Compendium des adhésifs pour la conservation

Rédigé et compilé par
Jane L. Down

Institut canadien de conservation
Canadian Conservation Institute

Canada

Compendium des adhésifs pour la conservation

Rédigé et compilé par
Jane L. Down

Institut canadien de conservation
Canadian Conservation Institute

Canada

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation, 2015

Toute reproduction, dans quelque format que ce soit, ou distribution par voie écrite ou électronique de cette publication, même partielle, est interdite sans l'autorisation écrite préalable de l'Institut canadien de conservation. Les demandes peuvent être présentées par courriel à CCI-ICC.services@pch.gc.ca.

IMPRIMÉ AU CANADA

Publié par :

Institut canadien de conservation
1030, chemin Innes
Ottawa (Ontario) K1B 4S7
Canada
Also available in English.

Down, Jane

Compendium des adhésifs pour la conservation

Publ. aussi en anglais sous le titre : Adhesive Compendium for Conservation.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 978-0-660-97517-7
No de cat. CH57-4/4-2015F

En couverture : Premier procédé de fabrication de colle attesté. Peinture découverte dans le tombeau de Rekhmirê, Égypte. Image publiée avec l'autorisation de Josep M. Guell.

Table des matières

Remerciements ..... **i**

Préface ..... **iii**

Présentation des auteurs ..... **v**

Abréviations ..... **xi**

Chapitre 1. Introduction – *Jane L. Down* **1**
Les définitions 1
Le choix des adhésifs et des agents de consolidation pour la conservation 1
La liaison 1
L'adhésion et la cohésion 2
Les types de rupture d'un joint 3
Les polymères 3
Les polymères thermoplastiques 4
Les polymères thermodurcissables 4
La masse moléculaire des polymères 4

Chapitre 2. Les propriétés des adhésifs liquides – *Jane L. Down* **5**
La composition des adhésifs 5
Les solutions 5
Les paramètres de solubilité 5
Le choix de solvants sans risque pour les adhésifs 10
Les dispersions et les émulsions 10
Les autres additifs dans les adhésifs 12
Le mouillage 13
La viscosité 13
Le pH 14
La durée de conservation 15

Chapitre 3. La liaison – *Jane L. Down* **17**
La propreté et la préparation des surfaces 17
L'ajustement des substrats 18
Le contact entre l'adhésif et le substrat 18
L'épaisseur du joint 18
La conception du joint 19
Les mécanismes de prise 21
Le temps de prise 22
Le retrait lors de la prise 22

Chapitre 4. Les propriétés des adhésifs solides – *Jane L. Down* **23**
La température de transition vitreuse 23
Les propriétés mécaniques 24
Les coefficients de dilatation 26
Les propriétés optiques 27
Le vieillissement et la mise à l'essai des adhésifs 27
L'enlèvement d'un adhésif 29

Chapitre 5. Un bref survol des enjeux liés à la consolidation – *George Wheeler et Stefan Michalski* **35**
Les agents de consolidation 35
L'efficacité de la pénétration 35
La prévention de la migration inverse 36
Les techniques de consolidation 37
La capacité de retirer l'agent de consolidation 37

Chapitre 6. Renseignements techniques sur les classes d'adhésifs et leur vieillissement – *Jane L. Down* **39**
Introduction 39
Produits organiques naturels
Les protéines (colles animales, colles de poisson, etc.) 41
Les polysaccharides (amidon, dextrine, etc.) 50

Les éthers de cellulose (méthylcellulose, hydroxyéthylcellulose, etc.) 59
Les esters de cellulose – l'acétate de cellulose 66
– le nitrate de cellulose 68
La gomme-laque 72
Produits organiques synthétiques
Les poly(acétates de vinyle) et copolymères 74
Les poly(alcools de vinyle) 87
Les poly(butyrals de vinyle) 90
Les acryliques 93
Les cyanoacrylates 106
La poly(2-éthyl-2-oxazoline) 112
Les résines époxy 114
Le nylon soluble 125
Produits partiellement inorganiques
Les silicones(polysiloxanes) et les silanes 127

Chapitre 7. Le choix des adhésifs ou des agents de consolidation dans le cadre de traitements 135
Introduction – *Carole Dignard* 135
Les œuvres sur papier – *Sherry Guild et Anne F. Maheux* 141
Les documents photographiques – *Gregory Hill* 147
Les livres – *Lynn Curry et Geneviève Samson* 155
Les cuirs et les peaux – *Carole Dignard et Janet Mason* 162
Les textiles – *Irene F. Karsten et Jan Vuori* 171
La vannerie – *Ruth E. Norton* 178
Les peintures – *Wendy Baker* 184
L'os et l'ivoire archéologiques – *Tara Grant* 194
Les meubles et les objets en bois – *Donald C. Williams* 200
Le bois archéologique gorgé d'eau – *David W. Grattan* 207
Les plastiques et les caoutchoucs – *Julia Fenn* 209
Le verre et la céramique – *Stephen P. Koob* 214
Les spécimens de vertébrés fossiles – *Amy Davidson, Lisa Kronthal Elkin et Samantha Alderson* 222
La pierre – *George Wheeler* 227

Références 233

Index 267

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement l'Institut canadien de conservation de m'avoir accordé le temps nécessaire pour rédiger et compiler le présent ouvrage. Je tiens aussi à remercier tout particulièrement les auteurs invités pour leur précieuse contribution, car leurs connaissances et leur expertise ont grandement enrichi ce livre. Il s'agit de Lynn Curry, de Geneviève Samson et d'Anne F. Maheux (Bibliothèque et Archives Canada); d'Amy Davidson, de Lisa Kronthal Elkin et de Samantha Alderson (American Museum of Natural History); de Julia Fenn (Musée royal de l'Ontario); de Stephen P. Koob (The Corning Museum of Glass); de Ruth E. Norton (Field Museum of Natural History); de George Wheeler (Université Columbia, Historic Preservation Program); de Donald C. Williams (Smithsonian Museum Conservation Institute); de Wendy Baker, de Carole Dignard, de Sherry Guild, de Tara Grant, de David W. Grattan, de Gregory Hill, d'Irene F. Karsten, de Janet Mason, de Stefan Michalski et de Jan Vuori (Institut canadien de conservation). Merci aux relecteurs, Velson Horie, David W. Grattan, James Bourdeau, Marie-Claude Corbeil et Elisabeth Joy, dont les commentaires ont considérablement amélioré le contenu de l'ouvrage. Je remercie particulièrement les membres du personnel de la bibliothèque de l'Institut, Finbarr Healy, Irène Légère, Natalie MacDonald, Lise Perron-Croteau et Pascale Bellemare, qui ont travaillé sans relâche pour m'aider à trouver tous les articles qui sont cités dans ce livre. En outre, j'aimerais exprimer ma gratitude à Lyndsie Selwyn pour tous les encouragements et les conseils qu'elle m'a prodigués tout au long du projet. Je tiens aussi à remercier Sean Coyne qui, en plus d'avoir révisé la version anglaise et réalisé l'indexation, a peaufiné l'ouvrage à bien des égards, notamment en veillant à son uniformité et en faisant en sorte qu'un sujet plutôt aride puisse être abordé dans un style limpide qui respecte les règles de grammaire. Mes remerciements vont également à Marie-Claude Corbeil, CLS Lexi-tech ltée, Rachelle Laplaine, Marie-Pierre Bouchard-Girard et Ronan Pouliquen, qui ont révisé la version française du présent ouvrage, à Shannon King, la graphiste qui a dessiné les figures, ainsi qu'aux Éditions Sciences Canada, qui ont assuré la mise en page de l'ouvrage. Enfin, je voudrais remercier sincèrement tous les chercheurs qui ont réalisé des travaux sur les adhésifs et qui ont publié les centaines d'articles et d'ouvrages que j'ai lus, et qui sont résumés et cités dans le présent compendium. Sans toutes les personnes mentionnées ici, ce livre n'aurait jamais pu voir le jour.

Jane L. Down

Préface

Le présent ouvrage est né de quelques idées, suggestions et besoins qui ont été exprimés au fil des ans. En effet, l'Institut canadien de conservation a reçu de nombreuses demandes pour obtenir les manuels associés aux ateliers sur les adhésifs, lesquels n'étaient pas publiés et n'étaient disponibles que pour les participants. Plusieurs personnes m'ont suggéré de publier ces manuels sous forme de monographie, beaucoup d'autres m'ont suggéré de rédiger un livre sur les adhésifs afin d'y consigner mes connaissances en ce domaine avant de prendre ma retraite. De plus, j'ai constaté au fil du temps que les réponses aux centaines de questions que je recevais sur les adhésifs nécessitaient que je consulte de nombreuses références, notamment les résultats de mes propres travaux de recherche, ceux publiés par d'autres chercheurs, des manuels et guides industriels traitant des adhésifs et des polymères, des précis portant sur la conservation (par exemple *Materials for Conservation*, rédigé par Horie), des fiches techniques de fabricants, des fiches signalétiques de sécurité de produits ainsi que des ressources consultables en ligne comme la base de données CAMEO (*Conservation and Art Materials Encyclopedia Online*). J'ai toujours souhaité regrouper autant de ces renseignements importants sur les adhésifs que possible afin de créer une source unique d'information pour ceux qui œuvrent en conservation. Ainsi, j'ai d'abord essayé de traiter du plus grand nombre possible d'adhésifs parmi ceux couramment utilisés dans le domaine de la conservation, mais il est par la suite devenu évident qu'il me serait impossible de tous les inclure dans un livre de la taille de celui-ci. C'est la raison pour laquelle l'accent y est mis, par exemple, sur les adhésifs plutôt que sur les agents de consolidation, car les procédés de consolidation sont complexes et la taille du présent ouvrage ne permet pas d'aborder le sujet de manière détaillée. En outre, il a fallu choisir les adhésifs qui seraient traités ou non, ce qui explique que certains adhésifs peu courants et dont l'utilisation n'est pas recommandée ne font l'objet que d'une brève mention.

La première section du livre présente des concepts théoriques, notamment des renseignements sur les propriétés des adhésifs liquides et solides, l'adhérence et la consolidation. Ensuite, il est question de données techniques sur toutes les classes d'adhésifs et de données sur leur vieillissement, plus particulièrement, des renseignements sur les adhésifs, leurs caractéristiques et leurs propriétés de mise en œuvre ainsi que la revue des résultats d'études de vieillissement pertinentes. Enfin, le chapitre final comporte une discussion sur la manière de choisir des adhésifs adéquats pour chacune des spécialités du domaine de la conservation. Ce chapitre a été rédigé par des collègues qui sont des experts dans leurs domaines respectifs et je les remercie d'avoir accepté de partager leurs connaissances dans le cadre de ce projet.

Le présent ouvrage est destiné aux restaurateurs et aux étudiants en conservation. Le lecteur qui recherche des renseignements théoriques ou de nature générale sur les phénomènes d'adhérence et de liaison peut consulter les cinq premiers chapitres de l'ouvrage. Pour obtenir de l'information sur les propriétés particulières d'un adhésif ou d'une classe d'adhésifs, ou sur leur vieillissement (par exemple la nature chimique des adhésifs, leur solubilité et d'autres caractéristiques, ainsi que les résultats d'études sur le vieillissement), il peut se rendre directement au sixième chapitre. Quant au septième chapitre, il lui fournirait des critères qui permettent de choisir l'adhésif adéquat pour un traitement particulier ainsi que des suggestions en matière de produits couramment utilisés à ces fins.

Le livre que vous tenez dans vos mains constitue en quelque sorte un héritage que je laisse à la communauté de la conservation. J'espère sincèrement qu'il sera utile aux restaurateurs et qu'il leur permettra de faire des choix éclairés en matière d'adhésifs dans le cadre de leurs travaux, car ces derniers visent à préserver notre patrimoine culturel pour les générations futures.

Jane L. Down
Scientifique principale en conservation, Institut canadien de conservation

Présentation des auteurs

Rédactrice et compilatrice

Jane L. Down a obtenu un baccalauréat en chimie et en mathématiques de l'Université Queen's (Kingston, Ontario) en 1973. Elle s'est jointe à l'Institut canadien de conservation (ICC) en 1978 et, à titre de scientifique principale en conservation, elle a été responsable de toute la recherche sur les adhésifs réalisée à l'Institut. Elle répondait aux nombreuses questions liées aux adhésifs qui étaient envoyées à l'Institut chaque année, et ce, de partout dans le monde. Jane a publié bon nombre d'articles, présenté ses travaux à l'occasion de conférences nationales et internationales, supervisé des stagiaires, organisé et animé de nombreux ateliers sur les adhésifs, notamment ***Les adhésifs en conservation des textiles et du cuir : recherche et application***, offert quatre fois à l'ICC (entre 1999 et 2001) ainsi que l'atelier intitulé ***Adhesives Today: Exploring Current Adhesive Options and Application Techniques*** (2002), qui a été offert en anglais au Victoria and Albert Museum. De plus, elle a organisé et présidé différents symposiums de l'ICC, notamment le ***Symposium 2011 - Adhésifs et consolidants pour la conservation : Recherche et applications***. Elle a mené des recherches sur les résines époxy, les poly(acétates de vinyle), les acryliques, les copolymères d'acétate de vinyle et d'éthylène ainsi que sur divers rubans adhésifs et papiers de soie fixables à chaud. En 2002, la Society of Vertebrate Paleontology a attribué à Jane son Preparator's Award pour qu'elle étudie les adhésifs à base de cyanoacrylate en présence ou en l'absence de fossiles. En 2002 et 2003, Jane fut corécipiendaire de deux prix du sous-ministre du ministère du Patrimoine canadien pour des contributions exceptionnelles. Elle s'est également vu décerner le prix du directeur général de l'ICC pour son travail exceptionnel dans le cadre du Symposium 2011. Jane a été membre accréditée de l'Association canadienne des restaurateurs professionnels, membre (*fellow*) de l'Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques et membre de l'Association canadienne pour la conservation et la restauration. Elle a pris sa retraite en janvier 2014.

Auteurs des chapitres 5 et 7

Samantha Alderson est restauratrice à la Division de l'anthropologie de l'American Museum of Natural History, où son travail est lié aux collections archéologiques et ethnographiques du musée. En outre, elle est chargée de cours au Conservation Center de l'Institute of Fine Arts de l'Université de New York (New York), où elle donne des cours de niveau avancé en conservation des objets. Elle détient un baccalauréat ès arts du Collège St. John's (Annapolis, Maryland), une maîtrise combinée en histoire de l'art et en archéologie ainsi qu'un certificat d'études supérieures en conservation du Conservation Center de l'Institute of Fine Arts de l'Université de New York (New York). Ses domaines de recherches touchent les adhésifs et les agents de consolidation utilisés en conservation ainsi que la technologie et la conservation des céramiques méso-américaines.

Wendy Baker possède une vaste expérience de la conservation dans le domaine des beaux-arts, des arts décoratifs ainsi que des intérieurs patrimoniaux. Elle est diplômée de l'Université Queen's (Kingston, Ontario) où elle a obtenu une maîtrise en conservation des œuvres d'art (1977-1979), puis elle a fondé une entreprise privée de conservation qui a été en activité jusqu'en 2002. Pendant ses nombreuses années de pratique privée, Wendy a entrepris des travaux de conservation de peintures sur de multiples supports, y compris la toile, le bois, le plâtre et le verre. Son expérience de la conservation d'intérieurs patrimoniaux s'étend de fragments de murs en pisé du I^{er} siècle de notre ère (Méroé, Soudan) aux intérieurs dorés, peints et ornementés des cathédrales. Wendy travaille à l'ICC depuis 2002 à la Division des beaux-arts, du mobilier et des intérieurs patrimoniaux. À titre de restauratrice principale de peintures, elle répartit maintenant son temps entre le traitement, la formation, l'animation d'ateliers et l'offre de conseils aux clients.

Lynn Curry est restauratrice en chef des livres à Bibliothèque et Archives Canada. Elle a étudié l'histoire à l'Université Carleton (Ottawa, Ontario) et est diplômée du Programme de techniques muséologiques au Collège Algonquin (Ottawa, Ontario). Elle a entrepris sa carrière à Bibliothèque et Archives Canada en 1984, participant à un programme interne de formation de cinq ans en conservation d'archives. Elle a étudié les structures historiques du livre, l'histoire du livre et la terminologie descriptive pendant plus de 25 ans. Elle a enseigné l'histoire des structures du livre et la conservation des livres au programme de maîtrise en conservation des œuvres d'art à l'Université Queen's (Kingston, Ontario).

Amy Davidson est préparatrice de fossiles vertébrés. Elle travaille à titre de préparatrice principale pour la Division de la paléontologie de l'American Museum of Natural History depuis 1993. Elle se spécialise dans les petits dinosaures et mammifères logés dans des matrices difficiles, y compris des grès incohérents, des mudstones éclatés et des roches volcanoclastiques très dures. Depuis 1994, elle collabore avec des restaurateurs afin d'adapter des matériaux et des méthodes utilisés en conservation à la préparation des fossiles, ce qui l'a amenée à présenter

de nombreux exposés et ateliers et à écrire un grand nombre de publications. Avant d'occuper son poste actuel, elle a été apprentie au Museum of Comparative Zoology de l'Université Harvard pendant trois ans. Elle détient de l'expérience en sculpture et en fabrication de modèles. Amy possède un baccalauréat ès arts du Collège Oberlin (Oberlin, Ohio).

Carole Dignard est diplômée de l'Université d'Ottawa (Ontario) où elle a obtenu un baccalauréat en physique et en italien en 1981 puis un baccalauréat en études classiques en 1983. Elle est aussi diplômée de l'Université Queen's (Kingston, Ontario) où elle a obtenu une maîtrise en conservation des œuvres d'art avec spécialisation en conservation d'objets en 1986. Elle s'est jointe à l'ICC en 1988 où elle occupe présentement le poste de restauratrice principale d'objets. Elle a publié des articles sur diverses études de cas (le traitement d'un panier de la côte du Nord-Ouest, d'une boîte en écorce de bouleau et en piquants de porc-épic, d'un kayak, d'une cape perlée à col de fourrure), le nettoyage au laser, la nébulisation à ultrasons et la fabrication de supports. Elle a été l'une des animatrices de l'atelier de perfectionnement professionnel de l'ICC intitulé ***Les adhésifs en conservation des textiles et du cuir : recherche et application,*** offert quatre fois à l'ICC (entre 1999 et 2001). Elle a aussi été présidente du programme du ***Symposium 2007 - Préserver le patrimoine autochtone : approches techniques et traditionnelles*** de l'ICC, elle a été coordonnatrice du groupe de travail sur les collections ethnographiques du Comité pour la conservation du Conseil international des musées (ICOM-CC) (de 2005 à 2011) et elle est actuellement coordonnatrice adjointe du groupe de travail sur le cuir et les matériaux apparentés de l'ICOM-CC (de 2014 à 2017). Elle est membre (*fellow*) de l'Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques et de l'American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works ainsi que membre honoraire de l'Association canadienne pour la conservation et la restauration.

Julia Fenn est née en Afrique du Sud et est diplômée en archéologie de l'Université de Cape Town (Afrique du Sud). Elle s'est par la suite qualifiée en conservation (archéologique et ethnographique) à l'Institute of Archaeology (Londres, Royaume-Uni) et a travaillé pendant plusieurs années au laboratoire de recherche du British Museum. Après avoir épousé un Canadien, elle s'est installée en Ontario où elle a travaillé pour les Lieux historiques nationaux du Canada, elle a coordonné le Programme de formation des techniciens en conservation au Collège Fleming à Peterborough et elle a enseigné dans le cadre du Programme d'études muséologiques de l'Université de Toronto. Elle a pris sa retraite en 2014, après avoir longtemps occupé le poste de restauratrice principale d'objets ethnographiques au Musée royal de l'Ontario, et continue ses activités d'enseignement et de recherche dans les domaines des adhésifs et de la conservation.

Tara Grant a obtenu une maîtrise en conservation des œuvres d'art à l'Université Queen's (Kingston, Ontario) en 1985. Par la suite, elle a été boursière Andrew W. Mellon au Kelsey Museum of Archaeology de l'Université du Michigan (Ann Arbor, Michigan). En 1987, elle est entrée au service de l'Agence Parcs Canada (Winnipeg - région des Prairies et du Nord) et l'année suivante elle s'est jointe au personnel du Laboratoire d'archéologie de l'ICC. Depuis son arrivée à l'Institut, Tara s'est spécialisée dans les matériaux organiques humides prélevés dans des sites de l'Arctique et elle a travaillé sur le terrain à titre de restauratrice dans le cadre de nombreuses fouilles au Nunavut, notamment dans les îles de Baffin, Devon, Bathurst, Somerset, Ellesmere et Igloolik. Actuellement, elle se spécialise dans la conservation des objets en céramique ou en verre et travaille sur l'élaboration de traitements pour la vannerie de cèdre. De 2011 à 2014, Tara a été coordonnatrice du groupe de travail sur les matériaux organiques archéologiques gorgés d'eau du Comité pour la conservation du Conseil international des musées.

David W. Grattan, né au Royaume-Uni, est bachelier ès sciences de l'Université de Londres (Royaume-Uni) (1968) et détient un doctorat de l'Université de Keele (Royaume-Uni) depuis 1973. Physico-chimiste, spécialiste des polymères, il a entrepris sa carrière au Conseil national de recherches du Canada comme chercheur (1974), puis comme associé de recherche (1976). En 1978, il s'est joint à l'ICC à titre de scientifique en conservation et, en 2005, il a été nommé gestionnaire de la Division de la recherche en conservation. Ses champs d'intérêt vont des problèmes liés à la conservation du bois, des matériaux synthétiques et du papier à la préservation du patrimoine autochtone matériel et immatériel du Canada. David est l'auteur de nombreuses publications sur la conservation et il a donné un grand nombre de conférences au Canada, en Europe et au Brésil. Il a aussi présidé le Comité pour la conservation du Conseil international des musées de 1996 à 2002. David a pris sa retraite en 2011, mais il continue d'écrire et de donner des conférences sur un certain nombre de sujets liés à la conservation. Il est membre (*fellow*) de l'Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques.

Sherry Guild est diplômée du Programme de techniques de conservation des œuvres d'art du Collège Sir Sandford Fleming, devenu le Collège Fleming (Peterborough, Ontario). En 1984, elle a commencé sa carrière à l'ICC en tant que restauratrice au Laboratoire des œuvres sur papier, se spécialisant dans la conservation de ce type d'œuvres. En 2015, elle a pris sa retraite à titre de restauratrice principale d'œuvres sur papier à l'ICC.

Gregory Hill est restaurateur principal de documents photographiques et d'archives à l'ICC. Avant de se joindre à l'Institut, il a travaillé pendant 18 ans à Bibliothèque et Archives Canada à titre de restaurateur, de gestionnaire de la conservation et de conseiller en préservation. Il a présenté des ateliers, fait des exposés et produit des publications sur un grand éventail d'activités de conservation. De plus, il a été président de l'Association canadienne des restaurateurs professionnels.

Irene F. Karsten possède une maîtrise (1998) et un doctorat (2003) en écologie humaine, avec une spécialisation en science de la conservation des textiles, de l'Université de l'Alberta (Edmonton, Alberta). Elle détient aussi un diplôme en techniques de conservation des œuvres d'art (1994) du Collège Fleming (Peterborough, Ontario). Elle a été la restauratrice des collections de vêtements et de textiles de l'Université de l'Alberta de 2004 à 2009 et elle est actuellement conseillère en développement de la préservation à l'ICC.

Stephen P. Koob a obtenu une maîtrise en archéologie classique (1976) de l'Université de l'Indiana (Bloomington, Indiana) et un baccalauréat en conservation archéologique et en science des matériaux (1980) de l'Institute of Archaeology de l'Université de Londres (Royaume-Uni). Il a œuvré pendant cinq ans et demi comme restaurateur dans le cadre des fouilles de l'Agora avec l'American School of Classical Studies, à Athènes (Grèce). De 1986 à 1998, il a travaillé comme restaurateur, spécialisé dans la céramique et le verre, à la Freer Gallery of Art and Arthur M. Sackler Gallery de la Smithsonian Institution (Washington D.C.). En 1998, il est entré au service du Corning Museum of Glass, où il est présentement restaurateur en chef. Il continue également à enseigner la conservation archéologique sur le site de Samothrace dans le nord de la Grèce et s'occupe d'un grand nombre de stagiaires en conservation au musée. Il est l'auteur de l'ouvrage *Conservation and Care of Glass Objects*.

Lisa Kronthal Elkin s'est jointe en 1994 à l'American Museum of Natural History, où elle occupe actuellement le poste de registraire en chef et directrice de la conservation. Auparavant, elle a été restauratrice à la Division d'anthropologie du musée puis directrice de la conservation pour les collections des sciences naturelles. Au cours des dernières années, ses efforts ont porté sur la planification stratégique pour la conservation des collections scientifiques, une tâche qui comprend l'exploration et l'évaluation des risques auxquels sont exposées les collections, la planification des améliorations à apporter aux collections et l'établissement des procédures et des politiques pour la gestion des collections et de la conservation. Elle possède un baccalauréat ès arts de l'Université de Rochester (New York) ainsi qu'une maîtrise et un certificat d'études supérieures en conservation du Collège d'État de Buffalo (New York).

Anne F. Maheux a obtenu une maîtrise en conservation des œuvres d'art de l'Université Queen's (Kingston, Ontario) et un certificat en conservation d'œuvres sur papier du Center for Conservation and Technical Studies, des Harvard University Art Museums (Cambridge, Massachusetts). Elle a reçu le prix de l'Académie américaine à Rome en préservation historique et conservation. Elle a été restauratrice des estampes et des dessins au Musée des beaux-arts du Canada pendant plus de 25 ans et elle est maintenant restauratrice en chef des œuvres sur papier, des cartes et des manuscrits à Bibliothèque et Archives Canada. Elle s'intéresse particulièrement, dans ses recherches, aux pastels du XIX^{e} siècle, plus particulièrement à l'œuvre d'Edgar Degas. Elle aime beaucoup relever le défi du traitement et du montage des œuvres sur papier surdimensionnées.

Janet Mason est restauratrice au Laboratoire des objets de l'ICC où elle donne des conseils et effectue des traitements sur les objets et élabore et anime des ateliers sur le soin des matériaux organiques, y compris l'atelier de perfectionnement professionnel de l'ICC intitulé ***Les adhésifs en conservation des textiles et du cuir : recherche et application***. Son association avec l'Institut a commencé en 1979. Elle a obtenu un diplôme du Programme de techniques de conservation des œuvres d'art du Collège Fleming (Peterborough, Ontario) en 1980. Lors de son séjour au Bishop Museum (Hawaï) de 1986 à 1988, à titre de boursière Mellon, elle a surtout travaillé sur la collection polynésienne.

Stefan Michalski est scientifique principal en conservation à l'ICC. Il détient un baccalauréat en physique et en mathématiques (1972) de l'Université Queen's (Kingston, Ontario). Depuis 1979, Stefan a élaboré des conseils

en matière de conservation et de traitement. Il est l'auteur principal des spécifications relatives à l'humidité et la température dans le chapitre « Museums, Galleries, Archives and Libraries » du manuel *ASHRAE Applications Handbook* (les éditions de 1999 à 2011) et l'auteur du Bulletin technique nº 23 de l'ICC, *Directives concernant l'humidité et la température dans les archives du Canada*. Il a créé le calculateur des dommages causés par la lumière de l'Institut, d'abord sous la forme d'une règle à calcul et maintenant sous celle d'une page Web. Il a écrit des articles passant en revue les dommages causés par la lumière, la mécanique de la peinture, la mécanique de la dorure, les modèles physiques des traitements à l'aide de tables aspirantes, l'enlèvement des vernis par des solvants et la consolidation des matières poreuses, notamment les peintures pulvérulentes. En 2005, il a reçu le prix Harley J. McKee de l'Association for Preservation Technology International qui souligne les contributions exceptionnelles et soutenues dans le domaine de la technologie de la préservation. Actuellement, il prépare un manuel sur la gestion du risque et collabore avec Jim Druzik, du Getty Conservation Institute, à la réalisation d'un ouvrage sur l'environnement des musées.

Ruth E. Norton, membre (*fellow*) de l'Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques et de l'American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, a obtenu sa maîtrise en conservation d'œuvres d'art au Winterthur Museum/Université du Delaware (Newark, Delaware) en 1978. Elle a été restauratrice et elle a donné des formations en conservation pendant quatre ans au Bishop Museum d'Honolulu (Hawaï) et au Musée national des Philippines (Manille). De 1982 à 1988, elle a enseigné la conservation des objets à l'Université de Canberra (Australie). Ses travaux sur les matériaux du Pacifique et de l'Asie se sont poursuivis à titre de consultante auprès de l'UNESCO et du gouvernement australien et dans le cadre d'ateliers portant sur des approches pratiques aux problèmes de conservation sous les tropiques. Après une année de travail sur le terrain à Pella (Jordanie), elle est retournée à Sydney (Australie), pour travailler comme restauratrice principale au Museum of Applied Arts and Sciences (Powerhouse Museum). Entre 1997 et 2001, elle a réparti son temps entre l'État de New York, où elle était professeure invitée au département de conservation d'œuvres d'art du Buffalo State College, et les Pays-Bas, où elle a assumé les fonctions de gestionnaire du projet Deltaplan du Musée national d'ethnologie de Leyde. Elle est maintenant restauratrice en chef au Field Museum of Natural History de Chicago. Elle continue d'animer des ateliers et de mener des consultations dans les domaines de la conservation et du soin des collections. Elle est l'auteure de plusieurs ouvrages, dont: *Practical Manual for the Storage and Display of Textiles for Museums in Southeast Asia*, *Bibliography of Works on the Conservation of Ethnographic Materials* (en collaboration avec S. Walston) et *The Conservation of Artifacts Made From Plant Materials* (en collaboration avec M.L. Florian et D.P. Kronkright).

Geneviève Samson est restauratrice principale de livres à Bibliothèque et Archives Canada. Elle détient un baccalauréat en histoire de l'art de l'Université McGill (Montréal, Québec) depuis 1980 et une maîtrise en histoire de l'art de l'Université de Montréal (Québec) depuis 1985. Elle a également reçu un diplôme en techniques muséologiques du Collège Algonquin (Ottawa, Ontario) en 1984. Geneviève a entrepris sa carrière à Bibliothèque et Archives Canada en 1985. Pendant plus de 25 ans, elle a étudié les structures historiques du livre, l'histoire du livre et la terminologie descriptive. Elle a également animé de nombreux ateliers sur la conservation préventive, les structures historiques du livre et les pigments historiques pour des membres d'associations professionnelles au Québec et en Ontario. Elle collabore actuellement sur la création d'un catalogue raisonné de livres d'heures datant des XV^{e} et XVI^{e} siècles et appartenant à différentes institutions québécoises (ce projet est rendu possible grâce à une subvention accordée par le Conseil de recherches en sciences humaines de 2014 à 2017).

Jan Vuori a été restauratrice principale de textiles à l'ICC de 1981 à 2014. Elle a obtenu une maîtrise en conservation des œuvres d'art (1981) de l'Université Queen's (Kingston, Ontario) et a suivi des cours supplémentaires en science des textiles au College of Textiles (Raleigh, Caroline du Nord) de l'Université de Caroline du Nord. Dans le domaine des traitements de conservation, Jan est l'auteur de publications sur des sujets aussi variés que les textiles archéologiques, les teintures, la mesure du pH, l'impression numérique à jet d'encre, les garnitures et le rembourrage de meubles et le montage par pression. Elle a été l'une des animatrices de l'atelier de perfectionnement professionnel de l'ICC intitulé ***Les adhésifs en conservation des textiles et du cuir : recherche et application*** et elle a été conférencière invitée dans le cadre de l'atelier intitulé ***Adhesives Today: Exploring Current Adhesive Options and Application Techniques***. Cet atelier de perfectionnement professionnel, destiné aux restaurateurs de textiles, a été organisé en 2002 par le Victoria and Albert Museum, en collaboration avec le British Museum et l'ICC. Elle a été accréditée à titre de restauratrice de textiles par l'Association canadienne des restaurateurs professionnels et elle est *Professional Associate* de l'American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Jan a fait partie des conseils d'administration de l'Institut international pour la conservation – Groupe canadien (aujourd'hui connu sous le nom d'Association canadienne pour la conservation et la restauration),

de la North American Textile Conservation Conference et de l'Association canadienne des restaurateurs professionnels. Elle a aussi été coordonnatrice adjointe du groupe de travail sur les textiles du Comité pour la conservation du Conseil international des musées. Jan a quitté l'ICC pour prendre sa retraite en 2014.

George Wheeler est directeur de la conservation au sein du Programme de préservation historique à l'Université Columbia et chercheur au Metropolitan Museum of Art. Il est un expert reconnu en conservation de la pierre et il est l'auteur de nombreuses publications dans le domaine, dont l'ouvrage *Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone* (J.P. Getty Trust, 2005). Il a obtenu un baccalauréat en histoire de l'art et en physique du Collège Muhlenberg (Allentown, Pennsylvanie) ainsi qu'une maîtrise en histoire de l'art de la City University de New York, ainsi qu'un certificat de deuxième cycle en conservation d'œuvres d'art et un doctorat en chimie de l'Université de New York. Il est membre (*fellow*) de l'Académie américaine à Rome, de l'American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works et de l'Institut international pour la conservation des œuvres historiques et artistiques.

Donald C. Williams a été restaurateur principal de meubles au Smithsonian Museum Conservation Institute. Avec plus de 40 ans d'expérience dans les métiers du meuble et de la restauration, il a reçu une formation comme artisan plutôt traditionnel en restauration de meubles, en modelage de fonderie et en fonderie de métaux, puis il a obtenu un baccalauréat en technologie d'objets artistiques et historiques de l'Université du Delaware (Newark, Delaware). Il s'est joint au Smithsonian en 1984. Il a dirigé pendant de nombreuses années le programme de maîtrise en conservation de meubles du Conservation Analytical Laboratory. Il est coauteur de *Saving Stuff* (Simon & Schuster, 2005) et il a dirigé l'American Institute for Conservation Wooden Artifacts Group. Il est actuellement membre du comité des conservateurs du Sénat américain, du conseil de direction de la Society of American Period Furniture Makers et des conseils consultatifs de plusieurs musées. Donald a pris sa retraite du Smithsonian en 2012.

Abréviations

AB	acrylate de butyle ou acrylate de *n*-butyle
AC	acétate de cellulose
ACV	acétate de vinyle
AE	acrylate d'éthyle
AM	acrylate de méthyle
AMDES	aminopropylméthyldiéthoxysilane
ASP	adhésif sensible à la pression
AVE	copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène
AVMDB	copolymère d'acétate de vinyle et de maléate de dibutyle
BM	bromure de méthyle
BMP	2,6-di-t-butyl-4-méthylphénol
CDC	coefficient de dilatation cubique
CDL	coefficient de dilatation linéaire
CDT	coefficient de dilatation thermique
CMC	carboxyméthylcellulose sodique
CPL	colle de peau de lapin
CSB	caoutchouc styrène-butadiène
DEC	densité d'énergie cohésive
DMF	diméthylformamide
DMSO	diméthylsulfoxyde
DP	degré de polymérisation
DS	degré de substitution
EAV	copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle
EC	éther de cellulose
EDGBA	éther diglycidylique de bisphénol A
EHEC	éthylhydroxyéthylcellulose
EHEC-SE	EHEC soluble dans l'eau
EHEC-SO	EHEC soluble dans un solvant organique
EP	époxy
EtC	éthylcellulose
g	gramme
h	heure
HEC	hydroxyéthylcellulose
HPC	hydroxypropylcellulose
HR	humidité relative
HPMC	hydroxypropylméthylcellulose
INC	inconnu(e)
IR	indice de réfraction
L	litre
m	mètre
MAB	méthacrylate de butyle ou méthacrylate de *n*-butyle
MAE	méthacrylate d'éthyle
MAIB	méthacrylate d'isobutyle
MAM	méthacrylate de méthyle
MATFE	méthacrylate de 2,2,2-trifluoréthyle
MC	méthylcellulose
MEC	méthyléthylcétone
MHEC	méthylhydroxyéthylcellulose
MHPC	méthylhydroxypropylcellulose
MM	masse moléculaire
mmHg	millimètres de mercure
M_n	masse moléculaire moyenne en nombre
M_p	masse moléculaire moyenne en poids
N	newton
NC	nitrate de cellulose
NMP	*n*-méthyl-2-pyrrolidone
OE	oxyde d'éthylène
P	poise
Pa	pascal
PAB	poly(acrylate de butyle) ou poly(acrylate de *n*-butyle)
PACV	poly(acétate de vinyle)
PAE	poly(acrylate d'éthyle)
PALV	poly(alcool de vinyle)
PAM	poly(acrylate de méthyle)
PAmB	pâte d'amidon de blé
PBV	poly(butyral de vinyle)
PCV	poly(chlorure de vinyle)
PDB	phtalate de dibutyle
PEG	polyéthylèneglycol
PEOX	poly(2-éthyl-2-oxazoline)
PMAB	poly(méthacrylate de butyle) ou poly(méthacrylate de *n*-butyle)
PMAE	poly(méthacrylate d'éthyle)
PMAIB	poly(méthacrylate d'isobutyle)
PMAM	poly(méthacrylate de méthyle)
ppm	parties par million
PUR	polyuréthane
p/p	poids sur poids
p/v	poids sur volume
s	seconde
SI	plastique de silicone (à ne pas confondre avec Si, l'élément)
T	température
TEOS	tétraéthoxysilane
T_f	point de fusion
THF	tétrahydrofurane
T_r	température de ramollissement
T_v	température de transition vitreuse

UV	ultraviolet
VLE	valeur limite d'exposition
VLE-LECD	valeur limite d'exposition - limite d'exposition de courte durée
VLE-MPT	valeur limite d'exposition - moyenne pondérée dans le temps
VLE-VP	valeur limite d'exposition - valeur plafond
VTA	vulcanisation à température ambiante

1 Introduction

Jane L. Down, Institut canadien de conservation

Plus grandes sont nos connaissances sur les adhésifs et les agents de consolidation, tant du point de vue pratique que technique, plus il est facile de choisir le traitement adéquat pour traiter un objet donné. Les cinq premiers chapitres du présent ouvrage offrent un survol des aspects techniques et théoriques relatifs à l'adhérence et à la liaison.

Les définitions

Un *adhésif* est une substance ayant la capacité de joindre les surfaces des matériaux ensemble par adhérence (ASTM D907-05, 2006). Le terme « adhésif » est un générique qui englobe les ciments, les colles, les mucilages et les pâtes.

Un *agent de consolidation* est un produit qui renferme parfois les mêmes composantes qu'un adhésif et qui est introduit dans un matériau friable ou détérioré pour compenser les pertes d'agents agglutinants qui se produisent de manière naturelle.

Le choix des adhésifs et des agents de consolidation pour la conservation*

L'utilisation des adhésifs et des agents de consolidation à des fins de conservation devrait être envisagée seulement après avoir pris en considération d'autres traitements possibles sans adhésif. Si, après une réflexion approfondie, l'utilisation d'un adhésif ou d'un agent de consolidation est la solution choisie, il est alors nécessaire de tenir compte de tous les avantages et inconvénients. De manière générale, en ce qui a trait à la conservation, un adhésif ou un agent de consolidation doit :

- être compatible avec le substrat, lequel peut être un objet, une partie de celui-ci, un support, un doublage, une pièce, etc.;
- être physiquement et chimiquement stable au fil du temps. Par exemple, son pH, sa couleur, sa souplesse, sa force, son retrait, etc., ne doivent pas (ou presque pas) changer au fil du temps;
- pouvoir être retiré et permettre un nouveau traitement;
- être le moins envahissant possible;
- être assez fort pour tenir, mais assez faible pour céder sous la contrainte, avant que le substrat ne soit endommagé;
- ne pas être collant une fois pris, pour ne pas accumuler la poussière;
- être facile à appliquer;
- être peu coûteux;
- avoir une bonne durée de conservation.

Aucun adhésif ou agent de consolidation ne peut réunir toutes ces caractéristiques en même temps. Le choix repose donc habituellement sur un compromis qui respectera les exigences relatives aux propriétés les plus importantes. Il est essentiel de choisir avec soin les adhésifs et les agents de consolidation. Il est même possible de faire des essais et des maquettes avant d'arrêter son choix. Il faut examiner individuellement chaque objet et chaque traitement nécessitant l'utilisation d'un adhésif ou d'un agent de consolidation. Il ne faut pas utiliser le même adhésif dans toutes les applications, car chaque cas est unique et requiert des adhésifs et des agents de consolidation différents et adéquats. Non seulement il est important de comprendre les propriétés de l'objet en question (le substrat), mais il faut aussi connaître les propriétés de chaque adhésif ou agent de consolidation afin de choisir celui qui convient le mieux pour un traitement donné.

La liaison

La liaison, soit l'union de deux matériaux à l'aide d'un adhésif, est la formation d'un lien à la jonction entre l'adhésif et la surface adhésive (le substrat) (Ebnesajjad, 2008, p. 328; Shields, 1984, p. 344; Cagle, 1973, p. 14). La formation de ce lien nécessite habituellement que la surface du substrat soit mouillée avec l'adhésif et que ce dernier prenne. De cette manière, un joint bien fixe qui prévient tout mouvement est obtenu. Le joint doit pouvoir s'ajuster aux contraintes qui sont exercées à la jonction.

La liaison est réalisée grâce à un ou plusieurs mécanismes (SpecialChem), illustrés à la **figure 1**, soit :

- l'*adsorption*, c'est-à-dire un contact intermoléculaire entre l'adhésif et le substrat attribuable aux forces de Van der Waals;

* Dans ce livre, le terme « conservation » est employé dans son sens le plus large et réfère à des applications ou à des utilisations qui relèvent aussi bien de la restauration que de la stabilisation et de la conservation préventive.

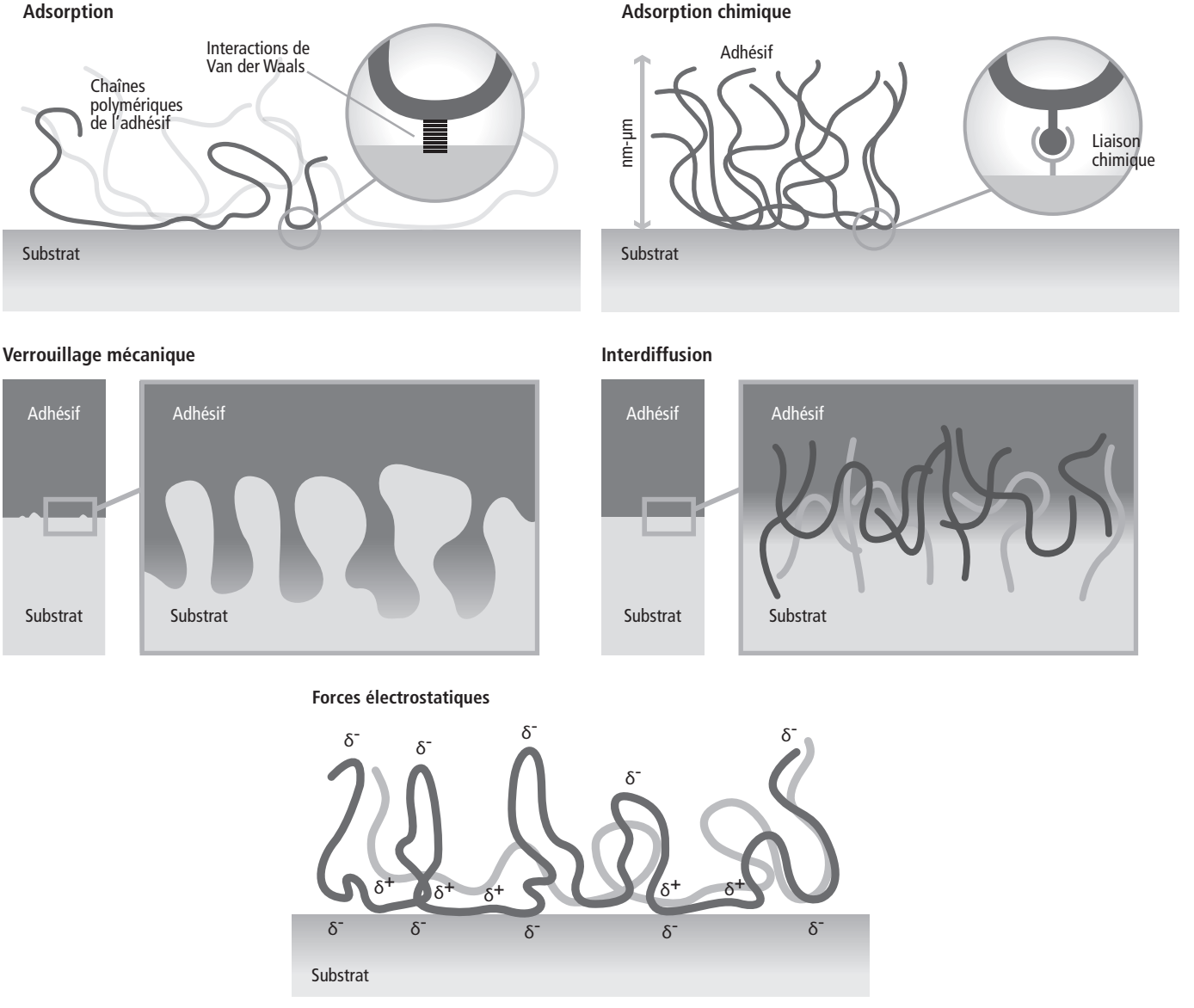


Figure 1. Exemples de mécanismes de liaison (SpecialChem). Reproduit avec la permission de SpecialChem, www.specialchem4adhesives.com © SpecialChem S.A.

- l'*adsorption chimique*, c'est-à-dire la formation d'une liaison chimique entre l'adhésif et le substrat;
- le *verrouillage mécanique*, c'est-à-dire la formation d'un réseau de projections durcies d'adhésif dans le substrat. Ce mécanisme se produit lorsque l'adhésif s'infiltre et prend dans les pores, les trous et les fissures présents dans le substrat;
- l'*interdiffusion*, c'est-à-dire le phénomène par lequel les chaînes de l'adhésif et du substrat s'entremêlent;
- les *forces électrostatiques*, c'est-à-dire l'attraction entre les charges positives et négatives de l'adhésif et du substrat. Des charges positives et négatives sont présentes à la surface de tous les matériaux.

L'adhésion et la cohésion

Deux types d'attraction sont importants pour la liaison, soit l'adhésion et la cohésion.

L'*adhésion* est le phénomène par lequel deux surfaces (l'adhésif et le substrat) sont tenues ensemble à leur jonction soit par adsorption, par adsorption chimique, par verrouillage mécanique, par interdiffusion ou par forces électrostatiques (Ebnesajjad, 2008, p. 323; Cagle, 1973, p. 4).

La *cohésion* (c'est-à-dire la force interne d'un feuil adhésif) est le phénomène par lequel les particules

d'un matériau sont tenues ensemble par les forces de valence primaires ou secondaires (Ebnesajjad, 2008, p. 329; Cagle, 1973, p. 20).

Pour obtenir un joint adéquat, il faut à la fois que l'adhésion à la jonction entre l'adhésif et le substrat, de même que la cohésion de l'adhésif, soient fortes.

Il est possible de créer un joint qui est fort si l'adhésif est un *polymère*, car les molécules de polymère sont assez grosses pour permettre des contacts intermoléculaires, la formation de liaisons chimiques, l'interpénétration de chaînes et l'interaction de charges négatives et positives, et ce, à de nombreux endroits. Ces mécanismes sont nécessaires pour la création d'un joint et les endroits de contact permettent aussi une forte autoattraction (cohésion) du polymère, ce qui confère de la force au joint (Cagle, 1973, p. 1-11).

Les types de rupture d'un joint

Il existe quatre types de rupture d'un joint par manque d'adhésion ou de cohésion (**figure 2**).

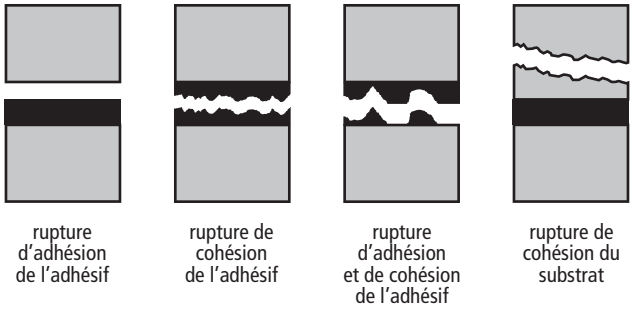


Figure 2. Ruptures par rupture d'adhésion ou de cohésion.

La *rupture d'adhésion de l'adhésif* est la cause de rupture qui est souhaitable en conservation, le cas échéant, car cette rupture se produit entièrement à la jonction entre l'adhésif et le substrat, ce qui ne cause pas de dommage au substrat.

La *rupture de cohésion de l'adhésif* est une autre cause de rupture d'un joint qui est souhaitable en conservation, dans une certaine mesure, dans l'éventualité où une rupture devrait se produire. En effet, la rupture n'endommage pas le substrat, mais seulement la partie interne du feuil adhésif. De plus, si besoin est et s'il est possible de le faire, il sera possible de retirer l'adhésif restant sur le substrat. Ce type de rupture génère donc un problème, c'est-à-dire que la présence de résidus d'adhésif sur le substrat n'est pas nécessairement souhaitable et ces résidus sont parfois difficiles à retirer.

La *rupture d'adhésion et de cohésion de l'adhésif* est la cause de rupture de joint la plus courante. Le joint comporte des zones où la rupture se produit à la jonction entre l'adhésif et le substrat et d'autres où elle se produit dans la partie interne du feuil adhésif.

La *rupture de cohésion du substrat* n'est pas souhaitable en conservation. Dans ce type de rupture, le joint adhésif est tellement fort que le substrat se rompt avant l'adhésif.

Les polymères

Le mot *polymère* vient du grec « polus », qui signifie « plusieurs », et « meros », qui signifie « partie » (Robert, 1993, p. 1388, 1720). Ainsi, un *polymère* est une molécule composée de « plusieurs parties ». Un polymère est formé à partir de motifs monomères, soit des unités « individuelles » qui réagissent (se polymérisent) pour donner des macromolécules linéaires ou ramifiées. Ces macromolécules sont des molécules de masse moléculaire élevée composées de motifs monomères qui se répètent. Si la chaîne se compose d'une seule espèce de monomères, le polymère porte le nom d'*homopolymère*. Si la chaîne comporte deux espèces de monomères ou plus, il est alors question de *copolymère*.

Dans un copolymère, les monomères peuvent être répartis de manière aléatoire, en alternance ou en séquence. Ils peuvent aussi être greffés à la structure principale (**figure 3**) (Hoechst, 1972, p. 36;

Figure 3. Exemples de différents copolymères.

Roff et Scott, 1971, p. 505-507). Les copolymères séquencés sont formés lorsque les unités répétées de la chaîne principale se présentent en blocs. Les copolymères greffés ont des chaînes latérales composées d'autres monomères greffés sur la chaîne principale.

Les copolymères ont des propriétés différentes de celles des mélanges d'homopolymères renfermant les mêmes monomères d'origine. Par exemple, les propriétés d'un copolymère (terpolymère) AAAABBCCC pourraient être différentes de celles d'un mélange d'homopolymères AAAA + BB + CCC.

Les polymères thermoplastiques

Dans un polymère thermoplastique, les chaînes ne sont pas liées chimiquement entre elles, mais elles peuvent glisser les unes contre les autres à l'état fondu ou lorsqu'elles sont dissoutes dans un solvant. Un polymère thermoplastique peut être fondu sous l'action de la chaleur et durci par refroidissement, et ce, à répétition.

Les polymères thermodurcissables

Dans un polymère thermodurcissable, les chaînes sont réticulées et elles ne peuvent pas glisser les unes contre les autres lorsqu'elles sont chauffées ou dissoutes dans un solvant, à moins que la structure moléculaire ne soit brisée par voie chimique. Un polymère thermodurcissable est soumis à une réaction chimique qui donne un produit infusible et insoluble, impossible à ramollir à la chaleur ou à dissoudre dans un solvant.

La masse moléculaire des polymères

Un adhésif polymérique est un mélange de molécules similaires qui possèdent un éventail ou une distribution de masses moléculaires. Ainsi, la masse moléculaire d'un adhésif polymérique constitue en fait une moyenne de la masse moléculaire de toutes les molécules de polymère et cette moyenne peut être calculée de différentes façons.

La *masse moléculaire moyenne en nombre* (M_n) correspond à la masse totale de toutes les molécules divisée par le nombre total de molécules (équation 1) (Napper, 1983, p. 12).

$$M_n = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

où n_i est le nombre de molécules de masse moléculaire M_i.

La *masse moléculaire moyenne en poids* (M_p) est plus complexe à calculer et elle tient compte du fait que les plus grosses molécules représentent une plus grande portion de la masse totale que les molécules plus petites (équation 2) (Napper, 1983, p. 12).

$$M_p = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum n_i M_i} \quad (2)$$

La M_n est la M_i moyenne pondérée en fonction de fractions en nombre, tandis que la M_p est pondérée en fonction de fractions en poids. La M_n est utilisée lorsque le nombre de molécules est important, par exemple lorsqu'il faut déterminer le nombre de groupements terminaux dans une résine ou dans un durcisseur devant être amalgamé avec un adhésif à base de résine époxy (Horie, 2010, p. 22). La M_p, quant à elle, est utilisée lorsque le poids de chaque molécule est important, par exemple lorsqu'il s'agit des propriétés mécaniques (Horie, 2010, p. 22).

La **figure 4** présente un exemple de distribution de la masse moléculaire d'un polymère, avec la M_n et la M_p.

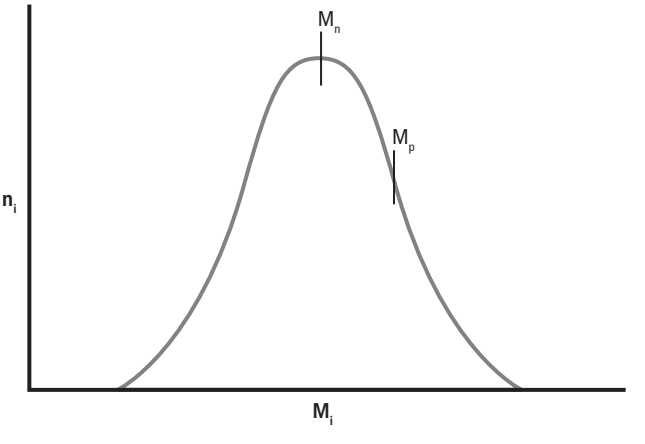


Figure 4. Exemple de distribution de la masse moléculaire d'un polymère. Adapté de Napper (1983, p. 12).

2 Les propriétés des adhésifs liquides

Jane L. Down, Institut canadien de conservation

La composition des adhésifs

Les formulations d'adhésifs contiennent des polymères, mais elles peuvent en outre renfermer des solvants, des diluants, des stabilisants, des épaississants, des matières de charge, des plastifiants, des agents mouillants, des humectants, des antioxydants, des agents renforçant la stabilité au cycle gel-dégel, des émulsifiants et des colloïdes protecteurs. Chaque constituant est important et la composition est adaptée à divers besoins, par exemple la compatibilité avec un substrat donné, la réduction des coûts et l'obtention d'un mécanisme de prise ou d'un temps de prise en particulier. En vue d'assurer un bon contact avec le substrat, ce sont souvent les adhésifs sous forme de solution ou de dispersion, soit sous forme liquide, qui sont utilisés.

Les solutions

Une solution est un mélange homogène de deux constituants ou plus dans la même phase (Geller, 2003, p. 1974; Cagle, 1973, p. 55). Habituellement, dans le cas des adhésifs, la solution contient un ou plusieurs adhésifs polymériques, et parfois des additifs, dissous dans un ou plusieurs solvants. Un polymère se dissout dans un solvant si les molécules de polymère sont séparées par les molécules de solvant sous l'effet des forces de dispersion, des interactions entre dipôles et des liaisons hydrogène.

Les *forces de dispersion*, ou forces de Van der Waals, sont des forces d'attraction entre des molécules n'ayant pas de dipôle permanent et qui sont attribuables au mouvement des électrons autour des molécules. Elles dépendent de la surface de contact de la molécule et il s'agit de forces extrêmement faibles (Blank et Stavroudis, 1989).

Les *forces de polarité* (interactions entre dipôles) s'exercent entre des molécules asymétriques où la charge électronique n'est pas distribuée uniformément (molécules polaires), ce qui génère une charge positive partielle dans une région de la molécule et une charge négative partielle dans une autre région de la molécule. La charge négative d'une molécule est attirée par la charge positive des molécules adjacentes. Ces forces sont en général plus grandes que les forces de Van der Waals (Blank et Stavroudis, 1989).

Les *liaisons hydrogène* se forment lorsqu'un atome d'hydrogène est lié à un atome fortement électronégatif (p. ex. l'oxygène, l'azote et le chlore). Il se produit une forte polarisation et l'atome d'hydrogène est attiré par les molécules adjacentes (Blank et Stavroudis, 1989).

La dissolution des adhésifs polymériques est optimale lorsque l'attraction entre le polymère et le solvant est plus grande que l'attraction des chaînes polymériques entre elles. Dans un tel cas de figure, le solvant est considéré comme un *bon* solvant : les chaînes polymériques sont déployées et, dans les feuils qui sont formés après le séchage, il y a interpénétration des chaînes et la structure est dense. Lorsque l'attraction entre le polymère et le solvant est plus faible que l'attraction des chaînes polymériques entre elles, le solvant est considéré comme un *mauvais* solvant : les chaînes sont contractées et les feuils qui sont formés après le séchage ont une structure poreuse (Hansen, 1995; Hansen *et al*., 1991). Par conséquent, les solvants ont un effet sur les propriétés des feuils adhésifs. Parfois, la dissolution des polymères de grande taille est lente, car il est nécessaire de laisser au solvant le temps de pénétrer entre les grosses molécules (Torraca, 1990, p. 14).

Les paramètres de solubilité

Nombre de chercheurs, notamment Hildebrand, Hansen et Teas, ont tenté d'expliquer le comportement des solvants à l'aide d'une série de « paramètres de solubilité » (Hansen, 2007). Ces paramètres, dont certains sont brièvement expliqués ci-dessous, servent à décrire de manière quantitative la dissolution des adhésifs par les solvants.

Le paramètre de solubilité de Hildebrand

Hildebrand a mis au point une méthode permettant de calculer les forces de Van der Waals totales nécessaires pour séparer les molécules de solvant à

partir de la chaleur de vaporisation (Burke, 1984). Cette méthode est celle de la « densité d'énergie cohésive » (DEC; équation 1). Son paramètre de solubilité (δ; équation 2) indique la capacité de dissolution d'un solvant, c'est-à-dire la quantité d'énergie requise pour séparer une unité de volume de molécules des molécules voisines jusqu'à ce que la distance entre elles soit infinie (comme dans un gaz parfait).

$$DEC = \frac{\Delta H - RT}{V_m} \quad (1)$$

$$\delta = (DEC)^{1/2} \quad (2)$$

où ΔH est la chaleur de vaporisation,
R est la constante des gaz parfaits,
T est la température
et V_m est le volume molaire.

