis publishers, 1990, p. 346.
- 226 NF T 72-190 (1988), *Désinfectants de contact utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau, méthode des portegermes, détermination de l'activité bactéricide, fongicide et sporicide*.
- 227 Rakotonirainy M., Flieder F., « La désinfection des aires de stockage » in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 251.
- 228 Pellecuer J., Allegrini J., « Huiles essentielles bactéricides et fongicides », *Revue de l'Institut Pasteur de Lyon*, t. 9, vol. 2, 1976, p. 135-159.
- 229 Mallaé M., Soler M., Anfosso F., Charpin J., « Activité antifongique d'essences aromatiques. » *Pathologie biologique*, 1979, vol. 27, n° 10, p. 597-602.
- 230 Bard C.C., Kopperl D.F., "Treating insect and microorganism infestation of photographic collections". in SPSE. *The stability and preservation of photographic images*, Second international symposium, Ottawa, Ontario, Canada, 25-28 August 1985. Springfield (VA, USA) : Society of photographic scientists and engineers (SPSE), 1985, p. 53.
- 231 Trehorel M., « Aspect réglementaires concernant l'utilisation de l'oxyde d'éthylène : incidence sur la conception et la mise en œuvre des équipements de désinfection. Patrimoine culturel et altérations biologiques » in *Patrimoine culturel et altérations biologiques*. Actes des journées d'études de la SFIIC, Poitiers, 17 et 18 novembre 1988. Champs-sur-Marne : Section française de l'institut international de conservation (SFIIC), 1989, p. 55-69.
- 232 Hengemihle F.H., Weberg N., Shahani, C.J., "Desorption of residual ethylene oxide from fumigated library materials". Communication non publiée présentée lors des journées internationales d'études de l'ARSAG. *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*, Paris, 16-20 mai 1994.
- 233 Gallo F., *Il biodeterioramento di libri e documenti*. Roma, Centro di Studi per la Conservazione della Carta, ICCROM, 1992, p. 103-104.
- 234 Pinniger D. *Insect pests in museums*. Denbigh : Archetype publications, 1990.
- 235 Child R.E., Pinniger D.B., "Insect trapping in museums and historic houses" in *Preventive conservation practice, theory and research*. Preprints du congrès de l'IIC, Ottawa, 12-16 septembre 1994. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1994, p. 129-131.
- 236 Tonimura H., Yamaguchi S., "The freezing method for eradication of museum pest insects. The safe method for both the human body and artifacts. Experiments on Japanese artifacts and the present state of the freezing method in Western countries" in *Biodeterioration of cultural property 3*. Actes de la 3^e conférence internationale de l'ICBCP, 4-7 juillet 1995, Bangkok, Thaïlande. Bangkok : International conference on biodeterioration of cultural property (ICBCP), 1996, p. 555-566.
- 237 Flukinger R., Brown B., "Curatorship and conservation at the Harry Ransom humanities research center : the evolution of a process". *Topics in photographic preservation* (American institute for conservation-Photographic materials group), 1993, n° 5, p. 73-83.
- 238 Baughman M.C., "Integrated pest management at the Harry Ransom Center. Three elements at work: incoming inspection, an insect monitoring program and an effective avian aversion system", Résumés, 12^e congrès annuel, 22 et 23 mai 1996, Montréal, IIC-GG, 1996.
- 239 Daniel V., Maekawa Shin, Preusser F.D., "Nitrogen fumigation: a viable alternative" in ICOM CC. *10th triennial meeting*. Washington, DC, USA, 22-27 August 1993. Preprints. Paris : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), 1993, vol.2, p. 863-867.
- 240 Daniel V., Hanlon G., "Non toxic methods for pest control in museums" in *Biodeterioration of cultural property 3*. Actes de la 3^e conférence internationale de l'ICBCP, 4-7 juillet 1995, Bangkok, Thaïlande. Bangkok : International conference on biodeterioration of cultural property (ICBCP), 1996, p. 298-307.