Selon cette théorie, la dissolution d'un polymère est optimale dans les solvants dont le paramètre de solubilité correspond à celui du polymère en question. Autrement dit, qui se ressemble se dissout (de l'expression anglaise « like dissolve like »). Les solutions où les paramètres de solubilité (δ) ont une valeur semblable ont une faible viscosité, car les molécules de polymères sont dispersées uniformément dans le solvant. Les feuils adhésifs formés à partir de telles solutions sont résistants. Il est important de se rappeler que lors de l'application d'un mélange de solvants, le dernier solvant à s'évaporer doit être le meilleur; de cette façon, le polymère sera mieux réparti et formera un feuil plus résistant (Horie, 2010, p. 89-92). Les **tableaux 1** et **2** présentent des exemples de paramètres de solubilité de Hildebrand pour certains solvants et polymères.

Il est important de connaître deux points au sujet du paramètre de solubilité de Hildebrand :

- premièrement, le paramètre de solubilité d'un *polymère* ou d'une matière non liquide est parfois appelé *paramètre de cohésion* plutôt que « paramètre de solubilité ». Cela s'explique en réalité parce que le δ ne peut pas être déterminé à partir de la chaleur de vaporisation, car le polymère se décomposerait avant que la température correspondant à la chaleur de vaporisation ne soit atteinte (Burke, 1984). Habituellement, on établit le paramètre de cohésion des polymères à partir du gonflement, de la détermination du point de trouble ou de calculs théoriques (Burke, 1984; Kok et Rudin, 1983);
- deuxièmement, s'il n'existe pas de solvant adéquat pour un polymère (soit un solvant ayant un paramètre de solubilité similaire à celui du polymère) ou si le solvant est trop toxique, il est possible de préparer un mélange de solvants en suivant une simple règle de proportionnalité pour obtenir un paramètre de solubilité adéquat. Par exemple, le paramètre de

Tableau 1. Paramètres de solubilité de hildebrand et de hansen et paramètres de solubilité fractionnaires de teas pour divers solvants
(Hansen, 2007; Barton, 1991; Torraca, 1990)

Solvants	Paramètres de solubilité							
	δ de Hildebrand ($MPa^{1/2}$)	δ de Hansen ($MPa^{1/2}$)				Teas		
		δ_d	δ_p	δ_h	δ_t	f_d	f_p	f_h
térébenthine	16,6	16,4	1,4	0,4	16,5	77	18	5
cyclohexane	16,8	16,8	0	0	16,8	94	2	4
toluène	18,2	18,0	1,4	2,0	18,2	80	7	13
acétate d'éthyle	18,6	15,8	5,3	7,2	18,1	51	18	31
méthyléthylcétone	19,0	16,0	9,0	5,1	19,0	53	26	21
acétone	20,2	15,5	10,4	7,0	20,0	47	32	21
éthanol	26,0	15,8	8,8	19,4	26,5	26	18	46
méthanol	29,6	15,1	12,3	22,3	29,6	30	22	48
eau	47,9	15,6	16,0	42,3	47,8	18	28	54

Tableau 2. Paramètres de solubilité de hildebrand et de hansen et paramètres de solubilité fractionnaires (paramètres de cohésion) de teas pour divers polymères
(Hansen, 2007; Barton, 1991; Torraca, 1990)

Adhésifs	Paramètres de solubilité								
	δ de Hildebrand ($MPa^{1/2}$)	δ de Hansen ($MPa^{1/2}$)					Teas		
		δ_d	δ_p	δ_h	δ_t	R	f_d	f_p	f_h
éthylcellulose		17,90	4,30	3,90	—	5,90	47	28	25
		Ethocel HE10							
		20,10	6,90	5,90	—	9,90			
		Ethocel STD 20							
acétate de cellulose		16,90	16,30	3,70	—	13,70			
nitrate de cellulose		16,90	13,50	10,30	—	9,90	38	38	24
acrylate de méthyle/ méthacrylate d'éthyle		19,2	11,20	1,80	—	11,00			
		Paraloid B-72							
acrylate d'éthyle/ méthacrylate de méthyle		19,10	9,10	3,30	—	9,00			
		Paraloid B-82							
		19,40	11,20	4,40	—	10,50			
		Paraloid B-44							
poly(méthacrylate de méthyle)	18,6	16,20	6,80	5,70	—	9,10	51	27	22
		Lucite 2044							
poly(acrylate d'éthyle)							55	32	13
							Lucite 2042		
poly(acétate de vinyle)	19,2	20,93	11,27	9,66	—	13,71	51	27	22
		Mowilith 50					Mowilith 50		
		22,90	18,30	7,70	—	20,40			
		Vinylite AYAA							
poly(alcool de vinyle)		15,00	17,20	17,80	—	10,20			
éthylène/acétate de vinyle		17,70	3,50	3,70	—	4,70			
		EVA 4055 SOL							
poly(butyral de vinyle)		18,60	4,36	13,03	—	10,64	46	24	30
		Butvar B-76					Butvar B-76		
résine époxy (avant la prise)		20,00	10,32	10,11	—	10,02	44	28	28
		Epikote 1001					Epikote 1001		

cohésion du poly(méthacrylate de méthyle) est de 18,6. Pour obtenir un mélange convenable, il est nécessaire d'utiliser des solvants ayant des paramètres de solubilité inférieurs et supérieurs à cette valeur et ils devraient être raisonnablement proches du domaine de solubilité (Teas, 1971). Le toluène (δ = 18,2) et l'acétone (δ = 20,2) satisfont à ces conditions.

Pour 10 millilitres (mL) de solution, le calcul est le suivant :

$$18,6 = \frac{a}{10} \times 18,2 + \frac{b}{10} \times 20,2 \quad (3)$$

$$a + b = 10 \quad (4)$$

où a est le volume de toluène (en mL) et b est le volume d'acétone (en mL) requis.

En réarrangeant l'équation 4 (a = 10 - b) pour substituer a dans l'équation 3, nous obtenons :

$$18,6 = \frac{10\text{-}b}{10} \times 18,2 + \frac{b}{10} \times 20,2 \text{ soit } b = 2$$

Donc $a = 10 - 2 = 8$

Ainsi, pour obtenir 10 mL d'un mélange de toluène et d'acétone ayant un paramètre de solubilité de 18,6, il est nécessaire de mélanger 8 mL de toluène avec 2 mL d'acétone.

LES PARAMÈTRES DE SOLUBILITÉ DE HANSEN

Hansen a raffiné le paramètre de solubilité de Hildebrand pour tenir compte des liaisons polaires et des liaisons hydrogène intermoléculaires en plus des forces de Van der Waals (forces de dispersion). Il a émis l'hypothèse que les trois forces s'exercent simultanément et donc le paramètre de solubilité de Hildebrand a été scindé en trois éléments, soit : les forces de dispersion (δ_d), les forces de polarité (δ_p) et les liaisons hydrogène (δ_h) (Barton, 1991). Hansen a proposé l'équation suivante pour décrire la relation entre ces forces :

$$\delta_t^2 = \delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2$$

Dans cette équation, δ_t correspond au paramètre de solubilité total de Hansen et il devrait aussi correspondre au paramètre de Hildebrand, mais il peut arriver que les deux ne concordent pas exactement parce qu'ils sont établis à l'aide de méthodes différentes (Barton, 1991). Les **tableaux 1** et **2** présentent les paramètres de solubilité de Hansen pour certains solvants et polymères.

Hansen a également défini un autre paramètre, appelé le rayon d'interaction (R) qui, lorsque porté en graphique, établit une sphère de solubilité. Les liquides qui appartiennent à cette sphère, pour un polymère donné, constituent de bons solvants pour ce dernier (Burke, 1984). Il est plutôt complexe de calculer et de porter en graphique ces quatre paramètres et donc rare de le faire. Il existe un logiciel (le HSPiP ou le Hansen Solubility Parameters in Practice, offert sur le site Web des paramètres de solubilité de Hansen et disponible en anglais seulement) qui trace le graphique de ces paramètres en trois dimensions. Cependant, le résultat est parfois présenté sous la forme d'une section transversale du graphique en trois dimensions, dont les axes ne correspondent qu'aux liaisons hydrogène et aux forces de polarité, sans tenir compte du paramètre de dispersion. La prédiction de la solubilité calculée de cette manière est réputée fiable à 90 % (Burke, 1984).

LES PARAMÈTRES DE SOLUBILITÉ FRACTIONNAIRES DE TEAS

Les graphiques représentant les paramètres de solubilité de Hansen sont utiles pour prédire le comportement de solubilité des polymères sans avoir à effectuer des essais exhaustifs. Cependant, il est difficile de porter les paramètres de solubilité de Hansen sur un graphique à deux dimensions. Teas a franchi une étape supplémentaire en proposant des contributions fractionnaires à la solubilité calculées à partir des paramètres de Hansen et pouvant être reportées sur un graphique sous forme de triangle. Les contributions fractionnaires correspondant aux forces de dispersion, aux forces de polarité et aux liaisons hydrogène sont données par les équations suivantes et correspondent à la contribution, en pourcentage, de chaque paramètre de Hansen à la valeur intégrale de Hildebrand (Burke, 1984) :

$$f_d = \frac{\delta_d}{\delta_d + \delta_p + \delta_h} \quad f_p = \frac{\delta_p}{\delta_d + \delta_p + \delta_h}$$

$$f_h = \frac{\delta_h}{\delta_d + \delta_p + \delta_h}$$

$$f_d + f_p + f_h = 100$$

Les paramètres de Teas présentés ci-dessus sont entièrement empiriques et ne possèdent pas le fondement théorique des paramètres de solubilité de Hansen, mais sont plus faciles à porter en graphique (Barton, 1991, p. 112). Les **tableaux 1** et **2** présentent les paramètres de solubilité fractionnaires établis par Teas pour certains solvants et polymères et la **figure 1** est un graphique de Teas. Les solvants situés dans le coin inférieur droit du triangle (p. ex. les alcanes), possèdent des interactions intermoléculaires qui sont presque exclusivement des forces de dispersion tandis que, pour ceux situés dans le coin inférieur gauche, la contribution des liaisons hydrogène devient plus dominante (p. ex. les alcools). Plus on monte dans le triangle, plus les solvants sont polaires et moins ils forment de liaisons hydrogène (p. ex. les cétones et les composés nitrés). L'un des problèmes de ce graphique est qu'il met trop l'accent sur les forces de dispersion, qui existent pour toutes les molécules, par rapport aux forces de polarité et aux liaisons hydrogène (Burke, 1984). Certaines valeurs sur le graphique de Teas ont été ajustées par Teas pour

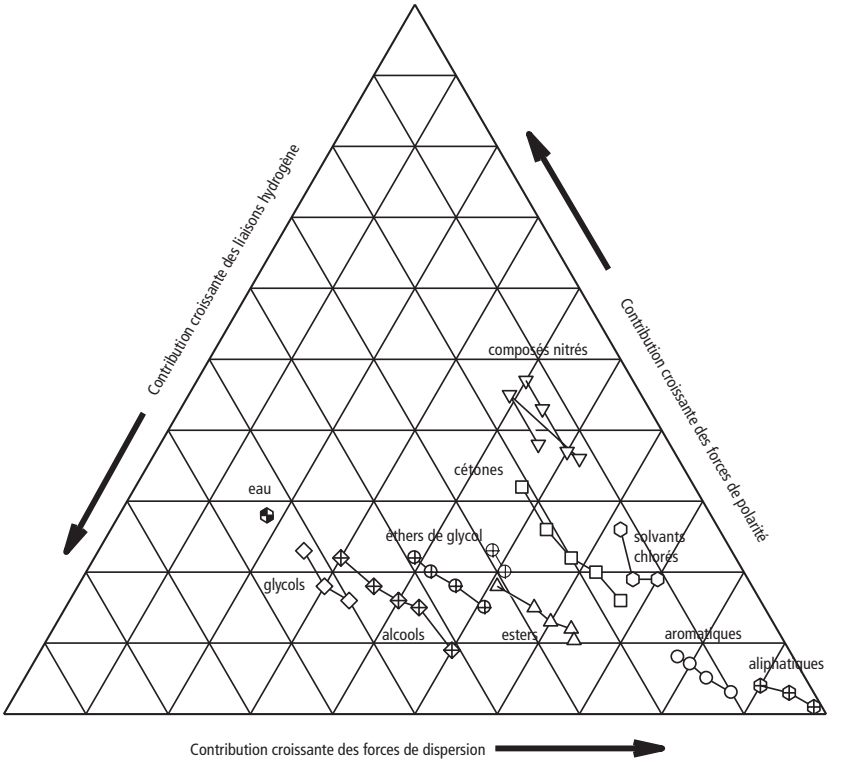


Figure 1. Exemple de graphique de Teas. Adapté de Teas (1971, p. 3).

correspondre aux valeurs empiriques (Burke, 1984). De plus, plusieurs paramètres peuvent modifier la solubilité du produit, ce qui prouve que l'approche de Teas n'est pas exacte : les liaisons hydrogène non aléatoires, le manque d'espace autour des molécules de soluté, la température de réaction par rapport à la température de transition vitreuse, le rapport de soluté à l'état amorphe et à l'état cristallin ainsi que la présence de matières ioniques (McGlinchey, 2002).

Selon Teas (1971), la meilleure façon de choisir un système de solvants pour un polymère donné consiste à :

1) reporter sur un graphique de Teas, à partir des paramètres fractionnaires de Teas, les données sur la solubilité, la solubilité partielle et l'insolubilité fournies par le fabricant;
2) compléter les données par quelques essais sur la solubilité du polymère dans divers solvants, si les données fournies ne sont pas suffisantes pour définir un domaine de solubilité;
3) tracer une ligne de délimitation (c'est-à-dire un domaine de solubilité) sur le graphique, distinguant les bons solvants des mauvais solvants;
4) choisir un solvant au centre du domaine de solubilité; cela assurera une viscosité optimale et la meilleure distribution possible du polymère dans la solution. Si le solvant ne se situe pas au centre de l'intervalle de solubilité, s'il est préférable de ne pas utiliser le solvant ou s'il est impossible de l'utiliser à cause de la réglementation gouvernementale, du coût, des exigences en matière de ventilation, etc., il est alors nécessaire de choisir deux solvants (ou plus) aussi près que possible du centre de l'intervalle et de préparer un mélange qui sera au centre du domaine de solubilité;
5) effectuer un essai avec le solvant ou le mélange de solvants pour vérifier qu'il est compatible avec l'objet et qu'il possède les propriétés adéquates en matière d'application, de séchage et de formation d'un feuil.

Pour simplifier ce processus, il est possible d'utiliser des calculateurs informatiques (TeasTime et Solvent Solver) qui permettent de déterminer facilement les paramètres de solubilité fractionnaires de Teas pour des mélanges de solvants ou de trouver un mélange de solvants adéquat à partir d'un paramètre de solubilité fractionnaire cible (Ormsby, 2006; Henry, 1989).

Pour plus d'information sur les paramètres de solubilité, voir Barton (1991), Hansen (2007, 1982), Fisher (1982), Phenix (1993, 1992a, 1992b) et Eastaugh (1995, 1995b, 1994, 1994b).

Le choix de solvants sans risque pour les adhésifs

La valeur limite d'exposition (VLE) est la concentration moyenne d'une substance chimique, comme un solvant, à laquelle un travailleur peut être exposé huit heures par jour, cinq jours par semaine, sans craindre pour sa santé (Geller, 2003, p. 2145). Il existe trois VLE d'intérêt (ACGIH, 2011, p. 3-6; Geller, 2003, p. 1922, 2155), soit :

- la *moyenne pondérée dans le temps* (VLE-MPT), qui est l'exposition moyenne à un contaminant ou aux conditions auxquelles un travailleur peut être exposé sur une période telle qu'une journée de 8 heures ou une semaine de 40 heures sans subir d'effet nocif;
- la *limite d'exposition de courte durée* (VLE-LECD), qui est la quantité maximale d'un contaminant nocif (p. ex. un gaz ou des poussières) à laquelle une personne peut être exposée pendant une brève période (habituellement 15 minutes) sans subir d'effet nocif;
- la *valeur plafond* (VLE-VP), qui est la limite d'exposition absolue en matière de concentrations qui ne doit à aucun moment être dépassée dans un milieu de travail.

Au cours des 20 dernières années, le niveau d'exposition à certains solvants couramment utilisés pour les adhésifs, auxquels des travailleurs peuvent être exposés à répétition jour après jour, a été abaissé. Cette baisse a amené les restaurateurs à reconsidérer les solvants qu'ils emploient et à tenter de trouver des substituts moins toxiques pour accomplir les mêmes tâches. Des données ont été publiées sur 31 solvants ayant des cotes de toxicité plus acceptables (VLE-MPT > 200 ppm), accompagnées de la pression de vapeur et des paramètres de solubilité fractionnaires de Teas relatifs à ces produits (**tableau 3**) (Thorn, 1992).

Cette information a ainsi permis de trouver des substituts moins toxiques pour dissoudre les adhésifs. Thorn (1992) a illustré cette technique en prenant l'Elvacite 2013 comme exemple. Cette résine est souvent dissoute dans le toluène (VLE-MPT = 20 ppm) pour deux raisons : le toluène dissout rapidement l'Elvacite 2013 et il s'évapore assez lentement pour prévenir le craquelage, mais assez rapidement pour produire un feuil qui ne reste pas poisseux. Pour trouver un substitut moins toxique, le domaine de solubilité de l'Elvacite a été reporté sur un graphique de Teas d'après les renseignements fournis sur la fiche technique du fabricant. Les 31 solvants énumérés au **tableau 3** ont eux aussi été reportés sur le graphique de Teas, ce qui a permis de recenser un certain nombre de solvants qui se trouvent dans le domaine de solubilité de l'Elvacite 2013. Ensuite, un solvant ayant la pression de vapeur idéale pour répondre aux exigences relatives à l'évaporation a été choisi. Comme le toluène a une pression de vapeur de 37 mmHg, tous les solvants qui se trouvaient dans le domaine de solubilité et qui avaient une pression de vapeur comprise entre 15 et 40 mmHg ont été considérés. Seuls l'acétate de propyle et l'acétate de *sec*-butyle satisfaisaient à ces conditions. Par conséquent, il devrait donc être possible de dissoudre de l'Elvacite 2013 dans ces deux solvants moins toxiques tout en conservant les mêmes propriétés de base que procurait une solution de toluène.

Les dispersions et les émulsions

Une *dispersion* est un système de matière dans lequel des particules finement divisées sont réparties uniformément dans une autre phase (Cagle, 1973, p. 25). La phase en dispersion peut être un solide, un liquide ou un gaz. Si la phase en dispersion est un solide et un polymère, la dispersion peut être appelée *latex* (Napper, 1983, p. 2). Si la phase en dispersion est un solide et une matière non polymérique, la dispersion est appelée *sol*. Si le milieu de dispersion d'un sol est aqueux, la dispersion est alors appelée *hydrosol*. Si le milieu de dispersion est un liquide organique, la dispersion porte le nom d'*organosol* (Napper, 1983, p. 2). La dispersion d'un gaz dans un liquide est une *mousse*, tandis qu'une *émulsion* est une dispersion stable d'un liquide dans un autre liquide dans lequel il est immiscible (Napper, 1983, p. 2). Ainsi, une émulsion est toujours une dispersion, mais une dispersion n'est pas toujours une émulsion. À cause de la diffusion de la lumière par les globules de la résine, ces suspensions stables (c'est-à-dire les émulsions) sont habituellement opaques ou d'un blanc laiteux, mais elles ne sont jamais transparentes (Feller, 1966).

Les émulsions ont trois avantages par rapport aux solutions ordinaires : d'abord, elles renferment une plus forte concentration de polymère que les solutions; ensuite, elles peuvent avoir une viscosité relativement faible même si elles contiennent des polymères de masse moléculaire élevée (Feller, 1966); enfin, elles sont généralement à base d'eau, ce qui les rend non toxiques.

Pour faciliter la dispersion des monomères d'adhésif dans la phase externe (habituellement de l'eau), un *émulsifiant* est ajouté aux émulsions. Il s'agit en général d'un composé organique hydrosoluble de faible masse moléculaire possédant des régions hydrophiles et des régions hydrophobes (Hoechst, 1972, p. 39-40). L'émulsifiant forme des micelles en solution aqueuse : il s'agit de configurations spatiales

Tableau 3. Certains solvants ayant une VLE-MPT ≥ 200 ppm
(Thorn, 1992)

Solvant	Pression de vapeur (mmHg; 20 °C)	Teas			VLE-MPT (ppm)
		f_d	f_p	f_h	
eau	17,5	19	22	58	
pentane	439	100	0	0	600
hexane	137	100	0	0	500
heptane	37	100	0		400
octane	11	100	0	0	300
cyclohexane	82	94	2	4	300
cyclohexène		5			300
méthylcyclohexane	38	94	0	6	400
bromochlorométhane		65	22	13	200
bromoéthane	390	64	13	23	200
1,1-dichloroéthane	218	66	33	2	200
1,2-dichloroéthylène	200				200
1,1,1-trichloroéthane	100	70	19	11	350
éthanol	44	36	18	46	1 000
méthanol	96	30	22	48	200
propan-1-ol	17	40	16	44	200
propan-2-ol	35	41	17	42	400
éther diéthylique	445	64	13	23	400
éther diisopropylique	61	70	10	20	250
diméthoxyméthane		59	7	34	1 000
tétrahydrofurane		55	19	26	200
acétone	216	47	32	21	1 000
butanone	84	53	30	17	200
pentan-2-one	13	48	29	23	200
pentan-3-one	12	56	27	17	200
acétate de *sec*-butyle	18	52	29	19	200
acétate de *tert*-butyle					200
acétate d'éthyle	77	51	18	31	400
acétate d'isopropyle	50	52	22	26	250
acétate de méthyle	294	45	36	19	200
acétate de propyle	29	57	15	28	200

dans lesquelles toutes les extrémités hydrophiles et hydrophobes pointent vers l'intérieur ou vers l'extérieur. Il est donc possible pour les molécules hydrophobes, comme les monomères, d'être enclavées à l'intérieur des micelles. Les émulsifiants réduisent la tension superficielle à l'interface du système eau/monomère et empêchent le polymère de se déposer sous l'effet de la gravité. Dans les émulsions de ce type, les particules ont une taille se situant entre 0,01 et 0,2 µm (Hoechst 1972, p. 39-40).

Il est aussi possible d'obtenir des dispersions stables en utilisant des *colloïdes protecteurs*, mais ceux-ci, contrairement aux émulsifiants, n'abaissent pas de manière significative la tension superficielle à l'interface monomère/phase externe, ne forment pas de micelles et ne solubilisent pas les monomères insolubles dans l'eau (Hoechst, 1972, p. 39-40). Habituellement, dans ces dispersions, le diamètre des particules est plus grand (0,5 à 3 µm). De plus, la viscosité est plus grande et ces dispersions sont plus stables en présence de contraintes mécaniques et d'autres contraintes (p. ex. le gel, l'entreposage, la compatibilité avec les pigments et la stabilité électrolytique [Hoechst, 1972, p. 39-40]). En général, les colloïdes protecteurs de prédilection pour les polymères d'acétate de vinyle sont le poly(alcool de vinyle) et les dérivés cellulosiques. Parfois, des mélanges d'émulsifiants et de colloïdes protecteurs sont utilisés pour stabiliser les dispersions.

Les adhésifs en dispersion durcissent par *coalescence* (du verbe « coalescer », qui signifie « unir »). D'abord, l'eau s'évapore, les particules en dispersion entrent ensuite en contact, puis le feuil durcit de plus en plus par coalescence à mesure que l'humidité résiduelle disparaît et que les particules se fondent les unes dans les autres.

Les autres additifs dans les adhésifs

Outre les émulsifiants et les colloïdes protecteurs, d'autres additifs peuvent entrer dans la composition des préparations d'adhésifs pour modifier leur souplesse, leur viscosité, leurs propriétés rhéologiques, leur pH, leur coût, leurs propriétés de prise et leur comportement lors de la congélation.

Les plastifiants

Les plastifiants sont des composés polaires qui sont ajoutés aux adhésifs liquides pour accroître la souplesse du feuil une fois sec. Les plastifiants réduisent l'attraction intermoléculaire entre les groupements causant de l'encombrement stérique qui s'attirent très fortement dans l'adhésif et qui rendent donc le polymère rigide (Jaffe *et al.*, 1990). Ils peuvent augmenter la viscosité de certaines dispersions (surtout dans le cas de celles de type vinylique), mais ils tendent à réduire la viscosité des solutions de polymère parce qu'ils se comportent de manière très semblable aux solvants. Ils aident à mouiller les surfaces non poreuses et abaissent la température de transition vitreuse (Jaffe *et al.*, 1990). Dans le feuil sec, ils accroissent la pégosité résiduelle, réduisent la température de fixation à chaud et améliorent la résistance à l'eau (Jaffe *et al.*, 1990). La préoccupation principale relative à l'ajout de plastifiants à un adhésif, c'est qu'ils peuvent migrer dans le substrat et l'endommager. Parmi les plastifiants figurent le phtalate de dibutyle et le dibenzoate de polyéthylèneglycol (d'utilisation courante) ainsi que le phtalate de ditridécyle, qui est un phtalate plus lourd, et donc migre moins facilement que le phtalate de dibutyle plus léger (Selwitz, 1988, p. 31).

Les épaississants

Des épaississants sont ajoutés aux adhésifs liquides dans le but d'accroître leur viscosité et leur délai de collage. Un adhésif épaissi libère l'eau ou le solvant plus lentement qu'un adhésif non épaissi (Jaffe *et al.*, 1990). De plus, le fait d'épaissir un adhésif réduit la probabilité qu'un joint trop mince ne se forme sur les surfaces poreuses, car un adhésif épaissi aura moins tendance à être absorbé dans les pores. La méthylcellulose, les amidons, la silice sublimée, l'oxyde de polyéthylène ainsi que les sels neutres d'acide acrylique sont des exemples d'épaississants.

Les matières de charge

Les matières de charge sont des additifs peu coûteux qui sont utilisés pour allonger le produit et en réduire le coût (Jaffe *et al.*, 1990). De plus, les matières de charge augmentent la viscosité, réduisent la capacité de pénétration dans les surfaces poreuses et modifient les caractéristiques rhéologiques (la déformation et l'écoulement). Dans le feuil sec, ils accroissent la rigidité et la force et diminuent la pégosité résiduelle du feuil. Ils ont aussi un effet matant. Le carbonate de calcium, le talc et le kaolin sont des exemples de matières de charge.

Les agents renforçant la stabilité au cycle gel-dégel

Les agents renforçant la stabilité au cycle gel-dégel sont ajoutés aux adhésifs liquides afin de les empêcher de geler lorsqu'ils sont expédiés dans des endroits froids. Bien des adhésifs en dispersion se sépareraient et deviendraient inutilisables s'ils étaient conservés dans des conditions de gel sans leur ajouter un agent renforçant la stabilité au cycle gel-dégel. Parmi ce type d'agents figure l'éthylèneglycol, soit de l'antigel.

Les humectants

Des humectants sont ajoutés aux adhésifs liquides afin de prévenir la formation d'une peau à la surface (Jaffe *et al.*, 1990). Les humectants ralentissent la prise d'un adhésif et, par conséquent, améliorent le délai de collage. Ils aident aussi à plastifier le feuil sec d'adhésif. La glycérine, le propylèneglycol, le sorbitol et le sucrose sont des exemples d'humectants.

Le mouillage

Afin d'assurer un bon contact entre l'adhésif et le substrat, l'adhésif doit bien mouiller la surface du substrat. Les surfaces hautement énergétiques sont polaires, tandis que les surfaces à faible énergie sont non polaires (**tableau 4**). Les liquides, comme les adhésifs en solution ou en dispersion, ne mouilleront que les surfaces possédant une énergie supérieure à la leur (Cagle, 1973, p. 1-12).

Pour illustrer le phénomène du mouillage, considérons le comportement de l'eau sur du polyéthylène ou du métal (Cagle, 1973, p. 1-12). Lorsque de l'eau est déposée sur du polyéthylène, elle perle. Cela se produit parce que l'eau ne mouille pas le polyéthylène, car ce dernier possède une énergie inférieure à celle de l'eau. Les molécules d'eau sont davantage attirées entre elles que par celles du polyéthylène et c'est la raison pour laquelle l'eau perle. Cependant, lorsqu'une goutte d'eau est déposée sur le métal, elle s'étale. L'eau mouille le métal parce que ce dernier possède une énergie supérieure à celle de l'eau. Les molécules d'eau sont davantage attirées par le métal qu'entre elles et l'eau se répand donc sur la surface.

L'énergie d'une surface peut être accrue par mordançage ou par sablage (Cagle, 1973, p. 1-13). Ces procédés enrichissent la surface en oxygène, ce qui la rend plus polaire et plus mouillable. Un autre moyen pour améliorer le mouillage est d'incorporer des *agents mouillants* dans la composition d'un adhésif liquide. Cela aide à éliminer le retrait, soit la redistribution de l'adhésif qui empêche celui-ci de s'étaler ou de mouiller la surface. Les agents mouillants peuvent être anioniques, non ioniques ou cationiques.

Il n'existe pas d'adhésif ou de liquide d'usage courant dont la surface a une énergie inférieure à celle du polyéthylène, de la silicone et du Téflon.

Tableau 4. Énergie relative de la surface de certains matériaux
(Cagle, 1973, p. 1-12)

Matériau	Énergie relative de la surface
oxydes métalliques	très élevée
acryliques	
poly(chlorure de vinyle)	
polyéthylène	
silicones	
Téflon	très faible

Par conséquent, aucun adhésif ne peut bien mouiller ces matériaux et la liaison avec ces substrats est donc très faible. C'est la raison pour laquelle ils sont souvent utilisés comme matériaux antiadhésifs.

Le mouillage dépend aussi de la *tension superficielle* du liquide, c'est-à-dire des forces de contraction qui s'exercent à la surface du feuil liquide et poussent le liquide à occuper le plus faible volume possible. Les molécules en déséquilibre à la surface sont attirées vers l'intérieur du liquide (Cagle, 1973, p. 57). La *tension superficielle critique* est la tension superficielle d'un solide correspondant à celle du liquide possédant la plus forte tension superficielle qui mouillera le solide (Hansen, 2007; Skeist et Miron, 1990, p. 12).

Le mouillage se mesure par l'*angle de contact*, qui est l'angle auquel le liquide rencontre la surface du solide (Rudolph, 2004). Plus l'angle est petit, plus le liquide mouille bien la surface (**figure 2**). Le mouillage dépend donc des propriétés physiques et chimiques des deux matériaux, de la tension superficielle du liquide et de l'énergie de la surface du solide (SunMan Engineering Inc.).

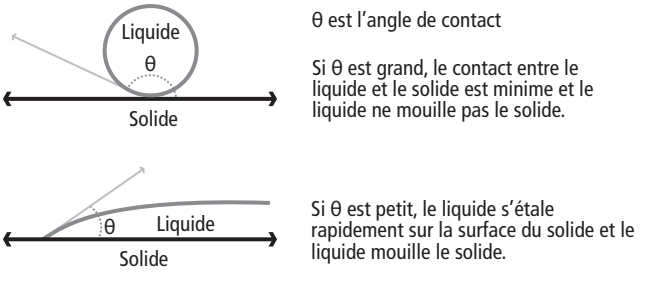


Figure 2. Angle de contact.

Pour obtenir les joints les plus forts possible entre deux substrats faits du même matériau polymérique, il est important d'utiliser un adhésif dont la tension superficielle est inférieure à celle du substrat et proche de la tension superficielle critique du substrat (Niem *et al*., 1996). Pour coller des matériaux polymériques différents, il est important de choisir un adhésif dont la tension superficielle est plus proche de la tension superficielle critique du substrat possédant la plus faible tension superficielle critique (Niem *et al*., 1996).

La viscosité

Pour obtenir une bonne liaison, l'adhésif liquide doit s'écouler sur la surface du substrat et avoir un bon contact avec cette dernière. La viscosité est la capacité d'un liquide à résister au changement de

forme et elle se mesure en pascals.secondes (Pa.s) ou en millipascals.secondes (mPa.s). Les anciennes unités de viscosité, le poise (P) ou le centipoise (cP), peuvent être converties en Pa.s ou en mPa.s à l'aide des équations 5 et 6, respectivement.

$$10\ P = 1\ Pa.s \quad (5)$$

$$1\ cP = 1\ mPa.s \quad (6)$$

Dans les *solutions*, la viscosité augmente avec la masse moléculaire et la concentration du polymère. Dans les *dispersions*, la viscosité ne dépend ni de la masse moléculaire ni de la concentration du polymère. Les liquides ayant une faible viscosité peuvent pénétrer dans les matériaux poreux et ils sont habituellement utilisés à des fins de consolidation. Le **tableau 5** présente la viscosité de certains liquides et adhésifs courants.

Tableau 5. Viscosité de certains liquides et adhésifs sous forme liquide d'usage courant
(Horie, 2010, p. 282; Weast, 1975, p. F50-F55; fiches techniques des produits)

Liquide ou adhésif	Viscosité (mPa.s)	Consistance
eau	1	aqueuse
antigel (éthylèneglycol)	20	
huile d'olive	84	
cyanoacrylates (typiques, sans matière de charge)	~ 100	
glycérine	1 490	sirupeuse
dispersion de poly(acétate de vinyle) (typique)	~ 2 000 à 2 500	
caoutchoucs de silicone	10 000 à 150 000	pâteuse

Le pH

Le pH est la mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution ou d'une dispersion aqueuse. Il s'agit de la mesure de la concentration d'ions hydrogène qui se calcule selon l'équation 7.

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (7)$$

L'échelle des pH varie de 1 à 14. Si le pH est de 7, la solution est neutre, s'il est inférieur à 7, la solution est acide et s'il est supérieur à 7, la solution est alcaline.

Pour les besoins en matière de conservation, le pH d'un adhésif est jugé acceptable si les objets le tolèrent sans être endommagés. Comme les objets sont constitués de nombreux matériaux différents, dont la tolérance aux acides et aux substances alcalines varie, il est difficile d'établir des plages de pH universelles. Cependant, certains chercheurs considèrent que la plupart des matériaux peuvent tolérer un pH entre 5,5 et 8,0 (**figure 3**) sans subir de dommages (Down *et al.*, 1996). Cependant, il est important de se rappeler que certains objets sont plus stables dans des conditions acides ou alcalines et que la plage des pH acceptables varie en fonction de l'objet.

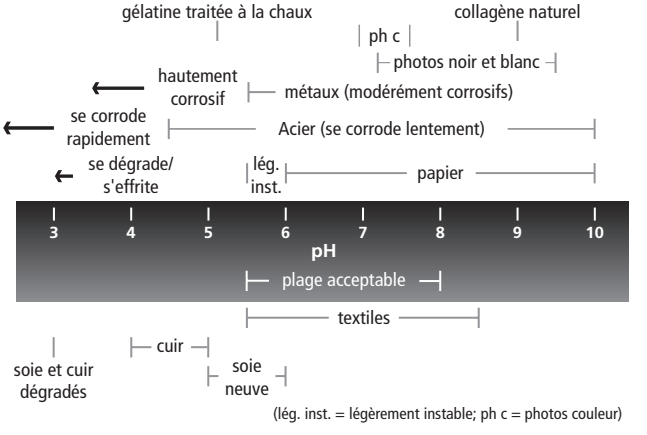


Figure 3. Plage de stabilité de différents substrats en fonction du pH.

Il existe quelques méthodes d'essai normalisées pour mesurer le pH des adhésifs (BS EN 1245 : 2011; ASTM D1583-01, 2006). De plus, certaines méthodes normalisées pour mesurer le pH du papier ont été transposées aux adhésifs (TAPPI T 509 om-11; TAPPI T 435 om-11; TAPPI T 529 om-09). Il existe également un guide pour la mesure du pH en conservation (Tse, 2007).

La méthode la plus facile pour mesurer le pH d'un adhésif aqueux consiste à mesurer directement le pH de la solution ou de la dispersion sous forme liquide à l'aide d'une électrode indicatrice de pH et d'un pH-mètre. L'une des méthodes utilisées pour mesurer le pH d'un adhésif à l'état sec consiste à extraire le feuil sec dans de l'eau distillée (Down *et al.*, 1996). D'autres méthodes consistent à prendre une mesure du pH à la surface du feuil sec ou à effectuer une micro-extraction de très petites quantités d'adhésif (1 à 10 mg) dans de l'eau distillée (50 µL) (Tse, 2007). Les méthodes moins exactes reposent sur l'utilisation de bandes indicatrices de pH ou de crayons indicateurs

de pH, mais elles ne donnent qu'une mesure approximative du pH.

Le pH de l'adhésif indiqué sur la fiche technique est celui de l'adhésif en solution ou en dispersion aqueuse à l'état liquide, non celui du feuil sec.

La durée de conservation

La durée de conservation, ou durée de stockage, est la période pendant laquelle l'adhésif demeure utilisable ou la période pendant laquelle le fabricant garantit que l'adhésif, s'il est entreposé à une certaine température, conservera les propriétés mécaniques indiquées (Geller, 2003, p. 1915; Cagle, 1973, p. 53). Elle figure souvent sur les fiches techniques (p. ex. 6 mois à 15 °C ou 1 an à 22 °C).

La durée de conservation des dispersions est déterminée par l'hydrolyse du polymère, la biodégradation des constituants et la stabilité physique des stabilisants. La durée de conservation des adhésifs réactifs dépend de leur réaction avec l'atmosphère (p. ex. avec l'oxygène ou l'eau), de l'instabilité thermique et de leur réaction avec les contaminants.

Habituellement, la réfrigération des adhésifs accroît leur durée de conservation (Ebnesajjad, 2008, p. 341).

3 La liaison

Jane L. Down, Institut canadien de conservation

Une bonne liaison nécessite non seulement un bon mouillage et une bonne couverture des substrats avec l'adhésif, si ce dernier est à l'état liquide, mais aussi l'emploi d'un adhésif approprié pour le substrat (voir le chapitre 7 pour obtenir des recommandations précises sur les adhésifs à utiliser pour différents matériaux). Il est aussi important de réunir plusieurs autres conditions, comme des surfaces propres, un bon ajustement de la surface des substrats, un bon contact entre l'adhésif et le substrat, et la formation d'un joint relativement mince conçu de façon à réduire le plus possible les contraintes qui pourraient être exercées sur le joint.

La propreté et la préparation des surfaces

Afin de s'assurer que la liaison est bonne, il faut que les surfaces soient propres. Il est donc nécessaire de préparer les surfaces adéquatement au préalable. La zone du joint doit être exempte de contaminants, comme la poussière, la graisse, les empreintes de doigts et les oxydes, sans quoi l'adhésif se liera à ces derniers et non au substrat. Si l'adhésif se lie à ces contaminants, qui sont très faiblement liés au substrat, le joint formé sera alors très faible. Certains oxydes métalliques, comme ceux présents sur l'aluminium, sont plutôt stables et adhèrent bien au métal. Dans ce cas, si le joint se forme avec la couche d'oxyde, cela ne posera pas de problème grave. Par contre, d'autres oxydes, comme la rouille sur le fer, ne sont pas aussi stables et n'adhèrent que faiblement au métal, ce qui produit des joints instables.

Généralement, les exigences en matière de liaison sont moins rigoureuses dans le domaine de la conservation que dans l'industrie. Donc, avant de préparer une surface en vue de l'application d'un adhésif, il convient de réfléchir soigneusement à la préparation du substrat qui sera la plus adéquate, appropriée, réalisable pour l'objet, en plus de respecter les principes déontologiques. Pour ces raisons, assez souvent, la préparation d'une surface en vue de former un joint se fait différemment pour les traitements de conservation que pour les applications industrielles. Il est alors important d'évaluer la perte d'adhésion qui peut en découler. Des exemples de préparation d'une surface en vue d'une application industrielle sont donnés ci-après. Certains types de préparation peuvent convenir aux fins de conservation, d'autres pas, c'est pourquoi il est primordial de faire preuve de prudence.

La préparation de la surface des *métaux*, afin d'en retirer la graisse, la poussière, l'huile et les oxydes et d'obtenir un joint de grande qualité, se fait en altérant la surface par des moyens chimiques (pour éliminer les oxydes), en la nettoyant avec un solvant ou en la décapant par jet d'abrasif (Adhesives Digest, 1997). Bien entendu, l'intensité du nettoyage dépend de l'objet et de la préparation qui respecte les principes déontologiques. De plus, elle dépend du métal, de la force de la couche d'oxyde et de la force du joint souhaitée. La préparation de la surface du *bois* pour en retirer les résines, les cires, les peintures et les produits d'oxydation se fait par sablage ou par rabotage de la surface, selon ce qui est le plus approprié à la situation, mais cette pratique est souvent considérée comme allant à l'encontre des principes déontologiques en conservation (Adhesives Digest, 1997). La préparation de la surface des *objets non métalliques* en vue de retirer des contaminants similaires peut se faire de la manière suivante : tout d'abord, il est nécessaire de nettoyer la surface avec un solvant, puis d'altérer cette dernière par des moyens chimiques; la surface est ensuite nettoyée avec un abrasif et avec un autre solvant par la suite (Adhesives Digest, 1997). Le nombre d'étapes dépend de la surface, de la force du joint désirée et d'autres considérations d'ordre déontologique.

Les quatre techniques de nettoyage d'une surface comprennent l'utilisation de détergents en solution, l'utilisation de solvants, l'altération par des moyens chimiques et le nettoyage mécanique (Adhesives Digest, 1997).

L'utilisation de *détergents en solution* pour retirer la poussière et l'huile constitue la technique de nettoyage la plus facile, la moins coûteuse et la moins toxique. Cependant, certains détergents peuvent contaminer les métaux et le verre. Il est important de bien rincer la surface pour la débarrasser du détergent et de l'assécher avant d'appliquer l'adhésif. Parfois, il est impossible d'enlever complètement le détergent et cela peut créer des problèmes.

L'utilisation de *solvants* pour retirer la graisse et l'huile se fait en essuyant la surface avec un chiffon légèrement imbibé de solvant. Il est important de ne pas saturer complètement le chiffon, car des

contaminants peuvent demeurer sur la surface avec le solvant et le solvant ainsi contaminé peut pénétrer dans un substrat poreux sous la poussée du chiffon. Il est important de changer de chiffon lorsque celui-ci est souillé. Une autre technique utilisée en conservation pour nettoyer une surface avec un solvant consiste à asperger la surface avec le solvant au lieu d'utiliser un chiffon.

Le nettoyage *chimique* est rarement utilisé en conservation en raison de son caractère agressif. Cette technique de nettoyage peut inclure toutes les étapes suivantes ou seulement certaines d'entre elles, soit : le dégraissage, le trempage dans un bain alcalin, le décapage et l'altération de la surface par des moyens chimiques. Le dégraissage se fait à l'aide d'un solvant compatible avec la surface (p. ex. méthyléthylcétone, toluène, naphta, acétone ou trichloroéthane) afin d'éliminer les matières organiques, la cire, l'huile ou la graisse. Selon la nature de l'objet, la surface est essuyée, aspergée ou immergée en utilisant la technique la plus appropriée et qui respecte au mieux les principes déontologiques. Le bain alcalin est toujours suivi d'un bon rinçage pour enlever les particules métalliques, la poussière, l'huile et les autres contaminants. Le décapage sert à détacher la couche d'oxyde des métaux ferreux et se fait en trempant l'objet dans des bains de solutions acides dont la composition dépend du métal en question. L'altération de la surface par des moyens chimiques consiste soit à dissoudre une partie de la surface (p. ex. par mordançage), soit à rendre la surface chimiquement plus active en y ajoutant une fonction chimique ou des promoteurs d'adhérence (p. ex. des silanes).

Le nettoyage *mécanique* constitue la technique la plus simple pour enlever la rouille, les dépôts, la peinture, etc., et pour travailler une surface afin de la pourvoir d'énergie. Cette technique consiste à procéder à une abrasion (avec du papier de verre, du papier émeri, des brosses métalliques et des grattoirs ou encore par sablage au jet, par culbutage et par sablage à l'aide d'outils électriques), puis à un dégraissage afin de retirer les contaminants et les particules qui se sont détachées. À titre d'exemple pour illustrer l'effet de l'abrasion de la surface sur la force du joint, Niem *et al.* (1996) ont noté que l'abrasion d'un substrat polymérique accroissait la force du joint dans une proportion allant jusqu'à 40 %. Ce phénomène a été attribué à l'augmentation de la surface à l'interface du joint et de la mouillabilité du substrat. Cependant, la direction du sablage n'avait aucun effet sur la force du joint (Niem *et al.*, 1996).

La présence de molécules d'eau sur la surface du substrat peut parfois nuire à la liaison. Ce contaminant peut être éliminé en travaillant dans un environnement sec et chaud (Horie, 2010, p. 101).

Le nettoyage doit être effectué dans une pièce propre et non dans la pièce qui a servi au sablage manuel ou au sablage au jet. De plus, une fois que la surface a été nettoyée, il est important de manipuler au minimum l'objet et d'appliquer l'adhésif dès que possible, particulièrement pour les substrats de nature métallique, puisqu'ils peuvent s'oxyder et être contaminés de nouveau.

Des recommandations pour la préparation de la surface de différents substrats sont souvent fournies dans les fiches techniques du fabricant ainsi que dans les divers manuels traitant des adhésifs (Ebnesajjad, 2008; Adhesives Digest, 1997; Mahoney, 1990). *Cependant, il convient de souligner que les indications qui précèdent et les recommandations contenues dans les sources mentionnées concernent des usages industriels et que certaines méthodes peuvent impliquer l'utilisation de produits toxiques ou poser des risques pour l'objet et le travailleur. Il est donc essentiel de procéder à une évaluation détaillée de ces méthodes avant de les utiliser à des fins de conservation.*

L'ajustement des substrats

Une bonne liaison se produira si les substrats sont bien ajustés l'un à l'autre. Le joint sera faible si la zone de la liaison comporte des vides et des espaces. Il est donc nécessaire de les éliminer le plus possible. Malheureusement, en conservation, les joints sont souvent mal ajustés en raison de l'âge de l'objet, de la nature des matériaux ou encore parce qu'il est impossible de modifier le matériau d'origine pour des raisons d'ordre déontologique.

Le contact entre l'adhésif et le substrat

Une bonne liaison se produira si le contact entre l'adhésif et le substrat est adéquat. C'est l'une des raisons pour lesquelles les adhésifs sont appliqués sous forme liquide. Un meilleur contact est obtenu lorsque l'adhésif est liquide et mouille efficacement le substrat et si l'objet est placé dans un serre-joint pendant le temps de prise de l'adhésif.

L'épaisseur du joint

À mesure que le plan de joint épaissit, la force du joint diminue (Tomblin *et al.*, 2002). Les forces adhésives à l'interface entre l'adhésif et le substrat sont plus grandes que les forces cohésives dans l'adhésif.

Pour obtenir des joints forts, l'adhésif doit être mince afin de réduire au maximum les forces cohésives plus faibles. De plus, les joints épais comportent plus de vides (bulles d'air), ce qui les rend plus faibles que les joints plus minces qui comportent moins de vides. L'épaisseur optimale du joint est de 0,1 à 0,15 mm pour les matériaux non poreux (Adhesives Digest, 1997). En conservation, il n'est pas toujours souhaitable d'obtenir le joint le plus fort possible. L'épaisseur du joint peut donc être ajustée de manière à ce que ce soit les forces cohésives de l'adhésif qui soient défaites avant que le substrat ne soit endommagé.

La conception du joint

Quatre types de *contraintes s'exerçant sur le joint* sont importantes lorsqu'il est question de la conception du joint, soit : le cisaillement, la traction, le pelage et le clivage (**figure 1**) (Ebnesajjad, 2008, p. 159-161).

La contrainte de *cisaillement* s'exerce sur toute la zone du joint. Elle exploite la région du joint aussi efficacement que possible et c'est la plus résistante à la rupture du joint. En général, la plupart des joints sont formés en mode cisaillement ou sont soumis à une certaine contrainte de cisaillement.

La contrainte de *traction* s'exerce, elle aussi, sur toute la zone du joint et est de force comparable à celle de la contrainte de cisaillement. Il est important que le substrat soit épais lors de la formation d'un joint en mode traction, sinon il peut se produire un fléchissement donnant lieu à d'autres contraintes (p. ex. le clivage).

La contrainte de *pelage* ne s'exerce que si l'un des deux substrats (ou les deux) est flexible. La contrainte s'exerce à la lisière du joint et, à moins que le joint ne soit large et la charge faible, il y a rupture.

La contrainte de *clivage* s'exerce lorsqu'un joint flexible plie. La contrainte ainsi exercée n'est pas uniforme sur tout le joint et, pour lutter contre cette contrainte, le joint doit être large ou long.

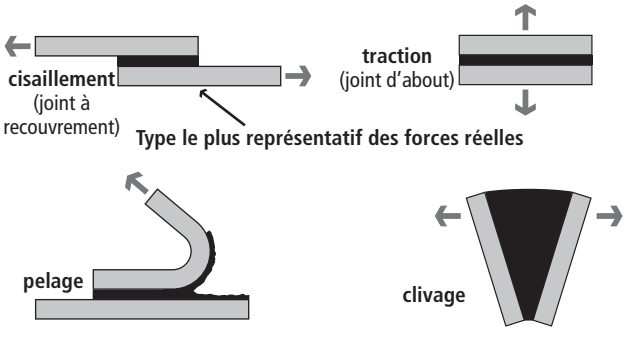


Figure 1. Exemples de contraintes exercées sur les joints.

Des contraintes s'exercent sur un joint stationnaire (sans charge). Ces contraintes ne sont pas uniformes et ne peuvent pas être totalement éliminées, mais elles peuvent être réduites si la conception du joint est appropriée (Petrie, 2005; Adhesives Digest, 1997). La contrainte moyenne le long du joint est toujours inférieure à la contrainte maximale, mais la rupture prend toujours naissance aux endroits où la contrainte est maximale. Il est donc avantageux de réduire la contrainte maximale autant que possible. Dans un joint à recouvrement simple, la contrainte maximale s'exerce sur les bords du joint (**figure 2**).

« Les adhésifs flexibles et résistants forment des joints dans lesquels la contrainte est distribuée plus uniformément et la différence entre la contrainte moyenne et la contrainte maximale est moindre. Dans l'éventualité où un large éventail de contraintes est prévu pendant l'utilisation en raison de charges externes, comme des contraintes de pelage ou de clivage, ou en raison de contraintes internes, comme celles associées à la dilatation ou à la contraction thermique, ce sont habituellement des adhésifs et des produits d'étanchéité flexibles et résistants qui sont privilégiés plutôt que des adhésifs et des produits d'étanchéité cassants » [traduction] (Petrie, 2005). Cependant, les adhésifs flexibles et résistants ont une force de cohésion et une résistance au cisaillement

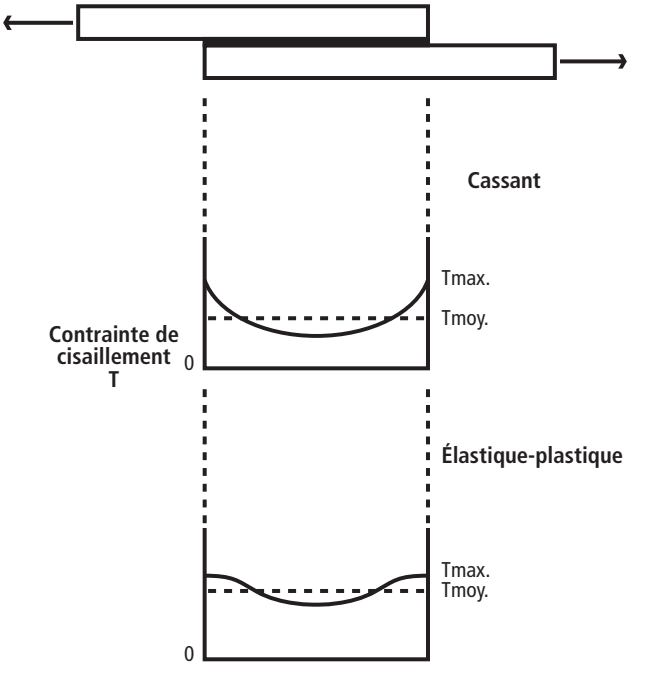


Figure 2. Distribution de la contrainte de cisaillement dans un joint à recouvrement. Adapté de Adhesives Digest (1997, p. A-6).

plus faibles. Ils sont donc employés généralement sur des substrats possédant des propriétés physiques similaires (flexibles et résistants) et dans des environnements où les conditions ambiantes sont moins extrêmes. Les adhésifs rigides, quant à eux, ont une plus grande force de cohésion et sont utilisés pour les structures ainsi que dans des conditions ambiantes extrêmes (Petrie, 2005).

Pour que la conception du joint soit adéquate, il est essentiel que la zone de liaison soit aussi grande que possible. Cependant, il n'est pas toujours possible d'allonger la taille du joint en conservation. La force se calcule en fonction de l'aire du joint, soit sa largeur multipliée par sa longueur. La force du joint est directement proportionnelle à sa largeur, mais elle n'est pas proportionnelle à sa longueur (Adhesives Digest, 1997). Au-delà d'une certaine longueur, l'accroissement du recouvrement n'améliore plus la force du joint (**figure 3**).

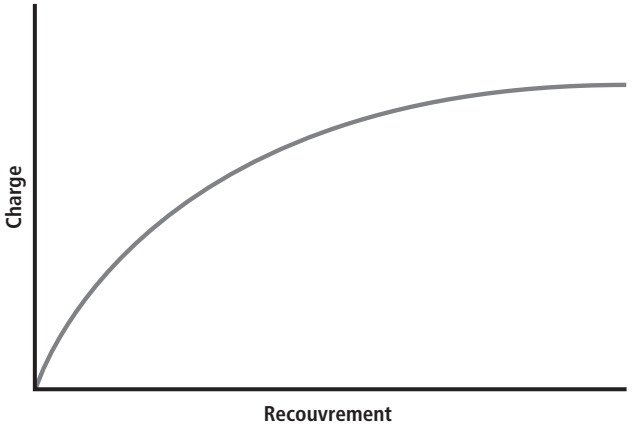


Figure 3. Effet de la longueur du joint (recouvrement) sur la charge causant la rupture du joint. Adapté de Adhesives Digest (1997, p. A-7).

La rigidité des substrats constitue aussi un facteur déterminant pour la distribution des contraintes de cisaillement dans un joint. À mesure que le produit du module de Young et de l'épaisseur du substrat augmente (à mesure que la rigidité augmente), la distribution des contraintes de cisaillement devient plus uniforme (Adhesives Digest, 1997).

Enfin, la distribution des contraintes de cisaillement le long du joint tend vers l'uniformité lorsque les parties adhérées forment un joint en biseau, qu'elles sont superposées le long du joint ou lorsque les parties adhérées sont épaisses et se recouvrent peu, soit sur une courte longueur (**figure 4**) (Adhesives Digest, 1997). Dans l'éventualité où la conception et la taille du joint peuvent être modifiées et que l'on cherche à accroître la force du joint, on peut alors consulter

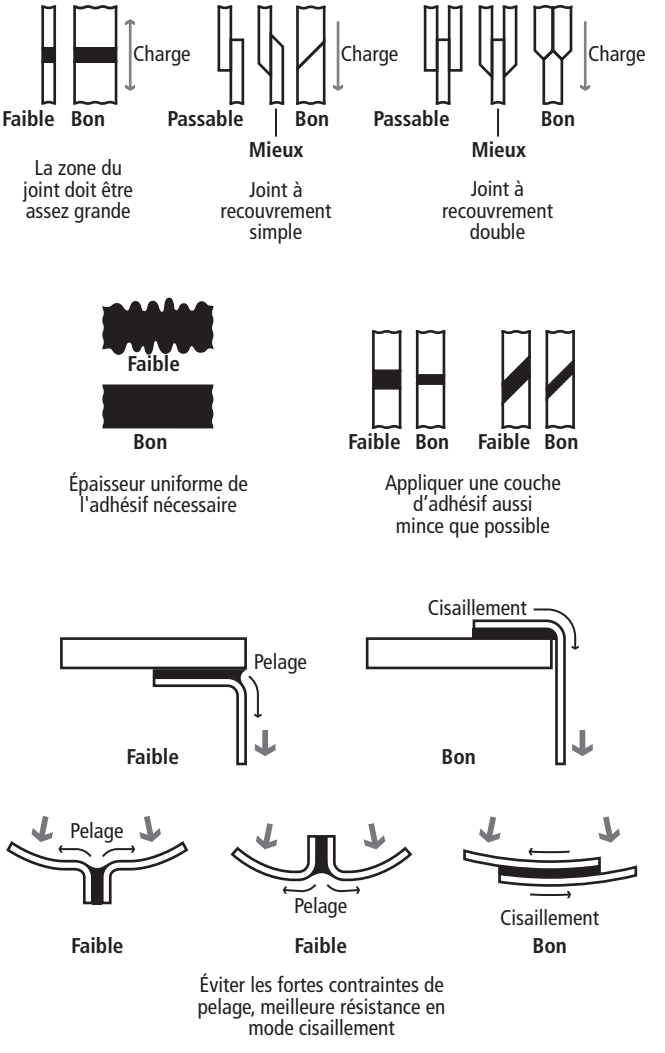


Figure 4. Conseils sur la conception des joints pour améliorer la force du joint (US Department of Defense, 1987, p. 35; Cagle, 1973, p. 6-20). Reproduite avec la permission de McGraw-Hill Companies.

les sections concernant la conception des joints dans Ebnesajjad (2008), Shields (1984) ou Cagle (1973).

Il est parfois possible de modifier la conception du joint pour utiliser un adhésif plus faible et plus facile à enlever en changeant la façon dont les forces s'exercent sur le joint. À titre d'exemple, citons la modification de la charnière en V pour des photographies à revêtement de résine (McGlinchey et Yuan, 2005). La charnière en V classique nécessite l'utilisation d'adhésifs ayant une résistance élevée au pelage, mais ceux-ci sont difficiles à enlever. Dans la charnière en V modifiée (**figure 5**), les forces s'exercent en mode cisaillement, ce qui permet l'utilisation d'adhésifs plus faibles, plus faciles à peler et plus faciles à enlever. Dans cette charnière en V redessinée, la distribution des forces est la même que dans les charnières à pendule utilisées par les restaurateurs d'œuvres sur papier, mais la charnière est cachée

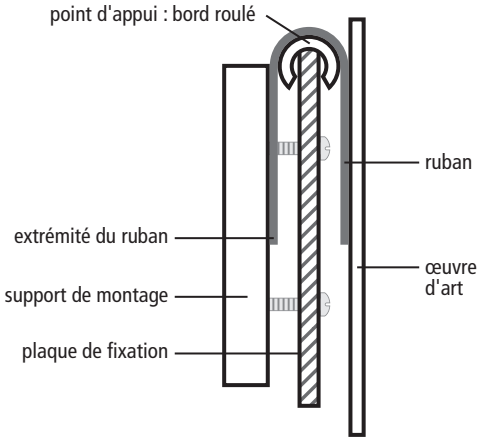


Figure 5. Charnière en V modifiée pour les photographies à revêtement de résine (McGlinchey et Yuan, 2005).

par l'objet, ce qui donne l'illusion que ce dernier « flotte » contre le mur ou dans un passe-partout surdimensionné.

Les mécanismes de prise

Avant d'aborder les mécanismes de prise, il convient d'établir la distinction entre la *prise* et le *durcissement*.

« *Prise* : fait pour un adhésif de durcir ou de prendre une forme fixe sous l'action d'un mécanisme chimique ou physique, comme la condensation, la polymérisation, l'oxydation, la vulcanisation, la gélification, l'hydratation ou l'évaporation des composés volatils » [traduction] (ASTM D907-05, 2006, p. 42).

« *Durcissement* : fait d'activer la force d'un adhésif par réaction chimique » [traduction] (ASTM D907-05, 2006, p. 39).

Autrement dit, la *prise* désigne toute conversion chimique ou physique, tandis que le *durcissement* ne désigne que les adhésifs qui prennent par le biais d'une réaction chimique.

Trois mécanismes de base existent pour la prise des adhésifs, soit : la solidification, l'évaporation et le durcissement chimique.

La solidification

La solidification est un type de prise « fusion-refroidissement » qui se produit lorsque l'adhésif est refroidi pour passer de l'état fondu à un état durci (adhésif scellable ou fixable à chaud). Les adhésifs qui prennent par le biais de ce mécanisme sont des thermoplastiques (p. ex. les copolymères d'éthylène et d'acétate de vinyle et les cires). Certains adhésifs font appel à deux mécanismes de prise, comme c'est le cas des colles animales : une solution chaude est refroidie pour former un gel, après quoi le solvant (habituellement de l'eau) s'évapore.

Les adhésifs qui prennent par solidification présentent plusieurs *avantages* : ils sont faciles à mettre en place; ils sont moins salissants à manipuler; ils prennent rapidement; ils sont faciles à enlever, habituellement en appliquant de la chaleur; l'évaporation d'humidité n'est pas un facteur, sauf dans le cas de certaines colles animales (comme mentionné précédemment); et ils se contractent moins que ceux qui prennent par évaporation.

Les *désavantages* de ce type d'adhésif comprennent la nécessité de recourir à la chaleur qui peut poser des risques pour l'objet, la perte d'humidité par le substrat, les contraintes internes dans le joint et la possibilité que l'objet et le substrat changent de couleur sous l'effet de la chaleur.

L'évaporation

La prise par évaporation se produit lorsque le solvant s'évapore du mélange adhésif. Le polymère peut être en solution ou dissous dans un solvant (comme le Paraloid F-10 et le HMG). Il peut également être sous forme de dispersion (p. ex. le Jade 403). Dans ce cas, l'agent de dispersion s'évapore et un solide se forme par coalescence. Les adhésifs de contact et les adhésifs sensibles à la pression (ASP) sont d'abord appliqués sous forme de solution ou de dispersion sur un substrat (ou sur les deux), avant d'être laissés à sécher. Les deux substrats sont ensuite pressés l'un contre l'autre.

Les adhésifs qui prennent par évaporation présentent plusieurs *avantages* : ils sont faciles à étendre et, en général, ils sont plus faciles à enlever que les adhésifs prenant par le biais d'une réaction, et ils ne sont pas toxiques s'ils sont à base d'eau.

Les *désavantages* comprennent le retrait dans la zone du joint en raison de l'évaporation du solvant, sauf dans le cas des ASP qui ne se lient qu'après évaporation du solvant; la fragilisation de l'adhésif; la toxicité de l'adhésif lorsque ce dernier est mélangé à un solvant organique (p. ex. le toluène).

Le durcissement chimique

La prise par durcissement chimique se produit par le biais de réactions chimiques *in situ* dans l'adhésif. Les adhésifs qui prennent à l'aide de ce mécanisme

sont habituellement des adhésifs thermodurcissables, comme les résines époxy.

Ces adhésifs présentent plusieurs *avantages* : il y a moins de retrait dans la zone du joint lors de la prise, puisqu'il n'y a pas d'évaporation de solvant; ils prennent rapidement (dans la plupart des cas) et se lient fortement.

Les *désavantages* comprennent un durcissement parfois exothermique (qui génère de la chaleur), ce qui peut endommager l'objet; l'irréversibilité du procédé ou la difficulté à enlever l'adhésif; et une flexibilité moindre.

Le temps de prise

Le temps de prise est la durée nécessaire pour qu'un adhésif se fixe sous la forme d'un assemblage lié. Cet assemblage peut être soumis à la chaleur ou à une pression pendant la prise (Ebnesajjad, 2008, p. 346). Pour permettre à un joint de se former, il est important de laisser le temps nécessaire à l'adhésif de s'étendre et de mouiller les surfaces.

Le retrait lors de la prise

Le retrait est la réduction de volume qui se produit lorsque les adhésifs prennent. Il s'exprime en pourcentage de volume ou en pourcentage de contraction linéaire (Ebnesajjad, 2008, p. 339). Le retrait est habituellement attribuable à l'évaporation du solvant. Le **tableau 1** présente des exemples du retrait caractéristique de divers adhésifs.

Croll (1979) a élaboré une théorie pour expliquer le développement de contraintes internes dans les feuils de polymères thermoplastiques à base de solvant après le séchage (Moran and Whitmore, 1995). Cette théorie suggère que de plus fortes contraintes associées au retrait se développent dans les feuils polymériques ayant un module d'élasticité élevé et une température de transition vitreuse (T_v) élevée (voir le chapitre 4) obtenus avec un mauvais solvant. Elle a été éprouvée avec des feuils de poly(acétate de vinyle) et de méthacrylate et validée (Moran et Whitmore, 1995). Dans une étude subséquente, des contraintes de retrait importantes ont été observées lors du séchage de revêtements formés à l'aide de polymères ayant une T_v élevée ou un module d'élasticité élevé. Ces contraintes étaient même plus grandes que la force de cohésion ou la force adhésive du revêtement, ce qui indique que le revêtement risque fortement d'être endommagé par les manipulations ou les variations des conditions ambiantes (Whitmore *et al.*, 1999). Par conséquent, il est recommandé d'utiliser des polymères plus mous (ayant une T_v basse) et de bons solvants qui réduisent les contraintes associées au retrait.

Tableau 1. Exemples du retrait de certains adhésifs lors de la prise
(Petrie, 2007, p. 71; Horie, 2005)

Mécanisme de prise	Adhésif	Retrait en volume (%)
adhésifs sensibles à la pression (après évaporation du solvant)	ruban adhésif	0
durcissement chimique	résine époxy	4 à 5
solidification	cire	13
évaporation (dispersion)	poly(acétate de vinyle)	50
évaporation (solution)	nitrate de cellulose	60
solidification et évaporation	colle animale thermofusible	65

4 Les propriétés des adhésifs solides

Jane L. Down, Institut canadien de conservation

Plusieurs propriétés des adhésifs solides sont importantes lorsqu'il s'agit de conservation. Le présent chapitre aborde les points suivants, soit : la température de transition vitreuse, les propriétés mécaniques, les coefficients de dilatation, les propriétés optiques, les essais de vieillissement et la réversibilité des adhésifs.

La température de transition vitreuse

La température de transition vitreuse (T_v) est la température à laquelle un solide passe d'un état vitreux à un état caoutchouteux lorsqu'il est chauffé (Schilling, 1989). Il s'agit d'une transition du second ordre, par opposition à une transition du premier ordre comme la fusion, car « il n'y a pas de libération d'énergie à la T_v, lorsque la substance est refroidie » [traduction] (Schilling, 1989, p. 110). Sous la T_v, le solide (p. ex. l'adhésif) est dur et vitreux, tandis qu'au-dessus de la T_v, il est caoutchouteux. La T_v fournit une indication de la capacité des chaînes polymériques à glisser les unes sur les autres. Si les forces qui s'exercent entre les chaînes sont élevées, la T_v est élevée. L'augmentation de la température permet aux chaînes de glisser plus facilement les unes sur les autres. La T_v dépend de la composition et de la structure du polymère, des liaisons hydrogène, des liaisons secondaires, de la réticulation, du clivage des chaînes polymériques, de la longueur des chaînes latérales, de la masse moléculaire et de la présence de plastifiants (Schilling, 1989). En conservation, il est important de connaître la valeur de la T_v parce que si l'adhésif reste mou et collant une fois qu'il a pris, il accumulera la poussière, tandis que s'il est dur et cassant, il pourrait se fissurer sous l'effet de contraintes (Horie, 2010, p. 23). De plus, la T_v d'un adhésif ne doit pas se rapprocher de la température ambiante, car il peut se produire des changements de dimensions considérables si la température ambiante fluctue autour de la T_v, particulièrement si l'adhésif et le substrat se dilatent et se contractent de manières différentes (Schilling, 1989).

La T_v et la prise

La T_v indique si le polymère sera flexible ou dur après sa prise. La **figure 1** illustre si le polymère est à l'état liquide, caoutchouteux ou vitreux en fonction du temps de prise et de la température pour des adhésifs thermodurcissables hypothétiques. Comme illustré à la **figure 1**, un adhésif liquide dont la T_v est

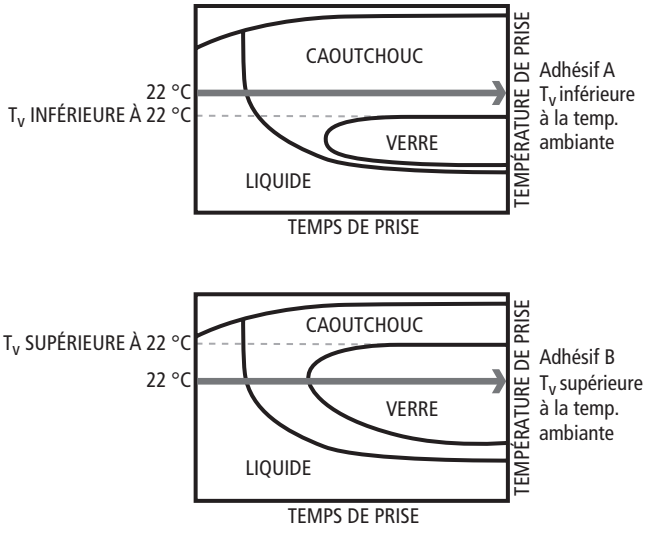


Figure 1. Diagrammes de phases d'adhésifs thermodurcissables modèles en fonction du temps de prise et de la température. Adapté de Adhesives Digest (1997, p. A).

inférieure à la température ambiante (diagramme du haut – adhésif A) passera de l'état liquide à l'état caoutchouteux s'il prend à la température ambiante, mais n'atteindra jamais l'état vitreux, à moins qu'il ne soit refroidi. Par contre, un polymère dont la T_v est **supérieure** à la température ambiante (diagramme du bas – adhésif B) passera de l'état liquide à l'état caoutchouteux, puis à l'état vitreux, s'il prend à la température ambiante. Certains adhésifs redeviendront caoutchouteux si la température ambiante augmente. Le **tableau 1** donne les valeurs de T_v de divers adhésifs.

La diminution de la T_v

Plus la masse moléculaire de l'adhésif est grande, plus sa T_v sera élevée, « car les chaînes ont moins de liberté de mouvement » [traduction] (Horie, 2010, p. 25). Il est possible d'accroître la liberté de mouvement en séparant les chaînes par le biais d'additifs comme des plastifiants, des solvants, de l'eau ou des adhésifs dont la T_v est plus basse (Horie 2010, p. 25). La présence de tels additifs diminue la masse moléculaire moyenne et, par conséquent, la T_v, tout en accroissant la flexibilité de l'adhésif. À mesure que les solvants et l'eau s'évaporeront, la T_v augmentera, mais les plastifiants moins volatils ainsi que les additifs à faible T_v resteront dans le mélange et la flexibilité de l'adhésif sera conservée. Parfois, les solvants demeurent dans le feuil adhésif longtemps après la prise, ce qui crée un

Tableau 1. T_v de divers adhésifs
(Roff et Scott, 1971, p. 69, 84, 92, 463; Horie, 2010, p. 139; Talas d)

Adhésif	T_v (°C)	État après la prise à 22 °C
caoutchouc de silicone	-112 à -125	caoutchouteux
Lascaux 360 HV	-28	caoutchouteux
Mowilith DMC2	10	caoutchouteux
poly(acétate de vinyle)	28	semi-vitreux, semi-flexible
Paraloid B-72	40	semi-vitreux, semi-flexible
poly(butyral de vinyle)	49	semi-vitreux, semi-flexible
poly(méthacrylate de méthyle)	105	vitreux, rigide
résines époxy (durcisseurs à base d'amine aliphatique)	100 à 150	vitreux, rigide

feuil plus flexible. Cependant, le vieillissement entraîne la dissipation des solvants et le feuil perd alors en flexibilité. Les solvants sont retenus dans les feuils dont la T_v est supérieure à la température ambiante (Schilling, 1989). Il est donc souhaitable d'utiliser un adhésif ayant une T_v inférieure à la température ambiante pour que tout le solvant soit dissipé. L'élimination complète du solvant fait en sorte que la T_v demeure plus stable lors du vieillissement.

La T_v et le vieillissement

Un feuil adhésif exposé à des températures inférieures à sa T_v reste à l'état vitreux et il demeure relativement peu contaminé par la poussière lors du vieillissement. Par contre, un feuil adhésif exposé à des températures supérieures à sa T_v lors du vieillissement demeure principalement à l'état caoutchouteux et peut accumuler des saletés et des contaminants qui catalyseront sa dégradation (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 318). L'utilisation d'un adhésif à l'état vitreux peut être préférable en raison de son comportement lors du vieillissement, mais ce n'est pas toujours idéal en conservation, car cet adhésif peut former un joint trop rigide.

Les propriétés mécaniques

Pour la majorité des adhésifs à base de polymères, la flexibilité du feuil et la force de cohésion de ce dernier sont inversement proportionnelles : plus la force du feuil est grande, moins il est flexible (Petrie, 2005). De manière générale, les adhésifs doivent avoir une flexibilité et une force comparables à celles du substrat, sauf lorsque les substrats sont rigides.

Voici quelques exemples :

- dans le cas des *textiles*, qui sont flexibles, l'adhésif doit idéalement être flexible lui aussi. Le fait que la force soit moindre à cause de la flexibilité plus grande ne devrait pas poser problème pour les tissus souples et légers;
- dans le cas du *bois*, qui est semi-rigide, l'adhésif doit idéalement être semi-rigide lui aussi. Une force plus grande est souhaitable dans le cas des objets en bois, ces derniers étant plus lourds;
- dans le cas de la *céramique* qui est rigide, cependant, l'adhésif doit idéalement être semi-flexible pour éviter la formation d'un joint trop rigide. Les adhésifs trop rigides peuvent générer des contraintes au niveau du joint, céder et ainsi endommager la céramique.

Il convient donc d'affirmer, de manière générale, que les adhésifs flexibles et semi-flexibles sont à privilégier dans le domaine de la conservation.

La courbe contrainte-déformation

La contrainte est la force nécessaire (par unité d'aire transversale) pour étirer un objet jusqu'à une longueur donnée, tandis que la déformation est le rapport de l'allongement sur la longueur originale de l'objet (Cagle, 1973, p. 56). Les données de contrainte-déformation sont obtenues par le biais de dynamomètres (p. ex. le dynamomètre Instron), qui peuvent établir la relation entre la charge et la déformation d'un objet sous la forme d'un graphique allant d'une charge nulle à la rupture du feuil.
La force de cohésion, la rigidité ou la flexibilité et l'élongation ou l'extensibilité d'un adhésif peuvent être déterminées à partir d'une courbe contrainte-déformation (**figure 2**). La première partie de la courbe illustre le comportement élastique de l'adhésif (son module d'élasticité). Lorsqu'un objet est étiré dans le cadre d'un essai de résistance, il est soumis à diverses transformations : à partir d'un état élastique, il atteint la limite apparente d'élasticité, puis sa résistance maximale, et enfin, son point de rupture.

Le *module d'élasticité* est une mesure de la rigidité d'un matériau. Les adhésifs possédant un module d'élasticité élevé sont rigides, tandis que les adhésifs dont le module est faible sont flexibles.

La *limite apparente d'élasticité* est la plus faible contrainte à laquelle la déformation augmente sans causer

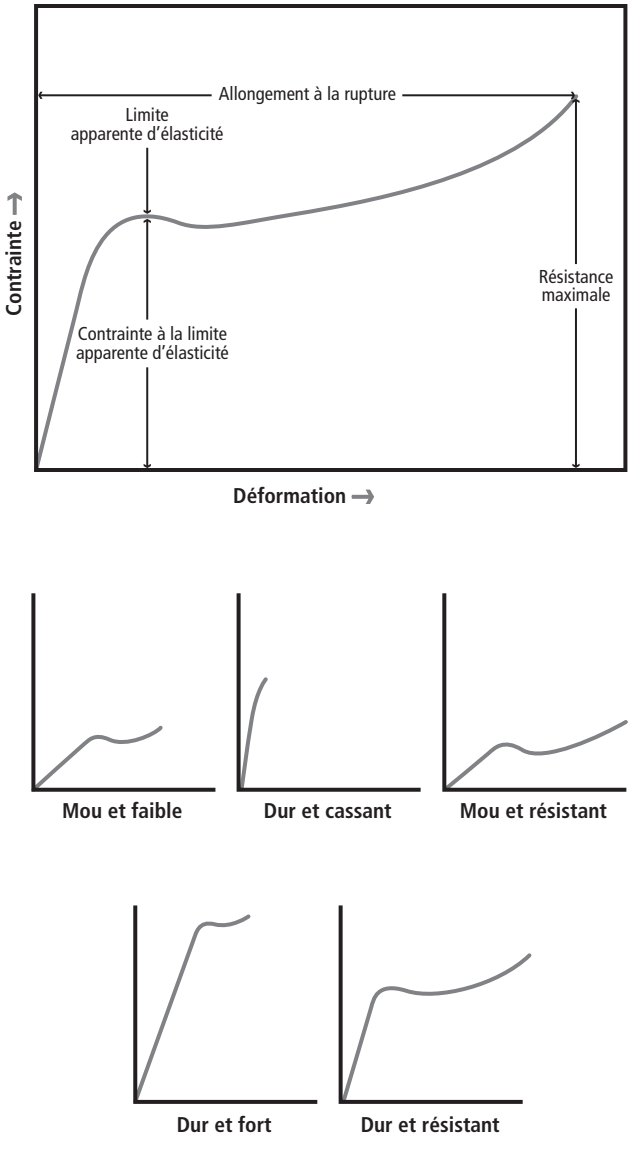


Figure 2. Courbe contrainte-déformation type pour des matériaux thermoplastiques (en haut) et exemples de courbes (en bas). Adapté de Winding et Hiatt (1961, p. 66).

l'augmentation de la contrainte (Geller, 2003, p. 2314). Il s'agit de la contrainte à partir de laquelle un matériau commence à présenter une déformation plastique. Avant ce point, la contrainte est élastique et le matériau reprend sa forme originale lorsque la contrainte cesse de s'exercer. Si la limite apparente d'élasticité est dépassée, la déformation du feuil adhésif est permanente.

Les contraintes exercées sur les joints

Le joint formé par un adhésif peut subir des contraintes d'un seul type ou des combinaisons de contraintes, mais dans leur forme la plus simple, elles peuvent être des types suivants : la traction, le cisaillement, le pelage, le clivage, le choc, le fluage, la fatigue, la flexion et la compression (certains de ces types de contraintes sont illustrés à la **figure 3**). Plus que n'importe quel autre type de contrainte, c'est sans doute la contrainte de cisaillement qui représente le mieux les forces qui s'exercent dans un joint en pratique. La force de l'adhésif traduit la mesure dans laquelle un adhésif est capable de tolérer ces types de contraintes dans des conditions contrôlées. Il est possible d'estimer le type et l'ampleur des contraintes exercées sur un joint donné, puis de les comparer avec les données sur la force de l'adhésif qui figurent dans les fiches techniques. Cependant, il convient de se rappeler que les données sur la force contenues dans les fiches techniques sont liées à un substrat donné et qu'elles pourraient ne pas s'appliquer au substrat qui doit être traité. De plus, la force de bien des adhésifs est souvent largement supérieure à celle nécessaire pour les besoins dans le domaine de la conservation (Horie, 2010, p. 30).

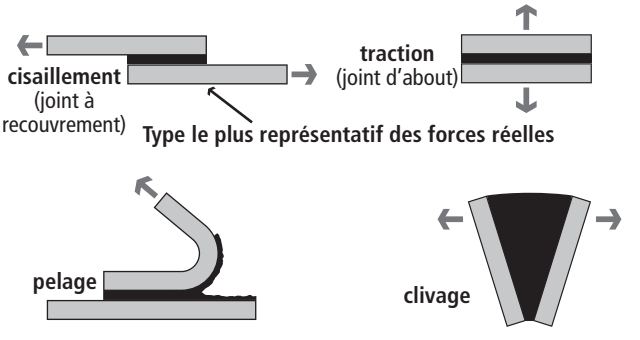


Figure 3. Contraintes exercées sur les joints.

Les propriétés mécaniques varient selon la composition de l'adhésif et du substrat; la masse moléculaire et la T_v de l'adhésif; l'épaisseur et la superficie du joint; les conditions d'humidité et de température lors des essais ainsi que leur durée; les techniques de préparation; l'âge des échantillons (Horie, 1987, p. 23).

En général, les adhésifs peuvent être soumis à deux types d'essais mécaniques pour les besoins en matière de conservation, soit un essai mesurant la force de cohésion du feuil ou un essai mesurant la force du joint. L'essai mesurant la force de cohésion est exécuté sur des feuils adhésifs secs, ne fait pas intervenir le substrat et donne de l'information sur la force de cohésion, l'extensibilité et la flexibilité du feuil adhésif. L'essai mesurant la force du joint consiste à coller des substrats ensemble selon diverses orientations, puis à exercer une force de traction, de pelage ou de pression afin de déterminer le degré de contrainte au point de rupture (p. ex. la résistance à la traction, la résistance au cisaillement ou la résistance au pelage).

La dureté

La dureté d'un adhésif peut indiquer sa résistance aux éraflures (s'il est appliqué sur une surface ouverte comme revêtement) et aux contraintes de tous les jours associées à la manipulation et à l'emballage (Shashoua, 1993b). Il s'agit de la résistance de la surface aux entailles et elle est mesurée de diverses façons, comme par la mesure de la résistance aux éraflures à l'aide d'abrasifs, la mesure de la résistance au renfoncement à l'aide d'un essai de dureté au crayon, l'essai d'amortissement au pendule avec un duromètre à bascule Sward et la mesure de la flexibilité à l'aide d'un essai de pliage (Horie, 2010, p. 31).

Les coefficients de dilatation

Tous les matériaux se contractent ou se dilatent en réponse aux variations de température et ce changement de dimensions est décrit par le coefficient de dilatation. Le coefficient de dilatation thermique (CDT) est aussi appelé coefficient de dilatation cubique (CDC), soit l'augmentation de volume d'une unité de volume de solide, de liquide ou de gaz accompagnant une augmentation de température de 1 °C à pression constante, par opposition au coefficient de dilatation linéaire (CDL), soit l'augmentation de longueur d'un solide d'une unité de longueur accompagnant une augmentation de température de 1 °C à pression constante (Geller, 2003, p. 421-422). Afin d'éliminer les contraintes thermiques qui pourraient s'exercer sur le joint, le CDT (ou le CDL) de l'adhésif et celui du substrat devraient être similaires. Toutefois, la plupart des polymères adhésifs ont un CDT (ou un CDL) considérablement plus élevé que celui des matériaux qu'ils serviront à joindre (**tableau 2**). Ces grandes différences peuvent causer une rupture du joint; l'utilisation d'adhésifs ayant un faible module (des adhésifs flexibles) peut aider à réduire les contraintes thermiques exercées sur le joint.

Tableau 2. CDL de divers adhésifs et substrats
(Borch *et al.*, 2002, p. 430; Engineering Toolbox; Shields, 1976, p. 299; Cagle, 1973, p. 18-3)

Adhésif ou polymère	CDL $\times 10^{-6}$/°C	Substrat
	< 10	verre, poly(méthacrylate de méthyle), acier, fer, brique, marbre, porcelaine
	20	aluminium, laiton, cuivre, cuir, papier
	40	bois (sapin)
	60	bois (chêne), polystyrène
poly(alcool de vinyle) (70 à 100) résines époxy (70 à 120) cyanoacrylate (80 à 100)	80	coton, rayonne
gomme-laque (91) poly(acétate de vinyle) (85 à 130) nitrate de cellulose (70 à 160) polyamide (100 à 118)	100	
acétate de cellulose (70 à 180)	120	
poly(butyral de vinyle) (80 à 220) éthylcellulose (90 à 200) acétobutyrate de cellulose (70 à 370)	140	polypropylène
silicone (50 à 400)	160	
copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène (160 à 200)	180	
	200	polyéthylène

Les propriétés optiques

L'indice de réfraction

L'indice de réfraction (IR) est une mesure de la distorsion de la lumière qui se produit lorsque celle-ci traverse des milieux transparents différents. Il peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$IR = \frac{\text{vitesse de la lumière dans le vide}}{\text{vitesse de la lumière dans le milieu}}$$

Comme la lumière voyage plus vite dans le vide que dans tout autre milieu, l'IR est toujours supérieur à 1. L'exemple d'une tige placée dans un verre d'eau illustre bien la réfraction. En effet, la tige a l'air de plier à l'interface entre l'eau et l'air. La lumière voyage plus vite dans l'air que dans l'eau et elle dévie, ou est réfractée, à l'interface. L'image sous la surface de l'eau est déformée.

L'IR est important lorsque des matériaux transparents sont collés ensemble. Si l'IR de l'adhésif et celui du substrat sont très différents, il se produit une distorsion et le joint de colle devient visible. Par contre, si les deux IR sont semblables, le joint de colle est presque invisible. Le **tableau 3** présente l'IR de divers polymères et verres.

La couleur

En général, pour les besoins en matière de conservation, les adhésifs doivent être transparents et incolores et le demeurer avec le temps. Cependant, les adhésifs ont souvent tendance à jaunir. Cet effet se mesure par l'indice de jaunissement, le CIE L*a*b* ou le changement d'absorbance à 380 nm (ASTM D1729-96, 2006; ASTM, D2244-05, 2006; ASTM, E313-05, 2006; Down *et al.*, 1996). Le degré de jaunissement perceptible ou acceptable est différent pour chaque traitement, et il dépend de la nature de l'objet (p. ex. selon que l'objet est transparent, de couleur claire ou de couleur foncée) et de l'emplacement du joint (s'il est exposé ou caché).

Le vieillissement et la mise à l'essai des adhésifs

Les mécanismes chimiques qui agissent dans le vieillissement des polymères comprennent la réticulation et le clivage des chaînes, et ces processus peuvent entraîner la fragilisation, le changement de couleur et le retrait, pour ne nommer que ces effets. Il peut y avoir rupture de l'adhésion à cause de la détérioration de l'adhésif, de l'objet ou du joint dans son ensemble. Ainsi, pour déterminer la stabilité d'un

Tableau 3. IR de certains polymères et verres
(Lide, 2004; Tennent et Townsend, 1984c; Cowan, 1977; Roff et Scott, 1971)

Polymères et autres matériaux	IR	Verres
eau	1,333	
éthanol	1,360	
silicones	1,405 à 1,415	
paraffine	1,433	
poly(acétal de vinyle)	1,45	
poly(acétate de vinyle)	1,455 à 1,47	
éther de cellulose	1,4 à 1,5	
	1,459	silice (fondue)
résines acryliques	1,475 à 1,50	
poly(butyral de vinyle)	1,49	
polypropylène	1,49	
	1,495 à 1,54	verre romain et égyptien
acétate de cellulose	~ 1,5	
nitrate de cellulose	1,50 à 1,51	
	1,51 à 1,53	verre postmédiéval
poly(alcool de vinyle)	1,50 à 1,53	
polyéthylène	1,51 à 1,52	
	1,517	verre au zinc
gélatines (variées)	1,519 à 1,534	
	1,520	verre très dispersif
caoutchouc naturel	1,526	
amidon	1,53	
résines époxy	1,545 à 1,585	
	1,55 à 1,57	verre au plomb
	1,575	verre au plomb léger
	1,650	verre au plomb lourd
	1,890	verre au plomb le plus lourd

adhésif, il est possible d'étudier son vieillissement dans des conditions naturelles ou artificielles, en entreprenant des études sur les effets thermiques, les effets photochimiques, les effets des variations de l'humidité ou les effets de la pollution. Les essais visant à mesurer ces effets sont effectués avant et après le vieillissement. Il peut s'agir de mesurer le jaunissement, la solubilité, la force, le pH, etc., avant et après le vieillissement. Les adhésifs les plus stables sont alors identifiés en fonction de critères prédéterminés. Dans certains cas, il est possible d'établir une corrélation entre le vieillissement et les conditions dans les musées ou les établissements d'archives, mais, dans d'autres cas, cela peut s'avérer difficile.

L'équation d'Arrhenius est parfois utilisée pour estimer la vitesse des processus de vieillissement à l'obscurité et à température ambiante en mesurant la vitesse de ces processus à des températures plus élevées. Comme ces processus sont accélérés à température élevée, cela permet de mesurer le vieillissement et de caractériser les effets du vieillissement plus rapidement qu'il ne serait possible de le faire si la dégradation devait se produire à température ambiante (**figure 4**).

L'équation d'Arrhenius établit une relation linéaire entre le logarithme naturel de la vitesse d'une réaction chimique et l'inverse de la température absolue selon l'équation suivante (Feller, 1994, p. 144-147; Bégin et Kaminska, 2002) :

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{RT}$$

où A, Ea et R sont des constantes;
k est la vitesse de la réaction ou du processus;
T est la température absolue.

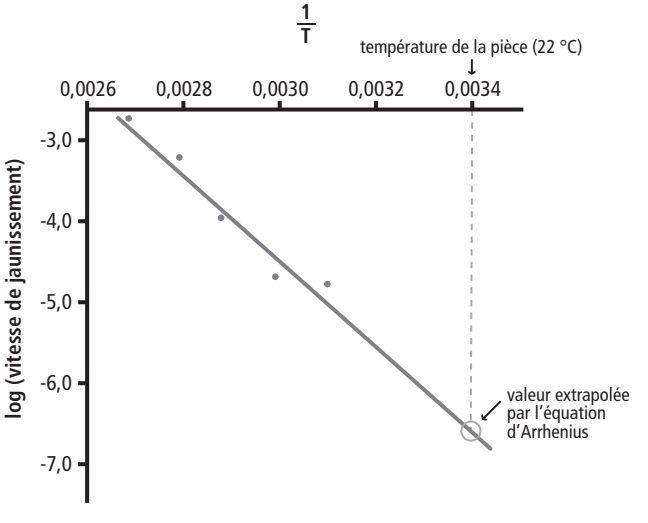


Figure 4. Vieillissement accéléré par la chaleur et équation d'Arrhenius.

L'équation d'Arrhenius a été élaborée pour des réactions bimoléculaires simples en phase gazeuse, mais elle peut s'appliquer à des processus plus complexes. Elle est utile lorsque l'équation reportée en graphique donne une droite, mais ce n'est pas souvent le cas.

L'utilisation de l'équation d'Arrhenius, dans la pratique, suppose de faire vieillir des matériaux à plusieurs températures élevées, de mesurer les vitesses de dégradation et de tracer le graphique de la vitesse de la réaction en fonction de l'inverse de la température absolue pour extrapoler la vitesse dans les conditions ambiantes. L'utilisation de cette technique pour prédire la vitesse de la réaction à température ambiante n'est pas toujours efficace et ne donne pas toujours des résultats exacts. Cela s'explique par les raisons suivantes :

- parfois, ce qui se produit à température élevée ne se produit pas à température ambiante. Les modifications physiques et les autres processus chimiques peuvent s'intensifier à température élevée, ce qui rend l'interprétation des résultats donnés par l'équation d'Arrhenius problématique à température ambiante;
- les différents constituants de l'adhésif peuvent être soumis à plusieurs mécanismes de détérioration et, par conséquent, il peut être difficile d'obtenir une droite en graphique. Or, cela est nécessaire pour utiliser l'équation d'Arrhenius;
- lorsqu'il faut passer par la T_v des constituants pour faire une extrapolation à partir de l'équation d'Arrhenius, les résultats ne sont pas nécessairement fiables (Celina *et al*., 2005; Edge, 1996).

En ce qui concerne le vieillissement à la lumière, soit la mesure des processus photochimiques, il est généralement difficile de comparer les résultats des expériences de vieillissement effectuées dans différents laboratoires, car les conditions standard d'exposition ne font pas l'objet d'un consensus. Chaque laboratoire a tendance à utiliser des lampes différentes, ayant leur propre répartition spectrale énergétique. De plus, l'intensité et la durée de l'exposition ainsi que les conditions de température et d'humidité relative varient d'un laboratoire à l'autre (Saunders et Kirby, 2001). En outre, si un matériau est soumis à un vieillissement sous une lumière d'intensité élevée et qu'une extrapolation des résultats est faite pour une intensité plus faible, comme celle de la lumière dans un musée, il est alors nécessaire de prouver qu'il existe une relation linéaire simple entre les modifications qui se produisent à intensité élevée et celles qui se produisent à faible intensité, soit prouver la réciprocité. Il convient de souligner que,

d'un point de vue chimique, la réciprocité n'est pas toujours respectée, ce qui peut être dû au fait que la température des objets peut augmenter ou leur teneur en humidité diminuer sous l'effet d'une lumière intense, à une exposition discontinue (alternativement à l'obscurité et à la lumière), ou à certaines réactions photochimiques qui ne suivent pas le principe de réciprocité, mais sont régies par une relation de proportionnalité différente (p. ex. la racine carrée de l'intensité) (Feller, 1994, p. 53-54). Faire la preuve de la réciprocité exige du temps et ce processus dépend de la distribution spectrale des lampes, de l'intensité absorbée et de la nature du matériau.

Feller (1977; Whitmore, 2002, p. 353-369) a défini diverses étapes de détérioration pour les matières organiques, soit le début, l'induction, l'autocatalyse, l'équilibre et la décroissance de la vitesse. Le type de détérioration ainsi que les étapes qu'un adhésif peut subir dépendent de la nature de l'adhésif, de ses constituants chimiques et du type de vieillissement employé. Le vieillissement peut donner une indication de la durée de vie utile des adhésifs et Feller (1975; Whitmore, 2002, p. 107-119) a proposé la classification suivante pour les besoins de la conservation (voir le **tableau 4**) : excellente stabilité (A), pour les matériaux qui durent plus de 100 ans; stabilité intermédiaire (B), pour les matériaux dont les propriétés changent suffisamment, en 20 à 100 ans, pour qu'il faille les enlever; matériaux instables (C), pour les matériaux dont les propriétés se maintiennent de 6 mois à 20 ans, après quoi ils doivent être enlevés; matériaux temporaires (T), pour les matériaux qui ne doivent rester en contact avec l'objet que pour une période variant de quelques heures à 6 mois.

D'autres types de vieillissement mesurent des processus physiques plutôt que les processus chimiques dont il a été question jusqu'ici. Citons comme exemple l'analyse mécanique dynamique, qui a été utilisée pour superposer des courbes temps-température (p. ex. du fluage ou du module d'élasticité en flexion) afin d'extrapoler le comportement des propriétés du polymère sur 20 ans (Sichina, 1988). Cette technique de superposition temps-température a aussi été utilisée pour extrapoler l'allongement en traction à température ambiante (Gillen *et al*., 2005).

Les fiches techniques donnent parfois de l'information sur la stabilité de l'adhésif. Ces données peuvent toutefois ne concerner que les conditions d'entreposage requises pour l'adhésif, la capacité d'un adhésif à tolérer le cycle de gel-dégel ou la gamme de températures à laquelle l'adhésif peut être utilisé sans perdre ses propriétés. La résistance d'un adhésif aux intempéries, c'est-à-dire sa capacité à résister à l'exposition à la chaleur, à la lumière, à l'humidité, aux précipitations, etc., sans se détériorer, n'est presque jamais indiquée dans les fiches techniques. La résistance d'un adhésif à la détérioration est un facteur important pour le choix d'un adhésif. Le processus visant à enlever l'adhésif qui forme un joint parce qu'il a jauni ou s'est détérioré est délicat et souvent risqué pour l'objet; il vaut donc mieux retarder cette intervention le plus possible. L'utilisation d'adhésifs ayant une bonne résistance à la détérioration prolonge la durée de vie de l'objet. Comme le fabricant donne peu d'information au sujet de la stabilité sur la fiche technique, il est recommandé de consulter les études faites sur le vieillissement des adhésifs dans le domaine de la conservation. Nombre de ces études sont résumées au chapitre 6.

Le restaurateur qui utilise des adhésifs afin de traiter des objets devrait préparer des échantillons des feuils adhésifs utilisés pour les traitements convenablement étiquetés, datés et entreposés. De cette manière, les ruptures d'adhésion flagrantes dues au vieillissement pourront être observées et il disposera d'échantillons pour effectuer des essais pour enlever l'adhésif ultérieurement.

Tableau 4. Classification de la durée de vie utile des matériaux
(Feller, 1975)

Classe	Années avant la détérioration	Description de la stabilité
A1	> 500	excellente
A2	> 100	excellente
B	20 à 100	intermédiaire
C	< 20	instable
T	< 0,5	temporaire

L'enlèvement d'un adhésif

Le terme « réversibilité » signifiait autrefois qu'un matériau appliqué sur un objet devait pouvoir être enlevé facilement (Down, 1999). Aujourd'hui, il semble s'appliquer à tous les traitements qui sont mis en œuvre sur un objet (Keyserlingk, 1992; Appelbaum, 1987). La réversibilité est considérée comme une propriété du traitement et de la méthode utilisée pour le retrait dans leur ensemble et non comme un terme ne concernant que les polymères (Appelbaum, 1987; Horie, 1982). Dans les discussions sur la réversibilité, il semble y avoir consensus sur le fait que cette qualité, *dans son sens le plus strict*, n'existe pas. En effet,

dès qu'on touche un objet, il est altéré et le matériau appliqué ne peut jamais être enlevé complètement (Oddy, 1995; Caldararo, 1990). Plusieurs études montrent que cette affirmation est vraie. Des résidus demeurent, même en recourant à des techniques poussées et envahissantes pour enlever l'adhésif (Schniewind, 1988 : Charola *et al*., 1986; Horie, 1982).

Horie (1982) a proposé quatre degrés de réversibilité, soit :
- irréversible;
- réversibilité élémentaire, c'est-à-dire que l'objet retrouve l'*aspect* qu'il avait avant le traitement;
- réversibilité supérieure, c'est-à-dire que le traitement, lorsqu'il est renversé, ne nuit pas aux traitements subséquents;
- réversibilité optimale, qui ne laisse aucune trace de contamination et n'altère en rien la structure de l'objet.

Quoi qu'il en soit, le fait de pouvoir enlever un adhésif d'un objet, même après de nombreuses années, demeure un objectif capital en conservation, et il convient de le prendre en considération chaque fois qu'un protocole de traitement est élaboré. Il existe de nombreuses techniques pour enlever les adhésifs se trouvant sur des objets et pour rompre les joints. Habituellement, la première technique utilisée est celle la moins envahissante (p. ex. moyens mécaniques et thermiques), bien que ce ne soit pas toujours le cas; ensuite, au besoin, on utilisera des solutions de solvants (p. ex. sous forme de gel ou de vapeurs ou par immersion). La technique utilisée pour enlever l'adhésif dépend de l'objet et du joint obtenu et elle doit être choisie avec précaution.

LES TECHNIQUES UTILISÉES POUR ENLEVER LES ADHÉSIFS

Les techniques utilisées pour enlever les adhésifs dans le domaine de la conservation qui seront abordées dans la présente section comprennent le grattage mécanique ainsi que l'utilisation de chaleur, de solvants, d'enzymes et de microémulsions.

Les moyens mécaniques

L'adhésif est gratté à l'aide d'un instrument comme une spatule en acier inoxydable, un scalpel et une gomme à effacer.

La chaleur

L'application de chaleur facilite l'enlèvement d'un adhésif. Pour ce faire, il est possible d'appliquer un fer à coller directement sur l'objet ou de maintenir le fer au-dessus du joint adhésif, d'appliquer une spatule chauffée directement sur l'objet ou de placer l'objet sur un plateau chauffant.

Les solvants

Choix du meilleur solvant pour enlever l'adhésif

Il existe plusieurs techniques permettant d'enlever un adhésif à l'aide de solvants. Cependant, la première étape consiste à déterminer quels solvants seront efficaces pour enlever l'adhésif. Si on sait de quel adhésif il s'agit, on peut se reporter directement à la section intitulée *Solubilité et capacité d'enlèvement* du chapitre 6 pour trouver les solvants qui conviennent. On peut aussi chercher des solvants qui correspondent aux paramètres de solubilité du polymère générique contenu dans l'adhésif (voir le chapitre 2). Si on ne sait pas de quel solvant il s'agit, un essai de solubilité à l'échelle microscopique constitue le meilleur moyen de déterminer quel solvant convient le mieux pour enlever l'adhésif. Pour ce faire, il est nécessaire de prélever suffisamment d'adhésif sur l'objet (échantillons microscopiques). Trois essais peuvent être effectués à l'échelle microscopique :
- l'*essai de solubilité de McCrone* consiste à placer un échantillon microscopique de l'adhésif sur une lamelle couvre-objet qui est renversée sur un anneau de verre sur une lame de microscope en verre (McCrone, 1965). Une goutte de solvant sera placée à l'extérieur de l'anneau. Les vapeurs s'infiltrent sous l'anneau et dissolvent les particules d'adhésif. On observe au microscope si la dissolution a lieu ou non. La procédure entière prend environ deux minutes et il est possible de traiter plus d'un échantillon à la fois;
- un *essai de gonflement à l'échelle microscopique* est utile lorsque l'adhésif ne se dissout pas, comme c'est le cas des résines époxy durcies ou des dispersions de poly(acétate de vinyle) séchées (Down *et al*., 2002). Un échantillon microscopique d'adhésif est placé dans la concavité d'une lame de microscope. Après avoir mesuré la longueur de l'adhésif à l'aide d'un micromètre de microscope, le solvant est ensuite ajouté dans la concavité, recouvert et on observe le gonflement. Plus le gonflement est important, plus le solvant permettra d'enlever l'adhésif facilement. La capacité de gonflement d'un polymère dépend des facteurs suivants : la nature chimique du polymère et du solvant, la masse moléculaire et la flexibilité des chaînes polymériques, l'empilement et la phase sous laquelle se trouvent les molécules de polymère, l'inhomogénéité de la composition chimique des chaînes, la présence ou l'absence de réticulation et la température (Mencer et Gomzi, 1994);
- un *essai de perte de poids à l'échelle microscopique* est également utile dans le cas des adhésifs relativement insolubles (Down *et al*., 2002). Un échantillon microscopique d'adhésif est pesé, immergé dans le solvant puis retiré de celui-ci

après une période donnée; il est ensuite laissé à sécher et pesé de nouveau. La variation de poids est déterminée en pourcentage. Plus la perte de poids en pourcentage est grande, plus l'adhésif pourra être enlevé facilement.

Après l'exécution d'un essai à l'échelle microscopique, les résultats peuvent être reportés dans le domaine de solubilité de Hansen ou dans le diagramme de Teas pour trouver le solvant ou le mélange de solvants le plus approprié (voir le chapitre 2). Avant d'utiliser un solvant, il est important de se rappeler ce qui suit :

- **l'objet doit d'abord être soumis à des essais pour voir s'il est affecté ou non par le solvant ou le mélange de solvants choisi**;
- les solvants à pénétration rapide peuvent s'infiltrer en peu de temps entre les chaînes polymériques de l'adhésif et causer un gonflement rapide qui risque de fissurer et d'endommager l'objet (Horie, 2010, p. 88).

Les techniques utilisées pour enlever l'adhésif à l'aide de solvant

Une fois que le solvant ou le mélange de solvants approprié a été déterminé, les techniques suivantes peuvent être utilisées pour enlever l'adhésif. La technique est choisie en fonction de l'accessibilité de l'adhésif, du solvant sélectionné et des particularités de l'objet.

Les vapeurs

Deux techniques utilisant des vapeurs de solvant peuvent être employées pour enlever un adhésif ou pour rompre un joint. Ces techniques font appel à une chambre à solvant pour concentrer les vapeurs et nécessitent l'utilisation de :

- soit une bouteille à goulot large renversée (ou un bécher) dans laquelle est coincé un papier buvard imbibé de solvant;
- soit plusieurs couches d'un matériau barrière placées sur le joint adhésif sur l'objet, par-dessus lesquelles est placé du papier buvard imbibé de solvant (chiffons de coton ou Gore-Tex) recouvert de Mylar et avec un poids par-dessus (Navarro, 2010).

Les solvants sous forme de gels

Des solvants peuvent être préparés sous forme de gels à l'aide de matières comme la méthylcellulose auxquelles est ajoutée une petite quantité de solvant pour obtenir une pâte liquide. Ce mélange a tendance à former un gel lorsque de l'eau y est ajoutée au goutte-à-goutte (Morse, 1998). Le gel est ensuite appliqué sur l'adhésif, qui sera recouvert d'un matériau barrière s'il est nécessaire de protéger l'objet contre l'application directe du gel. Les solvants sous forme de gels sont utiles parce qu'il est possible de les appliquer sur des surfaces verticales ou problématiques. Ils peuvent aussi aider à accroître le temps de rétention du solvant, à moduler la profondeur de pénétration et à réduire l'exposition aux solvants organiques toxiques (Stulik *et al.*, 2004).

Les cataplasmes

Des cataplasmes sont aussi utilisés avec des solvants ou des enzymes pour enlever des adhésifs, rompre des joints ou enlever des taches d'adhésif. L'une des méthodes fréquemment utilisées consiste à modeler un beigne autour de l'adhésif à enlever avec la matière utilisée (à l'état sec) pour le cataplasme, puis à mélanger séparément de la matière utilisée pour le cataplasme avec le solvant. Le mélange est ensuite placé au centre du beigne, aplati et le tout est recouvert de Mylar pour que le montage sèche lentement. Un matériau barrière est parfois utilisé entre le cataplasme et l'adhésif pour protéger l'objet contre les résidus de cataplasme, mais cela diminue l'efficacité de ce dernier. La quantité de solvant ajoutée constitue un paramètre critique : s'il y en a trop, l'adhésif peut se répandre dans et sur le substrat, et s'il y en a trop peu, l'adhésif ne se dissoudra pas. À mesure que le solvant s'évapore, le solvant et l'adhésif dissous migrent par capillarité dans le cataplasme. Pour être efficace, le cataplasme doit posséder une forte attraction capillaire, sinon le solvant se diffusera dans le substrat.

Lemiski (1998) propose les principes suivants pour le choix de la matière à utiliser pour le cataplasme : la matière ne doit pas endommager le substrat; elle doit s'enlever facilement, sans laisser de résidus; elle doit absorber le solvant, mais en laisser suffisamment pour dissoudre l'adhésif; elle ne doit pas poser de risque pour les travailleurs; elle doit être facile à manipuler; elle doit être facile à utiliser.

Le **tableau 5** présente certaines matières à cataplasme qui ont été utilisées pour enlever des adhésifs qui se trouvaient sur des textiles. Il convient de noter que l'utilisation d'un cataplasme n'est pas appropriée pour certains objets (p. ex. certains textiles et cuirs), car la matière du cataplasme peut être difficile à enlever après le traitement, dans certains cas (Morse, 1998).

L'application du solvant par tamponnement, par badigeonnage ou par vaporisation

L'application du solvant par tamponnement, par badigeonnage ou par vaporisation sur le joint peut aider à enlever l'adhésif couche par couche, à mesure que la couche supérieure forme un gel ou qu'elle gonfle au contact du solvant. De plus, le solvant peut être appliqué sur un support, qui sera détaché par la suite.

Tableau 5. Certaines matières à cataplasme employées pour enlever des adhésifs sur des textiles
(Lemiski, 1998; Goetz, 1989, p. 98, 1989b, p. 641; Heuman et Garland, 1987)

Nom	Constituant chimique	Adhésifs retirés	Commentaires
sépiolite	silicate de magnésium hydraté	gomme-laque nitrate de cellulose poly(acétate de vinyle) colle animale	fonctionne bien barrière requise
attapulgite	silicate d'aluminium et de magnésium	usage limité	bonne absorption des solvants
Laponite	silicate de magnésium	gomme-laque pâte d'amidon colle de peau	fonctionne bien avec l'eau et l'éthanol fonctionne mal avec les solvants non polaires barrière requise pas aussi efficace que les cataplasmes de sépiolite ou de papier laisse des cernes
méthylcellulose	méthylcellulose	pâte d'amidon	fonctionne bien
Arbocel 1000	cellulose de bois de feuillus naturelle	taches d'encre	bonne capacité d'absorption facile à manipuler les fibres et les résidus se retirent bien

L'immersion
L'immersion d'un objet dans un solvant permet habituellement à une plus grande quantité de solvant d'atteindre le joint, à condition que l'objet soit poreux. Cette technique peut également être la plus risquée pour l'objet. Il convient donc de bien réfléchir avant de l'utiliser. L'objet ne doit pas réagir du tout au solvant choisi.

L'effet du solvant de l'adhésif original et du vieillissement sur la réversibilité ultérieure

Mentionnons, pour clore la présente section sur les solvants, que la qualité du solvant original utilisé pour fabriquer l'adhésif peut avoir un effet sur la capacité à l'enlever par la suite. Une étude a montré que les feuils faits avec de « bons » solvants mettaient plus longtemps à se dissoudre, après un vieillissement à la lumière, que les feuils faits avec de « mauvais » solvants (Lawrence, 1990). Il est également important de souligner que, à mesure que les matières organiques (p. ex. les adhésifs) vieillissent, leur polarité augmente et il se peut qu'il soit nécessaire d'utiliser des solvants plus polaires pour les enlever (Blank et Stavroudis, 1989).

Les enzymes

Les enzymes sont des protéines qui peuvent aider à enlever certains adhésifs. Elles sont habituellement utilisées quand toutes les autres techniques se sont révélées inefficaces. Les enzymes catalysent la dégradation (le fait d'enlever l'adhésif) sans être consommées pendant le processus. L'amylase est utilisée pour enlever les adhésifs à base d'amidon. Les protéases, quant à elles, peuvent être utilisées pour décomposer les adhésifs à base de protéines, comme la colle de peau et la gélatine (Decoux, 2002; Tse et Guild, 1996). La lipase a déjà été utilisée avec succès pour enlever des adhésifs acryliques (Belluci *et al.*, 1999). Les enzymes ayant une grande pureté et une grande activité fonctionnent le mieux. Elles doivent être utilisées à des concentrations, à des températures et à un pH précis (pour produire un effet optimal), sinon la durée du traitement s'allonge et plus de résidus demeurent sur le substrat (Decoux, 2002). Les enzymes peuvent être appliquées par tamponnement, par badigeonnage, par immersion ou à l'aide d'un cataplasme. Si le substrat n'est pas soigneusement rincé après un traitement enzymatique, un changement de couleur peut se produire. Il convient d'être prudent lorsque des enzymes sont utilisées sur des substrats à base de protéines, comme les parchemins et les photographies à émulsion de gélatine, ou sur d'autres substrats qui peuvent renfermer de l'amidon, un encollage ou des liants protéiniques. Lorsqu'elles ne sont pas utilisées, les poudres d'enzymes doivent être entreposées dans un contenant sec au congélateur pour éviter qu'elles ne perdent leur activité. Decoux (2002) a publié un excellent article de synthèse sur l'utilisation des enzymes dans le domaine de la conservation du papier qui fournit plus de renseignements sur ces dernières.

Les microémulsions

L'une des plus récentes techniques pour enlever les polymères acryliques ou vinyliques est l'utilisation de microémulsions et de solutions micellaires. Cette technique a permis d'enlever efficacement des résines de polymères acryliques qui se trouvaient sur des fresques par le biais de l'application de microémulsions contenant du dodécylsulfate de sodium, du pentanol, du *p*-xylène, des diluants nitrés et de l'eau, ainsi que des résines vinyliques à l'aide de dodécylsulfate de sodium, de pentanol, de polycarbonate et d'eau (Carretti *et al*., 2003). Ces résines n'étaient pas solubles dans les solvants habituels utilisés selon les techniques régulières.

5 Un bref survol des enjeux liés à la consolidation

George Wheeler, Université Columbia et Stefan Michalski,
Institut canadien de conservation

La consolidation est une méthode permettant de renforcer les matériaux détériorés, affaiblis, friables ou qui s'effritent ou se désagrègent, comme la peinture pulvérulente, la pierre en état de désagrégation saccharoïde ou le bois détérioré. Le présent chapitre ne se veut pas un précis sur la consolidation; il vise plutôt à examiner certains enjeux liés à ce traitement, ainsi qu'à définir certains termes de base. Le lecteur est invité à consulter les publications sur la consolidation d'objets particuliers (p. ex. les objets en pierre, en bois ou les peintures) pour une discussion plus approfondie du sujet.

Les agents de consolidation

De manière générale, les agents de consolidation doivent avoir les propriétés suivantes : ils ont la capacité de mouiller le substrat et d'y pénétrer, ils ne modifient pas l'apparence de l'objet, ils permettent des traitements ultérieurs et ils ont une longue durée de vie utile (Koob, 1981). Souvent, les agents de consolidation sont composés des mêmes polymères organiques que les adhésifs. Dans ce cas, les matériaux introduits permettent de combler les vides et de lier les fragments peu consolidés (**figure 1**). Dans d'autres cas, les agents de consolidation subissent des réactions chimiques dès leur introduction dans le substrat. Ces réactions peuvent entraîner la formation de solides qui remplissent les vides. Ces solides peuvent également se lier ou réagir avec le substrat en plus de combler les vides. Dans tous les cas, l'objectif premier de la consolidation est d'assurer une pénétration complète dans le substrat détérioré (Newey *et al.*, 1992). De plus, il est impératif que l'agent de consolidation demeure en place une fois qu'il a pénétré adéquatement le substrat (Newey *et al.*, 1992). L'efficacité du traitement peut dépendre de plusieurs facteurs, notamment la porosité, la perméabilité et les propriétés de surface du substrat à consolider; la masse moléculaire, les paramètres de solubilité et, dans certains cas, la pression de vapeur de l'agent de consolidation; les paramètres de solubilité et la pression de vapeur des solvants utilisés; et enfin, la technique d'application.

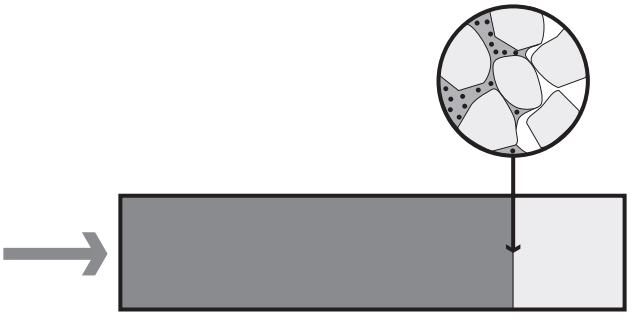


Figure 1. Coupe transversale illustrant la pénétration d'un agent de consolidation dans un objet. La flèche (à gauche) indique la surface de l'objet où est appliqué l'agent de consolidation. Le cercle offre une vue microscopique du front capillaire.

L'efficacité de la pénétration

Les matériaux ou les objets à consolider possèdent des « pores », c'est-à-dire des vides entre les particules ou les fibres qui composent les matériaux ou les objets (Michalski, 2008). La porosité effective d'un objet se mesure par la quantité de pores communicants qui permettent l'écoulement. Pour que le traitement de consolidation soit efficace, la porosité effective doit être suffisante (Newey *et al.*, 1992). La perméabilité désigne la capacité d'un substrat donné à permettre l'écoulement de fluides dans son réseau de pores, les principaux facteurs déterminants étant la taille et la longueur des pores. La porosité et la perméabilité sont des propriétés intrinsèques du substrat qui ne peuvent être modifiées. Cependant, les objets détériorés ont, de façon générale, une porosité effective et une perméabilité supérieures à celles des objets non détériorés, ce qui facilite leur consolidation et fait en sorte que l'agent de consolidation puisse y pénétrer à une profondeur adéquate.

Une faible viscosité est également essentielle à la pénétration adéquate de l'agent de consolidation dans un objet. Il est possible de modifier la viscosité d'une solution de consolidation. Cette propriété dépend de la masse moléculaire de l'agent de consolidation, du choix de solvant, de la concentration et, dans le cas des dispersions, « de la taille des particules ainsi que de la présence de stabilisants, d'émulsifiants ou d'agents de surface » [traduction] (Koob, 1981, p. 86).

Bien entendu, l'agent de consolidation doit d'abord mouiller le substrat afin de pouvoir y pénétrer. Pour y

parvenir, les forces d'adhésion entre la solution de consolidation et le substrat doivent être supérieures aux forces cohésives dans la solution de consolidation. Le degré de mouillage est déterminé par l'agent de consolidation et le solvant utilisés. Ces derniers sont choisis en fonction des propriétés de surface du substrat, des paramètres de solubilité de l'agent de consolidation et du solvant, ainsi que de la tension superficielle du solvant.

La prévention de la migration inverse

La migration inverse se produit pendant le séchage de l'objet consolidé lorsque la solution transportant l'agent de consolidation remonte vers la surface par capillarité et y dépose l'agent de consolidation (**figure 2**). Dans la plupart des cas, ce phénomène n'est pas souhaitable, sauf peut être pour le bois dont la surface est détériorée, auquel cas la migration inverse pourrait être bénéfique. Plusieurs facteurs contribuent à la migration inverse, notamment la structure de l'objet et le matériau qui le compose, le choix du solvant, la masse moléculaire et la viscosité de la solution, ainsi que les conditions de séchage (Domaslowski, 1988). La migration inverse peut être évitée par l'utilisation de techniques de précipitation ou de polymérisation *in situ* ainsi que par le recours à des agents de consolidation qui réagissent avec la surface.

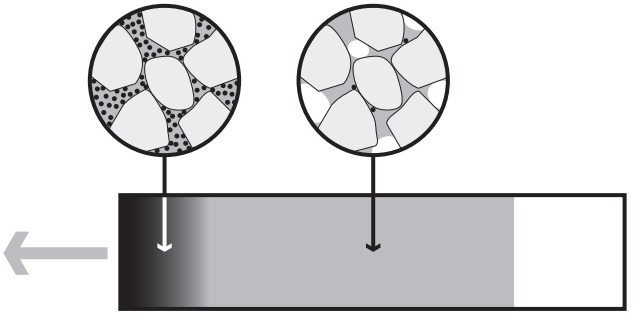


Figure 2. Coupe transversale illustrant la migration inverse de l'agent de consolidation pendant le séchage. L'agent de consolidation s'accumule à la surface de l'objet (zone foncée, à gauche) après la migration inverse. La flèche indique le sens de la migration inverse. Le cercle offre une vue microscopique du phénomène.