- 241 Maekawa S., Elert K., "Large scale disinfestation of museum objects using nitrogen anoxia" in ICOM-Conservation committee. *11th triennial meeting*. Edinburgh, 1-6 September, 1996. Preprints. Londres : James and James, 1996, vol. 1, p. 48-53.

- 242 Flieder F., Capderou C., *Sauvegarde des collections du patrimoine*. Paris : CNRS édition, 1999.
- 243 Association française de l'éclairage (AFE). *La photométrie en éclairage*. Paris : Société d'édition Lux, 1991.
- 244 *Vocabulaire international de l'éclairage*, Publication de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) n° 17.4 terme 845-01-22.
- 245 Lafontaine R.H., Wood P.A., *Les lampes à fluorescences*, Ottawa, Institut canadien de conservation (ICC), 1982. (Bulletin technique n° 7).
- 246 Association française de l'éclairage (AFE). *Guide pour l'éclairage des musées et des collections particulières et des galeries d'art*. Paris : Société d'édition Lux, 1991, p. 33.
- 247 Sancho-Arroyo M., Rioux J.-P., « L'utilisation au musée des équipements à éclairage électronique ». *Techne*, 1996, n° 4, p. 128-136.
- 248 Neevel J.G., "Exposure of objects of art and science to light from electronic flash-guns and photocopiers" in *Contributions of the Central research laboratory to the field of conservation and restoration*. Amsterdam : Central research laboratory for objects of art and science, 1994, p. 77-87.
- 249 Saunders D., "Photographic flash: threat or nuisance?", *National Gallery Technical Bulletin*, 16, 1995, p. 66-72.
- 250 Neevel J.G., "Exposure of objects of art and science to light from electronic flash-guns and photocopiers" in *Contributions of the Central research laboratory to the field of conservation and restoration*. Amsterdam : Central research laboratory for objects of art and science, 1994, p. 77-87.
- 251 Norme NF S20-007 : 1969, *Photographie, diapositives et épreuves photographiques en couleurs, conditions d'examen visuel et comparatif*.
- 252 Norme AFNOR X35-103, *Principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail*.
- 253 Brill T.B., *Light. Its interaction with art and antiquities*. New York, Londres : Plenum Press, 1980.
- 254 ICOM, *La lumière et la protection des objets et des specimens exposés dans les musées et galeries d'art*, Paris, Association française de l'éclairage, 1977, 2^e édition.
- 255 Cartier-Bresson A., Lavédrine B., Marbot B. « Les expositions de photographies », *International Preservation news*, n° 17, May 1998, p. 20-32.
- 256 Severson D.G., "The effects of exhibition on photographs" *Topics in photographic preservation* (American institute for conservation-Photographic materials group), 1986, vol. 1, p. 38-42.
- 257 Parsons T.F., Gray G.G., Crawford I.H., "To RC or not to RC". *Journal of applied photographic engineering*, 1979, vol. 5, n° 2, p. 110-117.
- 258 Reinhold N., "The exhibition of an early photogenic drawing by William Henry Fox Talbot". *Topics in photographic preservation* (American institute for conservation-Photographic materials group), 1993, vol. 5, p. 89-94.
- 259 Norme AFNOR X35-103. *Principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail*, juin 1980, p. 13.
- 260 Association française de l'éclairage (AFE). *Guide pour l'éclairage des musées et des collections particulières et des galeries d'art*. Paris : Société d'édition Lux, 1991, p. 40.
- 261 Bergeron A., *L'éclairage dans les institutions muséales*, Québec : musée de la Civilisation, Montréal : Société des musées québécois, 1992, p. 147.
- 262 Photographic Materials Conservation Catalog, *Exhibition Guidelines for Photographs* (draft). 1993.
- 263 Ezrati J.J., *Manuel d'éclairage muséographique*, Dijon, Office de coopération et d'information muséographiques (OCIM), 1995, p. 45.