Le choix du solvant et l'effet chromatographique

Lorsqu'une solution de consolidation traverse un matériau poreux, une couche de molécules de l'agent de consolidation se fixera directement sur la paroi des pores dans le cas de certains solvants, mais pas pour d'autres. Les solvants qui ne permettent pas le dépôt de cette couche sont qualifiés d'éluants puissants pour la combinaison de matériau et d'agent de consolidation en question. Si des solutions diluées sont utilisées dans le cadre d'un traitement de consolidation délicat visant des poudres fines, il peut être avantageux de recourir à des éluants faibles, car ils entraîneront le dépôt d'au moins une certaine quantité de l'agent de consolidation sur la majeure partie de la zone mouillée par la solution. De plus, ce dépôt ne subira aucune migration inverse pendant le séchage (Michalski, 2008). Les études portant sur la consolidation des peintures pulvérulentes semblent indiquer que la polarité est également un indicateur utile de l'effet chromatographique (Michalski et Dignard, 1997).

La viscosité d'une solution

Si la solution utilisée est visqueuse, mais assez fluide pour pénétrer jusqu'à la profondeur souhaitée dans le temps prévu, et que l'évaporation est empêchée jusqu'à ce que cette pénétration lente soit terminée, la migration inverse est alors évitée. En effet, après un court temps de séchage, la solution devient trop visqueuse pour se déplacer, et seule une migration inverse négligeable se produira pendant le reste du séchage. Cette technique n'est pas adéquate si le changement de couleur doit être réduit au minimum, étant donné qu'elle entraîne le dépôt d'un volume important d'agent de consolidation sec.

La masse moléculaire et la vitesse de séchage

Lorsqu'ils sont utilisés avec des solutions diluées et que le séchage est lent, les polymères de faible masse moléculaire subiront une migration inverse moindre, car ils diffuseront dans le sens inverse de l'écoulement capillaire vers la surface. Ce phénomène est appelé « inversement de la migration inverse » (Michalski, 2008).

La polymérisation *in situ* ou la précipitation

La technique de polymérisation *in situ* consiste à appliquer des monomères ou des oligomères qui se polymérisent dès leur introduction dans l'objet. Des résines thermodurcissables, comme les résines époxy, sont également utilisées pour obtenir un polymère *in situ* qui demeure en place après que les systèmes à deux constituants ont réagi. Les agents de consolidation à base d'alcoxysilane utilisés pour la pierre contiennent des monomères et des oligomères de faible viscosité qui se polymérisent à la suite de

réactions d'hydrolyse et de condensation au contact de la vapeur d'eau. Les concentrations de catalyseur choisies permettent de produire des solides avant que la migration inverse ne survienne.

Les techniques de précipitation consistent, dans un premier temps, à utiliser un solvant dans lequel le monomère est soluble afin de transporter le monomère dans l'objet à consolider et, dans un deuxième temps, à faire sécher l'objet en présence de vapeurs provenant d'un autre solvant dans lequel le monomère est insoluble. Le deuxième solvant remplace graduellement le premier solvant dans l'objet, ce qui force la précipitation du monomère (l'agent de consolidation). Le monomère n'est pas enlevé de l'objet par le deuxième solvant au moment de l'évaporation (Domaslowski, 1988).

Une autre technique de précipitation consiste à utiliser un solvant qui dissout le monomère et non le polymère nouvellement formé, de sorte qu'il n'entraînera pas le polymère avec lui au moment de l'évaporation (Phillips, 1986). Cette technique de précipitation est utile, car elle permet le dépôt d'un polymère de masse moléculaire élevée grâce à une pénétration profonde et uniforme qui ne tache pas l'objet tout en laissant des pores ouverts (Phillips, 1986). Il est important de laisser des pores ouverts, étant donné qu'ils permettent à l'objet de respirer, de prendre de l'expansion ou de se contracter en réponse aux variations thermiques. Ils permettent en outre d'enlever ultérieurement le polymère à l'aide de solvants (Phillips, 1986).

Les agents de consolidation réagissant avec la surface

La consolidation est parfois réalisée par l'application de solutions qui réagissent avec la surface. Ces solutions consomment une partie du substrat et génèrent un produit de conversion volumineux qui, vu sa bonne adhérence, permet de consolider dans une certaine mesure les substrats fragiles. Les solutions à pH équilibré de tartrate d'ammonium ou d'oxalate d'ammonium – qui réagissent avec la calcite présente dans le marbre et le calcaire – en sont deux exemples courants.

Les techniques de consolidation

Une variété de techniques de consolidation sont utilisées selon la nature de l'objet à consolider, la disponibilité de l'équipement et le degré de consolidation recherché ou réalisable. Ces techniques comprennent l'application à l'aide d'un pinceau, d'une seringue, d'un tube, d'un pulvérisateur ou d'un nébulisateur, l'imprégnation (p. ex. par immersion, parfois avec agitation ou sous vide) et l'alimentation par gravité.

Certaines de ces techniques modifient la viscosité de la solution et, par conséquent, sa capacité d'atteindre le site à consolider. Par exemple :

- si une solution est appliquée à l'aide d'un pinceau, la viscosité de l'agent de consolidation augmente si l'intervalle est long entre le moment où le pinceau est trempé et le moment où le produit est appliqué;
- bien que les seringues et les applicateurs en tube permettent d'appliquer un agent de consolidation à la viscosité désirée, ils peuvent endommager l'objet aux sites d'injection (p. ex. dans le cas des peintures);
- les pulvérisateurs permettent d'appliquer de grandes quantités d'agent de consolidation sur l'objet, mais les gouttelettes produites sont parfois plus grosses que les particules à consolider et leur viscosité peut augmenter avant qu'elles n'atteignent l'objet;
- la nébulisation d'un agent de consolidation sur une surface permet d'appliquer délicatement de petites quantités d'agent de consolidation en fines gouttelettes sur des surfaces fragiles (p. ex. les peintures pulvérulentes), dont la viscosité est semblable à celle de la solution originale;
- l'utilisation de sacs imperméables aux vapeurs de solvant permet de réduire l'évaporation du solvant pendant l'application et le séchage, ce qui aide à maintenir une faible viscosité (Michalski, 2008).

Il peut également être souhaitable de contrôler le processus de séchage ou d'évaporation. Pour que le traitement de consolidation soit efficace, le séchage doit se faire lentement, car il faut prévoir suffisamment de temps pour la pénétration et la prise de l'agent de consolidation avant que la migration inverse ne se produise (Domaslowski, 1988). Pour que la pénétration de l'agent de consolidation se fasse sans migration inverse, il faut appliquer un film barrière ou effectuer le séchage en présence de vapeurs de solvant.

La capacité de retirer l'agent de consolidation

L'une des principales préoccupations en ce qui a trait à la consolidation d'un objet est la capacité de retirer l'agent de consolidation sans endommager l'objet en question. Dans le cas de la consolidation, la capacité de retirer le produit est beaucoup plus problématique

que l'enlèvement d'un joint formé avec un adhésif, car l'agent de consolidation imprègne toute la zone détériorée de l'objet s'il est appliqué de manière adéquate. Il est presque impossible de le retirer complètement sans causer de dommages, d'autant plus que les objets consolidés sont habituellement peu stables au départ. Il est alors plus réaliste de viser à ce que le traitement choisi n'empêche pas d'effectuer de futurs traitements de consolidation. Même si la durabilité des agents de consolidation est souhaitable, force est de constater que, dans la pratique, les objets doivent souvent faire l'objet de traitements de consolidation supplémentaires, même après seulement quelques années.

6 Renseignements techniques sur les classes d'adhésifs et leur vieillissement

Jane L. Down, Institut canadien de conservation

Introduction

Le présent chapitre a pour but de décrire les propriétés techniques des *principales* classes d'adhésifs utilisées en conservation. Il résume les résultats de diverses études menées jusqu'ici par des chercheurs dans le domaine de la conservation pour définir les propriétés chimiques et physiques des adhésifs ainsi que les effets du vieillissement. Le lecteur obtiendra ainsi un aperçu global des propriétés connues de chaque classe d'adhésifs.

Les classes d'adhésifs et les produits qui sont actuellement offerts sur le marché, ou qui l'ont été par le passé, sont très nombreux. Or, dans un ouvrage de la taille de celui-ci, il est impossible de tous les examiner en détail. Les classes d'adhésifs retenues pour les besoins de cet ouvrage sont énumérées ci-dessous et présentées dans ce chapitre dans l'ordre suivant :

Produits organiques naturels
protéines, polysaccharides, éthers de cellulose, esters de cellulose, gomme-laque

Produits organiques synthétiques
poly(acétates de vinyle), poly(alcools de vinyle), poly(butyrals de vinyle), acryliques, cyanoacrylates, poly(2-éthyl-2-oxazoline), résines époxy, nylons solubles

Produits partiellement inorganiques
silicones (polysiloxanes) et silanes

Cette liste comprend les adhésifs les plus souvent utilisés à des fins de conservation, ainsi que certains adhésifs, comme la gomme-laque, le nylon soluble, le poly(alcool de vinyle) et le nitrate de cellulose, dont l'utilisation n'est pas nécessairement recommandée de nos jours. Cependant, à cause de leur utilisation antérieure, ces adhésifs peuvent se trouver dans les collections et peuvent causer des problèmes. En raison du manque d'espace, ce chapitre contient peu d'information sur les matériaux inorganiques (p. ex. le plâtre), le caoutchouc naturel, le polyester, le polyuréthane (PUR), le caoutchouc styrène-butadiène (CSB), le néoprène et les résines formaldéhyde, car ces matériaux sont peu ou pas utilisés en conservation pour diverses raisons. Ils s'oxydent, perdent de l'adhérence ou tachent les substrats (p. ex. le caoutchouc); ils s'effritent (p. ex. le CSB); ils jaunissent (p. ex. le PUR, le polyester); ils contiennent des composés chlorés (p. ex. le néoprène) ou ils sont fortement réticulés et, donc, insolubles (p. ex. les résines formaldéhyde).

Pour chaque classe d'adhésif abordée dans ce chapitre, un tableau en début de section présente, aux fins de consultation rapide, quelques faits connus sur les mécanismes de prise (p. ex. la solidification, l'évaporation, le durcissement chimique), la catégorie d'adhésifs (p. ex. thermoplastique, thermodurcissable), la capacité d'absorption d'eau, l'indice de réfraction, la température de transition vitreuse, la viscosité, le pH et le coefficient de dilatation linéaire. Ce tableau est suivi de renseignements concernant les abréviations; les types, synonymes et noms commerciaux; la chimie et la préparation; l'historique et l'utilisation; les caractéristiques, limites et études sur le vieillissement; ainsi que la solubilité et la capacité d'enlèvement. Dans la section portant sur les caractéristiques, les limites et les études sur le vieillissement, les propriétés générales sont présentées en premier, suivies de renseignements pertinents aux différentes spécialités en conservation, à commencer par les spécialités où les substrats utilisés sont plutôt souples (p. ex. le papier, les textiles), puis des spécialités où les substrats utilisés sont semi-souples, puis enfin des spécialités où les substrats utilisés sont plus rigides (p. ex. la pierre, les fossiles).

Puisque la composition des adhésifs peut varier à l'intérieur d'une même classe, il est important de noter que, sauf indication contraire, les propriétés énumérées sont les propriétés générales des adhésifs représentatifs de cette classe.

Enfin, il est fortement recommandé de prendre les précautions nécessaires en matière de santé et de sécurité chaque fois qu'un adhésif ou un agent de consolidation est utilisé, surtout en présence de solvants. Certains adhésifs sont accompagnés de mises en garde particulières; elles se trouvent, le cas échéant, dans la section « Questions de santé » de la classe d'adhésifs visée. Il est également important de toujours lire attentivement la fiche technique fournie par le fabricant et la fiche signalétique, ainsi que de prendre les précautions recommandées avant d'utiliser l'adhésif. En principe, il faut éviter tout contact cutané avec l'adhésif (en portant des gants de protection appropriés) et travailler dans des lieux bien ventilés (par un système d'aspiration des vapeurs).

Les protéines

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation (types liquides) évaporation et solidification de liquide (types gels et thermofusibles)		6 à 8 fois leur masse, les feuils chauffés à plus de 100 °C deviennent résistants à l'eau	gélatine 1,516-1,534
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**		**pH**
pour la colle : 220 (sans présence d'eau) 45 (à 50 % HR) 22 (à 80 % HR)	peut varier selon la distribution des masses moléculaires, la concentration, la température, les liaisons intermoléculaires, la dénaturation ou l'application ou non d'un prétraitement alcalin ou acide. colle d'os – faible à moyenne colle de peau – moyenne à élevée colle de peau de lapin – élevée gélatine de mammifère – moyenne à élevée isinglass – la plus élevée gélatine de poisson – moyenne à élevée colle de poisson liquide – élevée (4 000-6 000) colle de peau liquide froide – élevée (4 000)		colle (en général) 5,5-8,0 colle d'os 5-7 colle de peau 6,5-7,4 colle de peau de lapin 5,0-7,5 gélatine de mammifère 5,0-6,5 isinglass 6,0-7,5 gélatine de poisson 3,5-5,0 colle de poisson liquide 4,0-6,0 colle de peau liquide froide 6,5

(Horie, 2010, p. 232; Schellman, 2007; Paper Conservation Catalog, 1994, p. 42-46; Brandis, 1990)

Abréviation

CPL colle de peau de lapin

Types, synonymes et noms commerciaux

albumine, Alfabond, Canada Standard, caséine, colle, colle à bouche, colle animale, colle au chrome, colle d'emballage, colle d'équarrissage, colle d'esturgeon, colle de parchemin, colle de peau, colle de peau de cerf, colle de peau de lapin (CPL), colle de peau froide, colle de peau liquide ou colle de peau liquide froide, colle de poisson, colle de poisson liquide, colle d'os, colle d'os extraite, colle-pâte, colle Scotch, Comet, Fezandie, Fisher, Franklin's, Fredrix, Ganes, gélatine (de poisson ou de mammifère), Grumbacher, Holbein, isinglass, Knox, LePage, Norland, protéine adhésive de moule, Seccotine

Chimie et préparation

Le collagène est la substance mère des colles animales, des colles de peau, des colles d'os, de la CPL, des colles de poisson, de l'isinglass, des gélatines et de toute colle de protéine. Il s'agit de la principale protéine des tissus conjonctifs, de la peau et des os. Elle est composée d'acides aminés reliés par liaison peptidique formant une structure de triple hélice (Nguyen, 2006). La *colle de peau* est obtenue à partir de rognures de peaux de bovins ou de veaux, de porcs ou de moutons (à l'exclusion des ongles, des sabots, des cornes et des poils), alors que la *colle d'os* est obtenue à partir des os de bovins et de porcs. La *CPL* est obtenue à partir de peaux de lapin une fois les poils enlevés (Adams, 1980), mais elle peut aussi contenir d'autres déchets ou colles à base de collagène (Schellman, 2007). La *colle de poisson* est obtenue à partir de peaux ou de vessies natatoires de poissons non gras (vessies natatoires d'esturgeon raffinées en tant qu'isinglass) (Schellman, 2007). La *colle* et la *gélatine* sont essentiellement la même matière, la gélatine étant une version plus purifiée et plus raffinée (filtrée et blanchie) de la colle d'os ou de peau; elle est généralement obtenue à partir de matières brutes plus fraîches (Adams, 1980). La colle est obtenue au moyen d'un procédé plus rapide et moins coûteux.

La colle ou la gélatine est obtenue en chauffant la peau, les os, les vessies, etc., dans de l'eau. Au cours de ce procédé, le collagène – qui est normalement

insoluble – devient soluble par dénaturation. La température de dénaturation varie selon la source du collagène. Le collagène de mammifère se dénature à 40-41 °C, alors que le collagène de poisson se dénature à des températures plus faibles, à 15-36 °C (Schellman, 2007). De manière générale, pour produire une colle adéquate, un traitement vigoureux (pH extrême, durée de traitement plus longue, températures plus élevées) est nécessaire pour les matières provenant de mammifères plus âgés, alors qu'un traitement délicat est nécessaire pour les matières provenant de jeunes mammifères ou de poissons (Schellman, 2007). Les colles ou les gélatines de la plus haute qualité sont obtenues lors de la première extraction et sont habituellement incolores, transparentes et amorphes. Les colles ou les gélatines de qualité moyenne sont obtenues lors d'une deuxième extraction et sont généralement de couleur jaune à brun clair. Les colles ou les gélatines de moindre qualité proviennent d'extractions finales et sont brunes.

Les procédés servant à produire la colle d'os et la colle de peau sont résumés ci-après (Adams, 1980; Perry, 1944) :

- la *colle d'os* est obtenue en broyant des os qui sont ensuite dégraissés pour éliminer les matières grasses. La viande et le cartilage sont éliminés, et les os sont trempés et rincés dans de l'eau afin d'éliminer les impuretés, le sang et les saletés. Ils sont ensuite extraits à l'eau chaude et à la vapeur, et cet extrait, qui est la colle, est soutiré. Ce procédé est répété plusieurs fois. Les sous-produits de la colle d'os servent à faire de la porcelaine d'os et des engrais. La *colle d'emballage* est produite à partir de matières (os) plus fraîches. La *colle d'équarrissage* est produite à partir d'os (moins frais) provenant de boucheries, de restaurants, etc. La *colle d'os extraite* est produite à partir de toutes sortes d'os, comme des os frais provenant des abattoirs et d'os légèrement décomposés provenant de boucheries (Perry, 1944);
- pour obtenir la *colle de peau*, les peaux sont lavées dans de l'eau froide afin d'éliminer les saletés, le sang, etc. Elles sont ensuite placées dans un bain d'eau de chaux pendant plusieurs mois, ce qui permet d'éliminer les poils. Elles sont rincées et neutralisées afin d'éliminer la chaux. Elles sont ensuite extraites à l'eau chaude, et cet extrait, qui est la colle, est soutiré. Comme pour la colle d'os, ce procédé est répété plusieurs fois. Si la peau est tannée au chrome, les sels sont éliminés et la colle ainsi obtenue est appelée *colle au chrome* (Adams, 1980);
- après ce traitement, les extraits pour les colles d'os ou de peau sont traités de la même manière. Ils sont filtrés, combinés à des agents de conservation et parfois blanchis. L'eau est ensuite évaporée et le solide résultant est mis sous forme de gâteaux, de billes, de grains ou de poudres. La colle *Scotch* est un nom ancien donné à toute colle sous forme d'un gâteau épais (Adams, 1980).

Les *colles de peau liquides* contiennent des additifs (un dépresseur de gel, comme la thio-urée) pour les maintenir à l'état liquide à la température ambiante, ce qui empêche la croissance microbienne et réduit la sensibilité à l'humidité des feuils secs (Schellman, 2007). Schellman (2007) indique que la plupart des colles animales contiennent un agent de conservation (p. ex. du dioxyde de soufre) mais peuvent aussi contenir d'autres additifs. Schellman laisse entendre que le choix le plus sûr en conservation est une colle qui a été modifiée le moins possible (p. 56).

Dans des textes anciens du XIV^{e} siècle jusqu'au XVIII^{e} siècle, il est question de *colle à bouche*, produite à partir de « colle protéique (principalement de la colle d'esturgeon ou de parchemin), de gomme adragante, de sucre et d'eau » [traduction] (Beentjes, 2005, p. 13). Pour activer la colle à bouche, il suffisait de placer un morceau de colle dans la bouche jusqu'à ce qu'elle ramollisse. La colle était ensuite étalée sur le parchemin à réparer. Le sucre adoucissait la colle, la rendait plus malléable et augmentait le mouillage.

La colle de *caséine* est dérivée des protéines du lait, alors que l'*albumine* est dérivée du sérum (sang) de mammifère ou du blanc d'œuf.

La *protéine adhésive de moule*, sécrétée par les glandes des pieds des moules, est un autre type de colle protéique. Elle contient de la lysine (jusqu'à 20 %) et des acides aminés hydroxylés (jusqu'à 50 %) et elle possède une masse moléculaire d'environ 130 000 (Sigma-Aldrich).

Identification

Schultz et Peterson (2011) ont utilisé une technique faisant appel aux anticorps appelée technique immuno-enzymatique indirecte afin d'identifier les adhésifs et les liants de nature protéique. Ils ont montré que cette technique permettait non seulement de différencier le collagène d'esturgeon du collagène d'autres poissons, mais aussi de faire la distinction entre l'ovalbumine, la caséine et le collagène animal.

L'empreinte peptidique massique est une autre technique permettant d'identifier les protéines qui sert à distinguer l'origine des espèces utilisées dans des colles animales (Kirby *et al*., 2011). Cette technique

requiert un protocole d'extraction et de digestion des protéines, suivi d'une analyse par spectrométrie de masse avec désorption/ionisation laser assistée par matrice (MALDI). Des ions provenant de standards sont utilisés pour l'identification.

Historique et utilisation

Bien que l'origine de la colle animale soit inconnue, elle remonte probablement bien avant les écrits historiques (Adams, 1980). Le premier exemple attestant de l'utilisation de la colle, à des fins de placage, peut être observé sur des peintures égyptiennes datant du règne de Thothmès III (de 1479 à 1425 avant J.-C.) trouvées dans le tombeau de Rekhmirê, et est illustré sur la couverture du présent ouvrage (Gardner Wilkinson, 1854). Il est probable que la colle animale était couramment utilisée dans l'Égypte ancienne. Les colles animales et de poisson étaient utilisées par les Romains et les Grecs au cours du I^{er} siècle et par les Chinois du VII^{e} au IX^{e} siècle (Petrohova, 2000; Adams, 1980). La colle à bouche a été utilisée du XIV^{e} au XVIII^{e} siècle pour le papier et le parchemin (Beentjes, 2005). La colle d'os résulte d'un développement plus récent (Adams, 1980). La fabrication industrielle de colle a commencé au XVII^{e} siècle en Europe et au XVIII^{e} siècle en Angleterre (Adams, 1980). En Amérique, la fabrication de colle animale a commencé en 1808 (Gostling, 1989). Depuis les années 1950, la production de colle animale a décliné et il se peut que les colles animales modernes ne soient pas de la même qualité et de la même force que les colles plus anciennes (Brandis, 1990; Gostling, 1989).

Les colles et les gélatines ont été utilisées pour la fabrication des meubles et le travail du bois (Hurd, 1959, p. 19-20), les rubans gommés (Hurd, 1959, p. 19-20), l'encollage et les revêtements pour les textiles et le papier (Sweatt, 1945), les liants et l'encollage pour les encres et les peintures traditionnelles de l'Extrême-Orient (Winter, 1984), la reliure de livres (Hurd, 1959, p. 19-20), les émulsions photographiques (Von Endt, 1984) et divers produits alimentaires. Les colles de poisson adhèrent bien au verre, à la céramique, au métal, au bois, au liège, au papier et au cuir (Norland, 1977).

Dans le domaine de la conservation, la colle a été utilisée pour la conservation des meubles, le cartonnage de peintures, la consolidation de peintures et de préparations friables, et pour le doublage des peintures à la colle-pâte. La gélatine a été utilisée pour consolider l'ivoire, l'os, le bois, le schiste, la poterie et la porcelaine (Horie, 2010, p. 234).

La gélatine et la colle à parchemin ont été utilisées comme agents de consolidation, fixatifs et comme encollage pour le parchemin (Paper Conservation Catalog, 1994, p. 42-46). La gélatine a également servi en géologie et en paléontologie comme adhésif de surface, agent de consolidation et adhésif pour étiquette (Elder *et al.*, 1997).

La colle d'esturgeon, qui est maintenant de plus en plus difficile à obtenir et de plus en plus chère en raison du déclin des stocks de ce poisson, a été largement utilisée dans l'ancienne Union soviétique et dans de nombreux pays occidentaux pour consolider la peinture qui s'écaille, et elle a aussi été utilisée pour le doublage de peintures sur papier et sur toile (Rickman et McAusland, 1988). La colle de poisson a été utilisée dans les liants pour peinture, les revêtements, les préparations à base de craie, la dorure de manuscrits enluminés et les fixatifs à pastel (Petukhova, 2000).

La caséine a été utilisée comme liant pour les pigments et les préparations (Von Endt, 1984). L'albumine a été utilisée pour la production de contreplaqué et pour la suspension d'halogénure d'argent dans le revêtement de tirages photographiques (Von Endt, 1984).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Les colles sous forme de grains ou de poudres coûtent moins cher à produire que les colles sous forme de gâteaux, sont plus faciles à manipuler et nécessitent moins de trempage lors de leur préparation (Adams, 1980). Les colles animales offrent certains avantages, notamment leur capacité de rester flexibles dans les joints et de permettre de corriger les cloques, et le fait qu'elles ne tachent pas et qu'elles sont non toxiques, faciles à nettoyer, durables et fortes (Adams, 1980). Une fois sèches, les colles peuvent être poncées et elles ont une excellente résistance au fluage, aux solvants et aux chocs ainsi qu'une excellente rigidité, mais peuvent devenir cassantes en vieillissant (Young, 1999). De manière générale, les colles de peau sont plus fortes que les colles d'os, car leur procédé de fabrication est plus délicat (température d'extraction plus basse) (Adams, 1980). Les colles de peau ont habituellement une force supérieure à celle du bois ou des substrats fibreux (Shields, 1984, p. 37). Dans des conditions sèches, elles forment des joints très forts qui peuvent former des joints structuraux à condition de demeurer à l'intérieur (Shields, 1984, p. 37).

Dans une étude ancienne, Rosser (1939) a analysé diverses colles animales utilisées en menuiserie et en a défini les propriétés suivantes :

- la gélatine provenant d'os possède une viscosité et une force en gelée différentes de celles des gélatines de peau;
- la colle animale se décompose quand la température est supérieure à 60 °C, et un chauffage continu la rend très cassante;
- le trempage dans l'eau froide avant le chauffage est le meilleur moyen de produire de la colle, sinon des grumeaux se forment, ce qui nécessite des températures plus élevées pendant plus longtemps afin que les colles soient mises en solution;
- ces colles forment des joints minces si la pénétration de la colle est excessive, ce qui réduit la force des joints;
- même si l'adhésion mécanique est une composante essentielle de la force du joint, la concentration de la colle doit être adéquate afin d'éviter tout retrait;
- l'application d'une force de pression ou de serrage favorise la force du joint et démobilise le joint pendant que sa force se développe;
- une colle alcaline favorise la croissance bactérienne, contrairement à une colle légèrement acide.

Schellman (2007) a publié un excellent article de synthèse sur les propriétés des colles animales et de poisson. En voici les grandes lignes :

- la *température de gélification* de la gélatine dépend de la source du collagène. À titre d'exemple, la gélatine de mammifère se gélifie à 30-35 °C, alors que la gélatine de poisson d'eau froide se gélifie à environ 8 °C;
- la *force en gelée* ou *résistance de Bloom* (la rigidité du gel ou la force nécessaire pour obtenir un creux d'une profondeur donnée à une concentration et à une température données au moyen d'un piston standard [Rousselot]) dépend de la masse moléculaire moyenne et de l'ampleur de la dénaturation (la masse moléculaire diminue en cas de prétraitement vigoureux et de chaleur excessive prolongée). Les masses moléculaires de diverses colles et gélatines sont indiquées au **tableau 1**. La résistance de Bloom est directement liée à la force du joint, au taux d'absorption d'eau, à la viscosité et à la température de gélification. La force en gelée peut varier de 500 g pour les colles de peau fortes à 30 g pour les colles d'os faibles, alors qu'elle est encore plus faible pour les colles de poisson. Le délai de collage dépend de la température de gélification et de la force en gelée, alors que le temps de séchage dépend de la température ambiante et de l'humidité relative (HR). Un séchage lent permet à la structure moléculaire de mieux s'ordonner, ce qui se traduit par l'augmentation de la force de la colle. La colle ayant une résistance de Bloom plus élevée devient collante plus rapidement qu'une colle dont la résistance de Bloom est plus faible;
- la *viscosité* d'une solution de colle dépend de la distribution des masses moléculaires (les masses moléculaires plus élevées entraînent une viscosité plus élevée). L'isinglass, dont la viscosité et la masse moléculaire sont élevées, a une température de gélification plus basse que celle des colles de mammifère qui ont une masse moléculaire similaire mais qui se gélifient plus rapidement. La température de gélification plus basse de l'isinglass fait en sorte que la colle a plus de temps pour pénétrer à la température ambiante lors du traitement de consolidation, comparativement aux colles de mammifère. Si l'eau risque d'endommager un substrat, il est alors préférable d'utiliser une colle ayant une force en gelée plus faible lorsqu'une viscosité plus faible est recherchée, plutôt que de diluer une colle ayant une force en gelée plus élevée, car cela nécessite moins d'eau;
- le *pH* des colles et des gélatines varie et constitue un facteur important non seulement pour le substrat, mais également pour la colle ou la gélatine. Lorsque le pH de la colle ou de la gélatine se déplace de son point isoélectrique – qui est le point auquel les charges dans les molécules sont équilibrées – la viscosité, la température de gélification, l'absorption d'eau et le gonflement augmentent, alors que la force en gelée diminue. La molécule hélicoïdale de collagène peut se dérouler en présence d'acide ou de base, augmentant ainsi la viscosité, tandis que les sels neutralisent la charge et font diminuer la viscosité (Von Endt, 1984);
- la *résistance mécanique* des feuils secs augmente avec la force en gelée. La résistance à la traction

Tableau 1. Masses moléculaires de diverses colles et gélatines
(Schellman, 2007)

Colle ou gélatine	Masse moléculaire
os	faible-moyenne
peau	élevée
gélatine de mammifère	11 000 à 168 000
colle de peau de lapin	élevée
isinglass	15 000 à 300 000
colle de poisson liquide	60 000
gélatine de poisson	96 000 à 196 000

de la colle de peau est d'environ 39 MPa, et celle des colles de poisson d'eau froide et de la gélatine d'os, d'environ 22 MPa. La CPL, même si sa force en gelée est élevée, a une force de cohésion et une force de joint plus faibles que les colles de peau, probablement en raison de sa teneur en gras élevée. La rigidité dépend de la masse moléculaire et d'autres facteurs, la gélatine de mammifère possédant un module et une rigidité plus élevés que la gélatine de poisson. Une déshydratation excessive conduit à l'insolubilité dans l'eau, à une fragilisation et à une mauvaise résistance aux chocs. Des additifs (sucre, alcools, matières grasses et polysaccharides) sont souvent ajoutés pour accroître l'élasticité et la ténacité. Le fluage peut se produire lorsque la teneur en eau est élevée;
- en ce qui concerne les *conditions environnementales*, les colles de peau chaudes ne sont pas aussi sensibles à une fluctuation de l'HR ou de la température que les colles de peau liquides froides, et les colles de poisson liquides sont encore plus sensibles que les colles de peau liquides froides. La CPL est plus stable lorsque les conditions environnementales fluctuent, probablement en raison de sa teneur en gras. La dureté et la résistance à l'eau sont améliorées par l'ajout d'agents de tannage;
- la résistance de Bloom a un impact sur la *couleur* de la colle. Plus la résistance de Bloom est élevée, moins la gélatine est jaune. La gélatine et l'isinglass n'ont présenté aucun signe de changement de couleur lors d'études sur le vieillissement.

Sionkowska *et al*. (2009) ont laissé entendre que le mélange de colles animales avec des dispersions de poly(acétate de vinyle) (PACV) devrait être envisagé avec précaution, car l'ajout de collagène à du poly(alcool de vinyle) (PALV) – un colloïde protecteur fréquemment utilisé dans des dispersions de PACV – favorise la photo-oxydation du PALV soumis aux rayons ultraviolets (UV). Le collagène contient des chromophores qui absorbent les UV et l'énergie, laquelle est transférée à la molécule de PALV.

La colle au chrome est très pâle; elle a une faible odeur et une faible force en gelée (résistance de Bloom) (Adams, 1980).

Les colles de poisson sont généralement liquides à la température ambiante et ont une pégosité élevée. Cependant, après le séchage, elles ne sont pas collantes et elles peuvent être facilement poncées. De plus, elles ont une bonne force, une bonne rigidité ainsi qu'une bonne résistance à la chaleur et au fluage, bien qu'elles puissent devenir cassantes au fil du temps (Young, 1999; Norland, 1977).

Geissinger et Krekel (2009) semblent indiquer que la colle faite à partir de vessies de brochet ou de carpe pourrait remplacer la colle faite à partir de vessies d'esturgeon, un poisson de plus en plus difficile à obtenir en raison du déclin des stocks. Le brochet et la carpe sont abondants et plus faciles à obtenir. L'étude a démontré que les vessies d'esturgeon donnaient le meilleur rendement de produit (95,5 à 98 %) comparativement à la carpe (62 à 81 %) et au brochet (31 à 60 %). La colle obtenue à partir de vessies de carpe ou de brochet pourrait également produire un feuil plus cassant que celui obtenu avec la colle d'esturgeon. L'étude, qui portait également sur la viscosité, la force de collage et le vieillissement, a conclu que la colle de carpe pourrait être un bon produit de remplacement pour la colle d'esturgeon.

Les colles de caséine sont généralement alcalines et leurs feuils sont insolubles (Horie, 2010, p. 234). Elles produisent un fini dur, peuvent être poncées, ont une bonne force et une bonne rigidité, sont durables et ont une bonne résistance au fluage. Cependant, elles peuvent ternir les outils utilisés pour le travail du bois, tacher le bois à forte teneur en tanin comme le chêne et l'acajou, et subir une biodégradation (Young, 1999). Les colles de haute qualité possèdent une bonne résistance aux solvants et à l'humidité, alors que celles de moindre qualité ne résistent pas bien à l'humidité (Young, 1999).

La colle de protéine adhésive de moule a une force similaire à celle des cyanoacrylates et des résines époxy. Elle est non toxique, biocompatible et résistante à l'eau. Elle adhère à de nombreuses surfaces (verre, métal, tissus biologiques, matières plastiques, Téflon) (Sigma-Aldrich).

Résistance microbienne

Puisque les solutions de gélatine ou de colle sont susceptibles d'être attaquées par les microbes ou les champignons, elles devraient être réfrigérées quand elles ne sont pas utilisées, et le matériau sec devrait être conservé dans un endroit propre, frais et sec (Nguyen, 2006). À la fin des années 1980, dans l'ancienne Union soviétique, des substances comme l'*ortho*-phénylphénate et le pentachlorophénolate étaient utilisées comme fongicides pour la colle d'esturgeon, mais la stabilité des pigments en était affectée (Rickman et McAusland, 1988). Le nypagin, un sel d'ammoniac, a été utilisé comme substitut, en raison d'une meilleure compatibilité présumée avec les pigments. Dans les pays occidentaux, des fongicides comme le thymol ont été utilisés pour prévenir l'altération des solutions stockées et inhiber la croissance fongique. Toutefois, la pratique courante

consiste à moins recourir à l'utilisation de fongicides et à ne préparer plutôt que la quantité nécessaire pour une utilisation à court terme.

Fumigation des colles animales

La fumigation au bromure de méthyle (BM), à l'iodure de méthyle, à l'oxyde d'éthylène (OE), à un mélange de BM et d'OE, à l'oxyde de propylène ou au fluorure de sulfuryle, et les traitements à la chaleur (30 °C et 60 °C), au dioxyde de carbone ou par raréfaction de l'oxygène, n'affectent pas de manière significative la colle animale (Kigawa *et al*., 2011). Cela est probablement dû au traitement de préparation vigoureux dont font l'objet ces colles (utilisation de chaleur, d'eau et d'agents chimiques). Autrement dit, elles sont déjà dénaturées au moment de leur utilisation. Du brome ou de l'iode résiduel a toutefois été détecté dans les échantillons, même après cinq ans.

Papier

Baer *et al*. (1976) ont mené une étude sur le vieillissement thermique de diverses colles dont l'utilisation était envisagée pour la conservation du papier, notamment la colle de peau (Ganes Flexible Glue), la colle à base de caoutchouc (Best Test Paper), la dextrine (Yes Stikflat) et la colle végétale (849 Sta-flat). Les chercheurs, qui ont examiné les changements par rapport à la résistance au pliage, à la réflectance, au pH et à la couleur, ont conclu qu'aucune de ces colles ne pouvait être recommandée. Si la colle de peau montrait peu de changements de réflectance et de couleur, sa force et son pH changeaient beaucoup.

Des essais ont été effectués sur divers amidons, gélatines et éthers de cellulose (Klucels) utilisés pour le traitement des estampes et des dessins afin de déterminer les effets du vieillissement à la chaleur et à la lumière sur plusieurs paramètres (changement de couleur, temps de séchage en surface, capacité à former des feuils d'épaisseur constante, retrait, flexibilité, dureté, pH, force du joint, réversibilité) (Shashoua *et al*., 1990). La gélatine était relativement acide et elle a donné des résultats similaires à ceux de l'amidon de blé en ce qui concerne la réversibilité. Toutefois, en plus de démontrer une meilleure flexibilité, elle était la plus forte de toutes les colles mises à l'essai sur du papier. Les éthers de cellulose se sont avérés les meilleurs agents de consolidation, alors que l'amidon de blé s'est avéré l'adhésif le plus stable.

Les colles ont été utilisées comme liant traditionnel pour les pigments et comme encollage pour les peintures et les documents provenant de l'Extrême-Orient et de la Chine (Winter, 1984). Souvent, de l'alun était ajouté à l'encollage pour le rendre plus dur et moins soluble (Winter, 1984). L'acide formé par l'hydrolyse de l'alun aurait été partiellement tamponné par la réserve alcaline du papier et par la colle, qui est amphotère (Winter, 1984).

Cannon (2011) a déterminé trois voies réactionnelles qui pourraient créer des complexes insolubles et provoquer l'insolubilité des adhésifs naturels (protéines ou amidons) sur le papier : la présence d'ions métalliques multivalents, comme ceux du cuivre et du fer, ajoutés à d'anciens adhésifs aux fins de durcissement ou de préservation; la présence d'aldéhydes formés par l'oxydation de la cellulose associée au vieillissement; et les réactions de condensation de protéines avec des hydrates de carbone (réaction de Maillard).

Livres

Des colles animales ont été utilisées pendant des siècles pour la reliure des livres. Les recettes des relieurs sont, par tradition, des secrets bien gardés et peuvent inclure des additifs comme du sorbitol, des agents de conservation, des agents antimousse, des parfums, des plastifiants, des épaississants, des matières de charge, du sulfite d'ammonium, de l'alginate, de la résine jaune, des émulsions d'asphalte, de l'huile de lin, du sucre, des alcools dénaturés, de la glycérine et de l'ammoniac (Gostling, 1989).

Dans une étude ancienne menée par Belaya (1958), plusieurs colles naturelles [pâte d'amidon de blé (PAmB), dextrine, gélatine, colle d'os, colle d'esturgeon, éthylcellulose] et plusieurs adhésifs synthétiques [poly(acrylate de méthyle), PACV, PALV, poly(butyral de vinyle), colle perchlorovinylique] ont été comparés, avant et après un vieillissement à la chaleur et à la lumière, afin de déterminer leurs effets sur les reliures en cuir, notamment en ce qui a trait à la séparation des couches, au pouvoir adhésif, au renforcement et à la dureté. En plus d'être forte et élastique, la colle d'esturgeon ne changeait pas lors du vieillissement, mais elle était susceptible d'être attaquée par des bactéries, des moisissures ou des insectes. Toutefois, elle constituait le meilleur choix parmi les colles naturelles. Les colles synthétiques ont donné des résultats variés, et c'est l'éthylcellulose additionnée de plastifiant qui a été retenue.

Cire

Dans une expérience menée sur divers adhésifs utilisés pour des objets en cire, et réalisée à l'aide d'essais de résistance à la traction et au pliage, l'isinglass a donné des résultats acceptables pour la cire d'abeille, mais pas pour la paraffine ni pour la

cire du Japon (Lang, 2011). Une autre étude en était venue à la même conclusion en identifiant l'isinglass comme un bon choix pour les substrats en cire, étant donné qu'elle possède une force d'adhésion suffisante et qu'elle peut être éliminée assez facilement (Fischer et Eska, 2011).

Peintures

Dans une étude sur la force pouvant se développer dans divers éléments de peintures à l'huile sur toile en fonction de l'HR, les chercheurs ont trouvé que la CPL présentait une augmentation considérable de contrainte en cas de dessèchement (HR 80→10 %), comparativement à la peinture ou à la toile, et qu'elle était probablement la cause des dommages subis par les peintures à l'huile desséchées (Mecklenburg, 1988). La CPL desséchée a perdu 35 % de son poids sec, s'est contractée d'environ 3,6 % et a subi des contraintes dans un échantillon retenu. Dans des travaux ultérieurs, le coefficient de dilatation à l'humidité (la tendance à rétrécir ou à s'allonger) de la CPL était le plus bas à 55 % d'HR, et le plus élevé sous 40 % d'HR et au-dessus de 75 % d'HR. Lorsque tous les éléments de peintures de chevalet étaient pris en compte, il a été suggéré que la meilleure HR pour les peintures était d'environ 70 % (Mecklenburg *et al.*, 1998; Ballard, 1995; Mecklenburg *et al.*, 1995).

Dans une autre étude, Karpowicz (1990) a suivi la formation de craquelures dans des échantillons encollés et préparés avec de la CPL, avec ou sans toile. Différents motifs de craquelures ont été déterminés pendant le séchage et l'humidification; ils variaient selon la tension appliquée à l'échantillon, la gamme d'humidité étudiée et la durée d'exposition aux divers taux d'humidité.

Une étude menée sur diverses CPL (Holbein, Fredrix, Grumbacher), gélatines (Fezandie, Fisher, Knox) et isinglass (d'origine américaine, russe et finlandaise) en solution et sous forme de feuils secs a permis de montrer que les solutions de CPL étaient acides, avaient la tension superficielle la plus faible de tous les échantillons et que certaines viscosités augmentaient si le pH était neutralisé (Haupt et Dyer, 1990; Haupt *et al.*, 1990). Les feuils de CPL étaient plus extensibles que les feuils de gélatine dans des conditions d'HR élevée. Les solutions de gélatine étaient acides, avaient les tensions superficielles les plus élevées et voyaient leurs viscosités augmenter dans la plupart des cas à la suite d'une neutralisation. Les feuils de gélatine avaient une force adéquate dans des conditions d'HR élevée. Les solutions d'isinglass étaient quasi neutres et les moins visqueuses. Ces feuils étaient cassants dans des conditions ambiantes, mais très extensibles dans des conditions d'HR élevée, et ils réagissaient le plus fortement aux changements d'HR.
De manière générale, la neutralisation de toutes ces solutions provoquait une légère augmentation de l'extensibilité des feuils, alors que le chauffage des solutions durant une période prolongée entraînait une augmentation plus importante de l'extensibilité. Toutes ces colles faisaient baisser la tension superficielle de l'eau.

Les doublages à la colle-pâte sont utilisés pour les peintures depuis les années 1600, mais sont passés de mode à la fin du XIX^{e} siècle en raison des effets nocifs de l'humidité sur les toiles, qui provoque la contraction ainsi que la perte de peinture et de préparation (Ackroyd, 1995). Une étude moderne sur les propriétés mécaniques de ces revêtements a été réalisée en utilisant les mélanges suivants dans divers rapports : amidon de blé/gélatine, farine de blé/colle d'esturgeon et farine de blé/colle d'os (Ackroyd, 1995). De manière générale, plus la quantité de colle était importante, plus la résistance au pelage augmentait. Les mélanges d'amidon de blé et de gélatine offraient les résistances au pelage les plus élevées; ce type de mélange contenant le moins de gélatine (amidon de blé/gélatine = 8:1) donnait de bons résultats car le doublage avait une meilleure stabilité dimensionnelle.

L'utilisation de colle de peau comme agent de consolidation ou adhésif de doublage est problématique en raison de la forte réaction de ce type de colle à un faible taux d'humidité (Mecklenburg et Fuster Lopez, 2008). Dans le cadre d'expériences sur l'effet des cycles d'HR sur diverses peintures, des peintures ayant été doublées à la colle-pâte (le doublage étant encore présent ou ayant été enlevé mécaniquement) ont montré des tensions très importantes dans des conditions sèches, probablement en raison de la reformation ou de la régénération de la colle-pâte pendant les périodes d'humidité élevée du cycle (Hedley, 1988).

Les colles animales ne devraient pas être utilisées pour l'encollage, le montage ou le doublage de toiles dans un climat tropical, car elles peuvent être attaquées par des micro-organismes et causer des dommages liés au gonflement ou à la contraction si l'environnement n'est pas contrôlé (Boustead, 1968). Des moisissures ont été trouvées sur des peintures de chevalet comportant des adhésifs colle-pâte provenant de régions méditerranéennes (Bouillon et Fohrer, 2008). Le blé concassé grossier utilisé pour faire ces adhésifs colle-pâte était plus vulnérable, alors que l'utilisation de térébenthine de Venise dans le mélange colle-pâte atténuait le problème.

Demuth *et al*. (2011) ont étudié différents types d'adhésifs pour la réparation fil par fil de déchirures de peintures sur toile. Ils ont trouvé qu'un mélange de PAmB et de colle d'esturgeon donnait une résistance à la traction relativement élevée comparativement aux autres mélanges mis à l'essai, du moins plus élevée que celle de mélanges de colle d'esturgeon et de *junfunori*, de Tylose MH 1000 ou d'Aquazol 500. Le mélange de PAmB et de colle d'esturgeon avait également d'autres propriétés désirables comme un pH neutre, une réversibilité dans l'eau chaude, une bonne maniabilité et une bonne apparence optique (presque invisible). Les amidons précuits (prêt à l'emploi) donnaient eux aussi de bons résultats lorsqu'ils étaient mélangés avec de la colle d'esturgeon, ce qui permettrait une préparation plus rapide.

Le marquage fluorescent a été utilisé pour montrer que la gélatine pénètre la toile de la peinture de manière excessive quand elle est utilisée comme agent de consolidation sur des peintures qui s'écaillent, alors que la méthylcellulose (MC) et un mélange de MC et de gélatine formaient les couches adhésives adéquates entre la peinture et la toile (Soppa *et al*., 2011).

Dans une expérience sur la consolidation de peintures en utilisant des blocs et des bâtons poreux de gypse et de silice micronisée avec divers adhésifs dilués (colle de peau, colle d'esturgeon, Aquazol 200, Plexisol P550, Paraloid F-10, BEVA 371), les concentrations de 4 à 6 % se sont avérées optimales à 40 °C pour la colle de peau; des résultats similaires ont été obtenus avec la colle d'esturgeon, mais à température plus basse, ce qui était un avantage (Buzzegoli *et al*., 2008). La colle d'esturgeon avait une meilleure pénétration que la colle de peau à des concentrations identiques.

Dans une étude sur le comportement mécanique de divers adhésifs (colle de peau, PACV, époxy, urée-formaldéhyde) utilisés avec divers matériaux de comblement (farine de seigle, farine de bois, poudre de cellulose, farine de noix de coco, microbilles) pour le réassemblage de peintures sur bois, il a été constaté que la colle de peau mélangée avec de la farine de bois ainsi que le PACV mélangé avec de la farine de seigle ou avec une faible proportion de microbilles se sont avérés moins forts que le bois. Ces mélanges pourraient ainsi constituer de meilleures solutions pour le bois détérioré si le panneau n'est pas soumis à des fluctuations importantes de l'HR (Young *et al*., 2002).

Arts décoratifs

Schellmann et Taylor (2011) ont trouvé que les solutions d'isinglass et de colle de peau étaient les meilleurs adhésifs pour restaurer les propriétés à la rupture des couches de préparation liées à la protéine dans des revêtements décoratifs de type gesso, car ces solutions étaient, parmi tous les produits mis à l'essai, les adhésifs et les agents mouillants les plus efficaces (Paraloid B-72, Paraloid B-48N, Lascaux Medium for Consolidation, Mowiol 3-83, Mowilith 50 et Mowilith DMC2). L'ajout d'amidon à l'isinglass accentue le changement de l'énergie de rupture (durcissement).

Dans une étude menée sur le gesso (CPL et carbonate de calcium), un matériau généralement utilisé pour la dorure, il a été constaté que sa résistance à la rupture était inférieure à celle de la CPL et inversement proportionnelle au rapport craie-colle (Mecklenburg, 1991). De plus, cette étude a démontré que la rigidité augmentait avec une hausse de la proportion de craie jusqu'à un rapport de 13:3, après quoi la rigidité diminuait. Les dimensions de la CPL peuvent varier d'environ 6 % lors d'un seul cycle d'HR (5→93 %). Cependant, la variation dimensionnelle du gesso est nettement inférieure. Les échantillons non retenus soumis à des cycles répétés ont subi un retrait permanent, alors que les échantillons retenus ont subi un changement permanent dans le développement de contraintes durant la succession de cycles d'HR. Cette étude a également révélé qu'un substrat ayant une réaction dimensionnelle à l'HR moins importante assurerait une retenue partielle, et que la fissuration et la défaillance du gesso pourraient avoir lieu lorsque des changements importants de l'HR se produisent.

Bois

Dans trois études portant sur le bois (Buck, 1990; Hay, 1987; Down et Lafontaine, 1980), les chercheurs ont étudié des colles de peau liquides et des colles de peau thermofusibles soumises à divers cycles d'HR et à divers vieillissements. En règle générale, ces études en sont arrivées à la même conclusion : la colle de peau liquide était plus susceptible que la colle de peau thermofusible de subir une diminution de sa force après une succession de cycles d'HR ou un vieillissement, ce qui laisse entendre que les colles de peau liquides ne devraient être utilisées que dans des conditions normales. Si des conditions de chaleur et d'humidité extrêmes sont prévues, la colle de peau thermofusible serait plus appropriée. Toutefois, quelle que soit la colle, l'humidité et la chaleur extrêmes sont à éviter.

Werner (1968) a mentionné que les colles animales et autres matières naturelles, comme la cire d'abeille, les résines naturelles et la gomme-laque, peuvent ne pas convenir à une utilisation sur le bois dans des climats tropicaux, car elles sont très hygroscopiques.

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les colles gonflent dans l'eau froide et deviennent solubles une fois chauffées. Les solutions aqueuses de colle forment un gel réversible une fois refroidies, une propriété qui facilite leur enlèvement (Brandis, 1990). La plupart des colles et des gélatines gonflent et se dissolvent de nouveau même après plusieurs siècles (Schellman, 2007). Plus la concentration originale de colle est faible, plus il sera difficile de solubiliser de nouveau le feuil sec. Il est plus facile de solubiliser de nouveau les colles d'os que les colles de peau, et la présence d'ions métalliques, de pigments organiques, de tanins, d'agents de réticulation et d'impuretés peut modifier la capacité de solubiliser de nouveau toute colle sèche à base de collagène (Schellman, 2007; Paper Conservation Catalog, 1994, p. 44).

Les colles sont insolubles dans les huiles, les cires, les solvants organiques et l'alcool absolu (Brandis, 1990). La gélatine est soluble dans le glycérol et l'acide acétique et peut être diluée avec de l'éthanol ou de l'isopropanol (Paper Conservation Catalog, 1994, p. 42-46). Les solvants organiques ne dissoudront pas la colle de poisson sèche, mais la colle de poisson liquide peut tolérer certains solvants miscibles à l'eau comme l'éthanol et l'acétone (Norland, 1977).

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

Des enzymes ont été utilisées pour enlever des colles sèches insolubles (Paper Conservation Catalog, 1994, p. 44).

Il a été possible de défaire avec succès des joints de colle à bois récents (mortaise et tenon, assemblage bout à bout, placage) réalisés avec des colles animales de différentes forces en utilisant un chauffage par radiofréquence, qui agit sur les molécules d'eau polaires de manière similaire au chauffage diélectrique dans un four à micro-ondes (Neher, 1996). Une certaine humidité est nécessaire au niveau de la ligne de colle, mais bien moins que si l'objet était trempé dans l'eau. Dans tous les cas, les joints ont été séparés sans aucun dommage au bois. Cette technique doit encore être évaluée sur des joints anciens réalisés avec des colles animales.

La pratique actuelle pour retirer des doublages à la colle-pâte consiste à éliminer mécaniquement l'ancien doublage et la colle-pâte en utilisant, s'il le faut, une petite quantité d'eau ou de gel aqueux. Puisque cette technique d'enlèvement mécanique risque d'endommager la toile originale, les chercheurs se sont penchés sur une technique laser sans contact comme solution de remplacement (Spencer *et al*., 1999). Ils ont réussi à enlever un adhésif de doublage colle-pâte d'une toile en utilisant un laser à excimères UV de 248 nm. Un régime à fluence élevée a d'abord permis d'éliminer la majeure partie de l'adhésif, suivi d'un régime dont « la fluence était assez élevée pour enlever la colle lentement, mais trop faible pour causer des dommages à la toile sous-jacente » [traduction] (p. 340). Cette technique constitue une nette amélioration par rapport à la méthode classique d'enlèvement mécanique, les fibres de la toile étant bien moins endommagées.

Les polysaccharides

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation			1,53
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
		amidon de blé : 6,3-6,9 amidon de riz : 7,5 amidon d'arrow-root : 7,1	

(Down et Burgess, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 184)

Abréviation

PAmB pâte d'amidon de blé

Types, synonymes et noms commerciaux

achroodextrine, agar, amidon (d'arrow-root, de blé, de haricot vert, de maïs, de pomme de terre, de riz, de seigle, de tapioca), Aytex, dextrine, *funori, furunori,* gomme arabique, *junfunori, shinnori, shofu*

Chimie et préparation

Les polysaccharides sont des structures d'hydrates de carbone polymériques constituées d'unités récurrentes (monosaccharides ou disaccharides) liées entre elles par des liaisons glycosidiques (Horie, 2010, p. 221-222; Roff et Scott, 1971, p. 182). Les polysaccharides sont essentiellement formés de monomères glucidiques. L'amidon constitue un exemple de polysaccharide de réserve, c'est-à-dire un hydrate de carbone stocké par les végétaux comme réserve d'énergie (Roff et Scott, 1971, p. 183). L'amidon, obtenu à partir de graines, de racines, de bulbes, de sève, de fruits et de feuilles, est extrait par broyage, filtration, lavage, centrifugation et séchage (Masschelein-Kleiner, 1995, p. 51-54; Roff et Scott, 1971, p. 183).

On obtient une pâte d'amidon en plaçant l'amidon dans l'eau et en chauffant le mélange. L'amidon est insoluble dans l'eau froide mais, lorsqu'il est chauffé jusqu'à sa température de gélatinisation (**tableau 1**), les granules qui le composent se mettent à gonfler (Horie, 2010, p. 222). Ces granules gonflées commencent à éclater et à libérer les molécules d'amidon, ce qui accroît la viscosité du mélange. Le fait de maintenir une agitation constante et une température de chauffage adéquate favorise l'éclatement et la dispersion du contenu des granules. Une pâte lisse est ainsi obtenue. Lorsque le mélange refroidit, une « rétrogradation » se produit : les molécules hélicoïdales d'amylose s'alignent et tentent de se recristalliser par formation de liaisons hydrogène, et le mélange forme un gel (Daniels, 1995b).

L'amidon peut être utilisé comme adhésif, car il contient de nombreux groupements hydroxyle qui forment des liaisons hydrogène avec d'autres groupements fonctionnels présents dans le substrat (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 316-317). L'amidon naturel est constitué de deux types de polyglucosides : l'amylose et l'amylopectine (**figure 1**). Les proportions des polyglucosides varient selon l'origine de l'amidon (par exemple amidon de blé, de maïs, de riz, de pomme de terre, de tapioca, d'arrow-root; voir le **tableau 1**) (Roff et Scott, 1971, p. 182). L'amylose est un polymère linéaire qui forme des feuils hydrofuges résistants (Kruger et Lacourse, 1990). Il faut chauffer l'amylose à des températures élevées pour qu'elle se dissolve dans l'eau. Une teneur en amylose élevée fait en sorte que la solution forme un gel après refroidissement (Horie, 2010, p. 222-223). L'amylopectine est un polymère ramifié; il s'agit d'une molécule beaucoup plus grosse que celle de l'amylose. Elle forme des feuils peu résistants et sensibles à l'eau qui peuvent être dissous dans l'eau froide (Kruger et Lacourse, 1990). La source de l'amidon a un impact sur la masse moléculaire et le degré de ramification de l'amylopectine (Daniels, 1995b). De plus, la rétrogradation est lente dans le cas des amidons à très forte teneur en amylopectine, alors qu'elle est plus rapide dans le cas des amidons à forte teneur en amylose (Daniels, 1995b).

Au Japon, l'amidon de blé est extrait de la même manière qu'en Occident (décrite ci-dessus), sauf

TABLEAU 1. PROPRIÉTÉS DE DIVERS AMIDONS
(Horie, 2010, p. 221-228; Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 316-317; Masschelein-Kleiner, 1995, p. 51-54; Kruger et Lacourse, 1990; Van Steene et Masschelein-Kleiner, 1980)

Type d'amidon	Source	% d'amylose	Température de gélatinisation (°C)	Formation du gel après refroidissement	Transparence et couleur de l'amidon cuit	Flexibilité	Adhérence	Dégradation
blé	grains	20-25	58-64	forte	opaque, blanc	faible	bonne	faible
riz	grains	16-19	68-78	faible	beige pâle	faible	faible	bonne
maïs	grains	22-28	62-72	forte	opaque, vert pâle	bonne	bonne	faible
seigle	grains	~ 27						
haricot vert	graines	37-70						
tapioca	racines	20	49-70	faible	assez transparent, blanc	bonne	très bonne	très bonne
pomme de terre	racines	25	59-68	faible	très transparent, blanc	bonne	très bonne	faible
arrow-root	racines	23	69-76		beige pâle	faible	bonne	bonne

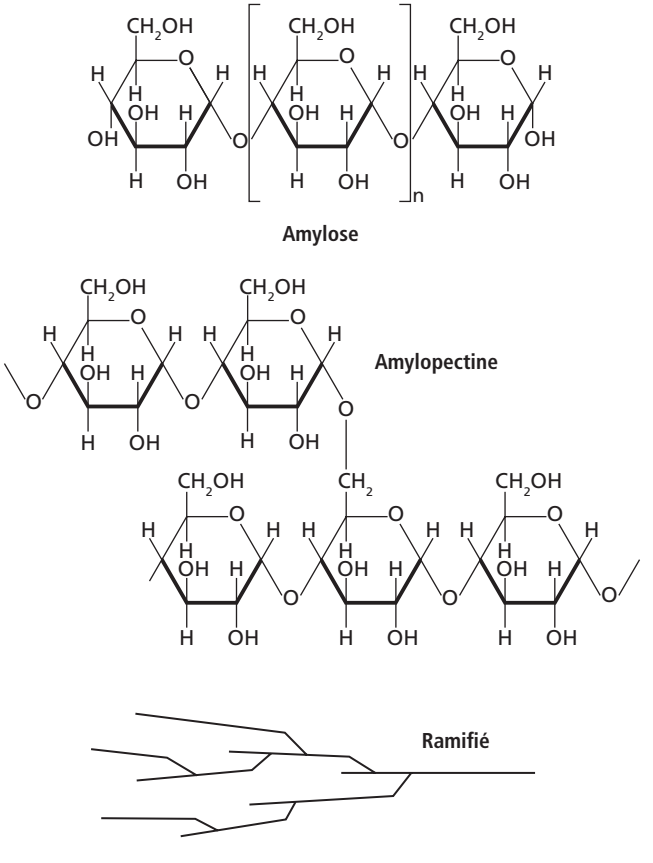


Figure 1. Amylose et amylopectine.
(Horie, 2010, p. 222; Whistler et al.*, 1984, p. 160-168; Davidson, 1980, p. 22-7).*

que les étapes de centrifugation et de séchage sont absentes. Le processus consiste plutôt à placer l'amidon à l'état humide dans des cuves et à le laisser décanter naturellement de manière à permettre la formation de couches. L'amidon de blé le plus pur (*jinnori*) se dépose au fond. Il s'agit de la couche qui sera extraite, entreposée sous l'eau, puis cuite afin d'obtenir une pâte d'amidon de blé (PAmB) appelée *shinnori* (Paper Conservation Catalog, 1994, p. 4-12; Wills, 1984).

Le *funori* et le *junfunori* appartiennent à la famille des polysaccharides (Michel, 2011; Horie, 2010, p. 228). Le *funori* est obtenu à partir de varech d'algues rouges du genre *Gloiopeltis* qui proviennent des régions côtières du Japon et de la Chine méridionale ainsi que du nord de la côte du Pacifique des États-Unis. Il est préparé de diverses façons, mais la méthode courante consiste à faire sécher le varech, à le laver à l'eau, à le blanchir (de manière traditionnelle, au moyen d'un processus de fermentation servant à blanchir et à assouplir), à le rincer et à le mettre à sécher au soleil sur des grillages. Au moment d'être utilisé, le produit sec est taillé en morceaux, mis à tremper dans l'eau pendant une nuit, chauffé (juste en dessous de son point d'ébullition, soit de 45 à 60 °C) puis filtré à travers un tissu (Michel *et al.*, 2002; Masuda, 1984). Il faut ensuite diluer le produit dans l'eau chaude parfois

additionnée d'isopropanol (5 %) et l'appliquer pendant que le produit est chaud. Le *junfunori* est une version plus pure du *funori*.

MODIFICATION DES AMIDONS

Les amidons peuvent également être modifiés selon les procédés ci-dessous :

Rôtissage

L'amidon peut être rôti (à une température de 180 à 250 °C) en présence ou non d'un catalyseur basique. Il en résulte une dextrine jaune ou jaune canari de masse moléculaire inférieure à celle de l'amidon naturel (Roff et Scott, 1971, p. 186). Il est possible d'obtenir des dextrines de couleur pâle si l'amidon est traité avec un acide minéral dilué après rôtissage à une température de 100 °C (Roff et Scott, 1971, p. 186). Ces modifications peuvent donner un produit complètement soluble dans l'eau froide. L'amidon de pomme de terre et de tapioca est plus facile à convertir en dextrines que l'amidon de blé, de maïs ou de sagou (Masschelein-Kleiner, 1995, p. 51-54; Mantell, 1970). L'achroodextrine est une dextrine qui se distingue des autres dextrines dans la mesure où elle donne des dispersions de viscosité plus élevée, elle est plus foncée et elle est habituellement produite à partir de mélanges d'amidons plutôt qu'à partir d'un seul type d'amidon (Mantell, 1970).

Vieillissement

Le *furunori*, une PAmB d'origine japonaise, est une pâte de *shinnori* qui a été vieillie pendant dix ans immergée sous l'eau, dans des cuves en terre cuite ou en plastique étanches (Wills, 1984; Masuda, 1984). Cette pâte, moins visqueuse et plus stable que la pâte de *shinnori* ordinaire, forme des joints plus faibles et plus flexibles que cette dernière (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 316-317). Cependant, il a été démontré qu'elle subit une biodétérioration et qu'elle devient légèrement acide, se dépolymérise et fait l'objet d'une rétrogradation, bien que le rapport amylose/amylopectine demeure inchangé (Daniels, 1995b). Il est possible d'obtenir une pâte d'amidon de qualité similaire par hydrolyse acide au bout de plusieurs heures (voir la section suivante) (Van Steene et Masschelein-Kleiner, 1980). En Occident, la préparation de *furunori* est difficile pour différentes raisons (Belard *et al*., 2009). Tout d'abord, les laboratoires occidentaux doivent utiliser du *kanosjin* comme matière de départ plutôt que du *namajin*, qui est à la fois difficile à importer et périssable. De plus, il est habituellement nécessaire d'appliquer une chaleur plus intense pour obtenir la pâte. Enfin, les contenants et les températures d'entreposage ne sont pas les mêmes qu'au Japon. Dans les laboratoires occidentaux, les contenants utilisés sont étanches à l'air et empêchent donc la prolifération des « bonnes » bactéries et la fermentation de la pâte. Enfin, la température d'entreposage dans les laboratoires occidentaux est habituellement plus élevée que celle dans les laboratoires japonais. Ces facteurs nuisent à la bonne production de pâte dans les laboratoires occidentaux.

Amidon obtenu par hydrolyse acide

Lorsque l'amidon sous forme granulaire est chauffé à une température inférieure à sa température de gélatinisation en milieu acide, il en résulte un produit dont la viscosité est réduite, et dont la flexibilité et l'adhésivité sont supérieures (Van Steene et Masschelein-Kleiner, 1980). Ces propriétés peuvent être modifiées en variant la durée et la température du chauffage ainsi que l'acide ou l'amidon utilisé (Singh et Ali, 2000; Van Steene et Masschelein-Kleiner, 1980). La procédure suivante est suggérée pour l'hydrolyse acide : chauffage (à 55 °C) de l'amidon de blé dans l'eau distillée et l'acide chlorhydrique, sous agitation (Van Steene et Masschelein-Kleiner, 1980). Après un certain temps, il faut décanter le liquide en surface, rincer l'amidon à quelques reprises, ajouter parfois un agent de conservation, ajuster le pH (pour atteindre un pH neutre) et réchauffer l'amidon (à 90 °C).

Autres méthodes

Les autres méthodes comprennent l'hydrolyse des amidons à l'aide d'enzymes (p. ex. amylase), l'oxydation (à l'aide d'hypochlorure de sodium), l'éthérification, l'estérification ou encore la modification des amidons à l'aide d'additifs afin de modifier diverses propriétés (p. ex. pégosité, solubilité, viscosité, flexibilité, temps de séchage). Toutefois, ces méthodes sont peu courantes en conservation.

RECETTES DE PÂTES D'AMIDON

Une recette typique pour faire de la PAmB consiste à ajouter graduellement de l'eau distillée (50 mL) à de la poudre d'amidon (30 g) sous agitation constante, jusqu'à l'obtention d'une pâte lisse (ICC, 1993). Il faut ensuite couvrir le mélange et le laisser reposer. La prochaine étape consiste à verser de l'eau distillée (250 mL) dans un bécher placé dans une casserole d'eau pour la chauffer jusqu'à ébullition. Le mélange d'eau et d'amidon est alors versé peu à peu dans le bécher contenant l'eau bouillante sous agitation constante. Le mélange continue d'être chauffé pendant encore 5 à 10 minutes. Le bécher est ensuite retiré du bac pour qu'il puisse se refroidir. À ce stade, la pâte est souvent éclaircie par ajout d'eau distillée, agitation vigoureuse et tamisage. Il est également possible de préparer la pâte au four à micro-ondes : de la poudre d'amidon (100 g) qui a trempé dans l'eau (500 mL) pendant

1 heure est alors utilisée. Elle est chauffée pendant 3 minutes dans un four à micro-ondes en agitant vigoureusement le mélange par intermittence (IPC, 1989). En théorie, la pâte cuite au four à micro-ondes ne nécessite aucun tamisage, mais bien des restaurateurs la tamisent ou la mélangent au besoin.

Il est possible de préparer de la pâte d'amidon de riz en mélangeant de l'amidon de riz (30 g) avec de l'eau (30 mL), puis en y ajoutant de l'eau bouillante (600 mL) sous agitation constante. Il faut ensuite laisser mijoter le mélange dans un bain-marie pendant 1 heure (Horie, 2010, p. 226). Une autre recette consiste à placer un mélange semi-liquide d'amidon de riz (50 g) et d'eau (350 mL) dans un poêlon. Le mélange est chauffé pendant 10 à 15 minutes sur un brûleur de cuisinière réglée à l'intensité la plus basse jusqu'à ce qu'il devienne chaud, puis pendant 2 à 3 minutes à l'intensité la plus haute, sous agitation constante; il faut ensuite laisser refroidir le mélange avant de le tamiser et de le diluer au besoin (Kohler, 1981).

Morrison (1980) donne bien d'autres recettes pour préparer des pâtes d'amidon.

Identification de l'amidon

L'amidon peut être caractérisé par microscopie optique à l'aide de filtres polarisants. D'après le degré de biréfringence, il est possible de distinguer les granules d'amidon non cuites de la pâte partiellement cuite ou de la pâte complètement cuite (**figure 2**; Yahl, 1983). Une image de croix à l'extinction est un indicateur caractéristique de l'amidon non cuit et partiellement gonflé. Il est également possible de détecter l'amidon à l'aide d'une solution d'iode, qui colore l'amylose en bleu, et l'amylopectine, en violet-rouge (Daniels, 1995b).

Historique et utilisation

L'amidon était utilisé dans l'Égypte ancienne (3500 avant J.-C.) comme adhésif pour le papyrus de même qu'en Chine (autour de 100 après J.-C.) pour l'encollage du papier (Roff et Scott, 1971, p. 185). Au Japon, l'utilisation de la PAmB remonte au XV^{e} et au XVI^{e} siècle, et celle du *funori*, à partir de 1673 (Liszewska, 2005; Wills, 1984). L'amidon a fait l'objet de recherches scientifiques dès 1719, mais ce n'est qu'entre 1811 et 1814 que sa composition a été entièrement élucidée (Roff et Scott, 1971, p. 185). La pratique de rôtissage de l'amidon a vu le jour en 1821 dans le cas de l'achroodextrine et des dextrines (Roff et Scott, 1971, p. 185). Ce n'est qu'en 1906 qu'on a réussi à séparer et à caractériser l'amylose et l'amylopectine (Roff et Scott, 1971, p. 186).

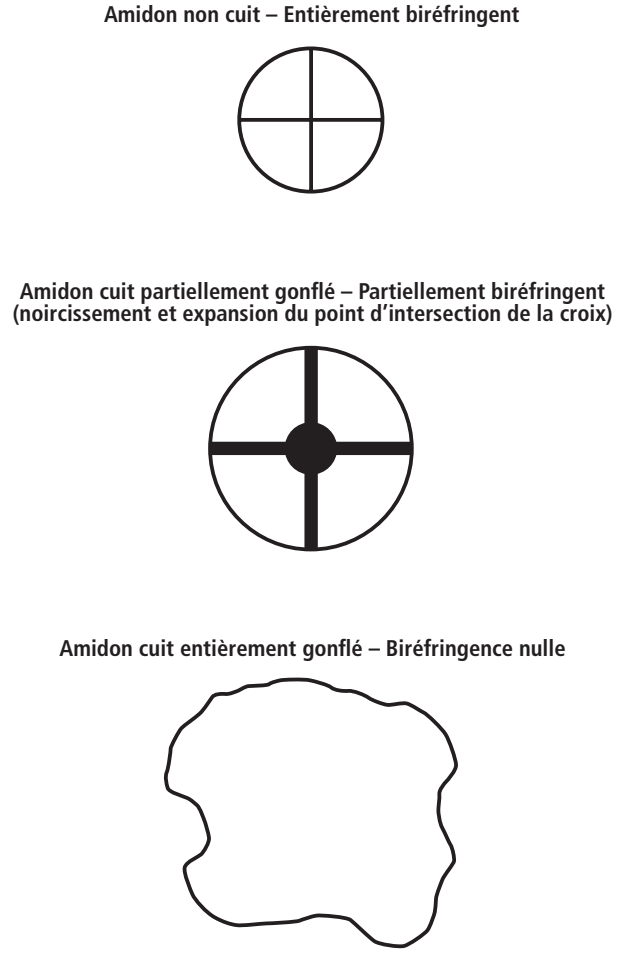


Figure 2. Caractéristiques de polarisation de l'amidon à divers stades de cuisson – la croix est caractéristique d'un amidon non cuit et partiellement cuit (Yahl, 1983).

L'amidon a été utilisé comme produit d'encollage pour le papier et les textiles, comme matière de charge, comme médium d'impression, comme solidifiant et comme glacis; il a également été utilisé pour l'étiquetage et l'emballage, les sacs en papier, l'assemblage et la fermeture des enveloppes, les rubans gommés, les timbres, la fabrication des cigarettes ainsi que pour les colles et les pâtes à papier peint (Kruger et Lacourse, 1990, p. 153-166; Lazarus, 1983; Roff et Scott, 1971, p. 185). Au Japon, le *shinnori* et le *furunori* ont servi à la fabrication des rouleaux suspendus, des paravents et des portes coulissantes, ainsi qu'au montage des œuvres d'art picturales (Wills, 1984). Traditionnellement, le *funori* était utilisé au Japon pour l'encollage du papier, la dorure du papier et de la soie ainsi que pour l'application du papier sur les murs en terre en vue de la cérémonie du thé (Masuda, 1984). Les dextrines ont été utilisées pour la finition et l'encollage des textiles, pour l'impression et comme adhésifs pour le papier, le carton, les timbres, les étiquettes et les rubans de papier (réhumidifiables) (Masschelein-Kleiner, 1995, p. 51-54; Paper

Conservation Catalog, 1994, p. 4-12; Roff et Scott, 1971, p. 186). L'utilisation des amidons est limitée aux milieux intérieurs secs (Shields, 1984, p. 76).

Dans le domaine de la conservation, les amidons, en particulier l'amidon de blé et, parfois, l'amidon de riz, ont été utilisés comme adhésifs pour le papier (p. ex. pour la pose de charnières, la réparation, le doublage, le cartonnage, le renforcement, la consolidation et la fixation), les reliures de livres et les textiles, et comme adhésifs pour le rentoilage des peintures, notamment sous forme de mélanges colle-pâte (Horie, 2010, p. 225-226; Paper Conservation Catalog, 1994, p. 4-12). L'amidon et la maltodextrine ont été employés pour consolider le bois gorgé d'eau (Sanya *et al*., 2005; Ippoliti, 2002). La PAmB obtenue par hydrolyse acide a été utilisée comme adhésif pour les textiles. Le *funori* et le *junfunori* ont été utilisés pour consolider les peintures mates pauvres en liant ainsi que les papiers fragiles et dégradés (Michel, 2011; Michel *et al*., 2002).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Les adhésifs d'amidon pur sont stables et ne changent pas de couleur (Daniels, 1995b). L'amylose peut cependant se dégrader si elle est exposée aux rayons ultraviolets (UV), ce qui entraîne la rupture des chaînes et la production d'acides organiques (Phillips, 1980).

Les amidons de pomme de terre et de maïs peuvent jaunir en cours de cuisson, et l'amidon de riz devient plus faible et moins stable que l'amidon de blé après un vieillissement naturel (Horie, 2010, p. 224; Paper Conservation Catalog, 1994, p. 4-12).

Il est plus facile et plus rapide de préparer des pâtes à partir de farine que des pâtes d'amidon pur, car les premières nécessitent moins de cuisson; il faut néanmoins les filtrer afin d'éliminer les grumeaux (Morrison, 1980). À cause du gluten qu'elles contiennent, les pâtes faites à partir de farine changent de couleur et s'effritent davantage que les pâtes obtenues à partir d'amidon pur (Wills, 1984).

Furunori

Les propriétés du *furunori* (PAmB vieillie pendant dix ans) ont été étudiées et comparées à celles d'une PAmB fraîche (**tableau 2**; Daniels, 1988). Au cours du processus de vieillissement, la masse moléculaire du *furunori* est réduite sous l'action de micro-organismes; il y a formation de sucres hydrosolubles (p. ex. glucose, maltose, maltotriose et maltotétrose) et d'acides organiques (p. ex. acide glyoxylique, acide lactique, acide acétique, acide malique), et la pâte devient plus acide (Kenjo et Arai, 1995). L'adhésif vieilli forme avec le papier des joints plus faibles, mais suffisamment forts, que la pâte fraîche (Hayakawa *et al*., 2007). Comparativement à la pâte fraîche, sa pégosité est plus faible, et le gel qu'il forme est plus ferme. Lorsque la pâte vieillie est utilisée dans la fabrication de rouleaux, elle prévient la croissance de champignons (Masuda, 1984). Cet effet antifongique est attribuable aux tiques qui vivent dans la pâte. Lorsque les joints faits avec de la pâte de *furunori* sont chauffés dans de l'eau, ils sont plus réversibles que si de l'eau froide est employée. Il a été possible de produire une pâte similaire au *furunori* à l'aide d'enzymes; cette pâte a vieilli pendant seulement sept jours avant d'être nettoyée avec des acides organiques (Hayakawa *et al*., 2007). Les propriétés de cette pâte étaient comparables à celles du *furunori* vieilli dix ans.

Funori et *junfunori*

Le *funori*, les éthers de cellulose, la gélatine et l'isinglass ont fait l'objet d'une étude comparative portant sur la formation de cernes,

Tableau 2. Différences entre les propriétés d'une pâte d'amidon fraîche et d'une pâte d'amidon vieillie (*furunori*)
(Daniels, 1988)

Teneur en amylose	Viscosité relative	Alcalinité	Fermeté du gel	Pégosité du gel	Flexibilité	Force d'adhésion	Réversibilité
similaire dans les pâtes vieillies ou non vieillies	pâte vieillie moins visqueuse	pâte vieillie plus acide	gel de pâte vieillie plus ferme	plus faible pour la pâte vieillie	pâte vieillie plus flexible	supérieure à celle du papier dans les deux cas	ni l'une ni l'autre n'est soluble dans l'eau froide, mais la pâte vieillie est plus réversible

l'assombrissement, le lustre, la couleur de pigments mats et les propriétés mécaniques avant et après un vieillissement à la lumière (Michel *et al*., 2002). La gélatine a laissé des cernes et est devenue rigide, mais son adhérence était meilleure que celle du *funori*. Le *funori* n'est pas devenu plus foncé et n'a pas laissé de cernes. Il a blanchi après vieillissement et est resté relativement flexible. Cette étude indique que le *funori* est aussi stable que la gélatine et la colle d'esturgeon aux UV, à l'humidité relative (HR) et à la température et plus stable que les éthers de cellulose. Une autre étude a montré que le *funori* renforçait la soie et possédait une bonne résistance à la lumière (Liszewska, 2005).

D'autres travaux ont révélé que le *junfunori* demeurait hydrosoluble après un vieillissement accéléré et qu'il n'accroissait pas la vulnérabilité aux attaques par les champignons (Schleuniger et Michel, 2005). De plus, lorsque le *junfunori* a été mis à l'essai comme agent de consolidation pour les peintures mates, il n'a pas modifié l'aspect de la peinture, contrairement au Klucel E et au Methocel MC, qui ont laissé des cernes et assombri la peinture (Geiger et Michel, 2005). Les feuils de *junfunori* se sont montrés stables (résistance à la traction) en présence d'UV et de fluctuations de l'HR, tandis que les éthers de cellulose se sont dégradés. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour le *funori* (voir ci-dessus).

Cependant, dans une autre étude comparant le *funori*, la PAmB et la méthylcellulose (MC) du point de vue des changements de couleur induits par le vieillissement accéléré, de la résistance au pliage et de la capacité d'enlèvement, en vue d'un cartonnage temporaire de peintures d'origine orientale à des fins de conservation, il a été constaté que le *funori* changeait de couleur en cours de vieillissement et qu'il avait un impact négatif sur la résistance du papier (Fan, 2011). Il faut donc l'enlever le plus possible s'il est utilisé comme cartonnage. La PAmB a changé de couleur de façon bien visible. C'est la MC qui semble avoir donné les meilleurs résultats en ce qui concerne le cartonnage des peintures.

Résistance microbienne

L'amidon et la pâte d'amidon sont vulnérables aux micro-organismes lorsqu'ils se trouvent dans un milieu humide ou même s'ils sont entreposés pendant une longue période à température ambiante (Daniels, 1995b; Roff et Scott, 1971, p. 185). Il est recommandé de réfrigérer les pâtes d'amidon et de ne les conserver que sept jours (ICC, 1993).

Dans une étude portant sur l'utilisation de l'amidon de riz et d'autres types d'adhésifs [éthers de cellulose, poly(alcools de vinyle) (PALV) et poly(pyrrolidone de vinyle)] pour la conservation des livres, les chercheurs ont constaté que l'amidon de riz était le moins résistant à la croissance microbienne et qu'il devenait acide (Gallo *et al*., 1989).

Diverses méthodes ont été proposées pour accroître la durée de conservation de l'amidon cuit sans recourir à des fongicides (comme le thymol ou l'*o*-phénylphénol), par exemple : recouvrir l'amidon d'eau pendant sa réfrigération; stériliser l'amidon dans des tubes à revêtement en aluminium étanches (amidon stable pendant une durée allant jusqu'à deux ans et demi); utiliser des seringues stériles et hermétiques pour les quantités plus faibles (qui demeurent stables pendant une durée allant jusqu'à six mois); et irradier la surface de la pâte à l'aide d'UV à ondes courtes (amidon stable pendant jusqu'à huit semaines lorsque la surface est irradiée après chaque utilisation) (Miller et Root, 1991; IPC, 1989; Stone et Morse, 1989; Nagin et McCann, 1982).

Les chercheurs se sont penchés sur l'éthérification comme un autre moyen de conserver l'amidon sans recourir à des agents de conservation. Malheureusement, ils n'ont constaté aucune différence entre l'amidon de maïs modifié et l'amidon de maïs non modifié employés sur divers papiers et verres pour ce qui est de la croissance de champignons (Gallo *et al*., 1996).

Papier, photographies et livres

De manière générale, les feuils d'amidon sont peu flexibles, mais l'hydrolyse acide est reconnue pour améliorer l'adhésivité et la flexibilité de l'amidon (Van Steene et Masschelein-Kleiner, 1980). Il s'est toutefois avéré que le *shofu* (amidon de blé) traité par hydrolyse acide était moins flexible que prévu, et que l'ajout d'isinglass et d'alginate de sodium donnait un produit plus flexible (Liszewska, 2005). L'ajout de MC à l'amidon de blé produit un feuil plus flexible et plus réversible une fois sec, d'où l'utilisation de ce mélange comme adhésif réhumidifiable pour les endos de papier (Brückle, 1996).

Une étude portant sur diverses modifications à l'amidon de maïs pour la conservation du papier a démontré que l'amidon de maïs éthérifié contenant plus de substituants donnait de meilleurs résultats après vieillissement que l'amidon contenant moins de substituants et l'amidon cationique (Plossi Zappalà, 1996). Il s'est montré assez soluble dans l'eau chaude, et son pH se maintenait assez bien. De plus, il s'agit du produit dont la couleur a le moins changé après vieillissement.

Divers amidons (amidon de blé, amidon de riz, Abra), gélatines et éthers de cellulose (Cellofas B3500, Culminal, Klucel G et Klucel L) ont été mis à l'essai afin de déterminer l'impact d'un vieillissement à la lumière et à la chaleur sur le changement de couleur, le temps de séchage en surface, la capacité à former des feuils secs d'épaisseur constante, le retrait, la flexibilité, la dureté, le pH, la force des joints et la réversibilité (Shashoua *et al.*, 1990). L'amidon de blé a donné d'assez bons résultats, même s'il est devenu cassant après vieillissement et qu'il n'était pas très soluble dans les solvants retenus; toutefois il a été possible de le faire gonfler avec de l'eau et de l'enlever. L'amidon de riz possédait une flexibilité et une réversibilité comparables à celles de l'amidon de blé, mais il a jauni après vieillissement. La gélatine était assez acide et s'est montrée aussi réversible que l'amidon de blé. Cependant, sa flexibilité et sa résistance sur les échantillons de papier étaient supérieures à celles de l'amidon de blé. Le Klucel G et le Klucel L étaient très faibles, mais ils ont donné de bons résultats du point de vue de la réversibilité; ils étaient solubles dans tous les solvants retenus, même après vieillissement. Les chercheurs ont conclu que ces éthers de cellulose constituaient les meilleurs agents de consolidation, et que l'amidon de blé était l'adhésif le plus stable.

L'évaluation d'une carboxyméthylcellulose (CMC), d'une MC, du Maida (pâte de farine) et d'une dextrine utilisés avec divers matériaux de contre-collage a montré que la CMC et la MC (1 %) donnent une résistance au pliage adéquate à ces matériaux, même après vieillissement, contrairement au Maida et à la dextrine (Suryawanshi *et al.*, 1996). Des résultats plus acceptables ont été obtenus en mélangeant le Maida ou la dextrine avec de la CMC ou de la MC.

Il s'est avéré que la PAmB ne convenait pas pour la pose de charnières sur de vieux journaux saturés en huile (Baldwin, 1998). Des essais ont été menés sur plusieurs produits de colmatage, en l'occurrence, une MC à faible degré de polymérisation et diverses pâtes d'amidon (amidon de pomme de terre, amidon de blé, amidon de maïs, amidon de maïs cationique), afin de déterminer l'impact du vieillissement à la chaleur sur leurs propriétés physiques, mécaniques, optiques et de surface (Vodopivec *et al.*, 2005). L'amidon de pomme de terre s'est révélé trop collant et l'amidon de maïs, pas assez stable. La MC à chaînes courtes et l'amidon de maïs ont été recommandés comme produits de colmatage.

L'alginate de sodium, un extrait d'algues brunes, est utilisé dans les pâtes d'amidon d'arrow-root (Shashoua, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 174-181). La stabilité de la couleur de la pâte d'amidon d'arrow-root additionnée d'alginate est supérieure à celle des PAmB ordinaires après vieillissement à la lumière et à la chaleur; de plus, la pâte additionnée d'alginate garde davantage de flexibilité et est plus réversible après vieillissement (Shashoua, 1989). La pâte additionnée d'alginate forme des joints plus forts avec les matériaux cellulosiques, et sa pégosité est supérieure. Les revêtements à base d'amidon d'arrow-root et d'alginate accumulent moins la poussière que les revêtements à base de PAmB et de Klucel G (Shashoua, 1990).

Une série d'essais de vieillissement utilisant des détecteurs photographiques différents a été menée sur plusieurs adhésifs [PAmB, MC, poly(acétates de vinyle) (PACV), acryliques, colles de caoutchouc] afin de déterminer l'impact du vieillissement sur les photographies (Schenck et McCabe, 1989). Globalement, les meilleurs adhésifs étaient les PAmB et les MC.

CUIR ET PEAU

Une étude a été menée pour compiler des données sur divers adhésifs pouvant convenir à la consolidation du cuir (Wouters, 1989). Plusieurs produits ont été retenus aux fins de l'étude, notamment des PACV, une gélatine, de la méthylhydroxyéthylcellulose (MHEC) et de l'amidon de tapioca (10 %), en raison de leur résistance au pelage, de leur perméabilité à la vapeur d'eau, de leur réversibilité dans l'eau ou dans l'acétone, de leur flexibilité et du fait qu'ils perturbaient peu la surface du cuir. Dans un prolongement de cette étude, les chercheurs ont étudié le comportement de huit adhésifs (amidon, éthers de cellulose, gélatine, colle de parchemin, PACV en dispersion, acryliques) sur du parchemin intact et du parchemin réparé soumis à un vieillissement par exposition à la chaleur (Wouters *et al.*, 1992). Les produits ont été évalués selon des critères de résistance, de perméabilité et de réversibilité. L'amidon ainsi que les éthers de cellulose, la colle de parchemin, la gélatine et le PACV ont répondu à tous les critères. Pour ce qui est des échantillons de parchemin réparé et collé sur de la baudruche, les chercheurs ont seulement mis à l'essai cinq adhésifs (amidon, Tylose MH 300, gélatine, colle de parchemin et Mowilith DM5). Les échantillons ont été vieillis par exposition à des conditions où l'humidité et la lumière fluctuent de façon cyclique. Les échantillons les plus acceptables ont été obtenus lorsque la baudruche était dégraissée, et dans ce cas l'amidon et le Tylose ont donné leurs meilleurs résultats.

L'évaluation de la PAmB comme adhésif sur la peau d'intestin a révélé, grâce à des images de

microscopie électronique à balayage, que la liaison était intermittente (Horelick *et al*., 2011). Le contact était meilleur lorsque du Jade 403 ou de la MC étaient ajoutés à la PAmB.

Textiles

Une étude portant sur l'utilisation de divers adhésifs [amidon de blé hydrolysé, PACV, PALV, poly(butyral de vinyle), MC, MHEC, CMC, hydroxyéthylcellulose] pour la conservation des textiles a montré que l'amidon de blé hydrolysé n'endommageait pas la soie, même après vieillissement (Masschelein-Kleiner et Bergiers, 1984). Il était possible d'enlever le produit avec de l'eau et il ne changeait pas de couleur; toutefois, il favorisait la croissance de moisissures en milieu humide. Outre l'amidon, la MC était aussi recommandée pour la conservation des textiles.

Peintures

Une étude a été menée sur les propriétés mécaniques de divers produits de doublage à la colle-pâte élaborés selon plusieurs recettes utilisant les ingrédients suivants en proportions différentes : amidon de blé avec gélatine, farine de blé avec colle d'esturgeon et farine de blé avec colle d'os (Ackroyd, 1995). L'étude a démontré que la résistance au pelage augmentait avec l'accroissement de la quantité de colle, et que le mélange d'amidon de maïs et de gélatine (8:1) assurait la meilleure résistance au pelage. De plus, cette quantité précise de gélatine dans le mélange avait conféré au doublage la plus grande stabilité dimensionnelle.

Une autre étude portant sur des produits de doublage à la colle-pâte a été menée pour déterminer l'impact de divers additifs [plastifiants (térébenthine de Venise, huile de lin et mélasse), agents mouillants (fiel de bœuf et vinaigre), agent gonflant (farine de seigle) et agents de conservation (phénol, bromure de cétyltriméthylammonium et peroxyde d'hydrogène)], notamment en ce qui concerne la résistance au pelage, la charge et l'allongement et la façon dont ces produits se conservent (Ackroyd, 1996). La majorité des additifs ont réduit la résistance au pelage et n'ont eu aucun impact sur la flexibilité, à l'exception du fiel de bœuf, qui a accru la flexibilité sans pour autant réduire la résistance au pelage. Le peroxyde d'hydrogène a contré la croissance de moisissures pendant deux mois.

Demuth *et al*. (2011) ont étudié de nombreux types d'adhésifs utilisés pour la réparation fil par fil de peintures sur toile. Ils ont trouvé qu'un mélange de PAmB et de colle d'esturgeon procurait une résistance ultime à la traction relativement élevée par rapport aux autres mélanges mis à l'essai, ainsi qu'une résistance ultime à la traction supérieure à celle obtenue avec la PAmB utilisée seule. Le mélange de PAmB et de colle d'esturgeon possédait également d'autres propriétés désirables, tels qu'un pH neutre, une réversibilité dans l'eau tiède, une bonne maniabilité et une belle apparence optique (presque invisible). Les amidons précuits (prêts à l'emploi) donnaient eux aussi de bons résultats lorsqu'ils étaient mélangés à de la colle d'esturgeon et ils avaient l'avantage de permettre une préparation plus rapide.

Métaux

Une étude portant sur l'ajout de PAmB ou de CMC au Jade 403 (un PACV) ou au Rhoplex N-619 (un acrylique) a démontré qu'à mesure que la quantité de PAmB ou de CMC augmentait, la résistance au cisaillement sur les substrats en aluminium diminuait, la teneur en humidité à l'équilibre s'accroissait, et le gonflement augmentait dans des conditions d'humidité variables (Fulton, 1988). Les échantillons secs de Jade 403 en mélange avec la PAmB ou la CMC étaient solubles dans l'eau, contrairement aux échantillons de Rhoplex N-619. La PAmB et la CMC ont néanmoins fait augmenter le gonflement du Rhoplex N-619 dans l'eau.

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les feuils d'amidon secs ne sont pas solubles dans l'eau; il est toutefois possible de les faire gonfler à l'aide d'un brouillard d'eau, de vapeur d'eau ou d'eau chaude, ce qui permet de les enlever dans une certaine mesure (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 317). Ce résultat a été démontré par une étude portant sur la solubilité dans l'eau de diverses pâtes d'amidon séchées (amidon de blé, *furunori*, amidon de maïs, amylase de maïs, amylopectine de maïs, amidon de riz, amidon de pomme de terre, farine de blé) (Daniels, 1995). Aucune n'était réellement soluble; cependant, lorsque des bandelettes de papier collées avec diverses pâtes ont été mises à tremper dans de l'eau pendant quatre heures, il s'avérait que celles collées avec l'amidon de blé, l'amidon de riz, la farine

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

de blé et le *furunori* se séparaient facilement, et pas les autres, et ce, même après un vieillissement à la chaleur.

Les feuils d'amidon gonflent et se dissolvent plus facilement dans les solutions aqueuses alcalines que dans l'eau seulement (Roff et Scott, 1971, p. 184). L'amidon n'est soluble que dans quelques rares solvants plutôt toxiques [p. ex. l'hydroxyde de sodium en solution diluée, l'éthylènediamine anhydre, le diméthylsulfoxyde (DMSO) en solution aqueuse, la *n*-méthyl-2-pyrrolidone (NMP); Baynes-Cope, 1972b; Roff et Scott, 1971, p. 183]. Le DMSO et la NMP font davantage gonfler l'amidon que l'eau, et le DMSO, davantage que la NMP. Cependant, les dangers que pose le DMSO pour la santé empêchent son utilisation (Daniels, 1995; Harding, 1977). De plus, la NMP peut affaiblir le papier, endommager les colorants et les pigments sur les estampes japonaises qui sont liés avec de l'amidon de riz et faire migrer d'autres colorants et pigments (Macauseland et Warnes, 1978; Baynes-Cope, 1972b).

L'affaiblissement du papier par la NMP a été étudié davantage par Green et Bradley (1988). L'immersion du papier dans la NMP pendant 4 heures a eu pour effet de réduire de 50 à 55 % la résistance à la traction du papier, mais les chercheurs n'ont constaté aucune diminution subséquente de la résistance à la traction dans les 48 heures suivantes. L'acétone utilisée pour enlever la NMP sur le papier n'a fait diminuer la résistance que de 10 à 17 %. Les chercheurs ont noté une baisse plus faible de la résistance (8 à 22 %) sous l'effet de la NMP dans le cas de papiers datant du XVII^{e} siècle. Après un vieillissement par exposition à la chaleur et à la lumière, les papiers ayant trempé dans la NMP pendant six heures avaient perdu davantage de résistance que les papiers non traités à la NMP. Ces résultats laissent supposer que la NMP, en plus de perturber les joints formés par l'amidon, a également un impact sur les liaisons cellulosiques dans le papier. Par conséquent, il faut sérieusement peser le pour et le contre avant de songer à utiliser ce produit pour enlever les renforts qui ont été collés avec de l'amidon sur des papiers sensibles à l'eau.

La CMC de sodium accroît la solubilité des PAmB séchées lorsqu'elle est ajoutée à la pâte humide dans une proportion supérieure à 60 % (Daniels, 1995).

Les dextrines sont complètement solubles dans l'eau froide et elles sont nettement plus solubles que l'amidon ordinaire (Roff et Scott, 1971, p. 186).

Enlèvement à l'aide d'enzymes

Il est possible d'enlever l'amidon à l'aide d'enzymes de type amylase (Roff et Scott, 1971, p. 184). Plusieurs facteurs ont un impact sur ce procédé, notamment la pureté de l'enzyme, le pH, la durée du traitement, la température, la concentration, la présence d'inhibiteurs dans la solution, la méthode d'application (immersion, gel, cataplasme avec ou sans feuillet intercalaire), les additifs, l'épaisseur de l'amidon à enlever ainsi que le procédé de dénaturation et d'élimination des enzymes utilisé une fois le traitement terminé (Shibayama et Eastop, 1996; Blüher, 1996; 1996b; Erickson, 1992). La pureté de l'enzyme est importante (plus l'enzyme est pure, plus le traitement est efficace), car les produits non purifiés peuvent provoquer un changement de couleur dans le papier après vieillissement. L'ajout d'un agent de surface (p. ex. Triton X, gélatine) à un gel enzymatique peut empêcher l'absorption des enzymes par le papier et améliorer la pénétration des enzymes dans l'amidon.

La présence de l'enzyme α-amylase a un impact sur certaines émulsions photographiques à base de gélatine (même lorsque les essais de détection de l'amidon produisent des résultats négatifs) (Preiss et Cook, 1981).

Il existe maintenant des cataplasmes à base d'α-amylase prêts à l'emploi (p. ex. Albertina Poultice; Schwarz, 2000; Klug Conservation). Ces cataplasmes sont faits de papier sec imprégné d'enzymes. Ils sont activés par l'humidité dispensée à travers un papier buvard et ils peuvent servir à une intervention ciblée. Ces cataplasmes se conservent pendant 12 mois.

Des essais ont été menés pour déterminer l'efficacité des cataplasmes semi-aqueux à base d'amylase pour enlever l'amidon sur des objets sensibles à l'eau, comme les objets renfermant de l'encre ferro-gallique (Schönbohm *et al*., 2004). Si l'ajout d'un solvant au cataplasme réussissait à protéger l'encre, il réduisait l'activité de l'enzyme, prolongeant ainsi la durée de traitement nécessaire pour enlever l'amidon.

Les éthers de cellulose

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation		EtC : environ 1,5 diminue à mesure que le DS augmente	MC : 1,4 ou 1,49 EtC : 1,47 EHEC : 1,49 HEC : 1,50-1,51 HPC : 1,559 CMC : 1,515 ou 1,59
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
MC : 187-197 HPMC : 170-198 EtC : 43 HPC : 105 diminue à mesure que le DS augmente	habituellement de 20 à 100 000 à 25 °C (types solubles dans l'eau à 1 ou 2 %); dépend également du type, de la pureté et de la masse moléculaire	MC : 5,0-5,7 EHEC-SE : 5,8-6,0 HEC : 6,0-7,0 (2 %) ou 7,0-8,2 HPC : 5,0-8,8 (1 %) CMC : 7,0 (2 %, DS de 0,7)	EtC : 90-200 x 10^{-6}

(Sigma-Aldrich b; Gómez-Carracedo *et al*., 2003; Feller et Wilt, 1990, p. 18, 25; Davidson, 1980, p. 3-12, 4-4, 12-4, 12-6, 13-3, 13-8; Shields, 1976, p. 299; BeMiller et Whistler, 1973; Roff et Scott, 1971, p. 164-173)

Acronymes

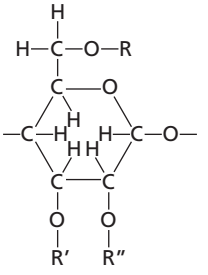
EC	éther de cellulose
MC	méthylcellulose
HPMC	hydroxypropylméthylcellulose
CMC	carboxyméthylcellulose sodique
EtC	éthylcellulose
HEC	hydroxyéthylcellulose
EHEC	éthylhydroxyéthylcellulose
EHEC-SE	EHEC soluble dans l'eau
EHEC-SO	EHEC soluble dans un solvant organique
HPC	hydroxypropylcellulose
MHPC	méthylhydroxypropylcellulose

Types, synonymes et noms commerciaux

Bermocoll, Blanose, carboxyméthylcellulose sodique, Celacol, Cellofas, Cellosize, Cellulose Gum, Culminal, Ethocel, Ethulose, éthylcellulose, éthylhydroxyéthylcellulose, hydroxyéthylcellulose, hydroxypropylcellulose, hydroxypropylméthylcellulose, Klucel, Methocel, méthylcellulose, méthylhydroxypropylcellulose, Modocoll, Natrosol, Tylose.

Chimie et préparation

Les éthers de cellulose (EC) sont obtenus par le traitement de cellulose gonflée aux alcalis avec des esters d'acides inorganiques (Roff et Scott, 1971, p. 164-173). Le nombre d'unités d'anhydroglucose présentes dans la chaîne résultante correspond au degré de polymérisation (DP) (Bonet *et al*., 2005). La cellulose est un bêta-glucoside, tandis que l'amidon est un alpha-glucoside (Feller et Wilt, 1990, p. 10). Des groupements alkyle, hydroxyalkyle et carboxyalkyle peuvent se substituer aux sites hydroxyles dans chaque unité de glucose. Le nombre moyen de substitutions de groupements hydroxyle par unité répétée de glucose correspond au degré de substitution (DS) (**figure 1**) (Horie, 2010, p. 205; Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 313). Comme il existe trois groupements hydroxyle par unité de glucose, le DS maximal est de trois. Lorsque des chaînes latérales hydroxyalkylées se forment aux sites hydroxyle, elles peuvent fournir d'autres sites de liaison ailleurs que sur la molécule de cellulose de base. Le terme « substitution molaire » (SM) est souvent alors utilisé pour désigner le nombre de moles d'hydroxyalkyles par mole d'anhydroglucose (Horie, 2010, p. 206). Cette valeur peut être supérieure à trois (Davidson, 1980, p. 3-2). Les propriétés des EC sont déterminées par le DP, le DS et la SM.



où R, R′ et R″ peuvent désigner un méthyle (-CH_3), un carboxyméthyle (-CH_2COOH), un éthyle (-CH_2CH_3), etc.

Figure 1. Unité de base des EC. (Roff et Scott, 1971, p. 164).

Historique et utilisation

Après les premières études sur les EC qui remontent à 1905, leur mise au point s'est poursuivie après 1912 et, à la fin de la Seconde Guerre mondiale, leur utilisation était fort répandue (Roff et Scott, 1971, p. 168).

Les EC sont utilisés à l'échelle commerciale pour la finition des textiles, comme agents épaississants et émulsifiants, comme encres d'imprimerie, comme adhésifs (p. ex. colle à papier peint), comme produits d'encollage, comme additifs dans les produits de lessive [p. ex. carboxyméthylcellulose sodique (CMC)], comme liants pour les pigments, le papier et le carton [p. ex. méthylcellulose (MC)], dans les cosmétiques et, sous forme purifiée, ils entrent dans la composition de produits pharmaceutiques, d'aliments diététiques et de crèmes glacées (Horie, 1987, p. 128-129; Shields, 1984, p. 39; Roff et Scott, 1971, p. 167-168, 172).

Dans le domaine de la conservation, les EC sont utilisés depuis le début des années 1920 comme laques; comme adhésifs, agents de consolidation et produits d'encollage pour le papier; comme agents de consolidation pour les matières friables; comme matériaux de comblement; comme adhésifs et agents de consolidation pour les textiles; pour les cartonnages réversibles; pour la fixation des pigments; comme agents de consolidation pour le bois et la vannerie gorgés d'eau; comme adhésifs et agents de consolidation pour le cuir et la peau d'intestin; dans les cataplasmes; et comme pâtes épaississantes (Horelick *et al*., 2011; Horie, 2010, p. 211-212). L'éthylcellulose (EtC) a également été utilisée pour le cuir (Horie, 2010, p. 211).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Le **tableau 1** résume les diverses utilisations commerciales des EC ainsi que leurs caractéristiques générales.

Tableau 1. Certaines propriétés et utilisations commerciales des EC
(Baumann et Conner, 1994; Shields, 1984, p. 40-41)

Type	Utilisation	Utilisation peu recommandée	Propriétés
MC	papier peint cuir lentilles cornéennes	métaux verre céramique	feuils à faible DS transparents et inodores résistante aux huiles et aux solvants organiques moins résistante à la chaleur que l'HEC bonne pégosité à l'état mouillé feuils résistants et résilients aucune biodétérioration
CMC	papier peint additif pour les produits de lessive		propriétés semblables à celles de la MC plus vulnérable à la biodétérioration que la MC
EtC	papier caoutchouc cuir textiles	métaux (efficacité moyenne) bois (efficacité passable)	stable en présence de lumière résistante à l'eau, aux alcalis et aux sels passablement résistante à la chaleur excellente durabilité à basse température peu inflammable aucune biodétérioration
HEC	papier cuir tissu agent épaississant	bois métaux verre caoutchouc (efficacité passable)	transparente résistante aux solvants organiques résistante aux huiles et aux graisses résistante au froid et à la chaleur vulnérable à la biodétérioration

Les EC forment des solutions visqueuses ou des gels lorsqu'ils sont mélangés à de l'eau ou à des solvants organiques. La viscosité varie selon le type d'EC, sa pureté, sa masse moléculaire, sa concentration et sa température. Le **tableau 2** présente la viscosité propre à plusieurs solutions aqueuses à base d'EC.

Tableau 2. Viscosité de solutions aqueuses d'EC
(Dow.com; KremerPigments.com; Hercules/Aqualon; Hercules/Aqualon b; ShinEtsu, 2005; Akzo Nobel; Ravines *et al.*, 1989)

Type d'EC	Nom commercial	Viscosité (mPa.s)	
		1 %	2 %
MC	Methocel A4M	—	4 000
MC	Methocel A4C	—	350-550
CMC	Blanose 7HF	1 500-2 500	—
CMC	Blanose 7LF	—	25-50
HEC	Natrosol 250 GR	—	150-400
HEC	Natrosol 250 HHR	3 400-5 000	—
MHEC	Tylose MH 2000 YP2	—	2 200-3 300
EHEC	Bermocoll E 481 FQ	4 250-6 000	—

Les feuils d'EC possèdent une force et une flexibilité suffisantes qui augmentent avec la masse moléculaire (Feller et Wilt, 1990, p. 26). L'hydroxyéthylcellulose (HEC) et l'hydroxypropylcellulose (HPC) sont plus molles et plus flexibles que la MC et la CMC, et leur résistance à la traction est inférieure à celle de la MC et de la CMC (Feller et Wilt, 1990, p. 34).

La plupart des EC sont moins thermostables que la cellulose pure, et leur thermostabilité diminue à mesure que le DS augmente (Feller et Wilt, 1990, p. 22). Les fabricants recommandent en général d'ajouter des antioxydants et des photostabilisants aux produits qui seront exposés à des températures élevées et à la lumière (Feller et Wilt, 1990, p. 40).

Une étude menée par Feller et Wilt (1990) a permis de mieux connaître les propriétés des EC. Les auteurs y décrivent les nombreuses propriétés des EC et abordent la stabilité de plusieurs EC qu'ils ont fait vieillir dans un four sec (90 °C, 110 °C) et par exposition à des lampes fluorescentes simulant la lumière naturelle. Ils ont étudié les variations de viscosité, les pertes de masse et le changement de couleur des EC sous forme de poudres et de feuils, le changement de couleur des EC utilisés comme produits d'encollage pour le papier, ainsi que la formation de peroxydes après vieillissement. Ils ont défini trois degrés de stabilité : excellente stabilité à long terme, stabilité intermédiaire et stabilité insuffisante à long terme. Un sommaire des résultats de cette étude est présenté au **tableau 3**. En bref, les auteurs de l'étude ont établi que tous les produits contenant de la MC possédaient une excellente stabilité, alors que les autres possédaient une stabilité intermédiaire ou médiocre.

Résistance microbienne

Même s'ils sont plus résistants aux attaques microbiennes que les amidons, les EC n'y sont pas complètement invulnérables (Roff et Scott, 1971, p. 167). La biodétérioration ne semble pas avoir d'impact sur la MC, l'EtC ou l'éthylhydroxyéthylcellulose (EHEC), quoique l'HEC et l'HPC y soient susceptibles (Shields, 1984, p. 40-41). La MC résiste mieux à la biodétérioration que la CMC (Shields, 1984, p. 40-41). Il n'est pas recommandé d'entreposer les solutions d'EC à long terme. Dans le milieu industriel, il est pratique courante d'ajouter des agents de conservation aux solutions d'EC si elles sont destinées à être entreposées longtemps mais, dans le domaine de la conservation, ces agents ne sont pas ajoutés, car ils entraînent un changement de couleur (Paper Conservation Catalog, 1994, p. 21-33). La préparation des solutions doit être effectuée en milieu stérile, et les solutions doivent être entreposées à l'obscurité (Horie, 2010, p. 210).

Papier, photographies et livres

Plusieurs études de vieillissement ont été menées sur divers EC utilisés pour la conservation du papier et des photographies (Letnar *et al.*, 2006; Vodopivec *et al.*, 2005; Shashoua et Rugheimer, 1998; Strnadovà et Ďurovič, 1994; Shashoua *et al.*, 1990; Schenck et McCabe, 1989; Ravines *et al.*, 1989; Baker, 1984; Hofenk-de Graaf, 1981; Zappala-Plossi et Crisostomi, 1981; Schaffer, 1978; Zappala-Plossi, 1977). Ces études ont montré que la MC vieillissait assez bien dans la mesure où elle demeurait soluble et subissait le changement de couleur le moins important. De plus, elle augmentait dans une certaine mesure la résistance du papier, et ce, à des concentrations plus faibles que les autres EC. Dans les échantillons non vieillis étudiés, les chercheurs ont établi une corrélation directe entre la résistance au pliage, la masse moléculaire et la concentration de MC. La CMC demeurait elle aussi soluble, mais elle était moins efficace pour renforcer le papier et elle jaunissait. De manière générale, l'HPC donnait des résultats faibles, mais elle démontrait une bonne réversibilité et une bonne solubilité dans divers solvants organiques.

Tableau 3. Sommaire des données de Feller et Wilt sur les EC
(Feller et Wilt, 1990)

Éther de cellulose	Propriétés des poudres/feuils après vieillissement à la chaleur ou la lumière	Produits étudiés
Excellente stabilité à long terme		
MC	Aucun changement de couleur Perte de masse minime Aucune perte de viscosité*	Culminal Methocel A4C Methocel A4M
MHPC	Aucun changement de couleur Aucune perte de masse	Methocel E4M Methocel K100LV
CMC	Aucun changement de couleur constaté, mais cela peut se produire Aucune perte de masse Aucune perte de viscosité* Excellente stabilité photochimique, mais une stabilité médiocre a été constatée dans certains cas	Cellulose Gum 9M8 Cellulose Gum 7H4 Cellulose Gum 7L1 Cellofas B3500
Stabilité intermédiaire		
EHEC-SE	Pas évaluée de manière approfondie (des essais plus poussés pourraient démontrer une excellente stabilité à long terme)	Ethulose 400 (WS)
HPC de faible masse moléculaire	Changement de couleur constaté, mais moins important que dans le cas des HPC de masse moléculaire plus élevée Perte de masse constatée, mais moins importante que dans le cas des HPC de masse moléculaire plus élevée Perte de viscosité* Excellente stabilité photochimique Faible degré de formation de peroxydes	Klucel G Klucel L
Stabilité insuffisante à long terme		
HEC	Changement de couleur Perte de viscosité* Perte de solubilité	Natrosol 250 HR Natrosol 250 LR Natrosol 250 MR
HPC de masse moléculaire élevée	Changement de couleur Perte de masse Perte de viscosité* Excellente stabilité photochimique Faible degré de formation de peroxydes	Klucel M Klucel H
EHEC-SO	Changement de couleur Perte de masse Perte de viscosité* Formation de peroxydes	EHEC-SO-Faible EHEC-SO-Élevée
EtC	Période d'induction initiale, suivie d'un changement de couleur Perte de viscosité* Formation de peroxydes	Ethocel S-100 Ethylcellulose N-14

*Solutions à 2 %. Une perte de viscosité indique une diminution de la masse moléculaire après vieillissement.

Dans le cadre d'une autre étude, les chercheurs ont examiné l'effet du DP et du DS sur les propriétés des EC (Bonet *et al*., 2005) au lieu de choisir la nature des groupes substitués (p. ex. méthyle, éthyle, hydroxypropyle) comme paramètre. Ils ont étudié la résistance à la flexion de trois types de papiers traités avec divers EC substitués [MC, hydroxypropylméthylcellulose (HPMC), EtC, CMC et HEC]. Ce sont les EtC et les CMC qui ont donné les meilleurs résultats. Ils ont constaté que plus le DS augmentait, plus la résistance à la flexion diminuait. Cette diminution est attribuable à la réduction du nombre de groupements hydroxyle disponibles pour former des liaisons hydrogène. Les chercheurs ont également découvert que plus le DP augmentait, moins la concentration de pâte nécessaire pour obtenir

une résistance à la flexion donnée était élevée. Il faut donc prendre en compte le DS et le DP au moment de choisir un EC afin d'utiliser la plus faible quantité de produit possible et de réduire le plus possible les effets indésirables du produit sur l'objet. Enfin, ces recherches recommandent qu'au moment de choisir des EC parmi une série de produits apparentés (p. ex. parmi une série de MC ayant différents DS et DP), les EC qui possèdent le DS le plus faible et le DP le plus élevé constituent un choix judicieux, car une quantité moins importante est nécessaire pour assurer une bonne adhésion.

L'HEC mélangée avec du poly(alcool de vinyle) (PALV; 10 %) est devenue brune et insoluble après avoir été soumise à un vieillissement photochimique (Schaffer, 1978).

TEXTILES

Dans une étude portant sur divers adhésifs utilisés pour la conservation des textiles, notamment la MC, la méthylhydroxyéthylcellulose (MHEC), la CMC et la HEC, les chercheurs ont noté que la viscosité des solutions d'EC augmentait rapidement avec la concentration, ce qui est un résultat positif, car il permet d'éviter une pénétration profonde des produits dans les textiles (Masschelein-Kleiner et Bergiers, 1984). Ils ont aussi constaté que la MC pouvait être soluble dans l'eau et dans les solvants organiques (selon le DS), ce qui est également avantageux pour le traitement des textiles. Dans la même étude, les chercheurs ont montré que la MC, la MHEC et la CMC n'endommageaient pas la soie avant et après vieillissement à la lumière (la résistance de la soie traitée avec ces EC était légèrement supérieure à celle de la soie non traitée). Cependant, ces produits formaient des joints légèrement plus rigides avec la soie que ne le faisait l'amidon de blé hydrolysé. Comme l'HEC affaiblissait la soie après vieillissement à la lumière, son utilisation n'est pas recommandée. Les adhésifs de prédilection recensés dans cette étude pour la conservation des textiles étaient l'amidon et la MC.

Une étude a été menée sur plusieurs EC utilisés pour la conservation des textiles [CMC (Blanose 7MC), MC (Culminal) et HPC (Klucel G et Klucel L)] afin de déterminer l'impact du vieillissement à la chaleur et à la lumière sur diverses propriétés, soit le changement de couleur, le retrait, la force des joints et la réversibilité (Shashoua, 1995). Les résultats montrent que le Klucel G jaunit légèrement après exposition à la lumière, tandis que les autres produits ne subissent aucun changement de couleur. Pendant le séchage, la MC a rétréci de 5 %, tandis que les autres ont rétréci de 2 à 3 %. Le vieillissement n'a causé le retrait d'aucun des produits. Les deux types de Klucel ont formé des joints à recouvrement avec le papier qui étaient faibles et qui ne vieillissaient pas bien, alors que la MC a formé les joints les plus forts. De manière générale, la MC et la CMC formaient des joints plus faibles que l'amidon et la gélatine, mais ces joints conservaient mieux leur force après vieillissement. Enfin, dans la même étude, les chercheurs ont constaté que les deux types de Klucel étaient solubles dans l'eau, l'acétone et les alcools méthylés industriels, tandis que les autres produits n'étaient solubles que dans l'eau. Le vieillissement à la chaleur et à la lumière n'avait aucun impact sur la solubilité de ces produits.

CUIR ET PEAU

Une étude a été menée pour compiler des données sur divers adhésifs qui pourraient convenir au traitement du cuir (Wouters, 1989). La MHEC [Tylose MH 300 (2 %)], la gélatine et l'amidon de tapioca ont été retenus pour les besoins de l'étude en raison de leur résistance au pelage, de leur perméabilité à la vapeur d'eau, de leur réversibilité par dissolution dans l'eau ou l'acétone, de leur flexibilité et du fait qu'ils perturbaient peu la surface du cuir. Parmi ces adhésifs, le Tylose semblait être le moins fiable. Dans un prolongement de cette étude, huit adhésifs ont été évalués en vue de leur utilisation pour le parchemin [Tylose MH 300, Klucel G, amidon, gélatine, colle de parchemin, dispersion de poly(acétate de vinyle) (PACV) et acryliques] afin de déterminer l'impact du vieillissement à la chaleur sur leur force, leur perméabilité et leur réversibilité (Wouters, 1992). Les résultats indiquent que le Klucel G, le Tylose, l'amidon, la colle de parchemin, la gélatine et la dispersion de PACV répondaient à tous les critères établis pour le traitement du cuir (présentés par ordre croissant de force). Pour ce qui des échantillons de parchemin réparé et collé sur de la baudruche, seuls cinq adhésifs ont été mis à l'essai (Tylose MH 300, amidon, gélatine, colle de parchemin, dispersion de PACV). Ces échantillons ont été soumis à un vieillissement dans des conditions où l'humidité et la lumière fluctuaient de façon cyclique. Les résultats les plus acceptables ont été obtenus lorsque la baudruche avait été dégraissée, et ce sont le Tylose et l'amidon qui ont donné les meilleurs résultats.

Le Klucel G et divers autres adhésifs (PACV/amidon, BEVA 371, amidon de blé et amidon de maïs) ont été mis à l'essai afin de déterminer leur impact sur les reliures en cuir (craquellement, flexibilité et protection contre la pollution atmosphérique) (Lavaquerie et Chahine, 2001). Deux couches d'adhésif ont été appliquées sur du nouveau cuir de veau et de mouton de tannage végétal. Les échantillons ont ensuite été soumis à un vieillissement (sous l'effet d'une chaleur sèche, d'une chaleur humide et de polluants). Le Klucel G a obtenu les meilleurs résultats, car il

protégeait le cuir contre les polluants atmosphériques (y compris le dioxyde de soufre) et ne modifiait que légèrement l'apparence du cuir (le degré de modification étant jugé acceptable). Même si le BEVA 371 demeurait remarquablement flexible, il est devenu plus foncé, était difficile à appliquer et des traits de pinceau étaient visibles après application. Il n'est pas recommandé d'utiliser les trois autres adhésifs, car ils ont rendu le cuir considérablement plus rigide. L'adhésif à base de PACV et d'amidon a jauni et est devenu acide, alors que les amidons de blé et de maïs ont rétréci et se sont craquelés après vieillissement.

Dans une étude par microscopie électronique à balayage menée sur des adhésifs pour la peau d'intestin, les chercheurs ont constaté que la MC utilisée seule ou en combinaison avec le Jade 403 ne permettait pas un contact étroit entre la peau et l'adhésif; le contact s'améliorait toutefois lorsque la MC était mélangée à de la pâte d'amidon de blé (Horelick *et al*., 2011).

Peintures

La technique de marquage fluorescent a été utilisée pour visualiser le degré de pénétration de la MC et d'un mélange de MC et de gélatine dans la toile d'une peinture (Soppa *et al*., 2011). La gélatine utilisée seule a réussi à imprégner la toile, contrairement à la MC utilisée seule ou en mélange avec la gélatine. Ces dernières ont tout de même réussi à former des couches adhésives acceptables entre la peinture et la toile.

Métaux

Une étude a permis de constater que plus on ajoutait de CMC ou de PAmB à un PAVC (Jade 403) ou à un adhésif à base d'acrylique (Rhoplex N-619), plus la résistance au cisaillement sur les substrats d'aluminium diminuait (Fulton, 1988).

Solubilité et capacité d'enlèvement*

De manière générale, le DS détermine la solubilité des EC (**tableau 4**) (Roff et Scott, 1971, p. 165-166).