- 264 McElhone J.C., "Determining responsible display conditions for photographs". *Topics in photographic preservation* (American institute of conservation-Photographic materials group), 1993, vol. 5, p. 60-72.
- 265 Ware J.M., "Quantifying the vulnerability of photogenic drawings", *Research Techniques in Photographic Conservation, Proceedings of the Conference in Copenhagen, 14-19 May 1995*, Copenhagen, Edited by Mogens Koch, 1996, p. 23-30.
- 266 Costain C., Michalski S., Binnie N., « Évaluation de la sensibilité à la lumière des matériaux colorés dans les collections de musées - in *21^e congrès annuel de l'IIC-GC, Calgary, 1995, Résumés*. Ottawa : Institut international de conservation-Groupe canadien (IIC-GC), p. 16.
- 267 Whitmore P., Bailie C., Pan X., "Photochemical kinetics, optics and color change: studies on the origin and prevention of the light fading of paint", *Art et Chimie : la couleur*. Résumé, Congrès international sur l'apport de la chimie aux œuvres d'art, Amphithéâtre Rohan, École du Louvre, Palais du Louvre, Paris, 1998, p. 149-150.
- 268 Fujii E., Fujii H., Hisanaga T., "Evaluation on the stability of light faded images of reversal films according to color difference in CIELAB", *Journal of Imaging Technology*, vol. 14, n° 2, April 1988, p. 29-37.
- 269 Kenjo T., "Certain deterioration factors for works of art and simple devices to monitor them", *The International Journal of Museum Management and Curatorship*, 5, 1986, p. 295-300.
- 270 Allen N. S., Pratt E., McCormick D.M., "Development of a visible light dosimeter film based on crystal violet dye". *Conservation news*, n° 52, 1993, p. 10-11.
- 271 British Standard 1006: 1971. Methods for the determination of the colour fastness of textiles to light and weathering. International organization for standardization recommendation R105.
- 272 Feller R.L., Johnston-Feller R.M., "Use of the International standards organizations's blue-wool standards for exposure to light. Use as an integrating light monitor for illumination under museum conditions" in *Preprints. Sixth annual meeting, Fort Worth, Texas, 1-4 June 1978*.

- Washington : American institute for conservation of historic and artistic works (AIC), 1978, p. 73-80.
- 273 Tennent N.H., Townsend J.H., Davis A., "Light dosimeter for museums, galleries and historic houses". Preprints of the conference on lighting in museums, galleries and historic houses, Bristol, London : The museums association, 1987, p. 31-35.
- 274 Staniforth S, Bullock L., "Surveying light exposure in national trust houses", *Museum practice*, Issue 6, vol. 2, n° 3, 1997, p. 72-74.
- 275 Brevet 9812825 du 13 octobre 1998 : Dosimètre d'évaluation du degré d'éclairage notamment d'objets dont l'exposition à la lumière doit être limitée.
- 276 Tennent N.H., Townsend J.H., Davis A., "A simple integrating dosimeter for ultraviolet light" in *Science and technology in the service of conservation. Preprints*. IIC, congrès de Washington, 3-9 septembre 1982. Londres : International institute for conservation of historic and artistic works (IIC), 1982, p. 32-38.
- 277 Saunders D., "Ultraviolet filters for artificial light sources". *National gallery technical bulletin*, 1989, vol. 13, p. 61-68.
- 278 Macleod K.J., *L'éclairage des musées*. Ottawa : Institut canadien de conservation (ICC), 1975, p. 11. (Bulletin technique n° 2).
- 279 Radu G., "Research concerning the preservation of colour film by the application of protective substances". *The BTKS journal*, May 1981, p. 266-272.
- 280 Meyers M.B., Riordan J.E., "Light induced fading of colour prints". *British journal of photography*, 1981, vol. 128, p. 1170-1171.
- 281 *How post-processing treatment can affect image stability of prints on Kodak Ektacolor paper*. Rochester (NY, USA) : Eastman Kodak, 1982. (Kodak Pamphlet n° E-30).
- 282 Mac Donald M.A., "Evaluation of UV glazing materials", *EDR Report* n° 1912. Environment and deterioration Research, Canadian Conservation Institute.
- 283 Monni G., « Étude d'une solution de montage pour la présentation des photographies contemporaines ». *Nouvelles de l'ARSAG*, 1997, n° 13, p. 13-16.
- 284 Friend M., "Film/Digital/Film". *Journal of film preservation*, 1995, n° 50, p. 36-49.
- 285 Kodak. Feuillet technique photo professionnelle, caractéristiques générales des films noir et blanc, février 1975.
- 286 Puglia S.T., *Duplication options for Deteriorating Photo Collections*. Photograph Preservation and the Research Library. Edited by Jennifer Porro, The Research Libraries Group, Inc. Mountain View, California, 1991, p. 29-35.
- 287 Brunel G., « Restitution : les dangers d'une notion obscure » in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 189-193.
- 288 Hager M., "Negative Duplication", in *La fragilité minaciata, Aspetti e problemi della conservazione dei negativi fotografici*. Roma, Unione Internazionale degli Istituti di Archeologia, storia e storia dell'arte in Roma, 1991, p. 61-73.
- 289 Bradley H., "Corrective reproduction of faded color motion picture prints". *SMPTE journal*, 1981, vol 90, n° 7, p. 591-596.
- 290 Rosenthaler L., Gschwind R., "Restauration of old movie films by digital image processing", Proceeding of the European workshop on image analysis and coding for TV, HDTV and multimedia applications (HAMLET Race workshop), february 27-28th 1996, Rennes.
- 291 Buisson O., Joyeux L., Besserer B., Boukir S., Helt F., « Restauration de documents cinématographiques par des méthodes numériques » in *La conservation : une science en évolution. Bilan et perspectives*. Actes des 3^{es} Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 21 au 25 avril 1997, Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1997, p. 175-184.
- 292 Romer G., conférence donnée à Huesca, Espagne, en mai 1995.
- 293 Gschwind R., Frey F., "Electronic imaging, a tool for the reconstruction of faded color photographs". *Journal of imaging science and technology*, 1994, vol. 38, n° 6, p. 520.
- 294 Frey F., Gschwind R. "Mathematical bleaching models for photographic three-color materials". *Journal of imaging science and technology*, 1994, vol. 38, n° 6, p. 513.
- 295 Ando Y., "Digital reconstruction of faded color image", conférence donnée lors de la *Conference on managing and preserving image collection*, Bangkok, Thaïlande, 4 novembre 1995.
- 296 Norme NF Z43-104 : Micrographie - Vocabulaire - Supports et conditionnements ; Norme Z43-101 : Micrographie - Vocabulaire - Termes généraux.
- 297 Rothenberg J., "Ensuring the longevity of digital documents", *Scientific American*, 1995, 272 (1), p. 24-29.
- 298 Mallinson J.C., "Archiving human and machine readable records for the millennia" in SPSE, *The stability and preservation of photographic images*, Second international symposium, Ottawa, Ontario, Canada, 25-28 August 1985. Springfield (VA, USA) : Society of photographic scientists and engineers (SPSE), 1985, p. 60-63.
- 299 Friend M., "Film/Digital/Film". *Journal of film preservation*, 1995, n° 50, p. 36-49.
- 300 Conway P., *Preservation in the digital world*. Washington : Commission on preservation and access (CPA), 1996.
- 301 www.paperdisk.com
- 302 Research library group (RLG), *Preserving digital information. Report of the task force on archiving of digital information*. Washington : Commission on preservation and access (CPA), 1996.

- 303 Comparison of methods & costs of digital preservation. Cimtech Limited, University of Hertfordshire. ISBN 0 7123 9713 2, ISSN 1366-8218, BLRIC report 106.