Tableau 4. DS et solubilité des EC
(Roff et Scott, 1971, p. 166)

Type d'EC	DS et solubilité de l'EC		
	Alcalis	Eau	Solvants organiques
MC	0,3	1,3-2,0	> 2,5
CMC	0,1-0,2	0,4-0,9	—
HEC	1	> 1,2	> 2,1
EtC	0,2-0,6	0,8-1,3	1,9-2,6

Les zones surlignées en gris pâle indiquent les produits offerts sur le marché.

Habituellement, plus le DS est élevé, plus l'EC est soluble dans les solvants organiques. Les EC possédant un DS intermédiaire sont solubles dans l'eau, et les EC ayant un très faible DS sont solubles dans les alcalis. Plus le DS est élevé, moins il y a de groupements hydroxyle sur l'unité de glucose pour assurer la solubilité de l'EC dans l'eau (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 313).

De manière générale, à l'exception de l'EtC, tous les EC sont solubles dans l'eau froide (Horie, 2010, p. 209). La CMC et l'HEC sont solubles dans l'eau chaude, contrairement à la MC, à l'HPMC, aux EHEC solubles dans l'eau (EHEC-SE) et à l'HPC (Horie, 2010, p. 206-211; Feller et Wilt, 1990, p. 13, 20-22; Davidson, 1980, p. 3-3; Roff et Scott, 1971, p. 165-166). La MC, l'EHEC et l'HEC sont solubles dans le diméthylformamide et le diméthylsulfoxyde, tandis que l'HPC est soluble dans les solvants polaires (Horie, 2010, p. 209-210). L'EtC est soluble dans les solvants organiques tels que l'alcool, l'acétone, les hydrocarbures aromatiques ou chlorés et certains esters (Roff et Scott, 1971, p. 170).

Les EHEC solubles dans un solvant organique (EHEC-SO) possèdent généralement des groupements éthyle et éthylhydroxyéthyle, tandis que les EHEC-SE possèdent des groupements éthyle et hydroxyéthyle (Feller et Wilt, 1990, p. 21). Cette particularité explique leur différence de solubilité. En outre, les EHEC-SO comptent beaucoup plus de substituants éthyle (Davidson, 1980, p. 3-2).

La CMC peut former des complexes insolubles en présence d'ions métalliques comme l'aluminium et le fer (Paper Conservation Catalog, 1994, p. 21-33; Baker, 1984; Davidson, 1980, p. 4-3).

L'ajout de CMC ou de PAmB à du Jade 403 a eu pour effet de rendre les feuils secs solubles dans l'eau, mais

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

cet effet n'a pas été observé dans le cas des feuils secs à base de Rhoplex N-619 (Fulton, 1988). Toutefois, l'ajout a eu pour effet d'accroître le gonflement des feuils secs de Rhoplex.

L'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier a été utilisée pour étudier la réversibilité de diverses MC (Methocel A4M, Methocel A345, Methocel J5MS, Methocel J75MS, Methocel 311 et Methocel F) ainsi que de diverses EtC (Ethocel Medium 70, Ethocel Standard 10, Ethocel Standard 45, Ethocel Standard 100, Ethocel Standard 200 et Ethocel HE10) utilisées sur du papier (Bonet *et al*., 2007). Les spectres de papiers non traités à l'EC ont été comparés aux spectres de papiers traités à l'EC, ainsi qu'aux spectres de papiers collés à l'aide d'un EC dont les joints avaient été défaits par immersion dans l'eau (dans le cas de la MC) ou par immersion dans l'éthanol (dans le cas de l'EtC). Même si les joints du papier collé se défaisaient facilement, il restait une quantité considérable d'EC même après une immersion de 30 minutes. Il faut donc en conclure que, même si la solubilité est bonne, les résidus d'adhésif ne sont pas complètement enlevés.

Les esters de cellulose – l'acétate de cellulose

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation	thermoplastique	1,9-7 (en 24 h)	1,48 (à l'état pur) 1,48-1,51 (à l'état plastifié)
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
			70-180 x 10^{-6}

(Omnexus; CAMEO, 2010; Shields, 1976, p. 299)

Acronymes

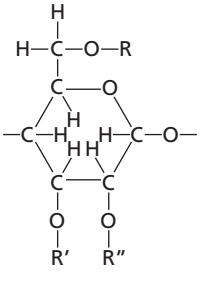
AC acétate de cellulose

Types, synonymes et noms commerciaux

acétylcellulose, Bexoid, Celastoid, Cellastine, Cellomold (cellophane), cellulose acétylée, Clarifoil, Gelastoid, Kodapak (feuils), Lansil, LePage Cement, Rhodoid, Tenite, Trolitul

Chimie et préparation

L'acétate de cellulose (AC) est fabriqué à partir de bourres de coton ou de pulpe de bois, d'acide acétique et d'anhydride acétique, sous l'effet d'un catalyseur d'acide sulfurique (Roff et Scott, 1971, p. 150-151). Le degré d'acétylation de l'AC correspond au degré de substitution (DS). Trois sites de l'unité de base peuvent recevoir des groupements acétyle (**figure 1**). L'AC ainsi obtenu peut être un acétate secondaire s'il est partiellement acétylé (DS d'environ 2,4) ou encore un triacétate s'il est complètement acétylé (DS de 3) (Horie, 2010, p. 213).



où R, R′ et R″ sont des groupements acétyle (CH_3CO-) (substitution partielle ou complète).

Figure 1. Unité de base de l'AC. (Roff et Scott, 1971, p. 149).

Historique et utilisation

L'AC a été préparé pour la première fois en 1865 et il a fait l'objet d'études plus approfondies en 1894 avant d'être commercialisé en 1903 (Roff et Scott, 1971, p. 156). Pendant la Première Guerre mondiale, il servait à apprêter (ou doper) la toile d'avion en remplacement du nitrate de cellulose, qui est très inflammable (Horie, 2010, p. 213; Roff et Scott, 1971, p. 155-156).

L'AC est entré dans la fabrication des feuils, des fibres, des tissus et des adhésifs. Il est utilisé à l'échelle commerciale comme adhésif pour coller les modèles réduits d'avions (en balsa), les plastiques à base d'AC, les pellicules photographiques, le cuir, le papier, le bois, le verre et les tissus (Hurd, 1959, p. 21). Il adhère passablement bien à la céramique, mais il adhère mal au caoutchouc, au métal et au verre (Shields, 1984, p. 39).

En conservation, l'AC a d'abord servi à fixer les pigments sur le papier et la pierre (1923), à laminer le papier (1934) et à consolider les tissus (1934), mais son usage a connu un déclin dans les années 1960 (Horie, 2010, p. 213-214).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

L'AC est un adhésif transparent comme l'eau. Il est moins inflammable, plus résistant à la chaleur et moins susceptible de changer de couleur que le nitrate de cellulose, mais il est moins résistant à l'eau (Hurd, 1959, p. 21). Puisqu'il est susceptible au fluage

à froid, il n'est pas recommandé comme adhésif structural (Hurd, 1959, p. 21). Il est censé être résistant aux moisissures (Hurd, 1959, p. 22).

L'AC peut s'oxyder à la température ambiante, ce qui l'affaiblit et le rend plus cassant (Horie, 2010, p. 213). La présence de résidus d'acide issus du procédé de fabrication, en particulier des anciens procédés de fabrication, peut accélérer la dégradation, l'instabilité et l'insolubilité (Horie, 2010, p. 213; Roff et Scott, 1971, p. 155). L'incorporation de tampons permet de réduire la détérioration.

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les acétates secondaires sont solubles dans les cétones (p. ex. dans l'acétone si le degré d'acétylation est inférieur à 57 % et dans le cyclohexanone), dans un mélange 80/20 de chlorure de méthylène et de méthanol ainsi que dans l'acétate de méthyle, le lactate d'éthyle, les dérivés d'éthylène glycol, la pyridine, le diméthylformamide, les phénols et l'acide acétique glacial (Roff et Scott, 1971, p. 151).

Les triacétates sont solubles dans les solvants moins polaires, et leur solubilité est plus limitée (Roff et Scott, 1971, p. 151). Ils sont solubles dans les hydrocarbures chlorés mélangés avec un peu d'alcool, le nitrométhane, la pyridine, le diméthylformamide, l'acide formique et l'acide acétique glacial.

L'AC est relativement inerte en présence d'hydrocarbures, d'huiles, de graisses, de tétrachlorure de carbone, de perchloroéthylène, d'alcools, d'éthers, d'acides faibles et d'alcalis faibles (Roff et Scott, 1971, p. 151).

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

Les esters de cellulose – le nitrate de cellulose

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation	thermoplastique	1-3	~ 1,50
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
53† 100††			70-160 x 10^{-6}

(†Hamrang, 1994, p. 37; ††Paper Conservation Catalog, 1994, p. 38-41; Shields, 1976, p. 299; Roff et Scott, 1971, p. 161)

Abréviation

NC nitrate de cellulose

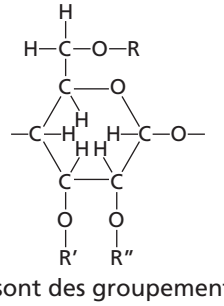
Types, synonymes et noms commerciaux

Agateen, Ambroid, celluloïd, collodion, Duco Cement, Durofix, HMG, nitrocellulose, pyroxyline, Randolph's, UHU Hart, Xylonite

Chimie et préparation

Le procédé de fabrication du nitrate de cellulose (NC) consiste à faire tremper des bourres de cellulose ou de la pâte à papier dans un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentrés (Horie, 2010, p. 214; Roff et Scott, 1971, p. 159-160). La concentration des acides détermine le nombre de groupements nitrate pouvant se substituer sur chaque molécule de cellulose (**figure 1**), jusqu'à un maximum théorique de trois. Cette capacité de remplacement s'appelle le degré de substitution (DS) (Roff et Scott, 1971, p. 160). Après le trempage dans la solution acide, le produit est rincé pour en éliminer l'acide. La prochaine étape consiste à le faire bouillir dans un alcool pour enlever les groupements sulfate (Roff et Scott, 1971, p. 160). Si l'acide n'est pas adéquatement éliminé, il peut finir par catalyser la décomposition du NC (Stewart *et al*., 1995, 1996b). Le DS a une incidence sur les utilisations du NC; dans le cas des adhésifs, le DS varie de 2,0 à 2,2 (**tableau 1**).

Il est nécessaire de mélanger le NC à des plastifiants (p. ex. camphre, phosphate de triphényle, phosphate de tricrésyle, phtalate de dibutyle) afin de lui conférer une certaine flexibilité et de réduire sa propension à exploser (Horie, 2010, p. 214; Shashoua *et al*., 1992). De manière générale, un adhésif à base de NC est constitué de NC (15 % en poids, masse moléculaire d'environ 25 000), de plastifiant (5 à 6 %), d'acétone (11 %), d'éthanol (44 %) et d'acétate d'amyle (24 %) (Koob, 1982).



où R, R′ et R″ sont des groupements nitro ($-NO_2$) (substitution partielle ou complète).

Figure 1. Unité de base du NC. (Roff et Scott, 1971, p. 159).

Tableau 1. Relation entre le DS, le % d'azote et les utilisations du NC
(Horie, 2010, p. 214; Roff et Scott, 1971, p. 160)

Utilisations	% d'azote	DS approx.
plastiques, laques	10,5-11,5	1
laques, films	11,5-12	2
adhésifs, laques	11,2-12,3	2,0-2,2
explosifs (masse moléculaire élevée)	12-13,5	2,9

Historique et utilisation

Le NC a été étudié pour la première fois dans les années 1830 (Roff et Scott, 1971, p. 163). À partir des années 1840, il a été utilisé à l'échelle commerciale pour fabriquer du fulmicoton (un explosif) ainsi que du collodion, un produit utilisé en photographie, plus précisément lors du procédé au collodion humide (Roff et Scott, 1971, p. 163). Entre les années 1864 et 1869, le NC a été plastifié à l'aide de camphre et le produit résultant a été surnommé « celluloïd » (l'un des premiers plastiques) (Roff et Scott, 1971, p. 163). Le NC a servi à apprêter (ou doper) les tissus utilisés sur les premiers avions, et il a été employé plus tard comme laque dans l'industrie automobile (Roff et Scott, 1971, p. 162-163).

Ses utilisations commerciales étaient diverses : explosifs militaires; articles moulés; feuilles transparentes et pigmentées; pellicules photographiques; revêtements pour le cuir et le tissu de reliure; finis hydrofuges; laques; ciments domestiques tout usage pour le verre, le papier, le cuir, les textiles, le papier, les métaux, le bois et l'acétate de cellulose (mais pas le caoutchouc); adhésifs dans la fabrication du carton (Shields, 1984, p. 40; Roff et Scott, 1971, p. 162-163; Hurd, 1959; p. 22). À cause de son caractère inflammable, beaucoup de ces utilisations ont été abandonnées.

Depuis la fin du XIX^{e} siècle, le NC est utilisé dans le domaine de la conservation comme adhésif, comme agent de consolidation et comme revêtement; il continue de l'être encore aujourd'hui, mais avec certaines réserves (Horie, 2010, p. 214-216). Il a été utilisé comme agent de consolidation pour la pierre, la terre, les peintures murales, les pigments, les végétaux, le bois et d'autres matières organiques; comme adhésif pour la poterie, la terre cuite, la tuile, la céramique, le verre, l'émail, l'ivoire et la pierre; et comme revêtement pour le verre, l'argent, le cuivre, le bronze, le laiton et le fer (Horie, 2010, p. 214-216; Selwitz, 1988, p. 1-7).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Le NC a été prisé en conservation en raison de sa facilité d'utilisation, de son séchage rapide et de sa capacité de demeurer complètement soluble, de manière générale, même sur de longues périodes (Horie, 2010, p. 214-216). Toutefois, il a été délaissé dans la plupart des cas pour diverses raisons : il se contracte, il libère des oxydes d'azote et des acides, il peut être explosif, est très inflammable et est instable lorsque chauffé, il change de couleur et devient cassant après exposition à la lumière du soleil ou à des températures élevées (Horie, 2010, p. 214-216; Koob, 1982; Roff et Scott, 1971, p. 162).

La décomposition thermique du NC se produit à des températures inférieures à 135 °C, et il faudra environ 160 ans pour que le produit soit réduit à un tiers de sa masse moléculaire initiale par dégradation spontanée (Selwitz, 1988, p. 17-34). Le NC est moins stable que l'acétate de cellulose (Horie, 2010, p. 214). Il subit une dégradation photochimique lorsqu'il est exposé à une lumière dont la longueur d'onde se situe entre 280 et 300 nm; il en résulte un jaunissement, une dénitratation et la formation de carboxyles (Chang, 1995). La dégradation du NC est autocatalytique, c'est-à-dire que les produits de dégradation catalyseront eux-mêmes la dégradation, à moins qu'ils ne soient éliminés. La plupart des anciens NC sont plus instables que les NC de fabrication moderne, qui répondent à des normes beaucoup plus strictes (Green et Bradley, 1988b; Green, 1987). L'ajout de bases solubles au NC pour neutraliser la libération lente d'acides est déconseillé, car elles peuvent dégrader davantage le feuil (Selwitz, 1988, p. 31-32). Dans le cas des feuils à base de NC fabriqués et traités adéquatement, il se peut que cette libération d'acides ne pose pas énormément de problèmes, comme le montrent les celluloïds de dessin animé fabriqués sans base soluble pour Disney dans les années 1930 et qui, en 1988, étaient encore flexibles, transparents et inodores, montraient encore une bonne force, et avaient à peine changé de couleur (Selwitz, 1988, p. 30-32).

De manière générale, plus la molécule de NC compte de groupements nitrate, moins elle est stable (Selwitz, 1988, p. 35). Les études montrent que l'ajout d'oxyde de zinc réduit considérablement le taux de dégradation, alors qu'un taux d'humidité élevé l'augmente (Stewart *et al.*, 1996). Le NC est compatible avec la plupart des résines synthétiques et naturelles mais, comme il fait rapidement jaunir les résines époxy, la prudence est de mise lorsqu'on utilise une résine époxy pour recoller des parties qui avait été collées précédemment avec du NC (Shashoua, 1995b).

Malgré toutes les preuves de la dégradation du NC, la question à savoir si ce produit doit être utilisé ou non en conservation suscite bien des débats (Watkinson et O'Connor, 1982). Certains spécialistes en conservation ne recommandent pas l'utilisation du NC (Koob, 1982), alors que d'autres ont constaté que le produit a donné des résultats plutôt satisfaisants pendant de nombreuses années

(Shashoua *et al*., 1992). Ces derniers spécialistes ont observé que les adhésifs à base de NC plastifié (p. ex. HMG Heat and Waterproof Adhesive) conservaient leur flexibilité et ne changeaient que peu de couleur dans des conditions de vieillissement défavorables, contrairement au NC non plastifié, qui perdait sa flexibilité et changeait de couleur. De plus, ces spécialistes ont pu démontrer, à l'aide de cas documentés, que des réparations faites avec du NC et soumises à un vieillissement naturel étaient demeurées stables dans un musée pendant 30 ans, et que ce résultat « pouvait être extrapolé, laissant ainsi supposer une durée de conservation de 50 à 100 ans dans des conditions muséales et un climat tempéré » [traduction] (p. 113).

Il a été démontré récemment qu'une analyse chromatographique, après que l'on a échantillonné un objet en NC à l'aide d'un coton-tige, peut être effectuée pour détecter les NC qui indiquent une teneur élevée en sulfates, une perte de plastifiants et la présence d'oxalates, autrement dit, les NC les plus susceptibles de se dégrader (Quye *et al*., 2011). Cette analyse chromatographique pourrait également être effectuée sur les adhésifs et les revêtements à base de NC.

Le NC possède une résistance au cisaillement assez élevée à la température ambiante mais, comme il s'agit d'un thermoplastique, il ne convient pas aux applications structurales, surtout à température élevée (Hurd, 1959, p. 22). Il est résistant à l'eau de même qu'aux bactéries, aux champignons et aux insectes (Koob, 1982; Roff et Scott, 1971, p. 160-162).

Vannerie

Plusieurs essais ont été menés sur des NC (Duco Cement, Scotch Super Strength), des résines et des dispersions de poly(acétate de vinyle) (PACV) ainsi que sur une pâte d'amidon de blé mélangée à de la MC afin de déterminer la force et la réversibilité de ces produits lorsqu'ils sont utilisés pour la conservation de la vannerie; les résultats ont montré que les dispersions de PACV possédaient les meilleures caractéristiques, tandis que les NC avaient une faible pégosité, étaient difficiles à utiliser et nécessitaient l'utilisation d'une quantité excessive de colle pour former un bon joint (Hartley et Grosso, 1981).

Céramique et métaux

Dans le domaine de la conservation, le NC est principalement utilisé comme adhésif pour la céramique et comme revêtement pour les métaux (Selwitz, 1988, p. 1-7). Dans un article de synthèse portant sur les NC utilisés en conservation (Selwitz, 1988), l'auteur a laissé entendre que les NC sont prisés comme *adhésifs* (en particulier pour la céramique), car ils sont réversibles, ils sèchent rapidement, ils sont faciles à utiliser (habituellement disponibles sous forme de tubes souples, commodes à utiliser), ils ont une consistance qui les rend maniables et une bonne pégosité, ils ne pénètrent pas dans les objets mais forment des joints forts. Les NC sont également prisés comme *revêtements* (en particulier pour les métaux), car leur application et leur séchage sont faciles et rapides, ils possèdent une bonne adhésion et de bonnes propriétés d'étalement, ils produisent un fini exempt de poussières après séchage et possèdent des propriétés optiques intéressantes. Dans son article, l'auteur suggère que les adhésifs devraient être stables pendant 200 à 400 ans, ce qui minimise le besoin de refaire des réparations longues, coûteuses et délicates sur les objets. Cependant, comme les revêtements sont plus faciles à enlever et à remplacer, ils pourraient n'avoir une vie utile que de 15 à 25 ans avant que leur remplacement ne devienne nécessaire. Il a été estimé que le NC adéquatement stabilisé a une durée de vie de seulement 25 à 200 ans, après quoi il se dégrade. Pour cette raison, il convient mieux comme revêtement que comme adhésif. À titre d'exemple, le NC constituerait un revêtement adéquat pour l'argent, puisque l'argent se ternit plus vite que le revêtement de NC ne se dégrade. Autrement dit, il faut enlever le revêtement pour repolir l'argent bien avant que la dégradation du revêtement n'exige son remplacement. Toujours selon cet article, il serait préférable d'envisager l'utilisation d'adhésifs plus stables, comme les polymères acryliques.

Céramique

Une étude menée par Castro et Doménech Carbó (1999) a confirmé certaines des réserves entretenues à l'égard de l'utilisation des NC pour la conservation de la céramique. Les chercheurs ont évalué neuf adhésifs [PACV, acryliques, cyanoacrylates, résine époxy et NC (Imedio Banda Azul)] utilisés sur de la céramique espagnole datant de l'époque médiévale afin de déterminer la résistance à la traction, l'indice de jaunissement (avant et après un vieillissement à la chaleur cyclique), l'épaisseur du joint, le temps de travail et les dangers globaux qu'ils posent pour la santé. Ils ont constaté que la résine Paraloid B-72 donnait les meilleurs résultats, alors que le NC jaunissait et était plus toxique.

Une analyse en composantes principales des spectres infrarouges a été réalisée pour identifier deux groupes d'adhésifs à base de NC qui avaient été utilisés

en 1972 et en 1987 afin de conserver une collection de poterie chypriote (Nel *et al*., 2011). La teneur en plastifiant du NC utilisé en 1972 était d'environ 15 %, tandis que celle du NC utilisé en 1987 était d'environ 2 %. Puisqu'il a été démontré que le NC plastifié est plus stable que le NC pur (Shashoua *et al*., 1992), il fut décidé de traiter de nouveau en priorité les pièces conservées initialement en 1987 à l'aide d'un NC à plus faible teneur en plastifiant plutôt que les pièces conservées en 1972 à l'aide d'un NC à plus forte teneur en plastifiant.

Métaux

Dans une étude visant à déterminer si les produits à base de NC, d'acrylique et de PACV convenaient comme revêtements pour l'argent (perméabilité à l'eau et au sulfure d'hydrogène, dureté, élasticité, capacité de dilatation, résistance à l'abrasion, adhésion, réversibilité et changement de couleur après vieillissement), l'auteur a constaté que le NC résistait moins bien à l'abrasion que les autres feuils soumis aux essais; que la perméabilité au sulfure d'hydrogène, la capacité de dilatation ainsi que la dureté du NC était comparable à celle des autres produits; que son adhésion et son élasticité étaient largement supérieures à celles des autres produits; qu'il était moins réversible que les autres après vieillissement; et qu'il jaunissait et se détériorait davantage que les autres produits (De Witte, 1973). Une autre étude a montré que le NC n'a aucun effet de corrosion ou de ternissement sur le cuivre, le plomb ou l'argent (Oddy, 1975).

Un NC en particulier (Agateen Air Dry Lacquer #27) a donné de bons résultats comme revêtement protecteur pour de l'argent exposé au sulfure d'hydrogène, étant donné son faible effet de ternissement, alors qu'un autre NC (HMG Heat and Waterproof Adhesive) était moins efficace à cet égard (Grabow *et al*., 2007). L'argent recouvert d'Agateen se ternissait moins rapidement que l'argent recouvert de résine Paraloid B-72 ou B-48N (Reedy *et al*., 2000).

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les plastiques, les fibres et les laques à base de NC sont solubles dans l'alcool, les mélanges alcool-éther, les cétones, les esters (p. ex. acétate d'amyle), les mélanges de cétones et d'esters, l'éther monoéthylique de l'éthylèneglycol, les acétates d'éther monoalkylique, le diéthylèneglycol et l'acide acétique glacial (Roff et Scott, 1971, p. 160). Lorsque leur teneur en azote est égale ou supérieure à 12 %, les produits à base de NC sont plus solubles dans les cétones, les esters ainsi que dans les mélanges d'alcool et d'éther (Roff et Scott, 1971, p. 160).

Les solutions faiblement alcalines, les solutions acides diluées et froides, les hydrocarbures aliphatiques et le chloroforme ont peu d'impact sur les NC; de plus, les NC sont résistants à l'eau (Shashoua *et al*., 1992; Roff et Scott, 1971, p. 160).

Les NC réagissent avec les oxydes de métaux (p. ex. plomb, calcium, argent, étain, fer, cuivre, zinc) pour former un gel insoluble (Horie, 2010, p. 214-215).

---

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

La gomme-laque

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation ou solidification de liquide	thermoplastique et thermodurcissable lorsque séchée à chaud		1,5210-1,5272
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
point de fusion : 77-90 ramollit entre 40 et 50			91×10^{-6}

(ShellacEPC; Baynes-Cope, 1972)

Types, synonymes et noms commerciaux

Diatite, gomme-laque, gomme-laque blanchie, gomme-laque citron (en paillettes), gomme-laque en bâtons (matière brute), gomme-laque en boutons noire, gomme-laque en graines (gomme-laque en bâtons, lavée et triée), gomme-laque grenat, gomme-laque orange (en paillettes), Katki, Kusmi, laque en boutons (gomme-laque en graines, fondue et filtrée), Smith's Patent American Composition

Chimie et préparation

La gomme-laque est une résine tirée de certains arbres en Asie du Sud. Elle est sécrétée par des insectes parasites (*Tacchardia lacca, Coccus lacca*) lorsqu'ils construisent leur cocon (gomme-laque en bâtons). La résine est extraite par fusion et par filtration; elle est ensuite refroidie sous forme de gouttelettes ou de feuillets avant d'être dissoute dans l'alcool (Roff et Scott, 1971, p. 237). L'arbre dont se nourrit l'insecte ainsi que le moment de la récolte déterminent la couleur de la gomme-laque obtenue (Buch *et al*., 2009). La gomme-laque est un mélange complexe de composés renfermant de l'acide aleuritique et des acides sesquiterpéniques, qui peut être plastifié à l'aide de plastifiants à base de phtalates ou de phosphates et d'huile de ricin (Horie, 2010, p. 258-260; Roff et Scott, 1971, p. 237-238).

Historique et utilisation

L'utilisation de la gomme-laque remonte à au moins 3 000 ans (Hoyas, 2003). Elle a fait son apparition en Europe au X^{e} siècle. En 1220, elle était mentionnée parmi les liants utilisés par les artistes en Espagne et, au milieu du XVI^{e} siècle, son usage s'était beaucoup répandu (Hoyas, 2003; Roff et Scott, 1971, p. 237-238).

La gomme-laque a été utilisée pour vernir des meubles, des planchers et des lambris; pour mouler des articles (p. ex. disques de gramophone, boîtes, boutons, cadres d'ambrotypes et de daguerréotypes); comme revêtement pour les pneus, la guidoline, les textes en Braille et le cuir; pour glacer des comprimés, des bonbons et des pommes; pour laminer le mica et le papier; pour rigidifier les chapeaux en feutre. Elle a également été utilisée comme isolant électrique; comme composé antitaches dans les apprêts pour peinture; comme additif pour la cire à cacheter, les encres d'imprimerie et les feux d'artifice; et comme adhésif pour les matières poreuses, les métaux, la céramique, le liège et le mica (Columbini et Modugno, 2009, p. 17; Ebnesajjad, 2008, p. 100; Mills et White, 2003, p. 115; Roff et Scott, 1971, p. 238).

Dans le domaine de la conservation, la gomme-laque a été utilisée comme adhésif, comme agent de consolidation et comme revêtement de surface (Hanna et Lee, 1988). Elle a été employée comme adhésif pour la pierre, la céramique et le montage à sec des photographies; comme vernis pour les peintures et les boiseries décoratives, et comme vernis au tampon (Horie, 2010, p. 258-260; Hanna et Lee, 1988; Koob, 1979; Baynes-Cope, 1972). Elle a déjà été utilisée comme revêtement et comme agent de consolidation pour des spécimens géologiques dans les années 1860 (Elder *et al*., 1997).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

La gomme-laque a été utilisée principalement comme adhésif thermofusible (thermodurcissable) et comme adhésif en solution d'alcool (Hurd, 1959, p. 36). Son utilisation comme adhésif thermodurcissable a déjà été prisée en conservation pour diverses raisons : elle fond à une température inférieure à 100 °C, elle ne reste pas collante une fois prise, elle ne coule pas même si elle est flexible et elle est imperméable à l'eau (Baynes-Cope, 1972). Elle est également facile à utiliser et à se procurer (Koob, 1984b). Le produit présente toutefois des désavantages : la gomme-laque devient cassante, perd de la force et change de couleur. Pour l'enlever, il faut utiliser des solvants forts et elle laisse des taches indélébiles (Horie, 2010, p. 258-260; Hanna et Lee, 1988). Elle peut réticuler sous l'effet de la chaleur et si elle est entreposée pendant une longue période (Horie, 2010, p. 258-260). Son usage n'est plus recommandé en conservation.

Pierre

La gomme-laque résiste moyennement bien à la prolifération microbienne sur la pierre (Koestler, 2000).

Solubilité et capacité d'enlèvement*

La gomme-laque est soluble dans l'alcool, les alcalis (p. ex. borax en solution aqueuse, carbonate de sodium ou ammoniac), la pyridine ainsi que dans l'acide formique, l'acide acétique et l'acide lactique (Roff et Scott, 1971, p. 237-238). Elle possède une faible résistance à l'eau (Roff et Scott, 1971, p. 237-238). Si elle est entreposée pendant une longue période, elle devient insoluble dans l'alcool à froid, mais s'y dissout lorsqu'il est chauffé (Roff et Scott, 1971, p. 237-238).

Il est possible d'enlever la gomme-laque fraîchement prise avec du 2-méthoxyéthanol ou avec un mélange 50:50 d'éthanol et d'acétone (Koob, 1979). La gomme-laque réticulée et vieillie est très difficile à enlever de façon mécanique. Il a été possible de l'enlever sur des épreuves photographiques à l'aide d'un traitement au 2-méthoxyéthanol suivi d'un traitement au méthanol (Baynes-Cope, 1972). Cependant, une immersion dans la pyridine (pendant 1 à 4 heures) a été nécessaire pour enlever de la gomme-laque vieillie et des taches sur de la céramique (Koob, 1979). D'autres solvants comme le dichlorométhane ainsi qu'un mélange d'ammoniac et d'alcools méthylés industriels (50:50) se sont montrés moins efficaces ou ne sont pas recommandés pour la céramique émaillée (Koob, 1979).

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

Les poly(acétates de vinyle) et copolymères

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation (dispersions et résines en solution; coalescence des dispersions) solidification (thermofusion)	thermoplastique	1-8	1,46-1,47
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
28-40	~ 2 000 (dispersion typique)	4-5 dispersions liquides 4-7 feuils secs (non vieillis) extraits à l'eau	PACV : 85 x 10^{-6} † PACV : 120-130 x 10^{-6} AVE : 160-200 x 10^{-6}

(Alderson *et al.*, 2012; Down *et al.*, 1996; Shields, 1976, p. 299; †Roff et Scott, 1971, p. 68-69)

Abréviations

PACV poly(acétate de vinyle)
ACV acétate de vinyle
EAV copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle (plus d'éthylène que d'ACV dans le copolymère)
AVE copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène (plus d'ACV que d'éthylène dans le copolymère)
AVMDB copolymère d'acétate de vinyle et de maléate de dibutyle

Types, synonymes et non commerciaux

PACV Aquadhere, série AY* (p. ex. AYAC), Bondfast, CM Bond, Elmer's, Gelva, Planatol, Ponal, Titebond, Vinac, Weldbond
EAV BEVA, Elvax
AVE Dur-O-Set, Elvace, Evacon, Jade, Vinamul, Vinnapas
Autres Adhesin, Appretan*, Clariant*, Duvilax, Everflex, Mowilith*

* Au moment de la publication du présent ouvrage, Dow Chemical Company avait fait l'acquisition d'Union Carbide Corporation, qui fabriquait les résines de la série AY (Watson, 2009). Au fil des ans, de nombreuses fusions et acquisitions ont eu lieu entre fabricants d'adhésifs, et beaucoup de produits ont changé de nom. Il est parfois difficile de recenser les produits qui sont offerts aujourd'hui : un même produit peut avoir changé de nom, et la production de certains produits a cessé. À titre d'exemple, le Mowilith DMC2, qui avait été renommé Appretan MB Extra, est maintenant connu sous le nom de Clariant T1601 en raison d'acquisitions entre entreprises, alors que la série de résines AY, quant à elle, a tout simplement disparu.

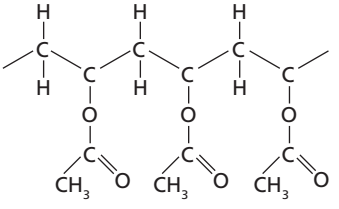
Chimie et préparation

Le monomère d'acétate de vinyle (ACV) est préparé de diverses façons, notamment à partir d'acétylène, d'acide acétique et de composés du mercure (Roff et Scott, 1971, p. 66-67). La polymérisation de l'ACV en vue de produire du poly(acétate de vinyle) (PACV) est effectuée en solution ou en suspension aqueuse par exposition à des rayons ultraviolets (UV) ou sous l'action d'amorceurs radicalaires (Roff et Scott, 1971, p. 66-67). Il est possible de se procurer des PACV sous forme de résines solides ou de dispersions, lesquelles peuvent être constituées d'homopolymères ou de copolymères (**figure 1**) de masse moléculaire variable. Il existe de nombreux copolymères (notamment avec de l'éthylène, des maléates d'alkyle ou des acrylates d'alkyle). Des plastifiants sont souvent ajoutés aux dispersions homopolymériques afin d'accroître leur flexibilité. Des agents de surface, des éthers de cellulose et des poly(alcools de vinyle) (PALV) partiellement hydrolysés sont habituellement utilisés comme colloïdes protecteurs dans les dispersions de PACV.

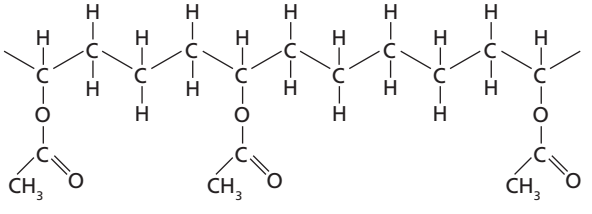
À part les plastifiants et les colloïdes protecteurs, les formulations en dispersion peuvent renfermer des matières de charge, des épaississants, des solvants, des agents mouillants, des agents améliorant la pégosité, des agents antimousse, des biocides, des humectants, des stabiliseurs gel-dégel, des pigments ou des colorants.

Les copolymères d'éthylène, c'est-à-dire les copolymères d'acétate de vinyle et d'éthylène (AVE) et les copolymères d'éthylène et d'acétate de

vinyle (EAV) sont préparés par copolymérisation de l'éthylène avec l'ACV (Roff et Scott, 1971, p. 17). Les copolymères d'AVE sont habituellement des dispersions à base d'eau dont la teneur en ACV se situe entre 60 et 95 %, tandis que les copolymères d'EAV, dont la teneur en ACV se situe entre 10 et 40 %, sont habituellement des matières solides utilisées dans les applications requérant un adhésif thermofusible (Chemquest).



Homopolymère de PACV



Copolymère d'AVE

Figure 1. Exemple d'homopolymère de PACV et de copolymère d'AVE.

Historique et utilisation

L'ACV a été préparé pour la première fois en Allemagne en 1912 et sa fabrication à grande échelle remonte à 1917 en Allemagne et au Canada (Roff et Scott, 1971, p. 70). L'EAV a été mis au point par Dupont en 1956 et commercialisé sous le nom « Elvax » en 1960 (Plastics Historical Society, 2011).

Les PACV et les AVE ont de nombreuses utilisations commerciales : peintures, revêtements, adhésifs, finis textiles, emballages, stratifiés et emballages moulants. Lorsqu'ils sont utilisés comme adhésifs, les PACV adhèrent à plus de surfaces que n'importe quel autre adhésif (Jaffe *et al*., 1990). Ces adhésifs sont parmi les plus populaires et ils constituent sans doute la colle à bois la plus couramment utilisée. Les EAV sont largement utilisés pour la reliure des livres à l'échelle commerciale et pour la fabrication d'emballages, d'étoffes non tissées (p. ex. les couches jetables), d'éléments de meubles ainsi que d'étiquettes thermocollables (Eastman et Fullhart, 1990).

L'utilisation de *résines* de PACV dans le domaine de la conservation remonte aux années 1930. Elles ont été utilisées pour les cartonnages, les vernis, les doublages [de peintures et de dessins (Jirat-Wasiutynski, 1980)], la poterie, l'os, les fossiles et les spécimens géologiques (Horie, 2010, p. 137-142). L'utilisation de *dispersions* s'est largement répandue dans le domaine de la conservation après 1940, notamment pour les textiles, le papier, les matières gorgées d'eau, l'os sec et mouillé, les fossiles, la retouche et le doublage des peintures et des peintures murales (Horie, 2010, p. 137-142; Marxen-Wolska, 1991). Les résines d'EAV sont le principal constituant du BEVA 371, un produit mis au point dans les années 1960 et utilisé pour le doublage des peintures ainsi que pour celui des textiles et des objets en cuir.

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Les résines de PACV sont transparentes et incolores. Elles peuvent fluer si elles sont soumises à une charge persistante, et donc ne conviennent pas pour certaines applications structurales (Shields, 1984, p. 71). Puisque certains PACV ont une température de transition vitreuse (T_v) proche de la température ambiante, ils sont susceptibles de fluer à froid et de retenir de la poussière (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 304-331). Les PACV résistent mal aux intempéries et à l'humidité, et ils sont conçus pour être utilisés à l'intérieur seulement (Shields, 1984, p. 71).

Il est possible de dissoudre les résines de PACV dans des solvants non aqueux; leur utilisation est donc pratique lorsque l'eau est à proscrire. Ces résines sèchent rapidement (selon le solvant), adhèrent aux surfaces lisses (p. ex. aux surfaces traitées au polyéthylèneglycol) et elles sont lustrées une fois prises. De manière générale, les résines contiennent moins d'additifs pouvant nuire à la stabilité que les dispersions.

Les dispersions aqueuses présentent plusieurs avantages par rapport aux mêmes résines en solution : il est possible d'utiliser des résines de masse moléculaire élevée (si l'utilisation d'une résine de masse moléculaire est souhaitable, ce qui n'est pas toujours le cas en conservation, surtout lorsque la réversibilité est une propriété importante) ainsi que des résines à teneur élevée en solides ayant une viscosité relativement faible (Jaffe *et al*., 1990). De manière générale, les dispersions de PACV sont visqueuses, non pénétrantes, fortes et flexibles; elles sèchent rapidement et possèdent une bonne pégosité.

Elles sont parfois additionnées d'éthers de cellulose et d'amidon pour améliorer leur réversibilité, accroître leur viscosité ou réduire leur pouvoir de pénétration. Les dispersions de PACV sont souvent acides, car les fabricants ajoutent dans bien des cas de l'acide acétique pour stabiliser la dispersion ou pour dissoudre des additifs tels que les agents épaississants (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 304-331; Tétreault et Stamatopoulou, 1997).

Les copolymères de PACV renfermant des maléates d'alkyle et des acrylates d'alkyle sont capables d'adhérer à bien des surfaces récalcitrantes, mais ils résistent mal à la chaleur. De plus, ils sont moins forts et leur temps de prise est plus lent comparativement aux homopolymères. Les copolymères de maléates d'alkyle généralement utilisés dans le domaine de la conservation (p. ex. Mowilith DMC2) ont une T_v basse (10 °C) et sont forts malgré leur flexibilité. Les copolymères d'éthylène ont une force adéquate (comparable à celle des homopolymères) et une résistance adéquate à la chaleur, sans compter une meilleure adhésion et une meilleure résistance au fluage que les copolymères d'ester (Jaffe *et al*., 1990). En outre, les copolymères d'éthylène conservent mieux leur résistance au pelage après vieillissement (Jaffe *et al*., 1990). Ils peuvent être lustrés après séchage et ils peuvent produire des taches lorsqu'ils sont appliqués à l'état humide. La quantité d'éthylène dans le copolymère d'AVE a un impact sur la T_v, la résistance à l'eau, l'adhésion et le temps de prise du produit (**tableau 1**).

Les copolymères ont une T_v inférieure et une flexibilité supérieure à celles des homopolymères, car les groupements acétate sont mieux séparés dans les copolymères que dans les homopolymères, ce qui permet plus de mouvements intermoléculaires (Jaffe *et al*., 1990). Dans les homopolymères, la proximité des groupes acétate cause plus de rigidité. Par conséquent, ces copolymères ne nécessitent l'ajout que d'une faible quantité de plastifiant, voire aucun ajout.

TABLEAU 1. AVE EN DISPERSION – IMPACT DE LA TENEUR EN ÉTHYLÈNE
(Jaffe *et al*., 1990)

Propriété	Teneur en éthylène (%)		
	17	25	31
T_v (°C)	0	-20	-30
résistance à l'eau	bonne	passable	faible
adhésion au papier	excellente	bonne	passable
vitesse de prise	excellente	bonne	passable

L'ajout de plastifiants aux homopolymères en dispersion abaisse leur T_v et accroît leur flexibilité, mais ces plastifiants peuvent disparaître en quelques décennies (Barrow, 1965), migrer dans l'objet au fil du temps, causer la rupture des joints (Jaffe *et al*., 1990), entraîner une perte de la flexibilité et tacher le substrat (Krutzel, 1989).

La ramification des PACV pendant la polymérisation augmente leur résistance à la traction, leur ténacité, leur résistance à la chaleur et leur résistance au fluage; elle a également comme effet que le feuil est moins collant une fois sec (Jaffe *et al*., 1990). L'ajout de groupements fonctionnels à la structure du PACV peut accroître l'adhésion à des substrats récalcitrants ainsi que le degré de réticulation (Jaffe *et al*., 1990).

Comparativement aux dispersions protégées à l'aide d'agents de surface, les dispersions protégées à l'aide de PALV partiellement hydrolysé sont constituées de particules plus grosses, possèdent une meilleure résistance au fluage, une meilleure pégosité à l'état liquide ainsi qu'un temps de prise plus rapide (Jaffe *et al*., 1990). Les feuils secs formés à partir de dispersions de PACV protégées à l'aide de PALV sont troubles, mats et sensibles à l'eau, car les particules ne peuvent pas former un feuil étroitement coalescé, alors que les feuils constitués de dispersions protégées à l'aide d'agents de surface sont transparents, lustrés et résistants à l'eau, car les particules coalescent plus étroitement (Jaffe *et al*., 1990). La sensibilité à l'eau des feuils protégés à l'aide de PALV est attribuable à la présence de PALV (Jaffe *et al*., 1990).

Le PACV n'est pas vulnérable à la dégradation par exposition à l'oxygène, à l'ozone ou aux rayons UV; cependant, il se dégrade à des températures supérieures à 130 °C (Jaffe *et al*., 1990; Roff et Scott, 1971, p. 69). Les dispersions de PACV peuvent s'hydrolyser pour donner de l'acide acétique et du PALV en milieu acide ou alcalin, mais les *feuils* comme tels résistent très bien à l'hydrolyse (Ďurovič *et al*., 1991). Certains PACV libèrent des esters qui, dans un milieu humide et acide, peuvent s'hydrolyser en acides, ce qui peut endommager les objets sensibles aux acides (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 321). Un jaunissement du feuil de PACV est probablement causé par la formation de doubles liaisons lorsque des groupements acétate sont éliminés, ce qui semble se produire lentement dans des « conditions muséales appropriées » [traduction] (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 321). Il en résulte que les chaînes polymériques restantes « s'imbriquent plus étroitement » [traduction], ce qui accroît la cristallinité, la rigidité et la friabilité, tout en réduisant la solubilité en raison de la diminution du nombre

de groupements latéraux polaires (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 320-321). Le jaunissement causé par la lumière naturelle peut être moins important en raison de la réaction concurrente de blanchiment (Ďurovič *et al*., 1991).

Dans le cas des EAV, la transparence, l'adhésion, la flexibilité, la ténacité et la solubilité dans les solvants augmentent lorsque la teneur en ACV est plus élevée (Eastman et Fullhart, 1990). Les copolymères dont la teneur en ACV est supérieure à 25 % ont une tendance négligeable à la réticulation lorsqu'ils sont exposés à des rayons UV (Feller et Curran, 1970).

Le **tableau 2** présente certaines propriétés générales de quelques résines et dispersions de PACV représentatives.

Résistance microbienne

Les feuils secs à base de PACV sont assez susceptibles d'être attaqués par des microbes, même si les manuels indiquent le contraire (Jaffe *et al*., 1990; Roff et Scott, 1971, p. 70). Les études publiées du domaine de la conservation font état de plusieurs exemples de cette vulnérabilité. Dans un cas particulier, des micro-organismes ont attaqué des copolymères de PACV utilisés pour consolider des peintures murales dans une crypte (Mowilith DM55, une dispersion, et Mowilith 35/73, un produit solide) (Heyn *et al*., 1996). Dans une autre étude, il a été démontré que le PACV (Mowilith 60, un produit solide) a favorisé la croissance microbienne dans un parchemin qui avait été traité avec cet adhésif et des micro-organismes, puis soumis à un vieillissement pendant plusieurs semaines (Altibrandi et Sclocchi, 1996). La dilution des dispersions de PACV peut avoir un impact négatif en favorisant la croissance de moisissures : en effet, une dispersion *non diluée* de PACV (Aquadhere) utilisée sur des peintures sur écorce réalisées par des aborigènes s'est montrée plus résistante aux moisissures que *sous forme diluée* (50:50) (Edmonds, 1990). Lorsque des bactéries et des champignons ont été cultivés avec des PACV (en latex, à base d'eau) et sept autres adhésifs utilisés pour le doublage des toiles, les PACV favorisaient la croissance microbienne (Seves, 1993). Enfin, 16 adhésifs utilisés pour la pierre ont été mis à l'essai dans le cadre d'une étude de cinq semaines afin de déterminer s'ils étaient susceptibles d'être attaqués par des microbes; l'AYAA, un PACV, a donné d'assez bons résultats, l'AYAF et l'AYAT ont montré une résistance moyenne, et l'AYAC a donné les pires résultats (Koestler, 2000). Ces études indiquent qu'il est préférable d'effectuer des essais de résistance aux micro-organismes avant d'utiliser un adhésif pour un traitement, surtout si le substrat est fortement contaminé par des micro-organismes.

Questions de santé

Les PACV sont peu toxiques (Jaffe *et al*., 1990). Toutefois, certaines dispersions de PACV contiennent le *monomère* ACV, qui est soupçonné d'être cancérigène (Letts, 1990). Ces produits doivent être utilisés dans des endroits bien ventilés ou sous une hotte. Il faut consulter la fiche signalétique du produit pour déterminer s'il contient de l'ACV. Aucun signe de toxicité n'est associé au *polymère* PACV.

Durée de conservation

Les *résines* de PACV entreposées à 20 °C se conservent indéfiniment (Shields, 1984, p. 71), tandis que les *dispersions* entreposées au frais se conservent pendant 6 à 12 mois après leur préparation (Horie, 2010, p. 141; Down *et al*., 1996).

Études des PACV dans le domaine de la conservation

Généralités

Des essais ont été menés sur des dispersions de PACV homopolymériques (Resin W, Vinamul 9910), des dispersions de PACV copolymériques (Vinamul 6815, Vinamul 3252, Vinamul 3254, Mowilith DM5, Mowilith DMC2) ainsi que sur divers acryliques afin de déterminer leur poids, leur couleur, leur solubilité, leur résistance à la traction et la variation du pH après exposition à des conditions naturelles (dans l'obscurité ou sous la lumière provenant des fenêtres du laboratoire), à une lumière naturelle directe, à un éclairage fluorescent ainsi qu'à un vieillissement à la chaleur et à l'obscurité (à 59 °C et à 83 °C) (Howells, 1985). Peu de changements ont été observés dans le cas du Vinamul 3252 après la conclusion des essais. Le changement le plus commun était le jaunissement, lequel est associé à la capacité d'enlèvement du produit. Le Resin W semblait réticuler, tandis que le Vinamul 6815 et le Vinamul 9910 montraient des signes de rupture des chaînes.

Des essais ont été menés sur des échantillons de PACV (Mowilith DM5, Mowilith DMC2, Mowilith DM155, Mowilith DM22, Vinnapas), de PALV, d'acryliques et de résines d'hydroxyméthylcellulose afin de déterminer leur durabilité et leur réversibilité à long terme après un vieillissement thermique et une exposition à la lumière (Wächter, 1995). Les PACV ont montré une tendance à la dégradation, au brunissement, à l'insolubilité et à l'irréversibilité,

TABLEAU 2. PROPRIÉTÉS DE CERTAINES RÉSINES ET DISPERSION DE PACV REPRÉSENTATIVES

(fiches signalétiques produites par le fabricant, disponibles auprès du fabricant; Horie, 2010, p. 137-142; Down, 2015, 2009; Kronthal *et al.*, 2003; Down *et al.*, 1996; Horton-James *et al.*, 1991; Edmonds, 1990; Raw Materials Index, 1981)

Adhésif	Composition	Taille des particules (µm)	Viscosité (mPa.s)	pH a) Fabricant b) Non vieilli c) Vieilli à l'obscurité d) Vieilli à la lumière	a) Couleur b) Changement de couleur après vieillissement	Propriétés mécaniques : a) Force de cohésion b) Flexibilité	T_v ou T_r (°C)	Soluble dans
RÉSINES DE PACV HOMOPOLYMÉRIQUES								
AYAA	PACV MM = 83 000			a) — b) 5,71 c) 6-7 d) 4,5-5,3	a) blanc eau b) passable à médiocre après vieillissement	a) forte b) friable	T_r = 150	la plupart des solvants sauf les hydrocarbures aliphatiques
AYAC	PACV MM = 12 800			a) — b) 4,22 c) 6-7,4 d) 4,4-6,5	a) blanc eau b) passable à médiocre après vieillissement	a) moyenne b) friable	T_r = 90	la plupart des solvants sauf les hydrocarbures aliphatiques
AYAF	PACV MM = 113 000			a) — b) 5,06 c) 6-7,3 d) 4,6-6,6	a) blanc eau b) passable à médiocre après vieillissement	a) forte b) friable	T_r = 171	la plupart des solvants sauf les hydrocarbures aliphatiques
AYAT	PACV MM = 167 000			a) — b) 5,48 c) 6-7 d) 4,6-5,7	a) blanc eau b) passable après vieillissement	a) forte b) friable	T_r = 187	la plupart des solvants sauf les hydrocarbures aliphatiques
Vinac B-15 (McGean B-15)	PACV MM = 90 000		100 (à 20 % dans le toluène)	a)— b) 4,05 c) 4,3-7 d) 4-6,5	a) transparente, incolore b) passable à médiocre après vieillissement	a) forte b) friable	T_r = 130	une vaste gamme de solvants; alcools de faible MM requièrent 5-10 % d'eau
DISPERSIONS DE PACV HOMOPOLYMÉRIQUES								
Resin W	PACV + savon + INC				a) translucide	a) plus forte que le bois		
Aquadhere 501	PACV + savon + PDB + INC (émulsifiant/ colloïde protecteur = PALV)	1	2 500-4 000	a) 3-4 b) 7,0 c) — d) 4,4	a) transparente et translucide b) certains changements de couleur après vieillissement	b) plus forte que le bois b) flexible	T_v = 40	
COPOLYMÈRE D'AVE EN DISPERSION								
Vinamul 3252	AVE + CMC (émulsifiant/ colloïde protecteur = PALV)	1-2	1 200-2 400	a) 4,5-5,5			T_v = 3	
Jade 403	AVE + savon + polyacrylamide	6-7	4 000-5 000	a) 7,1-7,3 b) 7,04 c) 7-7,5 d) 6-7,3	a) transparente b) bonne à passable après vieillissement	a) moyenne b) flexible		
COPOLYMÈRE D'EAV								
BEVA 371 formule originale (en solution)	EAV + cyclohexanone + phtalate d'ester de l'alcool hydroabiétyle + paraffine + toluène + naphta			a) — b) 7,57 c) 6,7-7,6 d) 5,8-6,4	a) blanc opaque b) passable à médiocre après vieillissement, particulièrement médiocre après vieillissement à la lumière	a) moyenne b) flexible	T_r = 60-65	naphta benzine acétone
COPOLYMÈRE D'AVMDB EN DISPERSION								
Mowilith DMC2 (Appretan MB Extra, Clariant T1601)	AVMDB + MC (émulsifiant/ colloïde protecteur = HEC)	0,3-2	5 000-12 000	a) 4-5 b) 6,62 c) 6-6,7 d) 4,6-6,5	a) transparente b) bonne à passable après vieillissement	a) moyenne b) flexible	T_v = 10	

alors que l'acrylique (Paraloid F-10) a donné les meilleurs résultats. Les échantillons de PACV ont été comparés à des échantillons de PACV vieillis naturellement pendant 30 à 40 ans. Les échantillons vieillis artificiellement montraient des signes de dégradation, contrairement aux échantillons vieillis naturellement. Il en a été conclu que le vieillissement artificiel n'est pas nécessairement représentatif du processus de vieillissement normal.

L'Institut canadien de conservation (Down, 2015 2009; Down *et al*., 1996) a mené une étude sur 27 adhésifs à base de PACV afin de déterminer le pH, les émissions de composés volatils nocifs, la force, la flexibilité et le degré de jaunissement des adhésifs après un vieillissement à l'obscurité [22 °C, humidité relative (HR) ~ 45 %] et sous un éclairage fluorescent (190 µW/lm, 700 à 800 lux). Les résultats sont les suivants :

- de manière générale, le *pH* des feuils secs de PACV homopolymériques ayant fait l'objet d'une extraction était plus acide que celui des feuils de copolymères, et le vieillissement à la lumière rendait les films plus acides que le vieillissement à l'obscurité. Le pH des dispersions (liquide prélevé du contenant) était acide. Les dispersions sont devenues encore plus acides après un entreposage de trois ans, d'où la recommandation de ne pas entreposer les dispersions pendant plus d'un an. Parmi tous les produits mis à l'essai, ce sont le Jade 403 et le BEVA 371 qui ont donné les résultats les plus acceptables en ce qui a trait au pH après un vieillissement de 15 ans à la lumière et un vieillissement de 27 ans à l'obscurité;
- en ce qui concerne les *émissions de composés volatils nocifs*, les feuils secs de PACV produisaient la plus grande quantité d'émissions d'acide acétique volatil au cours des trois premiers mois de vieillissement, après quoi les émissions se mettaient à diminuer pour atteindre un niveau presque nul après deux ans. De manière générale, l'exposition à la lumière entraînait une augmentation plus importante des émissions d'acide acétique que le vieillissement à l'obscurité. Ce sont les produits AYAA, AYAC, AYAF, AYAT, le mélange de Rabin, Vinac B-15, BEVA 371, UHU All-Purpose Clear Adhesive et Jade 403 qui émettaient le moins d'acide acétique parmi tous les PACV mis à l'essai. D'après les résultats de cette étude, il est préférable d'éviter les adhésifs produisant beaucoup d'émissions d'acide acétique et il est fortement recommandé de laisser sécher l'adhésif à l'air libre pendant au moins un mois (encore plus si possible) avant de le mettre dans un endroit hermétique. Il est intéressant de souligner que, dans une étude menée par un autre chercheur, il a été constaté que les parties d'une œuvre (en papier et en bois) traitées avec des adhésifs à base de PACV en 1980 avaient un taux d'acidité et un changement de couleur moins importants que les zones non traitées, ce qui est de bon augure pour l'utilisation des PACV (Campo Francés, 2009);
- le vieillissement (14 ans à la lumière et 25 ans à l'obscurité) avait tendance à réduire la *flexibilité* des feuils de PACV, en particulier ceux composés d'homopolymères. Cependant, la plupart des feuils de copolymères sont devenus plus flexibles. La flexibilité des copolymères et leur capacité de maintenir une force de cohésion moyenne après vieillissement sont deux propriétés d'adhésifs souhaitables en conservation;
- de manière générale, l'exposition à la lumière provoquait un *jaunissement* plus important des feuils de PACV par rapport au vieillissement à l'obscurité, alors que d'autres produits subissaient plutôt un blanchiment. Ce sont les produits UHU All-Purpose Clear Adhesive, Weldbond, Elvace nº 1874 et le mélange de Rabin qui avaient le moins jauni après 15 ans de vieillissement à la lumière et 26 ans de vieillissement à l'obscurité;
- une *évaluation globale des résultats* présentés ci-dessus a montré que les produits Jade 403, BEVA 371, le mélange de Rabin et R-2258 étaient les meilleurs adhésifs, mais qu'ils présentaient tout de même des désavantages. Le BEVA et le Jade avaient jauni un peu (le premier beaucoup plus que le deuxième); le mélange de Rabin était devenu plus acide après un vieillissement à la lumière (mais pas à l'obscurité); le R-2258 était devenu plus acide et avait jauni après un vieillissement à la lumière. Il est à noter que la capacité d'enlèvement des adhésifs n'a pas été évaluée. Les copolymères d'AVE ont donné de bons résultats. Ils ont été examinés par ailleurs dans une étude distincte portant sur une dispersion d'AVE (Dur-O-Set E-150) ne contenant aucun additif, sauf du PALV utilisé comme colloïde protecteur (Down, 2000). L'ajout de quantités connues de divers agents modifiants (plastifiants, solvants, agents mouillants, matières de charge, épaississants, stabilisateurs gel-dégel et humectant) au Dur-O-Set E-150 a prouvé qu'aucun des agents modifiants n'avait amélioré la stabilité en ce qui concerne le changement du pH, le jaunissement, la flexibilité ou la force, le lustre et la capacité d'enlèvement après un vieillissement à la lumière et à l'obscurité. Toutefois, la plupart des solvants, agents mouillants et épaississants ajoutés n'ont que légèrement modifié les propriétés, alors que les plastifiants et l'humectant ont eu un impact plus négatif sur les propriétés (baisse du pH, changement de couleur, gonflement moins prononcé et cohésion plus faible) (Down, 2014).

Papier, photographies et livres

En 1965, une étude qui a fait marque a été publiée sur l'utilisation des PACV en reliure (Barrow, 1965). Cette étude, qui portait sur de nombreux homopolymères et copolymères, a permis de conclure que les copolymères étaient plus stables que les homopolymères (avec ou sans plastifiant). Selon les estimations, ces copolymères conserveraient leur flexibilité pendant environ 450 ans.

Dix ans plus tard, deux études sur l'application de dispersions de PACV sur le papier ont permis de caractériser les propriétés de vieillissement des homopolymères et des copolymères (Baer *et al*., 1975; Baer *et al*., 1975 b). Les homopolymères réduisaient la résistance au pliage du papier enduit, tandis que les copolymères l'accroissaient. Le Jade 403 utilisé seul et en mélange avec de la méthylcellulose (MC) était le produit qui avait le moins changé de couleur, alors que l'homopolymère Elmer's Glue-All et les copolymères Everflex A et Everflex G avaient considérablement changé de couleur. Cependant, de manière générale, les homopolymères changeaient de couleur plus que les copolymères. Le traitement avec de l'eau ou du toluène ne permettait pas d'obtenir une réversibilité complète, bien que le toluène ait provoqué un certain gonflement. D'après les résultats de ces études, les dispersions de PACV n'étaient pas recommandées pour la conservation du papier, alors que le Jade 403, utilisé seul ou en mélange avec de la MC, semblait prometteur.