- 304 Rothenberg J., *Avoiding technological quicksand: finding a viable technical foundation for digital preservation*. Washington : Council on library and information resources (CLIR), 1999.
- 305 Goodman N., *Langages de l'art*, Nîmes : éditions Jacqueline Chambon, 1990.
- 306 Choay F., « Sept propositions sur le concept d'authenticité et son usage dans les pratiques du patrimoine artistique », Conférence sur l'authenticité, Nara 1-6-XI-1994, Documents de travail rassemblés par ICOMOS.
- 307 Lemaire R., « Authenticité et patrimoine monumental », Conférence sur l'authenticité, Nara 1-6-XI-1994, Documents de travail rassemblés par ICOMOS.
- 308 Barda J., « L'original numérique », *Le Photographe*, n° 1526, juillet-août 1995, p. 38-39.
- 309 Kenney A.R., Chapman S., *Digital resolution requirements for replacing Text-based material: methods for benchmarking image quality*, Washington, The Commission on Preservation and Access, April 1995.
- 310 Ester M., "Image quality and viewer perception", *Leonardo, Digital Image-Digital Cinema*, supplement issue, Pergamon, 1990.
- 311 Stokes J., Image Management. Photographic Material Group, American Institut of Conservation. Winter meeting, Austin, Texas, mars 1993.
- 312 Mallinson J.C., "Preservation of video recorded images" in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 177-181.
- 313 Nakamura T., Hatai A., Okamoto K., "Archival stability of metal video tape as use for Beta-Cam SP.", Archiving the Audio-visual Heritage. Third Joint Technical Symposium. May 3-5, 1990. Canadian Museum of Civilization, Ottawa, Canada. Bucks : Editor George Boston, 1992. p. 61-68. ISBN : 1 873902 02 6.
- 314 Cuddihy E.F., "Aging of magnetic recording tape". *IEEE transactions on magnetics*, 1980, vol. 16, n° 4, p. 558-568.
- 315 Bertram H.N., Cuddihy E.F., "Kinetics of the aging of magnetic recording tape", *EEE Transactions on Magnetics*, vol. 18, n° 5, September 1982, p. 993-999.
- 316 Cuddihy E.F., "Storage, preservation, and recovery of magnetic recording tape" in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 182-186.
- 317 ANSI/NAPM IT9.23-1996 : Polyester Base Magnetic Tape-Storage.
- 318 ISO 12606 : 1997.
- 319 Levrey Y., « L'induction électromagnétique d'origine nucléaire : quels risques pour la conservation de l'écrit, de l'image et du son ? » in *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son*. Actes des Journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 16-20 mai 1994. Paris : Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG), 1994, p. 169-171.
- 320 Van Bogart J.W.C., *Magnetic tape storage and handling. A guide for libraries and archives*. Washington : Commission on preservation and access (CPA), 1995.
- 321 www.norsam.com
- 322 Calas M.-F., Fontaine J.-M., *La conservation des documents sonores*. Paris : CNRS édition, 1996.
- 323 Cinnamon B., *Gestion électronique de documents sur disques optiques*, Paris : AFNOR, 1989, p. 40.
- 324 Adelstein P.Z. "Standards preservation of electronic imaging" in *International conference on conservation and restoration of archive and library materials, Erice, April 22nd-29th, 1996*. Preprints. Rome : Istituto centrale per la patologia del libro, 1996, vol. 2, p. 675-682.
- 325 Stinson D., Arnell F., Zaino N., *Lifetime of writable CD and Photo CD media*. Rochester, Eastman Kodak company, 1993.
- 326 Projet de norme NF 242011-2 : 1999 : Imagerie électronique - Contrôle des informations conservées sur CD, ISO 16111.
- 327 Saffady W., *Optical disks vs. Micrographics*. Westport, Londres, Melbourne : Meckler, 1993.
- 328 Kodak, *Permanence, care and handlings of CDs*, Rochester, Kodak Imaging, 1995.