Une autre étude s'est penchée sur plusieurs dispersions de PACV à plastification interne (copolymères). Le PACV renfermant de l'amidon (à 10,5 %), soit l'Adhesin A22, a donné les meilleurs résultats globaux : le produit ne pénétrait pas dans le papier, il ne restait pas collant, sa capacité d'enlèvement était passable, et il n'avait changé de couleur et de pH que légèrement après un vieillissement à la chaleur (Banza, 1977).

D'autres chercheurs ont examiné une dispersion de PACV homopolymérique (Duvilax BD-20 avec phtalate de dibutyle comme plastifiant), une dispersion de copolymère d'ACV et d'acrylate de butyle (Duvilax KA-1) ainsi que d'autres copolymères acryliques afin de déterminer leur résistance au pliage, leur résistance à la traction, leur blancheur, leur pH, leur résistance à l'hydrolyse, l'adhésivité du feuil, leur capacité d'enlèvement et leur résistance microbienne après un vieillissement à la chaleur, un vieillissement cyclique à la chaleur et à l'humidité relative (HR) et une exposition à une lumière artificielle imitant la lumière naturelle (Ďurovič *et al*., 1991). Fait intéressant, ce sont le PACV homopolymérique additionné de plastifiant et le copolymère d'ACV et d'acrylate de butyle, et non les copolymères acryliques, qui se sont révélés les plus efficaces.

Le traitement du papier détérioré avec un copolymère d'ACV et de versatate de vinyle selon diverses méthodes (différentes concentrations, différents plastifiants, application de chaleur et de pression, prélavage) a amélioré les propriétés mécaniques du papier ainsi que sa stabilité après vieillissement (Nada *et al*., 1999).

Des chercheurs ont étudié des PACV (AYAA/AYAC dans le toluène, Elvace nº 1874 en dispersion), de la pâte d'amidon de blé, de la MC, des acryliques et des colles de caoutchouc afin de déterminer l'effet de leur vieillissement sur les photographies (Schenck et McCabe, 1989). Les PACV ont provoqué des marbrures, un pâlissement et des taches orange sur les photographies, mais les résultats obtenus avec ces adhésifs étaient généralement satisfaisants par rapport à ceux obtenus avec les adhésifs à base d'acrylique ou de caoutchouc. Dans l'ensemble, les produits ayant donné les meilleurs résultats (ceux dont l'effet sur les photographies après vieillissement était le moins important) sont la pâte d'amidon de blé et la MC.

Une autre étude s'est penchée sur l'utilisation d'adhésifs pour le montage à sec afin d'évaluer la rupture des joints dans diverses conditions de vieillissement (à l'obscurité et sous la lumière provenant d'une fenêtre), avec ou sans utilisation de solvants (éthanol, acétone et toluène) ou de chaleur (2 minutes à 100 °C et 3 minutes à 150 °C); il s'est avéré que les joints formés par le BEVA 371 étaient rompus par le toluène et la chaleur (2 minutes à 100 °C) après un vieillissement à l'obscurité ou à la lumière, mais que l'acétone et l'éthanol n'avaient aucun impact (Fairbrass, 1992). Les adhésifs pour le montage à sec les plus faciles à enlever étaient les produits Archival Mount, Twin Release et Texicryl.

Le BEVA 371 a été utilisé avec succès pour doubler de vieilles reliures de livres détériorées par la pourriture rouge, le farinage, l'effritement ou la fragmentation. Le produit a pénétré dans le cuir et a accru sa flexibilité sans en modifier considérablement l'apparence, même si un léger changement de couleur a été constaté (Thompson, 1978).

L'Evacon-R a été utilisé pour la conservation de livres, parfois combiné avec la MC ou la pâte d'amidon de blé, mais jamais pour conserver du papier comme tel (Scheper, 2005). D'après la documentation

accompagnant le produit, ce dernier est hydrosoluble, non plastifié et supposément neutre. Les essais ont montré qu'un vieillissement artificiel avait un impact négatif sur la solubilité et la résistance à la traction du produit, mais pas au point de remettre en question l'utilisation du produit pour la conservation de livres (Scheper, 2005).

Cuir et peau

Le BEVA 371 en solution (à froid, en concentration maximale) a été utilisé avec succès pour réparer des peaux tannées selon des procédés autochtones ainsi que des peaux huilées et cirées (Fenn, 1984). Le produit offre les avantages suivants lorsque fixé à chaud : sa température de fixation à chaud est moins élevée que celles d'autres adhésifs thermoplastiques; il ne reste pas collant une fois refroidi et il forme des joints qui demeurent forts et flexibles après vieillissement (Calnan *et al*., 1991b).

À l'American Museum of Natural History, des chercheurs ont examiné des peaux et des cuirs ayant subi des traitements aux adhésifs dans le passé afin d'évaluer la stabilité des réparations effectuées (Kronthal *et al*., 2003). Dans le cas des objets traités avec du BEVA, seules quelques réparations montraient des signes d'affaiblissement. Cet affaiblissement n'était pas attribuable à une détérioration de l'adhésif, mais bien à une manipulation excessive, à un mauvais choix de matériau de doublage, à une préparation insuffisante de la peau, à l'utilisation d'une quantité d'adhésif ou à un temps de maintien insuffisants pendant le procédé de fixation à chaud. Les objets traités avec d'autres PACV (AYAA et AYAC) et ceux traités avec des acryliques montraient plus de signes de détérioration des réparations pour les mêmes raisons (mauvaises décisions relatives au traitement, par opposition à la détérioration de l'adhésif).

Une étude préliminaire a montré que la température de rétraction du cuir traité avec du BEVA 371, puis vieilli de manière naturelle pendant huit ans, était nettement inférieure à celle du cuir non traité (Young, 2007). Aucune diminution de la température de rétraction n'a été constatée pour le cuir traité et vieilli pendant seulement six mois. Comme toute baisse de la température de rétraction indique une détérioration du cuir, l'utilisation de ce produit doit faire l'objet d'une réflexion approfondie; d'autres recherches dans ce domaine sont nécessaires.

Des essais ont été menés sur le BEVA 371, l'Elascol MIC 55 (mélange de PACV et d'amidon) et d'autres adhésifs (Klucel G, amidon de riz et amidon de maïs) afin de déterminer les effets du vieillissement (chaleur, humidité et polluant) sur le cuir de veau et le cuir de mouton de tannage végétal neuf (Lavaquerie et Chahine, 2001). Le Klucel et le BEVA ont donné de bons résultats, contrairement aux autres, dont l'utilisation est à éviter.

Dans une étude par microscopie électronique à balayage portant sur de la peau d'intestin traitée avec des adhésifs, il a été constaté que le Jade 403 en dispersion et la résine AYAA (à 15 % dans l'acétone) n'assuraient pas un contact étroit (joint) à l'interface entre l'adhésif et la peau d'intestin une fois pris; cependant, l'ajout de pâte d'amidon de blé au Jade améliorait le contact (Horelick, 2011). Le BEVA 371 appliqué dans une solution de xylène assurait un contact intermittent, mais le contact était meilleur lorsqu'un feuil de BEVA fixable à chaud était utilisé. L'Elvace 45675 CX assurait lui aussi un contact intermittent. De manière générale, les acryliques utilisés dans cette étude semblaient assurer un meilleur contact (joint) que les PACV.

Il a été constaté qu'un PACV copolymérique (Vinamul 3254) formait des joints forts avec le cuir lorsqu'il était appliqué sur un textile de doublage à l'état humide; toutefois, ces joints n'étaient pas aussi forts que ceux formés par le BEVA (Calnan *et al*., 1991b). Même si le doublage à l'aide d'un adhésif appliqué en pointillé réduit la force des joints, il procure davantage de flexibilité qu'un feuil continu.

Textiles

L'utilisation du Vinamul 6515 et du Vinamul 6525 pour la conservation des textiles a débuté en Angleterre dans les années 1950 et s'est maintenue jusqu'aux années 1960 (Blum, 1982). Ces produits étaient appliqués sur un filet en nylon, l'ensemble servant ensuite de doublage fixable à chaud sur des objets. Malheureusement, ce traitement rendait les objets plus rigides, et ces adhésifs restaient collants et accumulaient de la poussière. La technique de pose d'un matériau de doublage utilisant du Mowilith DMV1 (appelé plus tard DMC2) en mélange avec du Mowilith DM5, appliqué et séché sur du tulle de nylon, puis fixé à chaud, a vu le jour à Amsterdam, avant d'être perfectionnée au Victoria and Albert Museum, où elle a été abondamment utilisée (Landi, 1966). Cette technique rendait aussi les objets rigides et avait une incidence sur leur couleur et leur lustre (Lodewijks, 1965). Pendant ce temps, en Suède, une technique similaire a été mise au point, faisant appel cette fois au Vinnapas Dispersion EP1 et à de la crêpeline de soie (Bøgh *et al*., 1975). Au même moment, en Amérique du Nord, le BEVA 371 était envisagé pour le doublage des peintures (Berger, 1972), et la technique du flocage a été adaptée pour les

textiles de doublage (Muir et Yates, 1987). Toujours en Amérique du Nord, un mélange d'AYAA et d'AYAC a été utilisé avec succès pour fixer à chaud des textiles détériorés sur de la crêpeline de soie. Cette combinaison de résines AY avait l'avantage d'offrir toute une gamme de points de ramollissement et un support flexible; elle ne perturbait pas l'apparence et elle pouvait être enlevée avec divers solvants, par l'application de chaleur ou par un pelage facile, car elle ne se fixe qu'aux fibres (Himmelstein et Appelbaum, 1976).

Dans les années 1980 et 1990, l'utilisation d'adhésifs sur les textiles a suscité une controverse d'ordre éthique. Certains restaurateurs estimaient que le piquage était la seule forme de traitement acceptable, d'un point de vue éthique, tandis que d'autres faisaient valoir que le piquage pouvait casser les fils fragiles et que les adhésifs, s'ils étaient utilisés adéquatement, étaient efficaces pour conserver des objets désespérément friables et cassants, en particulier les drapeaux et les bannières en soie détériorée. Outre les PACV, les restaurateurs ont tenté d'utiliser des colles animales, des amidons, des éthers de cellulose, du PALV, du poly(butyral de vinyle) (PBV) et des acryliques, et ils ont constaté que chacun de ces produits apportait son lot d'avantages et d'inconvénients. En 1984, les PACV n'étaient pas recommandés pour la conservation des textiles en raison de leur T_v trop basse (accumulation de la poussière, fluage), du fait qu'ils ne réagissaient pas de la même manière que la soie aux variations de l'HR (et qu'ils pouvaient causer des déchirures le long de la ligne de colle) et du fait qu'ils étaient difficiles à enlever (Masschelein-Kleiner et Bergiers, 1984). L'utilisation d'amidon et de MC était plutôt privilégiée. Une étude sur le vieillissement à la chaleur et à la lumière, qui comparait le jaunissement, la solubilité et la résistance mécanique des PACV avec ceux de divers autres adhésifs (acryliques, polypropylène-glycol, hydroxyméthylcellulose et amidon), est venue confirmer cette recommandation (Verdu *et al*., 1984). Les PACV mis à l'essai avaient tendance à jaunir et à devenir insolubles; c'est l'acrylique (Paraloid F-10) qui a donné les meilleurs résultats dans l'ensemble.

En 1992, les restaurateurs du Victoria and Albert Museum cherchaient un substitut au mélange Mowilith DMC2/DM5, un produit difficile à se procurer, et ils ont arrêté leur choix sur le Vinamul 3252 (Tinker, 1992). Cela a constitué le prélude du programme d'essais sur les adhésifs mis sur pied par le musée (Pretzel, 1997). Dans le cadre de ce programme, des essais ont été menés sur des PACV (Mowilith DMC2 utilisé seul et en mélange avec les produits Mowilith DM5, Vinamul 3252, Vinamul 3254, Vinnapas EP1 ou BEVA 371) et sur divers acryliques afin de mesurer la force de leurs joints (résistance au pelage), leur capacité d'enlèvement (pelage à chaud), leur réversibilité (pelage à froid par rapport au pelage à chaud), leur acidité, leur corrosivité (formation de taches), leur facilité d'application et leur facilité de manipulation. Des données ont également été recueillies sur la toxicité, la température de fixage à chaud et la T_v. De manière générale, les dispersions de PACV (AVE, copolymère d'acétate de vinyle et de maléate de dibutyle) ont donné les meilleurs résultats dans l'ensemble (toutes les propriétés étant considérées d'importance égale), car la plupart d'entre elles étaient fortes, réversibles et non acides, elles pouvaient être enlevées, ne produisaient pas de taches, ne nécessitaient pas d'utiliser un système d'aspiration des vapeurs et étaient faciles à appliquer et à manipuler. Leurs désavantages étaient leur température de fixage à chaud élevée et leur T_v basse (accumulation de la poussière). On a établi une matrice intéressante avec des facteurs de pondération qui permettait aux restaurateurs d'évaluer les différentes propriétés en fonction des besoins liés à une application précise.

Dans le cadre d'une étude portant sur les produits BEVA 371, Clariant T1601 (aussi appelé Mowilith DMC2), Dur-O-Set E-150, Vinamul 3252 et deux autres adhésifs acryliques, lorsqu'ils étaient utilisés sur des lamellés textiles de soie et de nylon avec divers supports textiles, il a été démontré que le BEVA formait les joints les plus forts et permettait d'obtenir le meilleur taux de transfert de l'adhésif lors des essais de pelage; le Clariant T1601, le Dur-O-Set E-150 et le Vinamul 3252 formaient des joints de force moyenne, le Clariant T1601 étant plus faible que le Dur-O-Set E-150 et le Vinamul 3252 (Karsten et Kerr, 2011). Le fait de doubler la concentration d'adhésifs doublait la résistance au pelage du lamellé.

Cire

Les objets en cire sont difficiles à coller, et leur traitement pose toute une série d'enjeux et de problèmes. Dans une étude portant sur les propriétés mécaniques (résistance au pelage et au cisaillement) du BEVA 371, de divers acryliques et d'un PBV en vue de leur utilisation sur un objet en cire, la force du BEVA était assez faible par rapport à celle des autres produits mis à l'essai (Hincelin et Roche, 2011). Trois acryliques se sont montrés assez forts et fiables pour être utilisés sur cet objet en cire, qui était une œuvre sur papier ciré.

Dans une autre étude portant sur divers adhésifs (PACV, isinglass et acryliques) utilisés sur plusieurs

types de cire, le Mowilith DMC2, une dispersion de PACV, n'a pas été retenu en raison de son approvisionnement difficile et de sa tendance à jaunir, même si sa force semblait adéquate (Lang, 2011). Dans la même étude, l'utilisation du Mowilith 30, une résine de PACV (appliquée en solution à 40 % dans un mélange éthanol/eau de 1:19), était recommandée pour certains types de cire en raison de son séchage rapide et, par conséquent, du support minime qui était nécessaire durant la prise. Cependant, pour enlever le produit, il pouvait être nécessaire d'utiliser des solvants susceptibles d'endommager la cire, ce qui n'était pas souhaitable. Le Mowilith 50, une autre résine de PACV (appliquée en solution à 40 % dans un mélange éthanol/eau de 1:19), n'a pas été retenu, car il était moins fort que le Mowilith 30, il séchait moins vite, requérant un support durant la prise, et il pouvait lui aussi nécessiter l'utilisation de solvants potentiellement néfastes pour être enlevé. Il a été conclu que l'utilisation de l'isinglass et du Lascaux 498 HV pouvait être acceptable, selon le type de cire et la situation.

Peintures

À la fin des années 1960, le BEVA 371, une formulation d'adhésif à base d'EAV, a été mis au point par Berger pour la consolidation et le doublage des peintures (Berger, 1970). Selon Berger (1972b), cet adhésif était approprié pour les raisons suivantes :

- il est soluble dans le benzine de pétrole ou le toluène (comme les vernis);
- il n'est pas collant à basse température, mais il le devient quand la température approche 70 °C (il peut être fixé à chaud après séchage);
- son application est facile (à l'aide d'un minimum de chaleur et de pression) avec ou sans imprégnation;
- il est fort;
- il est transparent;
- il est flexible;
- il ne se contracte pas;
- il ne réticule pas;
- il est compatible avec les cires et les agents améliorant la pégosité;
- il peut offrir une vaste gamme de viscosités;
- il est polyvalent (il adhère à la plupart des surfaces);
- il ne tache pas les textiles ou le papier;
- il ne jaunit pas et il est réversible après un vieillissement à la chaleur et à la lumière.

Le BEVA 371 Original Formula est constitué de plusieurs produits commerciaux et de deux solvants, notamment : Elvax 150 (EAV), Laropal K80 (le produit contenait autrefois de la Ketone Resin N), Cellolyn 21 (phtalate d'ester de l'alcool hydroabiétyle), A-C Copolymer 400 (EAV), paraffine (hautement raffinée, point de fusion de 65 °C), toluène et naphta (Talas; Berger, 1975). L'A-C Copolymer de masse moléculaire élevée et l'Elvax procurent de la force et de la ténacité, mais leur température de ramollissement est élevée (83 °C, 116 °C). Les résines Laropal et Cellolyn de plus basse masse moléculaire ont des températures de ramollissement plus basses (75 °C à 85 °C, 65 °C), ce qui diminue leur point de ramollissement et améliore le mouillage du BEVA 371. La cire protège de la réticulation (Berger, 1976). Plus récemment (en 2010), la formulation du BEVA 371 a changé et le produit est maintenant vendu sous le nom de BEVA 371b. Cette reformulation s'est avérée nécessaire en raison de l'arrêt de production du Laropal K80 en 2008. Selon le fabricant, Conservator's Products Company, le BEVA 371b contient une résine à base d'aldéhyde et de cétone au lieu du Laropal K80 (Chludzinski, 2010).

La résistance au pelage du doublage au BEVA 371 sur table chauffante augmente avec la température d'application (50 °C à 70 °C), le nombre de couches (trois à six), la durée et l'épaisseur du doublage, alors qu'elle diminue si le textile de doublage est imprégné de BEVA au préalable (Pullen, 1991; Hardy, 1992; Gayer, 1992; Forest, 1997). Les variations parmi les utilisateurs du produit, les particularités de fonctionnement de l'équipement et l'état de la toile (tissage, présence d'une couche pelucheuse, présence ou absence d'encollage et d'autres contaminants) peuvent aussi influer sur la résistance au pelage. Il est nécessaire de contrôler strictement la température puisque le BEVA passe à l'état fondu à des températures supérieures à 66 °C et il peut alors former des taches (Berger, 1989). En fait, pour obtenir un doublage imprégné, il faut privilégier des températures supérieures à cette valeur.

Comme adhésif de doublage, le BEVA 371 possède une force beaucoup plus élevée que celle de la cire-résine (Daly-Hartin *et al*., 1993; Berger, 1972b) ou du Plextol D360 (Hawker, 1987). Sa résistance au pelage peut être de deux à quinze fois supérieure à la valeur de 100 N/m, laquelle est considérée comme adéquate (Daly-Hartin *et al*., 1993; Katz, 1985; Phenix et Hedley, 1984). Lorsque le BEVA a été comparé au Lascaux 360 HV, les doublages activés par des solvants formaient des joints plus forts avec la toile que les doublages activés par la chaleur dans le cas des deux adhésifs. L'encollage avec du Paraloid B-72 tendait à accroître la résistance au pelage. Cependant, les joints formés par le BEVA 371 étaient plus faibles que ceux formés par le Lascaux 360 HV (Katz, 1985).

Une étude a montré que les doublages au BEVA 371 sur *lin* étaient très sensibles à l'humidité et qu'ils ne protégeaient que modérément la peinture

doublée contre les fluctuations de l'HR, tandis que les doublages au BEVA 371 sur *toile à voile en polyester* assuraient une protection légèrement supérieure. Cette protection était tout de même inférieure à celle assurée par un doublage à la cire-résine sur lin, qui était la technique offrant la meilleure protection (Young et Ackroyd, 2001). L'étude pose un dilemme : est-il préférable d'utiliser un doublage de BEVA 371 sur toile à voile, qui est réversible, mais qui n'offre qu'une faible protection contre les effets de l'humidité, ou faut-il plutôt utiliser un doublage à la cire-résine, qui offre une meilleure protection contre l'humidité, tout en étant moins réversible?

Le BEVA 371 est également offert sous forme de feuil [25,4, 63,5 µm (1,0; 2,5 mil)], ce qui facilite la préparation en vue du fixage à chaud. Deux autres produits BEVA sont offerts : BEVA Gel et BEVA D8. Le BEVA Gel est une dispersion aqueuse constituée d'un copolymère d'AVE et d'une dextrine (Williams, 2013b). Il adhère bien à la toile et au polyester et il est réversible dans l'eau, le toluène, le xylène, l'isopropanol ou l'éthanol (Talas c). Le BEVA D8 est une dispersion d'AVE conçue pour les bandes de doublage; elle est transparente et incolore après séchage (Williams, 2011b). Il faut d'abord utiliser des composés aromatiques pour enlever le BEVA D8, mais après un vieillissement prolongé, il devient soluble dans les alcools (Talas b). La résistance au pelage du BEVA D8 (pour adhérer une peinture à un support rigide) est faible (< 300 N/m), et le vieillissement à la chaleur la fait diminuer encore davantage (Loudermilk, 2005).

Pendant que le BEVA 371 était mis au point, un autre procédé de fixage à chaud avec des PACV pour le doublage des peintures était étudié par Rabin (1972). La technique était recommandée lorsque la couche de peinture ou le support textile étaient susceptibles d'être endommagés par l'humidité ou par la pénétration d'une cire. Ce mélange particulier mis au point par Rabin renfermait de l'AYAA, de l'AYAC et du Multiwax #445, tous combinés dans le toluène. En théorie, il ne formait pas de taches et ne laissait que peu de résidus après son enlèvement. Toutefois, selon une étude, le BEVA 371 est plus facile à enlever sans imprégnation; de plus, sa force, sa résistance au pelage et sa résistance au fluage sont supérieures à celles du mélange de Rabin (Bantock, 1980).

Plusieurs adhésifs et mélanges (acryliques, PACV, EAV, polyamides, mélanges de colle d'esturgeon et mélanges d'amidon) ont été mis à l'essai afin de déterminer s'ils convenaient à la réparation fil par fil des déchirures dans les toiles (Demuth *et al.*, 2011). Les PACV (Lineco, Evacon-R, Mowilith D50) se sont montrés assez forts pour cette tâche. Le Lineco et l'Evacon-R possédaient une résistance élevée à la traction ainsi que de bonnes propriétés relatives à la manipulation et à la maniabilité, et ils étaient réversibles dans l'eau froide. Toutefois, ils doivent faire l'objet d'essais plus approfondis avant que leur utilisation puisse être recommandée. Les adhésifs recommandés étaient les mélanges de colle d'esturgeon et de pâte d'amidon de blé.

Peintures sur bois

Dans une étude portant sur le comportement mécanique de divers adhésifs et matériaux de comblement utilisés pour le réassemblage de peintures sur bois, les chercheurs ont constaté que le produit Evostick Resin W (PACV) additionné de farine de noix de coco était plus fort que le bois (Young *et al.*, 2002). L'ajout de farine de seigle ou de microbilles à la place de la farine de noix de coco rendait le mélange plus faible que le bois, et donc mieux adapté pour le bois ne subissant pas de fluctuations importantes de l'HR. Pour obtenir des joints légèrement plus forts et plus rigides, la recommandation initiale était d'utiliser le produit Evostick Resin W avec de la farine de bois, mais l'ajout de microbilles ou de farine de noix de coco permettait d'obtenir un produit ayant une meilleure consistance et de le manipuler et de le sculpter plus aisément. La présence de microbilles assurait une rupture à l'intérieur du joint.

Arts décoratifs

Dans une étude menée par Schellman et Taylor (2011) concernant des agents de consolidation destinés aux couches de préparation fragiles de type gesso utilisées dans les revêtements décoratifs multicouches, les chercheurs ont constaté que le Mowilith 50 (en solution à 20 % dans le toluène) pénétrait efficacement, mais n'était pas efficace comme adhésif ou comme agent de renforcement. Le Mowilith DMC2 (en solution à 10 % dans l'eau) était au contraire un bon adhésif et un bon agent de renforcement, mais il ne pénétrait pas bien. Ce sont l'isinglass et la colle de peau qui se sont révélés les plus prometteurs.

Bois

Une étude comparative a été menée sur deux adhésifs pour bois à base de dispersion de PACV (Bondfast et Mastercraft Carpenter's Glue) et une colle de peau traditionnelle chaude; la perte de force due aux fluctuations de l'humidité était semblable dans tous les cas (Hay, 1987).

Un copolymère de PACV (Vinamul 3252) a démontré une bonne stabilité dimensionnelle et chimique après un vieillissement à la lumière, bien que son pH ait augmenté (Shashoua, 1989b). Il a conservé sa flexibilité, s'est peu contracté et s'est révélé le plus soluble dans l'acétone (un peu moins dans les alcools méthylés industriels ou dans l'eau). Comme le produit demeurait collant après vieillissement, il n'est pas recommandé pour la consolidation des surfaces, mais il l'est pour le fixage des couches picturales sur le bois.

Lorsque diverses résines [AYAT (PACV), Paraloid B-72 (acrylique) et Butvar B-98 (PBV)] mises en solution dans des solvants ont été comparées avec une dispersion de PACV (Elmer's) en vue de la consolidation du bois détérioré, les résultats ont montré que la dispersion avait formé les joints les plus forts et, dans la plupart des cas, les résines appliquées dans des solvants polaires avaient formé des joints plus forts que les résines appliquées dans des solvants non polaires (Sakino et Schniewind, 1990). Une autre étude a permis de constater que les résines de PACV (AYAA, AYAC, AYAF et AYAT) amélioraient la force du bois détérioré dans une proportion de 3 à 13 %, mais elles n'étaient pas aussi efficaces que le Butvar B-98 (20 %) ou le Paraloid B-72 (16 %) (Schniewind et Kronkright, 1984).

Céramique

Des chercheurs ont évalué deux PACV [le Rayt (probablement une dispersion) et l'UHU (une solution)] pour déterminer leur efficacité comme colle pour les céramiques; ils ont conclu que ces produits n'avaient qu'une force modérément élevée, que leur résistance au jaunissement était moyenne, et qu'ils formaient des joints très épais (Castro et Doménech Carbó, 1999). Le temps de travail de l'UHU est satisfaisant, contrairement à celui du Rayt.

La consolidation de céramiques friables avec de l'AYAC a montré que cette résine est très résistante à l'abrasion, mais que la couleur de la céramique a foncé et que sa surface est devenue brillante (Fox, 1979).

Pierre

Selon les résultats d'une étude sur la pierre, la résine de PACV Mowilith 50 (dans l'acétone) n'est pas recommandée comme matériau de comblement pour les fractures, car l'acétone forme des bulles quand elle s'évapore; cette résine a toutefois donné de bons résultats comme mortier d'étanchéité en mélange avec de la silicone et un agrégat de marbre (Santamaría et Calatayud, 1997).

Métaux

L'AYAT a réussi à protéger de l'argent exposé au sulfure d'hydrogène (faible ternissement) (Grabow *et al*., 2007).

Dans une étude menée par Keene (1984), le PACV s'est montré inefficace pour la stabilisation de fer archéologique. Les échantillons traités au PACV montraient des signes de dislocation, d'écaillage, de suintement ou de rouille.

Même si la résistance au cisaillement du Jade 403 utilisé sur des substrats en aluminium diminue avec l'augmentation de la quantité ajoutée d'amidon de blé ou de carboxyméthylcellulose, ces mélanges réagissent mieux aux fluctuations de l'HR et sont plus solubles dans l'eau, ce qui facilite l'enlèvement (Fulton, 1988).

Autres

Bainbridge (2011) a mis au point une méthode pour obtenir des bâtonnets de colle thermofusible à base de BEVA 371 en vue de leur utilisation dans un pistolet à colle. Les avantages de cette colle appliquée de cette façon sont les suivants : elle évite d'utiliser un solvant; ses propriétés de comblement des vides sont excellentes et elle n'entraîne aucun retrait; elle procure une bonne adhésion sur de nombreuses surfaces; elle est polyvalente; elle prend rapidement (ce qui évite d'utiliser un serre-joint); il s'agit d'un matériau connu et éprouvé offrant de bonnes propriétés de vieillissement; et les joints formés sont réversibles sous l'effet de la chaleur ou d'un solvant aromatique.

Solubilité et capacité d'enlèvement**

Les résines de PACV sont solubles dans les hydrocarbures aromatiques et chlorés (p. ex. toluène, chloroforme), les cétones, les alcools de faible masse moléculaire (avec un peu d'eau), les esters (p. ex. l'acétate d'éthyle) et les mélanges de dichlorure d'éthylène et d'alcool (20:80; Roff et Scott, 1971, p. 67). L'ajout d'une petite quantité d'eau améliore la solubilité dans bien des solvants (Norris et Dragetti, 1962, p. 352).

Les feuils de résine de PACV gonflent légèrement et deviennent blancs et opaques quand ils sont immergés dans l'eau, mais ils redeviennent transparents après

** Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

séchage, tandis que d'autres PACV renfermant des comonomères d'acrylique et certaines dispersions protégées par des agents de surface résistent mieux à l'eau (Jaffe *et al*., 1990, p. 388; Roff et Scott, 1971, p. 66-71). Souvent, les feuils secs obtenus à partir de dispersions de PACV ne sont pas solubles dans l'eau ou les solvants, mais ils gonflent, ce qui facilite leur enlèvement (Down, 1999).

Un essai mené sur du bois détérioré a permis de constater que la résine de PACV AYAT était un agent de consolidation plus réversible que le Paraloid B-72 ou le Butvar B-98 mais que, même lorsqu'on utilisait des méthodes d'enlèvement draconiennes (par immersion sous agitation ou par extraction Soxhlet), des résidus demeuraient sur le bois, ce qui montre bien à quel point il est difficile d'enlever ce genre d'agent de consolidation (Schneiwind, 1988). Cependant, dans une autre étude sur l'enlèvement des agents de consolidation, il a été constaté que les PACV (Bondfast, AYAF) pouvaient être enlevés de manière acceptable par extraction Soxhlet, ce qui a rendu possibles l'étude ultérieure de la morphologie des os et leur analyse chimique (p. ex. analyse des isotopes dans l'alimentation) (Unruh, 1994).

Les poly(alcools de vinyle)

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation	thermoplastique	6-9, lorsqu'équilibré à une humidité relative de 65 %	1,50-1,53
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
70-85	5-40 (4 %) 1 500-100 000 (20 %) selon le classement	4,5-7	70-100 x 10^{-6}

(Horie, 2010, p. 143; Sekisui; Jaffe et Rosenblum, 1990; Finch, 1973, p. 168; Roff et Scott, 1971, p. 72-78)

Abréviation

PALV poly(alcool de vinyle)

Types, synonymes et noms commerciaux

Celvol, Elvanol, Fluka, Gelvatol, Mowiol, Polyviol, Rhodoviol, Selvol, Vinarol, Vinol

Chimie et préparation

Le poly(alcool de vinyle) (PALV) (**figure 1**) est obtenu par hydrolyse alcoolique du poly(acétate de vinyle) (PACV), ce qui a pour effet de remplacer les groupements acétate par des groupements hydroxyle. Les PALV sont classés selon leur degré d'hydrolyse et leur masse moléculaire (Roff et Scott, 1971, p. 73). La plupart des PALV comportent des groupements acétate non hydrolysés, car il est difficile d'obtenir des PALV entièrement hydrolysés (Jaffe et Rosenblum, 1990). Il est donc plus exact de dire que le PALV est un copolymère d'alcool vinylique et d'acétate de vinyle (Horie, 2010, p. 142).

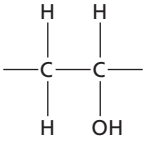


Figure 1. Unité de base la plus simple des PALV. (Roff et Scott, 1971, p. 72).

Historique et utilisation

Le PALV a été préparé pour la première fois en Allemagne en 1924, et sa mise au point s'est poursuivie en Allemagne, au Japon et aux États-Unis entre 1930 et 1950 (Roff et Scott, 1971, p. 78).

À l'échelle commerciale, le PALV a été utilisé dans les revêtements souples, les tuyaux, les tabliers et gants de protection, les filtres polarisants, les revêtements étanches aux gaz pour les textiles, les adhésifs pour les matériaux poreux (p. ex. cuir, liège, tissu, papier), les liants pour les pigments, les produits d'encollage pour les textiles et les papiers, les épaississants, les agents stabilisants pour les émulsions, le fil chirurgical, les cosmétiques, les liants pour la céramique, les fibres (p. ex. les fibres de textile, de tapis, de corde et de brosse), les adhésifs pour les matières cellulosiques (p. ex. le bois, le papier) et les adhésifs réhumidifiables (p. ex. sur les timbres et les enveloppes) (Ebnesajjad, 2008, p. 115; Jaffe et Rosenblum, 1990; Shields, 1984, p. 72; Roff et Scott, 1971, p. 78-79).

Le PALV a été utilisé dans le domaine de la conservation depuis les années 1950 comme produit d'encollage et agent de consolidation pour les textiles, comme adhésif fixable à chaud pour le papier, comme adhésif pour le parchemin, comme agent de renforcement pour le papier, comme agent de consolidation pour les peintures et la pierre, comme fixatif pour les pigments, comme liant pour la retouche, comme agent de démoulage et comme agent de comblement pour les objets laqués (Horie, 2010, p. 144-145; Webb, 1994; De Witte, 1976, 1977). Il a été utilisé dans le domaine de la paléontologie comme revêtement sur lequel on pouvait écrire les numéros d'identification et pour la consolidation de surface

(Elder *et al*., 1997). Plus récemment, des fibres de PALV ont été utilisées pour renforcer des matériaux composites à base de ciment employés dans la restauration de bâtiments et de monuments (Knapen et Van Gemert, 2007; Atsuhisa *et al*., 2006).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Le PALV est une poudre blanche ou crème qui se dissout dans l'eau et qui produit un feuil à la fois transparent et tenace après le séchage (Roff et Scott, 1971, p. 72). Le feuil obtenu est hautement imperméable à la plupart des vapeurs organiques, mais il est sensible à l'humidité atmosphérique et à l'humidité relative élevée (Roff et Scott, 1971, p. 72). Comme le PALV est très hygroscopique, il ne doit pas être entreposé ou utilisé dans des endroits humides (De Witte, 1976, 1977). En raison de sa forte solubilité dans l'eau, le PALV est devenu très prisé dans le domaine de la conservation (De Witte, 1976, 1977). En effet, peu d'adhésifs synthétiques sont complètement solubles dans l'eau. Cependant, vers les années 1960, il avait perdu la faveur des restaurateurs, car il réticule et devient insoluble dans certaines conditions (voir la section intitulée *Solubilité et capacité d'enlèvement* ci-dessous) (Horie, 2010, p. 145).

Les propriétés physiques du feuil à base de PALV, notamment sa flexibilité, sa sensibilité à l'eau et sa force, peuvent changer en fonction de la masse moléculaire et du pourcentage d'hydrolyse du PALV (**tableau 1**). La viscosité des solutions de PALV dépend de la masse moléculaire, de la concentration et de la température, mais non du degré d'hydrolyse (Jaffe et Rosenblum, 1990). L'utilisation de produits de masse moléculaire faible se traduit par une diminution de la viscosité et de l'insolubilité (De Witte, 1976, 1977).

L'ajout de PALV aux adhésifs en dispersion réduit leur tension superficielle et améliore le mouillage (Jaffe et Rosenblum, 1990). Le PALV jaunit lorsqu'il est exposé à la chaleur (De Witte, 1976, 1977). Il demeure toutefois stable sous l'effet de la lumière (Horie, 2010, p. 144; De Witte, 1976, 1977; Roff et Scott, 1971, p. 77).

Résistance microbienne

Le PALV (Fluka 72 000) n'a pas augmenté la biodégradabilité du papier, du parchemin ou du cuir lors d'essais portant sur son utilisation pour la restauration de livres (Gallo *et al*., 1989). Roff et Scott (1971, p. 77) indiquent que le PALV est généralement insensible aux bactéries, aux champignons et aux insectes; toutefois, lorsqu'il est mis en solution, l'ajout d'un agent de conservation pourrait être nécessaire pour prévenir la formation de moisissures.

Papier et textiles

Le PALV peut réagir avec les hydroxyles présents dans le papier et les textiles (réaction accélérée par la chaleur) et se lier de manière irréversible avec ces substrats (De Witte, 1976, 1977). Les chercheurs tentent néanmoins, depuis les 20 dernières années, de déterminer si le PALV peut être utilisé en vue de la conservation du papier. Dans une série d'études, ils ont examiné un PALV de faible masse moléculaire avant et après un vieillissement à la chaleur. Ils ont conclu que le PALV convient au renforcement et au doublage du papier (en solution à 6 %), à la réparation

Tableau 1. Propriétés du PALV
(Jaffe et Rosenblum, 1990)

Si le *% d'hydrolyse* est gardé constant	
une diminution de la masse moléculaire fait augmenter : la flexibilité la sensibilité à l'eau la solvatation	**une augmentation de la masse moléculaire fait augmenter :** la viscosité la tension superficielle la résistance à l'eau la force d'adhésion la résistance aux solvants
Si la *masse moléculaire* est gardée constante	
une diminution du % d'hydrolyse fait augmenter : la flexibilité la sensibilité à l'eau l'adhésion aux surfaces hydrophobes	**une augmentation du % d'hydrolyse fait augmenter :** la résistance à l'eau la tension superficielle la résistance aux solvants l'adhésion aux surfaces hydrophiles

des déchirures (en solution à 8 %) ainsi qu'à la fixation des pigments (en solution à 5 %) (Bicchieri et Mucci, 1996; Bicchieri *et al.*, 1993). Une autre étude a démontré qu'après un vieillissement à la chaleur, le PALV (Vinarol DV) améliorait les propriétés mécaniques des feuilles de pâte blanchie, mais pas leur degré de blancheur; lorsque le PALV était mélangé avec du polyéthylèneglycol, les propriétés mécaniques et le degré de blancheur des feuilles étaient améliorés (Nada *et al.*, 2000). Une autre étude a également démontré que le réencollage à l'aide d'un mélange de PALV et de borax (Mowiol 28-99) contribuait à améliorer la force et la résistance au vieillissement du papier encollé à l'alun et à la colophane, par comparaison au PALV utilisé seul (Basta, 2004). L'utilisation du PALV pour la conservation des textiles a été rejetée en raison de son insolubilité après vieillissement en présence de sels, de tanins et de certains colorants (Masschelein-Kleiner et Bergiers, 1984).

Dorure

Divers PALV ont été mis à l'essai pour déterminer s'ils pouvaient être utilisés comme substituts à la colle animale dans les traitements de conservation du bois doré; les résultats obtenus se sont avérés satisfaisants, les PALV convenant le mieux étant les PALV de faible masse moléculaire faiblement hydrolysés (Rhodoviol 4/125) (Hebrard et Small, 1991).

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Il faut faire bouillir les PALV entièrement hydrolysés (98 à 100 %) pour qu'ils se dissolvent dans l'eau, tandis que les PALV plus faiblement hydrolysés (87 à 89 %) se dissolvent dans l'eau chaude ou froide (Jaffe et Rosenblum, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 71). Les PALV encore plus faiblement hydrolysés (75 à 80 %) sont solubles dans l'eau froide, mais ils précipitent une fois chauffés (Jaffe et Rosenblum, 1990). La solubilité du PALV augmente à mesure que la masse moléculaire et la taille des particules diminuent (Jaffe et Rosenblum, 1990).

Le PALV est insensible à bon nombre de solvants organiques (p. ex. xylène, méthanol, acétone), à l'huile et à la graisse (Jaffe et Rosenblum, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 74). Il est possible d'ajouter des alcools de faible masse moléculaire (jusqu'à une proportion de 50 %) aux solutions aqueuses à base de PALV sans causer de précipitation (Jaffe et Rosenblum, 1990).

Même s'il a été estimé que le PALV demeurera stable pendant 300 ans dans des conditions muséales favorables, il faut remettre en question cette affirmation, car le produit réticule facilement du fait qu'il contient des groupements hydroxyle très réactifs (Horie, 2010, p. 144; De Witte, 1976, 1977; Roff et Scott, 1971, p. 73-74). Il a été démontré que le PALV réticule pour donner une matière insoluble dans des conditions légèrement acides ou alcalines, et en présence de certains polyformaldéhydes (p. ex. l'urée-formaldéhyde) et de catalyseurs acides, sels chélateurs de métaux, pigments (p. ex. le rouge Congo) et colorants, ainsi que sous l'effet de la chaleur (> 100 °C) (Horie, 2010, p. 144; Jaffe et Rosenblum, 1990). La réticulation explique probablement l'insolubilité de certaines dispersions de PACV stabilisées à l'aide de PALV (Horie, 2010, p. 144).

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

Les poly(butyrals de vinyle)

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation	thermoplastique	3-5	~ 1,49
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
48-68, selon la teneur en hydroxyles			80-220 x 10^{-6}

(Tímár-Balázsy et Eastop, 1998, p. 304-331; Shields, 1976, p. 299; Roff et Scott, 1971, p. 84)

Abréviation

PBV poly(butyral de vinyle)

Types, synonymes et noms commerciaux

Butacite, Butvar, Mowital, Pioloform, Rhovinal

Chimie et préparation

Le poly(butyral de vinyle) (PBV) (**figure 1**) appartient à une famille de résines appelées les poly(acétals de vinyle). Ces acétals sont obtenus par hydrolyse du poly(acétate de vinyle) (PACV) et par traitement du produit résultant – le poly(alcool de vinyle) (PALV) – avec un aldéhyde dans des conditions acides; on obtient ainsi du poly(formal de vinyle) (par combinaison avec le formaldéhyde), du poly(acétal de vinyle) (par combinaison avec l'acétaldéhyde) ou du PBV (par combinaison avec le butyraldéhyde) (Roff et Scott, 1971, p. 82-83). Cela peut prêter à confusion, car le terme « poly(acétal de vinyle) » peut renvoyer aussi bien à la famille de résines qu'à la résine préparée à l'aide d'acétaldéhyde. Le polymère obtenu est un terpolymère. Dans le cas du PBV, il s'agit d'un terpolymère constitué de butyral de vinyle, d'alcool vinylique et d'acétate de vinyle.

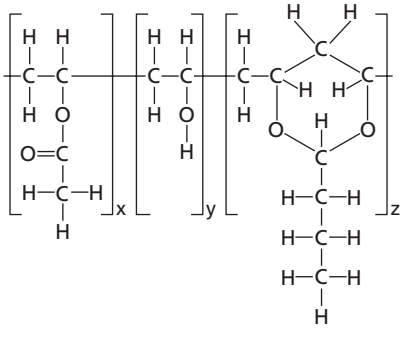


Figure 1. Terpolymère de PBV. (Horie, 2010, p. 146; Roff et Scott, 1971, p. 82).

Historique et utilisation

Le PBV a été mis au point au Canada à la fin des années 1920 (Roff et Scott, 1971, p. 86).

À l'échelle commerciale, le PBV a été utilisé comme apprêt pour améliorer l'adhésion de la peinture sur les métaux, comme revêtement pour les textiles et comme adhésif pour les pare-brise stratifiés de voitures (Farmer et Jemmott, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 86). Le PBV possède une excellente adhésion sur différents substrats, en particulier le verre, le bois et les textiles (Farmer et Jemmott, 1990).

Dans le domaine de la conservation, le PBV a été utilisé comme agent de consolidation pour les textiles, les fossiles, le bois et le papier, et comme adhésif pour le bois, les fossiles, le verre et les couches de peinture (Horie, 2010, p. 146-147; Howie, 1984). Il a remplacé le poly(acétal de vinyle) dans la pâte AJK, qui servait de matériau à modeler en conservation (Horie, 2010, p. 146-147).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Les propriétés du PBV dépendent de la masse moléculaire et des proportions des trois unités monomériques qui composent le copolymère (**tableau 1**).

Le PBV est une poudre blanche qui produit des feuils transparents lorsqu'elle est en solution. La lumière

Tableau 1. Propriétés de certains PBV
(Butvar, 2006)

Propriété	Butvar B-76	Butvar B-98
masse moléculaire	90 000-120 000	40 000-70 000
acétate (%)	0-2,5	0-2,5
hydroxyle (%)	11,5-13,5	18,0-20,0
butyral (%)	88	80
viscosité (mPa.s) (10 % d'éthanol)	200-450	75-200
indice de réfraction	1,485	1,490
absorption d'eau (% en 24 h)	0,3	0,5

naturelle et les intempéries ont peu d'incidence sur les feuils de PBV (Roff et Scott, 1971, p. 85). Dans une étude, des feuils de PBV (Butvar B-98) ont été soumis à un vieillissement à la chaleur et aux rayons ultraviolets (UV) afin de confirmer la stabilité du PBV; les résultats ont confirmé que le vieillissement avait peu d'incidence sur les propriétés chimiques (spectre infrarouge) ou physiques (couleur, dureté, solubilité) des feuils (Toutloff, 1999).

Les PBV contenant une forte proportion de groupements hydroxyle (de 17 à 21 %, comme le Butvar B-98) ont habituellement une température de transition vitreuse (T_v) élevée (de 62 à 68 °C), tandis que les PBV contenant une faible proportion de groupements hydroxyle (de 0 à 13 %, comme le Butvar B-76) ont une T_v plus basse (de 48 à 55 °C) (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998).

Les propriétés mécaniques d'un feuil de PBV (Butvar B-98 dans l'éthanol) ont été observées sur une période de deux mois; le PBV, qui était assez extensible au départ, est devenu relativement inextensible une fois l'éthanol disparu (Wolbers, 2008). De plus, le feuil avait gagné en force au début, mais après deux mois, cette force avait été perdue.

Résistance microbienne

Roff et Scott (1971, p. 85) affirment que les polymères à base de PBV ne sont pas attaqués par les bactéries, les champignons ou les insectes. Cependant, le Mowital B 20 H ne s'est montré que moyennement résistant à la croissance microbienne lorsqu'il a fait l'objet d'essais comparatifs avec 15 autres polymères (acryliques, PACV, silicones et polymères de dammar) dans lesquels le substrat utilisé était de la pierre (Koestler, 2000).

Papier

Le PBV (à 3 %) renforçait le papier (papier traité quatre fois plus fort que le papier non traité). Le papier n'a pas été altéré après un vieillissement à la chaleur ou sous l'effet de la lumière (Eliazyan *et al.*, 2001).

Textiles

Dans une étude portant sur l'utilisation du PBV pour la conservation des textiles, le produit n'a pas été retenu pour les raisons suivantes : il contient des PALV qui peuvent se réticuler entre eux ou avec le textile et devenir insolubles après vieillissement; il a une affinité pour les métaux et pourrait réagir avec les mordants et les colorants; il est connu pour dégrader la soie (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998; Masschelein-Kleiner et Bergiers, 1984). Une autre étude portant sur les agents de consolidation pour les textiles a démontré qu'un PBV (Mowital B 30 H) assurait une bonne stabilité des couleurs, était assez réversible et conservait sa flexibilité après un vieillissement à la chaleur, tandis qu'un autre PBV (Rhovinal B10-20) jaunissait légèrement et perdait de sa solubilité et de sa flexibilité après vieillissement (Blackshaw et Ward, 1983).

Cire

Lorsqu'un PBV (Mowital B 60 HH) a été utilisé comme adhésif sur un objet en papier ciré, il a produit des feuils cassants, modérément épais et légèrement rigides qui possédaient une assez bonne résistance au cisaillement par rapport aux autres produits mis à l'essai (divers adhésifs à base d'acrylique et le BEVA 371); toutefois, les résultats obtenus n'étaient pas constants, ce qui indique que la résistance est imprévisible (Hincelin et Roche, 2011). Dans le cas de la cire, sa résistance au pelage était plus faible que celle de tous les autres adhésifs mis à l'essai; par conséquent, le Mowital n'a pas été retenu pour le traitement de l'objet en papier ciré.

Bois

Un PBV (Butvar B-98) a été évalué pour déterminer s'il convenait à la consolidation de bois dégradé et de meubles (Spirydowicz *et al.*, 2001; Grattan, 1980). Il a été démontré que le produit assurait une couverture efficace des parois cellulaires, qu'il accroissait la résistance mécanique et la dureté du bois, qu'il était stable dans diverses conditions de vieillissement, et qu'il était soluble dans les alcools. Les désavantages constatés étaient une viscosité élevée en solutions (méthanol préférable à l'éthanol) et le fait qu'il formait des taches; il a toutefois été noté que la plupart des agents de consolidation tachent le bois (Grattan, 1980). D'autres études ont montré qu'un PBV (le Butvar B-98) améliorait de 20 % la force du bois détérioré (Schniewind et Kronkright, 1984; Wang et Schniewind, 1985).

Fossiles
Les PBV ont été utilisés pour consolider et réparer des fossiles, mais les types de PBV fortement hydroxylés (p. ex. le Butvar B-98) ont montré des difficultés d'adhésion (Howie, 1984).

Pierre
Dans une étude portant sur les produits protecteurs de la pierre (calcaire, grès), un PBV (le Butvar B-73) a réussi à former un revêtement qui était à la fois imperceptible et réversible, qui n'avait pas changé de couleur sous l'effet de la lumière (rayons UV) ou après un vieillissement à la chaleur, qui a toléré les cycles de gel et de dégel et qui n'a pas absorbé d'eau (Whiteford, 1982). Cependant, il n'a pas donné de bons résultats en milieu acide. À cette exception près, il a donné des résultats relativement bons par rapport à ceux obtenus avec les autres produits mis à l'essai dans cette étude [Paraloid B-72, Ethocel, Lexan 121 (une résine de polycarbonate), Saran F310].

Métaux
Dans une étude portant sur les revêtements utilisés pour protéger l'argent exposé au sulfure d'hydrogène, il a été démontré qu'un PBV (Butvar B-98) ne prévenait que modérément le ternissement par rapport au PACV, aux acryliques et au nitrate de cellulose, qui ont donné de meilleurs résultats (Grabow *et al*., 2007).

Solubilité et capacité d'enlèvement*
De manière générale, les PBV sont solubles dans les alcools, les éthers de glycol, l'acétone, les hydrocarbures aromatiques, les esters, le dichlorure d'éthylène et le tétrahydrofurane (Farmer et Jemmott, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 83). Cependant, la solubilité dépend de la proportion d'hydroxyles contenue dans le PBV. Par exemple, les PBV contenant une forte proportion de groupements hydroxyle (de 17 à 21 %, comme le Butvar B-98) sont généralement solubles dans les solvants très polaires [p. ex. le *n*-butanol, le diacétone-alcool, le diméthylformamide (DMF), l'éthanol à 95 %, l'isopropanol à 95 %, le méthanol – mais pas l'acétone, la méthyléthylcétone (MEC) et le toluène], tandis que les PBV contenant une faible proportion de groupements hydroxyle (de 0 à 13 %, comme le Butvar B-76) sont solubles dans un plus grand nombre de solvants (p. ex. acétone, *n*-butanol, diacétone-alcool, DMF, éthanol à 95 %, isopropanol à 95 %, MEC et toluène – mais pas le méthanol) (Tímár-Balázsy et Eastop, 1998).

Les hydrocarbures aliphatiques, la térébenthine, les huiles végétales, l'eau, les solutions alcalines froides et les acides dilués n'ont aucune incidence sur le PBV (Roff et Scott, 1971, p. 83).

Le vieillissement à la chaleur des PBV (Mowital B 30 H, Rhovinal B10-20) entraîne une perte de solubilité (Blackshaw et Ward, 1983).

Dans une étude portant sur la réversibilité des traitements de consolidation du bois à l'aide de méthodes d'extraction extrêmes (extraction Soxhlet et trempage dans un solvant sous agitation), un PBV (Butvar B-98) s'est révélé moins réversible que l'AYAT et le Paraloid B-72 (Schniewind, 1988).

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

Les acryliques

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation (dispersions ou résines dissoutes dans un solvant)	thermoplastique	0,3-0,4 (immersion de 24 h) ~ 2 (immersion prolongée)	PAM : 1,47 PMAM : ~ 1,49 PMAB ou PMAE : 1,48 PMAIB : 1,475
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
PAB -54 PMAB 20 PAE -22 PMAE 65 PAM 9 PMAM 105	dispersion caractéristique : environ 50-300	dispersions liquides : 7-9 feuils secs extraits à l'eau (non vieillis) : 6-7	PMAM : 3-8 x 10^{-5}

(Down *et al*., 1996; Gehman, 1990; Shields, 1976, p. 299; Roff et Scott, 1971, p. 91)

Abréviations

AB, PAB	acrylate de butyle ou acrylate de *n*-butyle, poly(acrylate de butyle) ou poly(acrylate de *n*-butyle)
AE, PAE	acrylate d'éthyle, poly(acrylate d'éthyle)
AM, PAM	acrylate de méthyle, poly(acrylate de méthyle)
MAB, PMAB	méthacrylate de butyle ou méthacrylate de *n*-butyle, poly(méthacrylate de butyle) ou poly(méthacrylate de *n*-butyle)
MAIB, PMAIB	méthacrylate d'isobutyle, poly(méthacrylate d'isobutyle)
MAE, PMAE	méthacrylate d'éthyle, poly(méthacrylate d'éthyle)
MAM, PMAM	méthacrylate de méthyle, poly(méthacrylate de méthyle)

Types, synonymes et noms commerciaux

Acrifix, Acrilem, Acronal, acrylate, Acryloid*, Acrysol, Elvacite, Lascaux, Loctite, Lucite, méthacrylate, Neocryl, Norland, Paraloid*, Perspex, Plexiglas, Plexisol, Plextol, Primal (nom donné au Rhoplex en Europe), Rhoplex (nom donné au Primal en Amérique du Nord), Sokrat, Solucryl, Tensol, Texicryl, Vinacryl

Chimie et préparation

Les adhésifs acryliques contiennent des acrylates dérivés de l'acide acrylique ainsi que des méthacrylates dérivés de l'acide méthacrylique (**figure 1**) (Horie, 2010, p. 153).

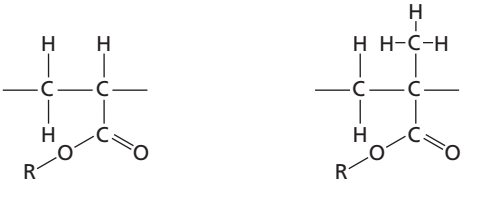


Figure 1. Unités monomériques d'acrylique.

* Avant 1997, « Paraloid » était le nom commercial donné à une série de résines acryliques fabriquées par l'entreprise Rohm and Haas Company et vendues en Europe, tandis que les mêmes produits, en Amérique du Nord, étaient appelés « Acryloid ». En 1997, le fabricant Rohm and Haas a décidé d'adopter un seul nom, à savoir « Paraloid », pour tous ses marchés (CAMEO, 2010b; Gottsegen, 2006, p. 81). Dans le présent ouvrage, seul le nom « Paraloid » a été utilisé, même dans les cas où le nom « Acryloid » était utilisé dans l'étude originale. Au moment de la publication, les entreprises Dow Chemical Company et Rohm and Haas avaient fusionné, et Dow avait également acquis l'Union Carbide Corporation (Watson, 2009). Au fil des ans, de nombreuses fusions et acquisitions ont eu lieu entre fabricants d'adhésifs, et beaucoup de produits ont changé de nom. Il est parfois difficile de recenser les produits qui sont offerts aujourd'hui, car un même produit peut avoir changé de nom alors que certains produits ont tout simplement disparu.

HISTORIQUE ET UTILISATION

Les travaux de recherche sur les acrylates et les méthacrylates ont commencé vers 1843, mais la principale étude sur ces polymères, réalisée par Röhm, remonte à 1901 (Roff et Scott, 1971, p. 94). La production commerciale de l'acrylate a débuté vers 1927 en Allemagne, tandis que celle du méthacrylate a commencé au Canada dans les années 1930 (Roff et Scott, 1971, p. 94).

Les acryliques sont utilisés comme résines : sous forme de feuilles pour les fenêtres et les luminaires; sous forme de solutions de solvant pour les vernis et les encres d'impression pour le caoutchouc, le cuir et le papier; et sous forme de dispersions pour les peintures, les adhésifs et les apprêts textiles (Roff et Scott, 1971, p. 94).

Dans le domaine de la conservation, le Lucite a d'abord été utilisé comme vernis pour les tableaux dans les années 1930 (Horie, 2010, p. 159). Les acryliques ont été utilisés plus tard comme agents de consolidation pour les pigments, le papier, le bois, le cuir, le plâtre, la pierre, la terre, l'os, les peintures murales et les fossiles, comme adhésifs (adhésifs humides, fixables à chaud, sensibles à la pression et adhésifs de contact) pour le papier, les textiles, le bois et le rentoilage, et comme laques pour l'argent, les mosaïques et le fer (Horie, 2010, p. 159-167).

CARACTÉRISTIQUES, LIMITES ET ÉTUDES DE VIEILLISSEMENT

GÉNÉRALITÉS

Les acryliques sont transparents, incolores, résistants à la lumière, aux intempéries et au vieillissement, faciles à préparer, résistants à l'eau et non toxiques; de plus, ils sont efficaces à basse température et ils adhèrent à une vaste gamme de substrats (Gehman, 1990; Roff et Scott, p. 87-94). Les adhésifs acryliques sont disponibles sous différentes formes, notamment sous forme de solides (granules), de solutions organiques, de dispersions aqueuses, de rubans sensibles à la pression et de feuils sans support. Ces polymères peuvent être durs et vitreux ou bien mous et collants. Les méthacrylates ont une température de transition vitreuse (T_v) supérieure à celle des acrylates (**tableau 1**), lesquels ont tendance à être plus collants et à accumuler de la poussière.

Les facteurs suivants ont une incidence sur la T_v de ces polymères (Gehman, 1990) :

- la distance entre les chaînes latérales (plus elles sont éloignées, plus elles sont mobiles);
- la présence du groupement méthyle dans les méthacrylates, qui cause plus d'encombrement stérique par comparaison aux acrylates;
- la ramification;
- la copolymérisation;
- la réticulation.

TABLEAU 1. PROPRIÉTÉS DE CERTAINS ACRYLIQUES
(Gehman, 1990)

Acrylique	Résistance à la traction (MPa)	Élongation (%)	T_v (°C)
Méthacrylates			
méthyle	62	4	105
éthyle	34	7	65
butyle	7	230	20
Acrylates			
méthyle	7	750	9
éthyle	0,2	1 800	-22
butyle	0,02	2 000	-54

Les méthacrylates ont une plus grande force de cohésion que les acrylates, mais sont moins flexibles que ces derniers. La force de cohésion décroît lorsque la longueur de la chaîne alkyle augmente. Les méthacrylates d'alkyle supérieurs et tous les acrylates ont tendance à réticuler sous l'effet des rayons ultraviolets (UV), mais les groupements méthyle et éthyle contribuent moins à la réticulation que les groupements amyle, butyle et propyle (Feller *et al.*, 1981; Feller, 1957). C'est l'une des raisons pour lesquelles le Paraloid B-72 donne de bons résultats lors d'essais de réticulation, comparativement aux esters d'alkyle supérieurs : il s'agit en fait d'un copolymère de méthacrylate d'*éthyle* et d'acrylate de *méthyle* (Feller *et al.*, 1981). Le poly(méthacrylate de méthyle) (PMAM) résiste mieux aux effets du vieillissement en raison de la présence du groupement méthyle, qui empêche la réaction avec l'oxygène et la réticulation (Ďurovič *et al.*, 1991).