- 329 Holmes W.M., "The ODISS project: an example of an optical digital imaging application" in *La conservation aux archives*. Actes du colloque international du Conseil international des archives (CIA), Ottawa, 10-12 mai 1988. Paris : CIA, 1989, p. 233-241.
- 330 *La conservation entre microfilmage et numérisation*. Actes des journées patrimoniales organisées par la BNF et l'ARMELL, Sablé-sur-Sarthe, 8-9 novembre 1993. Sablé-sur Sarthe : Bibliothèque nationale de France (BNF), Agence régionale des métiers du livre et de la lecture des Pays de la Loire (ARMELL), 1993.
- 331 Gensac H., « Le voile des émulsions photographiques », *Photo-revue*, janvier 1960, p. 1-3.
- 332 Reed M., "A practicum on print washing", *Photo techniques*, July-August 1996, p. 23-28.
- 333 Haist G., *Modern photographic processing*, vol. 2, New York , John Wiley and Sons, 1979, p. 641.
- 334 Norme ISO 10602 : 1993(F), p.11.
- 335 Eaton G.T., Crabtree G.I., "Washing photographic films and prints in sea water", *Journal SMPTE*, 65, 1956, p. 378.
- 336 Norme ISO 10602 : 1993(F), p.11.
- 337 Lavédrine B., "Deterioration of some contemporary prints". *Topics in photographic preservation* (American institute for conservation-Photographic materials group), 1995, vol. 6, p. 106-110.

- 338 Norme ISO 6051 : 1992 (F), p.iii.
- 339 Drago F.J., Lee W.E., "Review of the effects of processing on the image stability of black-and-white silver materials". *Journal of imaging technology*, 1986, vol. 12, n° 1, p. 57-65.
- 340 Beveridge D., Cole D.H., "Stability of black-and-white photographic images", conférence donnée à l'International Symposium of SPSE, Ottawa, Ontario, Canada, August 30-September 1, 1982, p. 41.
- 341 Minagawa Y., Torigoe N., "Some factors influencing the discoloration of black-and-white prints in hydrogen peroxide atmosphere", conférence donnée à l'International Symposium of SPSE, Ottawa, Ontario, Canada, August 30-September 1, 1982, Résumé p. 42-44.
- 342 Owerbach D., "A colorimetric determination of residual thiosulfate (hypo) in processed paper". *Journal of applied photographic engineering*, 1986, vol. 9, n° 2, p. 66-70.
- 343 Reilly J.M., Nishimura D.W., Cupricks K.M., Adelstein P.Z., "Polysulfide treatment for microfilm". *Journal of imaging technology*, 1991, vol. 17, n° 3, p. 99-107.
- 344 Lee W.E., Bard C.C., "The post treatment of microfilm with selenium toner to enhance stability in storage under adverse conditions", *The Journal of Photographic Science*, vol. 36, n° 3, 1988, p. 73-74.
- 345 Johnsen J.S., Pedersen K.B., "Comparison of selenium and sulfur treatment for protecting photographic silver images against oxidation". Communication présentée au congrès NFK, Copenhague, septembre 1994.
- 346 Johnsen J.S., Nielsen U.B., Pedersen K.B., "New approaches in processing of black-and-white photographic material for maximum stability- in ICOM-CC. 10th triennial meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993. Preprints. Paris : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), 1993, vol. 2, p. 903.
- 347 Bénard E., *Sulfuration des papiers argentiques en noir et blanc par les polysulfures. Optimisation de la stabilité par une sulfuration minimale*. Mémoire de fin d'études. École nationale supérieure Louis-Lumière, 1998.
- 348 Reilly J.M., "A summary of recent research at the Image permanence institute (1992)". *Topics in photographic preservation* (American institute of conservation Photographic material group), 1993, vol. 5, p. 52-59.
- 349 Elkington N.E., ed. *RLG Preservation microfilming handbook*, Mountain View (CA, USA) : Research libraries group, 1992, p. 193.
- 350 Hendriks K.B., Dobrusskin S., "The conservation of painted photographs" in ICOM-CC. 9th triennial meeting, Dresden, Germany, 26-31 August 1990. Preprints. Los Angeles : ICOM-Committee for conservation (ICOM-CC), vol. 1, p. 249-254.
- 351 Miyagawa T., Shirai Y., Kato Y., "Fading reaction of p-diethylaminophenyl naphthoquinoneimine dye with thiosulfate". conférence donnée à l'International Symposium of SPSE, Ottawa, Ontario, Canada, August 30-September 1, 1982, p. 22-25.
- 352 Hisanaga T., Oinque T., Fujii E., Miyagawa T., Yabe N., "On the test methods for image stability of color photographic paper (II) : effect of residual thiosulfate ions and stabilizing bath on the stability", *Journal of the Society of Photographic Sciences and Technology of Japan*, 44 (5), 1981 p. 418-420.
- 353 Koboshi S., Kurematsu M., "Influence of residual chemicals in color prints on dye stability". Conférence donnée à l'International Symposium of SPSE, Ottawa, Ontario, Canada, August 30-September 1, 1982, p. 27.
- 354 - Les avantages du système dit *washless* -. *Minilab magazine*, 1987, n° 4, p. 12, 14 et 16.
- 355 Koboshi S., Kurematsu M., "A new stabilization process for color films and prints Using Konica Super Stabilizer". *Second International Symposium: The Stability and Preservation of Photographic Images*, Ottawa, Ontario, Canada, du 25 au 28 août 1985, p. 54-56.
- 356 Ishii T., Takahashi N., Matsuda Y., "Stability of color photographs -V", *Bulletin of the Japan Society for Arts and History of Photography*, vol. 6, n° 1, 1997, p. 60-73.
- 357 Lavédrine B., Gillet M., Garnier C., Leroy M., - Étude de la stabilité photochimique d'impressions couleurs à jet d'encre -. *Nouvelles de l'ARSAG*, 1997, n° 13, p. 16-18.



CET OUVRAGE A ÉTÉ ACHEVÉ
D'IMPRIMER EN DÉCEMBRE 2000 SUR LES PRESSES DE L'IMPRIMERIE
DE L'INDÉPENDANT - 53200 CHÂTEAU-GONTIER - FRANCE
N° D'IMPRIMEUR : 001234
DÉPÔT LÉGAL : 4^e TRIMESTRE 2000

Depuis une trentaine d'années les recherches sur la conservation du patrimoine photographique n'ont cessé de se développer, elles permettent aujourd'hui de mieux comprendre la fragilité des images et les moyens à mettre en œuvre pour assurer leur pérennité. Ce livre veut faire la synthèse des travaux les plus récents ainsi que des normes internationales sur le sujet. Certaines notions sont explicitées afin de faciliter la compréhension de l'ouvrage par un large public. Après une description des principales altérations des photographies, les auteurs présentent le choix des contenants et des conditions environnementales, la surveillance des collections et les précautions pour l'exposition, sans oublier les nouveaux supports numériques et le traitement pour assurer une conservation optimale des photographies. Cet ouvrage s'adresse à toutes les personnes qui veulent assurer la pérennité de leurs collections patrimoniales, qu'elles soient privées ou publiques.

Bertrand Lavédrine et Sibylle Monod travaillent au Centre de recherches sur la conservation des documents graphiques, CRCDG, unité mixte de recherche qui associe le Muséum national d'histoire naturelle, le Centre national de la recherche scientifique et le ministère de la Culture et de la Communication. Jean-Paul Gandolfo enseigne à l'École nationale supérieure Louis-Lumière.

Association pour la recherche scientifique
sur les arts graphiques (ARSAG)
Muséum national d'histoire naturelle
36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, F - 75005 Paris



Prix : 30 € / 196,50 F

ISBN : 2-9516103-0-0