ACRYLIQUES À DURCISSEMENT UV

Les adhésifs à durcissement UV peuvent être à base d'époxy ou d'acrylique (Lumen Dynamics Group, Inc.). Les adhésifs à base d'époxy durcissent par un procédé cationique, tandis que les adhésifs à base d'acrylique durcissent par un mécanisme radicalaire (Lumen Dynamics Group, Inc.). Ces adhésifs sont des produits à un composant qui peuvent renfermer des monomères déterminant la viscosité, la réticulation

et la vitesse de durcissement; des prépolymères qui déterminent en grande partie les propriétés mécaniques et adhésives; des photoinitiateurs qui absorbent les photons UV et transfèrent de l'énergie au processus de durcissement; des matières de charge ajoutées à des fins de renforcement ou de réduction des coûts; des promoteurs d'adhésion ainsi que des stabilisants (Lumen Dynamics Group, Inc.; Haddon et Smith, 1991). Ils durcissent rapidement après une exposition aux UV et n'émettent pas de vapeurs de solvants, comme le font les adhésifs qui prennent par évaporation du solvant. Pour que ces adhésifs soient efficaces, les UV doivent atteindre les adhésifs à travers le substrat; il faut donc au moins un substrat transparent de profondeur limitée. Sinon, l'adhésif risque de ne pas durcir complètement et de rester collant (Haddon et Smith, 1991).

Les essais menés dans le cadre d'une étude sur les acryliques à durcissement UV (Norland NOA 61, Norland NOA 63) ont permis de conclure que l'utilisation de ces acryliques était recommandée pour la conservation du verre lorsque tout changement de couleur était indésirable (Robson, 1987). Les essais ont démontré que ces acryliques avaient conservé leur couleur et leur transparence, et qu'il était possible de les injecter facilement dans les craquelures à l'aide d'une seringue. Une autre étude a démontré que, même si le Loctite 350 assurait une force de joint supérieure et qu'il se manipulait bien, il jaunissait légèrement sous l'effet de la lumière et après un vieillissement à la chaleur et il devenait insoluble (Bradley, 1990b). Cependant, il était possible de l'enlever à l'aide de solvants et par des moyens mécaniques.

Une étude a été menée pour comparer la résistance à la traction, la stabilité et la réversibilité de deux adhésifs photosensibles (Loctite 3492, Holdtite ST3222) à celles de l'époxy Hxtal (Swierenga, 2000). Les adhésifs photosensibles se sont montrés plus forts que le Hxtal, mais ils ont changé de couleur après une exposition aux UV. La réversibilité était à peu près équivalente pour les trois produits.

Acryliques anaérobies

Les adhésifs anaérobies contiennent des monomères et des résines acryliques; ils sont constitués de mélanges de diméthacrylates ou de diacrylates avec des initiateurs à base d'hydroperoxyde et d'autres ingrédients (Rooney et Malofsky, 1990). Ils demeurent fluides dans l'air, mais ils polymérisent lorsqu'ils sont pressés entre des surfaces ajustées (p. ex. métal, verre ou céramique) d'où l'oxygène est exclu (Roff et Scott, 1971, p. 98). L'adhésif, une fois durci, est fortement réticulé. Il ne contient aucun solvant et il est facile d'enlever l'excès d'adhésif en dehors de la zone du joint du fait qu'il ne prend pas (Rooney et Malofsky, 1990). Souvent, la surface des objets à traiter n'est ni lisse ni ajustée; dans ce cas, les adhésifs anaérobies ne sont pas efficaces.

Adhésifs sensibles à la pression

Les adhésifs sensibles à la pression (ASP) peuvent être constitués de plusieurs polymères différents, notamment des caoutchoucs naturels, du polyisobutylène, du poly(éther de vinyle), des caoutchoucs synthétiques, du polyuréthane et des acryliques (Gehman, 1990). Ils forment un feuil qui demeure toujours collant une fois que le solvant s'est évaporé ou lors du refroidissement (dans le cas des produits thermofusibles). Une fois secs, ils forment un joint avec le substrat par l'application d'une légère pression; aucun solvant ni chauffage n'est requis (Rotunda, 1977). De nombreux rubans d'ASP sont constitués d'un support fait de papier, de textile (lin), de polyester, de polypropylène, de polyéthylène, de poly(chlorure de vinyle) (PCV), d'acétate de cellulose, d'aluminium ou de cellophane, dont l'une ou les deux faces sont recouvertes d'adhésif (Down *et al.*, 2006). Les rubans sur support de cellophane peuvent devenir cassants une fois secs, mous une fois mouillés, ils peuvent se contracter au fil du temps et libérer des composés volatils nocifs (O'Loughlin et Stiber, 1992). Les rubans sur support d'acétate de cellulose peuvent changer de couleur, perdre de leur force et libérer eux aussi des composés volatils nocifs (O'Loughlin et Stiber, 1992). Les supports de PCV contiennent habituellement des plastifiants qui sont susceptibles de migrer dans le substrat.

Les ASP à base d'acrylique sont des composés polymériques purs auxquels peu d'additifs sont ajoutés, alors que les ASP à base de caoutchouc peuvent contenir des agents améliorant la pégosité et des antioxydants (Fries, 1982). Comparativement aux ASP à base de caoutchouc, les ASP à base d'acrylique sont plus inertes à l'oxydation, plus transparents, ils ont moins tendance à tacher ou à devenir plus foncés, ils sont plus efficaces à basse température, et ils adhèrent mieux aux surfaces polaires qu'aux surfaces non polaires.

Les rubans ASP de qualité « archives » ont fait leur apparition dans les années 1970, mais ce n'est que bien plus tard qu'ils ont été fabriqués avec des adhésifs acryliques. Les ASP à base d'acrylique peuvent être fortement réticulés, ce qui les rend plus forts, plus rigides et moins collants (p. ex. le ruban réversible comme celui des Post-It Notes, le ruban Removable Magic Tape de marque 3M) (O'Loughlin et Stiber, 1992). Certains agents de réticulation rendent les

adhésifs plus forts au fil du temps, et il devient alors difficile de les enlever (O'Loughlin et Stiber, 1992). Les ASP à base d'acrylique peuvent fluer, rendre le papier plus transparent et faire baver les encres. Les ASP à base de copolymère d'acétate de vinyle et d'ester acrylique sont très collants, mais ils vieillissent moins bien que les ASP à base d'acrylique, et le joint formé peut se renforcer au fil du temps (O'Loughlin et Stiber, 1992).

Les ASP peuvent être permanents ou enlevables (Bentley, 1997). Les ASP permanents ne peuvent être enlevés sans causer de dommages au substrat, alors que les ASP enlevables, eux, peuvent être enlevés sans causer de dommages ou laisser de résidus (quoique certains d'entre eux laissent en réalité des résidus). Les ASP permanents adhèrent à une plus grande variété de substrats que les ASP enlevables. Les ASP enlevables adhèrent mieux aux surfaces lisses qu'aux surfaces rugueuses ou pelucheuses, et leur force s'accroît au fil du temps, diminue avec une baisse de la température, et augmente avec une hausse de la température. Certains contiennent des plastifiants ou des agents améliorant la pégosité qui peuvent migrer ou former des taches après application (Norman, 2001).

Sur les 80 produits d'ASP à base d'acrylique mis à l'essai dans le cadre d'un programme de sélection préliminaire lancé pour les besoins d'un projet de l'Institut canadien de conservation portant sur les rubans et les papiers de soie fixables à chaud, environ 55 % avaient un pH composite neutre (pH de 6 à 8, adhésif et support combinés), environ 40 % étaient acides (pH < 6), dont 11 % étaient très acides (pH < 4), et environ 5 % étaient alcalins (pH > 8) (Down *et al.*, 2011, 2013b). Il est donc possible de conclure que l'utilisation d'un ASP à base d'acrylique n'assure pas nécessairement que le produit soit neutre. Dans un prolongement de cette étude, dans laquelle 19 des 80 produits d'ASP à base d'acrylique ont été retenus pour des essais supplémentaires (la majorité d'entre eux ayant un pH neutre), la plupart ont échoué à l'essai d'activité photographique, et bon nombre des supports ont changé de couleur après un vieillissement au four [28 jours, 80 °C, humidité relative (HR) de 65 %] (Down *et al.*, 2011). La couleur n'a en aucun cas traversé de l'autre côté du substrat en papier, à l'exception de deux produits qui ont provoqué un léger changement de couleur. De plus, il a été noté que la plupart des rubans ne pouvaient être enlevés du substrat en papier (papier de périodique datant des années 1870 et papier photographique à revêtement de résine) qu'à l'aide de solvants toxiques comme le toluène, l'acétate d'éthyle et l'acétone, par opposition à l'eau ou à l'éthanol ou à des moyens mécaniques.

Certains rubans d'ASP mis au point pour des applications structurales industrielles sont aussi forts qu'une résine époxy souple, et ils conservent leur force même s'ils sont exposés à un taux d'humidité élevé ou immergés dans l'eau (Bennett *et al.*, 1996). À titre d'exemple, du ruban structural VHB de marque 3M a été utilisé pour assujettir des plaques de métal et des vitrines d'exposition sur un plancher en marbre dans une galerie où l'utilisation de vis aurait endommagé le plancher (Anonyme, 1999). Le ruban n'a pas taché le plancher en marbre, et il a été facile d'enlever tant le ruban que les plaques de métal en enfonçant des vis en nylon dans des trous filetés percés dans les plaques au préalable.

La durée de conservation recommandée pour les rubans d'ASP est de 6 à 12 mois, dans un climat tempéré; ces produits ne doivent pas être exposés à la lumière du soleil, à des vapeurs corrosives ou à des vapeurs de solvants (Rotunda, 1977).

Résistance microbienne

Selon les précis (Gehman, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 93), les acryliques ne seraient pas susceptibles d'être attaqués par des micro-organismes, mais certains le sont, en réalité. Dans une étude sur l'impact des micro-organismes sur divers adhésifs utilisés sur la pierre, le Rhoplex AC-234, un acrylique en dispersion, s'est montré le plus résistant à la croissance microbienne, tandis que le Paraloid B-72 n'a montré qu'une résistance moyenne; le Paraloid F-10 était parmi les moins résistants des produits (Koestler, 2000). Il est nécessaire d'effectuer des essais préliminaires avant d'utiliser un acrylique, surtout si le substrat est fortement contaminé par des micro-organismes.

Études sur les acryliques dans le domaine de la conservation

Généralités

Des essais ont été menés sur des acryliques en dispersion [Texicryl 13-002; Plextol B500; Primal CA-12, Primal AC-33, Primal AC-634 et Primal AC-634 avec épaississants, soit du toluène, du ASE60 ou du Natrosol (hydroxyéthylcellulose)] ainsi que sur des homopolymères et des copolymères de poly(acétate de vinyle) (PACV) afin de déterminer les effets d'un vieillissement naturel à l'obscurité (10 à 25 °C), d'un vieillissement à la lumière naturelle provenant d'une fenêtre en verre, d'un vieillissement à la lumière du soleil dans une boîte munie de divers filtres, d'un vieillissement à la lumière fluorescente et d'un vieillissement à la chaleur et à l'obscurité (59 °C et 83 °C), notamment en ce qui concerne le poids, la couleur, la solubilité, la résistance à la traction et les

variations de pH des produits (Howells et Burnstock, 1985). Tous les acryliques possédaient une bonne flexibilité. Le Primal AC-33, le Primal AC-634 avec Natrosol, le Texicryl 13-002 et le Plextol B500 ont jauni ou se sont montrés instables sous l'effet de la chaleur. Le Primal AC-634 et le Primal CA-12 avaient une solubilité limitée, tandis que la gamme de solubilité des autres acryliques était plus vaste.

Six semaines après avoir coulé des feuils de Paraloid B-72 à partir d'une solution de trichloroéthane, il restait 7 % du solvant dans le feuil, ce qui a eu pour effet de le plastifier. Les feuils coulés à partir de solutions d'acétone ou de toluène ne contenaient que 0,7 % de solvant (Hansen, 1995).

Des essais ont été menés sur des résines acryliques (Paraloid F-10, Primal N-580, Plexisol), des résines de PACV et des résines d'hydroxyméthylcellulose afin de déterminer les effets du vieillissement à la chaleur et de l'exposition à la lumière sur la durabilité et la réversibilité à long terme des produits (Wächter, 1995). D'après les résultats, le produit le plus durable était le Paraloid F-10.

Étude de l'Institut canadien de conservation

Les conclusions présentées ci-dessous sont celles d'une étude (Down, 2015, 2009; Down *et al*., 1996) portant sur le pH, les émissions de composés volatils nocifs, la force, la flexibilité et le jaunissement de 25 adhésifs à base d'acrylique soumis à un vieillissement naturel à l'obscurité (22 °C, ~ 45 % d'humidité relative) ainsi qu'à une exposition à la lumière fluorescente (190 µW/lm, 700 à 800 lux) :

- en ce qui concerne le *pH*, les acryliques étaient, de façon générale, plutôt neutres. Toutefois, l'exposition à la lumière avait tendance à rendre les adhésifs plus acides que le vieillissement à l'obscurité, et le pH des dispersions était alcalin (pH > 8), ce qui n'est pas surprenant puisque les fabricants ajoutent habituellement de l'ammoniac à leurs produits à des fins de stabilisation. Les dispersions de Rhoplex AC avaient un pH alcalin au départ (pH d'environ 9) mais, après un mois de séchage, le pH du feuil sec extrait avait baissé jusqu'à des valeurs neutres. Les feuils secs sont ensuite devenus acides après vieillissement (pH aussi bas que 3,5). La transition d'une dispersion à l'état humide à un feuil sec vieilli représente un changement drastique et, par conséquent, ces adhésifs ne conviendraient pas aux objets sensibles au pH. Par contre, les propriétés des dispersions de Rhoplex N sensibles à la pression étaient, dans une certaine mesure, meilleures en ce qui a trait au pH, car la plupart des mesures de pH des dispersions et des films secs extraits se trouvaient dans la plage des valeurs neutres acceptables (5,5 à 8) et ne descendaient qu'à 5 ou à 4,5 après 15 ans de vieillissement à la lumière ou 27 ans de vieillissement à l'obscurité. Il faut toutefois se rappeler que ces dispersions de Rhoplex N ont tendance à réticuler au fil du temps, comme l'indique la fiche technique du fabricant (Rohm et Haas, 1980). Les produits à base d'acrylique qui étaient neutres et dont le pH a le moins varié après 15 ans de vieillissement à la lumière et 27 ans de vieillissement à l'obscurité étaient les suivants : Paraloid B-44S, Paraloid F-10, Paraloid B-82, Elvacite 2013, Elvacite 2028, Paraloid B-99 et Paraloid B-67;
- en ce qui concerne les *émissions de composés volatils nocifs*, les adhésifs à base d'acrylique n'ont libéré aucun composé volatil nocif, sauf le Lascaux 360 HV, qui a émis une très faible quantité d'acide acétique;
- en ce qui concerne les adhésifs à base d'acrylique, le vieillissement a fait accroître la *flexibilité* d'environ la moitié des produits mis à l'essai et décroître celle de l'autre moitié. Les produits les plus flexibles étaient le Rhoplex N-580, le Lascaux 360 HV, le Rhoplex N-560, le Rhoplex N-1031, le Rhoplex N-619, le Rhoplex LC-40, le Rhoplex AC-234 (y compris en mélange avec l'AC-73), le Unsupported Texicryl, le Paraloid C-10-LV, le Rhoplex AC-235, le Rhoplex AC-33 et le Pliantex. Bon nombre des films secs formés par des adhésifs en dispersion sensibles à la pression (p. ex. Rhoplex N-580, Lascaux 360 HV) avaient une très faible force de cohésion. Ils ne doivent pas être utilisés pour des applications structurales, car ils peuvent fluer sous une charge;
- l'exposition à la lumière a fait *jaunir* les adhésifs à base d'acrylique plus rapidement que le vieillissement à l'obscurité mais, globalement, les acryliques n'ont pas tendance à jaunir excessivement; le Paraloid B-48S et le Paraloid B-67 ont donné les meilleurs résultats à cet égard après 15 ans de vieillissement à la lumière et 27 ans de vieillissement à l'obscurité;
- une évaluation des *résultats globaux* indique que le Paraloid F-10, le Rhoplex AC-33, le Rhoplex AC-235, le Rhoplex AC-234 (y compris en mélange avec l'AC-73) et le Paraloid B-82 étaient les meilleurs adhésifs d'après les critères établis, suivis du Paraloid B-72, du Lascaux 360 HV, du Paraloid B-67, du Pliantex, du Paraloid B-44S, du Rhoplex N-560 et du Paraloid NAD-10. Toutefois, la capacité d'enlèvement n'a pas été mise à l'essai, et même les meilleurs produits présentaient des désavantages. À titre d'exemple, le Paraloid F-10 a jauni quelque peu et est devenu cassant après un vieillissement à la lumière. Le Rhoplex AC-33, le Rhoplex AC-235 et le Rhoplex AC-234 (y compris

en mélange avec l'AC-73) sont devenus acides après un vieillissement à l'obscurité et à la lumière et ils ont eux aussi jauni quelque peu. Le Paraloid B-82, le Paraloid B-67 et le Paraloid B-72 étaient trop cassants pour être mesurés ou sont devenus cassants après vieillissement, tandis que le Lascaux 360 HV avait une faible force de cohésion et est devenu légèrement acide après un vieillissement à la lumière.

Paraloid B-72

Le Paraloid B-72 est une résine qui a fait l'objet de nombreuses études dans le domaine de la conservation et dont l'utilisation est courante dans presque toutes ses spécialités. Il s'agit d'une résine copolymère composée à 70 % de méthacrylate d'éthyle et à 30 % d'acrylate de méthyle (CAMEO, 2013; Down *et al*., 1996). Comme on peut le constater, ce produit est mentionné dans bien des études citées dans ce chapitre et il donne, de manière générale, de très bons résultats dans la plupart des évaluations. Le matériau est réputé pour sa stabilité; il demeure soluble dans les solvants non polaires après vieillissement (Phenix, 1993, 1992, 1992b). Il a comme désavantages un faible indice de réfraction et un lustre prononcé (mais le degré de lustre peut être modifié). Il s'agit d'un bon liant pour les pigments, mais il peut devenir visqueux dans les solvants aromatiques. De plus, il peut devenir collant et filamenteux rapidement. À l'état liquide, sa pégosité et sa flexibilité sont limitées. L'ajout d'éthers de cellulose permet toutefois d'améliorer sa flexibilité et d'accroître à la fois sa viscosité et sa pégosité.

Lascaux 360 HV, Lascaux 498 HV et Lascaux 303 HV

Les acryliques en dispersion Lascaux 360 HV et Lascaux 498 HV sont eux aussi fréquemment utilisés dans le domaine de la conservation, et ils sont inclus dans bien des études citées dans ce chapitre et dans le reste de l'ouvrage. Ils sont constitués de copolymères d'acrylate de butyle et de méthacrylate de méthyle; le Lascaux 360 HV contient plus d'acrylate de butyle que le Lascaux 498 HV (Down *et al*., 1996). Selon l'entreprise Lascaux, ces produits demeurent solubles dans l'acétone et le toluène et ils sont réversibles par des moyens mécaniques (Lascaux, 1999). Même s'ils sont visqueux, ils peuvent mouiller un substrat afin de le ramollir, au besoin. Le Lascaux 360 HV (T_v = -8 °C) produit un feuil mou, flexible et collant à température ambiante, et peut donc être utilisé comme ASP ou être réactivé par la chaleur à de faibles températures (50 °C). Le Lascaux 498 HV (T_v = 13 °C) produit des feuils flexibles plus rigides qui ne restent que légèrement collants (Lascaux, 1999). Il est possible de mélanger les deux produits pour obtenir la pégosité et la flexibilité voulues.

En 2012, l'entreprise Lascaux a mis fin à la production du Lascaux 360 HV après que le liant qu'il contenait ait cessé d'être fabriqué. Un nouveau produit, le Lascaux 303 HV, a été utilisé comme substitut. Il contient un copolymère d'acrylate de 2-éthylhexyle et d'acrylate d'éthyle dont la proportion d'acrylate de 2-éthylhexyle est supérieure à 50 % (Williams, 2013). Le pH du feuil sec extrait formé par le Lascaux 303 HV est de 7,77 ± 0,06 (Down, 2013). Selon la fiche technique, le Lascaux 303 HV (T_v = -31 °C) peut être fixé à chaud à 50 °C, il demeure collant en permanence après séchage et il est soluble dans l'acétone, l'alcool, le toluène et le xylène (Lascaux, 2012).

Papier et photographies

À la fin des années 1960, une étude a été menée sur l'utilisation de papiers de soie fixables à chaud pour la réparation des déchirures dans le papier (Hey et Waters, 1977). Avant la réalisation de cette étude, une bonne partie des résines utilisées pour recouvrir les papiers causaient l'adhérence accidentelle des papiers, et les différentes techniques utilisées pour prévenir ce problème (p. ex. revêtement avec de la cire microcristalline ou de l'amidon de riz) ne donnaient pas des résultats satisfaisants. Dans cette étude, 5 acryliques et 16 PACV ont été mis à l'essai pour déterminer leur comportement antiadhérent, leur changement de couleur, leur réversibilité aisée sans recours prolongé à des solvants, leur dureté, leur capacité de formation d'un feuil continu à température ambiante et leur teneur en plastifiants. Les meilleurs résultats ont été obtenus par un mélange de Plextol B500, de Rhoplex AC-73 et d'eau distillée (1:1,5:1) appliqué sur du papier de soie. Ce mélange est connu sous le nom de « Library of Congress Heat-set Tissue » (papier de soie fixable à chaud de la Bibliothèque du Congrès).

Trois copolymères de styrène et d'acrylate (Sokrat 2802, Sokrat 2804, Sokrat 2403), un copolymère de méthacrylate de méthyle et d'acrylate de butyle (Sokrat 6492), un copolymère d'acétate de vinyle et d'acrylate de butyle (Duvilax KA-1) et un PACV homopolymérique additionné de plastifiant ont été mis à l'essai, lorsqu'utilisés pour renforcer le papier, afin de déterminer leur résistance au double pliage, leur résistance à la traction, leur blancheur, leur pH, leur résistance à l'hydrolyse, leur pouvoir adhésif, leur capacité d'enlèvement et leur résistance aux micro-organismes après un vieillissement à la chaleur, un vieillissement à la chaleur cyclique et un vieillissement à la lumière artificielle imitant la lumière du soleil (Ďurovič *et al*., 1991). Il a été conclu que le copolymère acrylique Sokrat 6492 et la dispersion de PACV convenaient aux applications en conservation.

Plusieurs produits [Paraloid B-72 (dans le toluène), acryliques en dispersion (Rhoplex AC-73, Plextol B500, Rhoplex AC-234, Liquitex Acrylic Gloss Medium), pâte d'amidon de blé (PAmB), méthylcellulose (MC), divers PACV, colle de caoutchouc] ont été soumis à un vieillissement et mis à l'essai en employant divers détecteurs photographiques (différents types de gamme de plages de densité, de pellicules ou de papiers photographiques à l'albumine ou à la gélatine argentique) afin de déterminer leur impact sur les photographies (effet sur l'argent, sur les couches de liants courants et sur les supports de papier) (Schenck et McCabe, 1989). Dans la plupart des essais, les acryliques ont entraîné une détérioration des détecteurs photographiques et ont donc donné des résultats insatisfaisants. La PAmB et la MC, pour leur part, ont donné les meilleurs résultats dans l'ensemble, car elles n'ont pas endommagé les substrats photographiques. Ces résultats corroborent ceux obtenus par les essais d'activité photographique réalisés sur divers papiers de soie et rubans adhésifs fixables à chaud par Down *et al*. (2011). Dans le cadre de leur étude, nombre de produits contenant des adhésifs à base d'acrylique ont échoué à l'essai d'activité photographique, contrairement au produit à base d'amidon de blé.

Cuir et peau

Une étude a été menée sur l'Elvacite 2044 et le Paraloid F-10, deux polymères de méthacrylate de butyle (Shashoua et Kawanobe, 1993). Les chercheurs ont constaté que les deux produits avaient des propriétés chimiques et mécaniques similaires, mais que l'Elvacite était légèrement moins stable sous l'effet de la lumière. Il a été conclu que l'Elvacite 2044 était un bon substitut au Paraloid F-10, qui avait été utilisé par le passé pour consolider le cuir de tannage végétal et comme matériau de cartonnage pour le papyrus.

Dans une autre étude, des chercheurs ont examiné, par microscopie électronique à balayage, les joints formés par divers adhésifs avec de la peau d'intestin, notamment quatre acryliques (Lascaux 498 HV, Lascaux 360 HV, Paraloid F-10, Paraloid B-72) (Horelick *et al*., 2011). Le mélange de Lascaux 498 HV et de Lascaux 360 HV (3:1) assurait un meilleur contact avec la peau d'intestin lorsque la peau était mouillée au préalable. Le Paraloid F-10, quant à lui, assurait un meilleur contact lorsqu'il était appliqué sous forme de solution (à 40 % dans l'essence minérale), le contact étant moins bon lorsqu'il était fixé à chaud. Dans la même étude, le Paraloid B-72 n'a pas assuré un contact étroit avec la peau d'intestin lorsqu'il était appliqué sous forme de solution (à 20 %) dans l'acétone.

Textiles

Dans l'une des premières études menées sur l'utilisation du Paraloid B-72 pour la conservation des textiles, les chercheurs ont démontré que le produit offrait une stabilité de couleur et une réversibilité adéquates, tout en conservant sa flexibilité après vieillissement (Blackshaw et Ward, 1983). L'Elvacite 2013, un autre acrylique, demeurait réversible après vieillissement, mais changeait de couleur et devenait très cassant.

Les feuils de Primal N-580 formaient des joints forts avec les textiles et le cuir; ils résistaient bien sous l'effet de la lumière; le vieillissement à la chaleur ne les faisait changer de couleur que légèrement; ils étaient réversibles dans l'acétone et partiellement réversibles dans les alcools méthylés industriels; leur pH était adéquat (8,3) pour les matières organiques (la plage acceptable étant de 5,5 à 8,5); ils n'entraînaient pas la corrosion de l'argent, du cuivre ou du plomb; ils demeuraient collants une fois secs, ce qui entraînait malheureusement l'accumulation de poussière; leur résistance au cisaillement et au pelage augmentait avec le vieillissement à la chaleur (Shashoua, 1992). Il a été conclu que le Primal N-580 était un matériau stable qui convenait à la conservation, mais que son enlèvement pouvait endommager les objets affaiblis ou friables.

Dans le cadre d'un programme de mise à l'essai d'adhésifs pour la conservation des textiles, on a évalué quatre acryliques (mélange de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV; Texicryl 13-002; Lascaux P 550-40 TB; Paraloid F-10) et six PACV afin de déterminer la résistance d'adhésion (pelage), la facilité d'enlèvement (pelage à chaud), la réversibilité (pelage à froid par rapport au pelage à chaud), l'acidité, la corrosivité et la formation de taches, la toxicité (nécessité d'utiliser un système d'aspiration des vapeurs), la température de fixage à chaud, la T_v, la facilité d'application et la facilité de manipulation (Pretzel, 1997). C'est une dispersion de PACV qui a donné les meilleurs résultats globaux, alors que les adhésifs à base d'acrylique (en solution dans un solvant) ont donné des résultats médiocres : ils étaient faibles, leur réversibilité était problématique, ils nécessitaient le recours à un système d'aspiration des vapeurs, leur température de fixage à chaud était élevée, et ils pouvaient être difficiles à appliquer et à manipuler. Les acryliques en dispersion donnaient des résultats légèrement meilleurs, puisqu'ils formaient des joints forts, qu'ils ne nécessitaient pas d'utiliser un système d'aspiration des vapeurs et que leur température de fixage à chaud était plus basse. Cependant, ils peuvent être quelque peu corrosifs, acides et difficiles à appliquer et à manipuler.

Le fait de diluer le mélange de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV (1:1) avec de l'eau et un solvant organique (eau/acétone 50:50 ou 60:40) favorise un étalement plus uniforme de l'adhésif, car le solvant diminue la tension superficielle élevée de l'eau (Rogerson, 2002). Le feuil qui se forme sur la crêpeline de soie ou le Stablitex produit des joints plus forts s'il est réactivé avec de l'acétone ou des alcools méthylés industriels qu'avec de l'eau seulement. De plus, une quantité moindre d'adhésif est nécessaire.

Des essais ont été menés pour déterminer la résistance au pelage de plusieurs spécimens de tissus de soie collés avec un mélange de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV (1:2) réactivé par un solvant (acétone ou alcools méthylés industriels) ou par la chaleur (températures de 75 à 155 °C) en faisant varier la concentration d'adhésif, la pression et la durée de la réactivation (Karsten et Down, 2005). La réactivation à l'acétone a produit des joints plus forts que la réactivation aux alcools méthylés industriels ou la réactivation par la chaleur pour une durée de réactivation et une pression identiques. La plage des valeurs de résistance au pelage a été définie en fonction de la concentration d'adhésif, de la durée de la réactivation, de la pression et de la température; ces données pourraient être utiles au restaurateur de textiles.

Des essais ont également été menés sur les acryliques en dispersion : l'Acrilem RP6005, un poly(acrylate d'éthyle), l'Acrilem 674, un copolymère d'acrylate d'éthyle et de méthacrylate de méthyle, et l'Acrilem ST 1997, un copolymère de styrène, d'acrylonitrile et d'acrylate de butyle (Cocca *et al*., 2006). L'Acrilem RP6005 avait une T_v avoisinant la température ambiante, une courbe contrainte-déformation caractéristique des matériaux élastomères ductiles non réticulés ainsi qu'un degré de jaunissement acceptable après vieillissement. Ces propriétés indiquent qu'il pourrait convenir à la conservation des textiles.

Dans une autre étude menée sur des supports pour les objets en soie, les chercheurs ont réalisé des essais sur l'A-45K, un copolymère synthétisé à partir d'acétate de vinyle, d'acrylate de butyle et d'acide acrylique (50:45:5) afin de déterminer les effets liés à un vieillissement naturel de 20 ans et à un vieillissement accéléré à la lumière (Ragauskienė *et al*., 2006). Après 20 ans de vieillissement naturel, le feuil adhésif avait perdu de son intégrité et accumulé de la poussière et des résidus, mais il était encore souple. Les changements dans la structure chimique de l'adhésif indiquent que le groupement acétate, l'une des composantes du copolymère, a vieilli plus vite que le groupement acrylate.

Dans une autre étude menée récemment, les chercheurs se sont penchés sur une nouvelle technique pour consolider les textiles à base de cellulose ayant subi une oxydation naturelle; la technique consistait à greffer un copolymère d'acrylate d'éthyle et de méthacrylate de méthyle (AE/MAM, 75:25) et un copolymère d'AE, de MAM et de méthacrylate de 2,2,2-trifluoréthyle (AE/MAM/MATFE, 73:24,5:2,5) sur du coton et du lin oxydés et non traités (Princi *et al*., 2007). Ce traitement a permis de consolider les textiles en améliorant leur résistance mécanique et leur flexibilité. Il conférait également un caractère hydrofuge aux textiles, tout particulièrement lorsque le terpolymère fluoré était utilisé (AE/MAM/MATFE). Ce sont ces combinaisons de polymères qui ont été retenues du fait qu'elles résistent aux attaques biologiques et que leur T_v est acceptable (10 °C) (Princi *et al*., 2005).

Cire

Dans une étude menée sur quatre adhésifs à base d'acrylique (Paraloid B-72, Plexisol P550, Solucryl 356 et Lascaux 360 HV), sur le BEVA 371 et sur un poly(butyral de vinyle) (Mowital B 60 HH) afin de déterminer leur efficacité à coller du papier ciré, les chercheurs ont constaté que le Plexisol P550 était l'adhésif à privilégier, car il possédait une résistance au cisaillement et une résistance au pelage relativement élevées et que les écarts-types étaient faibles, ce qui laisse entendre que les résultats sont très fiables (Hincelin et Roche, 2011).

Une autre étude a été menée pour évaluer l'efficacité de plusieurs adhésifs utilisés pour coller différents types de cires; le Lascaux 498 HV a donné des résultats variables selon le type de cire utilisé, et puisqu'il séchait plutôt lentement, un support a dû être utilisé jusqu'à la prise du produit, ce qui peut causer des problèmes dans le cas des cires molles (Lang, 2011). Le Lascaux avait un autre désavantage : il n'était pas réversible dans l'eau, mais plutôt dans des solvants qui peuvent endommager les cires. Dans cette même étude, le Paraloid B-72 (dans l'acétone) a présenté des désavantages au moment de l'application et du séchage, il a fait apparaître des craquelures à la surface de la cire, et sa force était variable. Son utilisation n'est donc pas recommandée. Le Lascaux, quant à lui, est recommandé si une force supérieure à celle fournie par l'isinglass recommandé est nécessaire pour certaines cires (à l'exception des cires molles, pour lesquelles le Mowilith 30 est recommandé si une plus grande force est nécessaire).

Peintures

Dans une étude portant sur l'encollage (Paraloid B-72 dans le xylène) d'une toile originale ou d'un doublage en polyester ainsi que sur le temps de séchage (1 heure

ou 24 heures) de l'adhésif de rentoilage (Lascaux 360 HV), les chercheurs ont constaté que l'encollage avait une plus grande incidence sur la force des joints que le temps de séchage (Allard et Katz, 1987). Les joints les plus forts étaient formés lorsque la toile originale et la toile de rentoilage étaient toutes deux encollées, alors que les joints les plus faibles résultaient de l'absence d'un encollage sur la toile originale.

Une autre étude s'est penchée sur la résistance au pelage, le changement de couleur et la solubilité de divers adhésifs à base d'acrylique (Plextol B500, Rhoplex AC-33, Rhoplex AC-234, Lascaux 360 HV et Lascaux 498 HV) après une exposition à la lumière; les produits qui convenaient le mieux au rentoilage des peintures, qui requiert une force importante, étaient le Plextol B500 et le Lascaux 498 HV (Duffy, 1989). Les produits Rhoplex étaient recommandés pour les applications exigeant des forces moins importantes (papiers, tissus fins); le Lascaux 360 HV avait, quant à lui, une résistance au pelage très élevée (2 à 3 fois plus élevée que celle des autres produits), ce qui pourrait limiter son utilisation. Le toluène s'est révélé le meilleur solvant pour faire gonfler les feuils. Les adhésifs ont changé de couleur et leur résistance au pelage s'est accrue après vieillissement.

Des chercheurs ont étudié la force de divers adhésifs pour la réparation fil par fil de déchirures dans les toiles; ils ont découvert que les adhésifs à base d'acrylique ne possédaient pas la force nécessaire pour ce genre d'utilisation (Demuth *et al*., 2011). Parmi tous les produits à l'étude, ce sont le PACV et les mélanges de colle d'esturgeon et de PAmB qui se sont révélés avoir la force la plus appropriée pour ce type de traitement.

Arts décoratifs

Une étude a été menée sur le comportement de fracture mécanique des couches de préparation des revêtements décoratifs multicouches de type gesso ainsi que sur leur consolidation (Schellmann et Taylor, 2011). L'acrylique Lascaux Medium for Consolidation a entraîné les plus fortes augmentations de l'énergie de fracture, il semblait renforcer les spécimens et il s'avérait efficace pour combler les vides. Cependant, comme il est très fort, il pourrait provoquer l'apparition de fractures dans de nouvelles zones et non dans les zones de fractures anciennes seulement, ce qui est préférable. Dans la même étude, les échantillons de Paraloid B-72 n'ont pas renforcé les spécimens; ils avaient tendance à former des joints minces.

Objets – peinture écaillée

Une étude a été menée sur 19 résines acryliques ainsi que sur des adhésifs à base de PACV, d'éther de cellulose, d'amidon et de protéines utilisés pour consolider la peinture écaillée sur des objets ethnographiques (Horton-James *et al*., 1991). Trois résines acryliques (Plextol B500, Rhoplex AC-33, Neocryl A1044) ont donné de bons résultats dans les conditions d'essai, même si le pH était assez faible dans deux cas. Le Plextol B500 a été retenu aux fins de ce traitement.

Bois

Dans une étude portant sur le renforcement de bois détérioré à l'aide de diverses résines, les chercheurs ont constaté que le traitement au Paraloid B-72 pouvait augmenter de 16 % la résistance du bois (Schniewind et Kronkright, 1984).

Plâtre

Des essais ont été menés sur plusieurs acryliques pouvant être solubilisés de nouveau dans l'eau avec l'ajout d'ammoniac (autrement dit, des acryliques solubles en milieu alcalin), notamment l'Acrysol WS-24, l'Experimental Emulsion E-2014, le Neocryl BT-520 et le Neocryl BT-175, afin de déterminer leur efficacité comme agent de consolidation pour le plâtre (Phillips, 1987). Ces produits peu toxiques et non inflammables constitueraient une solution efficace pour renforcer le plâtre à l'aide d'un produit à base d'eau qui n'est pas sensible aux fluctuations de l'humidité relative au moment du séchage, alors que les résines hydrosolubles peuvent l'être. Dans le domaine de l'architecture, les surfaces en plâtre sont habituellement très imposantes; l'utilisation de résines à base de solvants n'est donc pas souhaitable à cause des risques élevés d'incendie et de toxicité. Dans le cadre du programme d'essais, le Neocryl BT-520 et l'Acrysol WS-24 se sont montrés plus flexibles que les autres produits, et l'Acrysol WS-24 s'est avéré le plus résistant à l'eau. Tous les produits ont permis de consolider le plâtre dans une certaine mesure, le Neocryl BT-520 étant le plus efficace à cet égard. Des taches jaunes sont apparues sur le plâtre; toutefois, le Neocryl BT-520 était plus résistant au jaunissement et il conservait mieux sa solubilité que l'Acrysol WS-24.

Dans un prolongement de cette étude, l'utilisation d'agents de consolidation à base d'acryliques et de résines époxy en solution aqueuse a été suggérée pour consolider le plâtre (Phillips, 1995). Une fois pris, ces agents de consolidation sont encore plus résistants à l'humidité que les acryliques solubles en milieu alcalin étudiés précédemment. Les agents de consolidation à base d'acryliques et de résines époxy contiennent également des acryliques solubles en milieu alcalin qui favorisent la solubilisation de l'époxy dans une solution aqueuse. Une fois appliqué sur le plâtre, l'agent de consolidation réticule au fil du temps. Les essais d'abrasion par l'air et les essais sur le terrain ont permis de constater que le plâtre traité

s'était considérablement renforcé et qu'il était durable. Cette technique n'a toutefois pas été recommandée, car les essais définitifs n'étaient pas encore terminés au moment de la publication des résultats, et ils ne le seraient toujours pas à ce jour, d'après les renseignements disponibles.

Dans une autre étude, deux acryliques en dispersion (Primal AC-33, Vinacryl 40224) ont été évalués pour déterminer leur efficacité à recoller des écailles de peinture sur du plâtre et à consolider des surfaces friables (Shashoua, 1993). La stabilité des couleurs des deux produits s'est avérée adéquate. De plus, ils se contractaient peu après vieillissement (~ 4 %) et ils ont tous deux réussi le test d'Oddy. Comparativement au Vinacryl, le Primal a un pH plus élevé et une plus grande solubilité dans l'acétone et il conviendrait mieux à cette utilisation particulière.

Poly(méthacrylate de méthyle)

Plusieurs acryliques et résines époxy ont été mis à l'essai pour déterminer s'ils convenaient à la réparation d'objets en PMAM (Sale, 1993). La plupart des acryliques évalués, sauf les acryliques à durcissement UV (Norland OA65, Norland OA68), ont entraîné le fendillement du PMAM lorsque celui-ci était soumis à une charge. Les adhésifs en solution dans un solvant [le Paraloid B-67 en combinaison avec le Paraloid F-10 (1:1); le Paraloid B-72] ont formé des joints faibles, tandis que les adhésifs à durcissement UV ont formé des joints environ 50 % moins forts que ceux formés par les résines époxy. Les acryliques à deux composants (Tensol 70, Acrifix 90) ont formé les joints les plus forts. Ce sont le Hxtal NYL-1, le Norland OA65 et le mélange de Paraloid B-67 et de Paraloid F-10 qui ont donné les meilleurs résultats. Ces adhésifs n'ont pas causé le fendillement du PMAM sous contrainte. Ils ont formé des joints de diverses forces, leur indice de réfraction se rapprochait de celui du PMAM, et leur T_v était inférieure à celle du PMAM. Après 20 ans de vieillissement naturel, les échantillons d'essai ont été réévalués afin de déterminer l'état de jaunissement; le mélange de Paraloid B-67 et de Paraloid F-10 ainsi que le Hxtal NYL-1 avaient subi un jaunissement minime, tandis que les échantillons de Norland semblaient avoir jauni davantage (Sale, 2011).

Céramique

Le Paraloid B-72, le Paraloid B-67 et l'Elvacite 2044 ont été mis à l'essai pour déterminer s'ils convenaient à la consolidation d'objets en céramique friables (Fox, 1979). Le Paraloid B-67 possédait une bonne résistance à l'abrasion, tandis que le Paraloid B-72 démontrait la plus faible résistance à l'abrasion, même s'il donnait de bons résultats du point de vue de l'apparence.

Des chercheurs ont mis à l'essai neuf adhésifs afin d'évaluer la résistance à la traction, l'indice de jaunissement (avant et après un vieillissement à la chaleur cyclique), l'épaisseur des joints, le temps de travail ainsi que les dangers globaux liés à l'utilisation des produits pour le traitement de céramiques espagnoles de l'époque médiévale (Paraloid B-72, résines acryliques Scotch, PACV, nitrates de cellulose, cyanoacrylates, résines époxy) (Castro et Doménech Carbó, 1999). De tous les adhésifs, c'est le Paraloid B-72 (à 50 % dans l'acétone) qui a donné les meilleurs résultats dans le cadre de ces essais.

Verre

Le Paraloid B-72 a été recommandé comme adhésif pour le verre ancien, qui est plus fragile que le verre moderne (Koob, 2000). Le Paraloid B-72 a été jugé plus convenable que les adhésifs à base de résines époxy, car sa force est modérée et sa flexibilité lui permet de tolérer certaines contraintes. Il est stable et réversible et peut être ajusté par l'application d'une faible chaleur ou par l'utilisation de solvants, et son indice de réfraction se rapproche davantage de celui du verre ancien que celui des adhésifs à base de résines époxy. Les bulles légèrement visibles dans le Paraloid B-72, qui se forment après le séchage, posaient peu de problèmes étant donné que le verre ancien n'est ni parfaitement transparent ni exempt de bulles. Le Paraloid B-72 a également été recommandé pour combler les vides dans le verre, et les essais menés à cet égard se sont avérés fructueux (Koob *et al*., 2011).

Pierre

Tabasso (1995) a publié un bon article de synthèse sur l'utilisation des polymères acryliques pour la consolidation de la pierre (techniques et produits). Elle y mentionne que le PMAM et le poly(méthacrylate de butyle) (PMAB) ont été utilisés dans les années 1960 comme agents de consolidation et comme revêtements de protection. Le Paraloid B-72 a été utilisé plus tard à ces mêmes fins, mais il pénétrait mal et était moins hydrofuge que les polymères de silicone. Par conséquent, le Paraloid B-72 a été mélangé à du méthyltriméthoxysilane, qui possédait un plus fort caractère hydrofuge, mais « qui accumulait beaucoup plus de poussière que d'autres produits protecteurs ne contenant pas d'acryliques » [traduction] (p. 19). Le prochain développement a été la mise au point d'une technique de consolidation à base de PMAM qui conférait une meilleure résistance mécanique ainsi qu'une plus grande hydrophobicité à la pierre. Cependant, l'absorption de petites quantités d'eau entraînait des contraintes dans la pierre (dilatation et gonflement). Tabasso mentionne également des techniques de consolidation à base d'acryliques *monomérique*s.

Les acryliques utilisés pénètrent plus facilement dans la pierre que les *polymères* et se polymérisent *in situ* ou ils interviennent dans la polymérisation par précipitation. Toutefois, ils peuvent fracturer la pierre en raison des contraintes exercées pendant la polymérisation. Certaines techniques à base de monomères de MAM ont toutefois été mises à l'essai et ont donné des résultats satisfaisants.

Dans une étude précédente, l'auteur a examiné la résistance à la traction et la résistance à la compression de 25 agents de consolidation, dont des acryliques, des silicones, des silanes, des résines époxy, des fluorures et un polyuréthane, afin de déterminer s'ils convenaient à la consolidation du grès et du calcaire (Clifton, 1984). Seuls quelques-uns de ces agents de consolidation ont réussi les essais. D'autres essais ont été menés par la suite sur ces produits pour évaluer la profondeur de pénétration, l'apparence, la profondeur de l'érosion et le changement de couleur après exposition à un acide appliqué au goutte à goutte, la stabilité au gel-dégel ainsi que la dilatation thermique. Certains des acryliques (PMAM, ester acrylique) ont permis de consolider la pierre, contrairement à d'autres [poly(acrylate de butyle), poly(acrylate de méthyle)]. La plupart des acryliques procuraient une bonne apparence et possédaient un coefficient de dilatation thermique se rapprochant de celui de la pierre, ce qui est une propriété souhaitable. Cependant, les meilleurs résultats ont été obtenus avec une résine époxy.

Des chercheurs ont mis à l'essai divers agents de consolidation utilisés pour stabiliser du calcaire d'origine maya affaibli en les soumettant à différents types de vieillissement *in situ* et de vieillissement dans un climat tropical chaud et humide simulé en laboratoire (Kumar et Ginell, 1995). Leurs essais visaient à évaluer la profondeur de pénétration, le durcissement dans des conditions d'humidité relative élevée, la résistance à la microabrasion, la résistance à l'abrasion par l'eau ainsi que le changement de porosité. Il s'est avéré qu'un mélange d'acrylique et d'époxy améliorait à la fois la résistance à l'érosion par l'eau et par les particules, tandis que les acryliques en dispersion et en solution n'offraient aucune protection contre l'érosion.

Des chercheurs se sont également penchés sur le comportement de plusieurs agents de consolidation et agents hydrofuges sur des spécimens de pierre fracturés, remplis par des résines (Santamaría et Calatayud, 1997). Les traitements ont amélioré la résistance au vieillissement; les meilleurs résultats ont été obtenus avec le Sinocril, une résine acrylique, lorsqu'il était combiné à un agent hydrofuge [un siloxane modifié (Tegosivin HL100)].

Dans une étude portant sur la performance du Paraloid B-72, du Paraloid B-67 et du Dri-Film 104 à base de silicone sous l'effet de la lumière, les chercheurs ont conclu que le Dri-Film réticulait et que les résines acryliques subissaient une scission des chaînes ou une réticulation des structures, menant ainsi à une diminution de la solubilité et de la capacité d'enlèvement ainsi qu'à des changements de couleur (Favaro *et al*., 2006). L'application d'un mélange de Paraloid B-72 et de Dri-Film 104 sous la forme d'un feuil mince avait pour effet d'accroître la photodégradation. Cette dernière était toutefois limitée lorsque le feuil était plus épais, étant donné la mauvaise pénétration de l'oxygène. Les chercheurs ont proposé un mécanisme de détérioration – le même qui avait été observé sur des surfaces de pierre en milieu extérieur traitées avec ce mélange 20 à 30 ans auparavant, ce qui a permis de suivre de près le degré de détérioration en vue d'effectuer de futurs traitements (Favaro *et al*., 2007).

Une étude portant sur la photodégradation de diverses résines acryliques utilisées pour la conservation de la pierre a montré que la scission des chaînes constituait le principal mécanisme de dégradation, et qu'il finissait par entraîner l'élimination de tous les revêtements (Melo *et al*., 1999). Les copolymères [Paraloid B-72 et poly(méthacrylate d'éthyle/acrylate de méthyle) (PMAE/AM)] possédaient une plus grande photostabilité que le PMAE utilisé seul en raison de la présence du comonomère acrylique d'AM. L'exposition au rayonnement d'une lampe à arc au xénon et à la lumière du soleil à l'extérieur a donné lieu à des processus chimiques similaires, mais les dommages physiques subis par les échantillons à l'extérieur étaient différents (Bracci et Melo, 2003).

L'utilisation d'un feuil barrière d'acrylique (Paraloid B-72) a permis d'améliorer la réversibilité d'une résine époxy et d'une résine de polyester employées pour coller la pierre (Podany *et al*., 2001). Pour assurer la réversibilité, le feuil barrière doit être mince, conforme, continu et complètement sec avant l'application de l'époxy ou du polyester. Cette utilisation d'un feuil barrière a permis la formation de joints assez forts pour demeurer structuraux, mais le fluage à long terme, qui pourrait avoir un impact sur ces joints, n'a pas été étudié.

Étant donné que les polymères et les pigments sont parfois utilisés pour protéger la surface des monuments en pierre, une étude a été menée sur

la photodégradation de feuils de Paraloid B-72 additionnés de pigments de dioxyde de titane (anatase, mélange d'anatase et de rutile) à différentes concentrations (Spathis *et al*., 2003). L'anatase (à 30 %) utilisée seule conférait une meilleure protection que le mélange.

Il existe maintenant de nouvelles nanotechniques à base de points quantiques fluorescents et de solution de Paraloid B-72 qui permettent d'indiquer la profondeur de pénétration et les effets de concentration sur la consolidation d'une matrice de chaux et de sable affaiblie (Zucker *et al*., 2011).

Des chercheurs ont étudié la résistance à la traction du Paraloid B-72 sur des échantillons de calcaire afin de déterminer si ce produit convenait comme adhésif structural pour les os fossiles issus de collections paléontologiques (Russell et Strilisky, 2011). D'autres adhésifs (Paleobond PB100, un cyanoacrylate, et le Devcon-2-ton, une résine époxy) se sont montrés plus forts. Cependant, la résine époxy était plus forte que le calcaire, ce qui n'est pas souhaitable. Il faut noter que le Paraloid B-72 conviendrait à cette utilisation particulière si la force de traction exercée était inférieure à 2,215 MPa. Le Paraloid B-72 s'est révélé plus réversible et plus stable que les deux autres produits, tout en causant le moins de dommages à la surface.

Métaux

Dans une étude portant sur les revêtements protecteurs pour l'argent exposé au sulfure d'hydrogène, l'acrylique Acrysol WS-24 a donné de très bons résultats (peu de ternissement), tandis que le Paraloid B-72 et le Paraloid B-48N se sont avérés moins efficaces (Grabow *et al*., 2007).

Dans une étude, des revêtements d'Acronal 300D et d'Acronal 500D (copolymère d'acrylate de *n*-butyle, d'acétate de vinyle et de chlorure de vinyle) ont été soumis à un test d'Oddy modifié. On a observé des réactions sur le plomb et le cuivre, tandis que l'argent est demeuré inchangé (Farnsworth, 1996). Compte tenu de ces résultats et de leur pH très faible, ces produits ont été jugés inappropriés pour l'entreposage et l'exposition des objets.

L'ajout de quantités croissantes de PAmB ou de carboxyméthylcellulose (CMC) au Rhoplex N-619 avait pour effet de réduire la résistance au cisaillement sur les substrats en aluminium, d'accroître la teneur d'humidité à l'équilibre et d'accentuer la tendance au gonflement dans des conditions d'humidité élevée (Fulton, 1988). Les échantillons secs de Rhoplex N-619 additionné de PAmB ou de CMC n'étaient pas solubles dans l'eau; cependant, l'ajout de PAmB ou de CMC avait pour effet d'accroître le gonflement.

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les résines acryliques sont solubles dans les hydrocarbures aromatiques et dans la plupart des hydrocarbures chlorés (p. ex. toluène, chloroforme) ainsi que dans les esters (p. ex. acétate d'éthyle), les cétones et le tétrahydrofurane (Roff et Scott, 1971, p. 90). Les polymères de butyle, tout comme les esters supérieurs, sont solubles dans les hydrocarbures aliphatiques (p. ex. essence minérale) (Roff et Scott, 1971, p. 90). Les polymères réticulés sont insolubles, mais ils gonflent en présence d'hydrocarbures chlorés (Roff et Scott, 1971, p. 90). Enfin, certains acryliques gonflent en présence d'alcools (Roff et Scott, 1971, p. 90).

Des feuils de Paraloid B-72, de Paraloid B-67, d'Elvacite 2045 et d'Elvacite 2046 soumis à une détérioration photochimique (par exposition à une lampe fluorescente lumière du jour) ont pu être facilement enlevés à l'aide d'un mélange de toluène et de cyclohexane (40:60), lequel est considéré comme un solvant faible (Feller, 1976). Lorsqu'ils étaient exposés à une lumière plus intense (lampe à arc au xénon), les feuils devenaient un peu moins solubles, et il fallait utiliser du toluène pur pour les enlever. Selon Feller *et al*. (1981), le Paraloid B-72 « devrait rester incolore et soluble dans les solvants dans lesquels il était soluble à l'origine, et ce, pendant plus de 200 ans » [traduction] s'il est exposé sur les murs d'une galerie à des lampes fluorescentes lumière du jour ainsi qu'à la lumière naturelle (p. 196).

Le Paraloid B-72 est un bon liant pour les pigments, mais il peut être visqueux dans les solvants aromatiques et peut devenir rapidement collant et filamenteux. Il n'est pas soluble dans l'essence minérale, les hydrocarbures aliphatiques, l'eau ou le méthanol (Phenix, 1992b). Les solvants utilisés pour le Paraloid B-72 ne doivent pas

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

s'évaporer rapidement (point d'ébullition entre 110 et 170 °C) et leurs paramètres de solubilité doivent être similaires au paramètre de cohésion du Paraloid B-72 (Phenix, 1992b). D'autres solvants ont été proposés pour le Paraloid B-72, comme le Methyl PROXITOL, le Methyl PROXITOL Acetate, l'éthoxypropanol et l'acétate d'éthoxypropanol, étant donné qu'ils répondent à ces exigences et que leurs limites d'exposition en milieu de travail sont similaires à celles du toluène (Phenix, 1993). Les acétates ont une odeur plus forte que les éthers alcools correspondants; il peut donc être plus agréable de travailler avec les éthers alcools. Ces solvants pourraient remplacer complètement le solvant aromatique ou lui être mélangés afin d'en réduire la teneur en composés aromatiques. Ils sont recommandés pour les retouches, mais pas pour les vernis ni pour la consolidation de la peinture.

Les agents de consolidation sont difficiles à enlever. Même les méthodes d'extraction draconiennes (par immersion sous agitation ou par extraction Soxhlet) laissaient des résidus de Paraloid B-72 dans le bois (Schniewind, 1988). Dans une autre expérience visant à enlever un agent de consolidation des os par extraction Soxhlet, il a été possible d'enlever l'Acrysol WS-24 convenablement, de telle sorte qu'il ne devrait pas nuire aux analyses ultérieures des os; cependant, le Paraloid B-72 était toujours présent après l'extraction, ce qui pourrait avoir un impact sur les analyses des os (Unruh, 1994).

Il était toujours possible d'enlever des vernis à base de poly(méthacrylate de *n*-butyle) après 10 à 49 ans d'exposition à une lumière sans UV; par contre, des solvants très polaires ont dû être utilisés (Quillen *et al*., 1990).

Les cyanoacrylates

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
réaction chimique	thermoplastique		cyanoacrylate de méthyle : 1,4406 cyanoacrylate d'éthyle : 1,4349 cyanoacrylate d'isopropyle : 1,4291 cyanoacrylate de butyle : 1,4330 cyanoacrylate d'isobutyle : 1,4352
Température de transition vitreuse (°C) (polymérisation anionique : la masse moléculaire varie)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
cyanoacrylate de méthyle : 100 cyanoacrylate d'éthyle : 115 cyanoacrylate d'isopropyle : 66 cyanoacrylate de *n*-butyle : 56 cyanoacrylate d'isobutyle : 51 cyanoacrylate de *n*-hexyle : 86 cyanoacrylate de *n*-heptyle : 88	2-5 varie selon le type de cyanoacrylate et selon les additifs		~ 80-100 x 10^{-6}

(Chemtools; Permabond Engineering Adhesives, 2011; Coover *et al*., 1990; Kulkarni *et al*., 1973)

Types, synonymes et noms commerciaux

2-cyanoacrylate d'alkyle, Eastman, Glustitch, Hot Stuff, Krazy Glue, Loctite, PaleoBond, Permabond, Super Glue, Zap

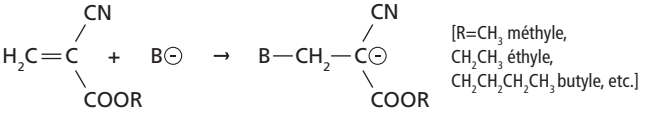
Chimie et préparation

Les cyanoacrylates polymérisent (durcissent) selon un mécanisme anionique ou radicalaire. Toutefois, la polymérisation anionique (**figure 1**) est plus fréquente, car elle peut être amorcée plus facilement par des bases faibles (Coover *et al*., 1990). Par exemple, une mince pellicule d'eau ou d'alcool est suffisamment basique pour amorcer le processus de polymérisation. La polymérisation radicalaire de ce monomère, quant à elle, exige une exposition prolongée à des températures élevées, à des rayons ultraviolets ou à de la chaleur, ainsi que la présence de peroxydes (Coover *et al*., 1990). Les groupements nitrile (-CN) et alcoxycarbonyle (-COOR) sont électrophiles (accepteurs d'électrons) et font en sorte que la double liaison du monomère est très réactive. La plupart des matériaux sont recouverts d'une fine pellicule d'humidité en surface, et ce sont les groupements hydroxyle dans cette eau qui amorcent une polymérisation rapide. La polymérisation est amorcée à l'interface entre l'adhésif et le substrat et finit par se propager dans tout l'adhésif. Si l'adhésif est épais, la polymérisation est plus susceptible de s'arrêter; il faut donc privilégier des joints minces. De plus, le produit convient mal au comblement des vides si ces derniers sont grands.

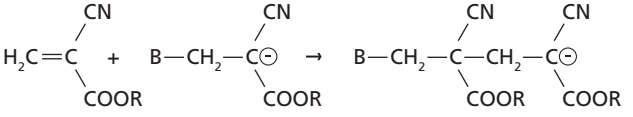
Les formulations de cyanoacrylate peuvent contenir des stabilisants (p. ex. acides, hydroquinone) qui servent à prolonger la durée de conservation. L'ajout d'acides vise à neutraliser les bases faibles pouvant attaquer la double liaison très réactive et provoquer une polymérisation anionique (Coover *et al*., 1990; Kotzev *et al*., 1987; Millet et Withee, 1982; Millet, 1981). L'ajout d'hydroquinone vise, quant à lui, à prévenir la polymérisation radicalaire (Coover *et al*., 1990). Pour obtenir un durcissement rapide, il est préférable d'utiliser un adhésif de fabrication récente, car les acides utilisés comme stabilisants peuvent hydrolyser graduellement le monomère et le rendre inefficace.

Il est recommandé de préparer convenablement la surface des substrats pour que le cyanoacrylate

AMORÇAGE



PROPAGATION



ARRÊT

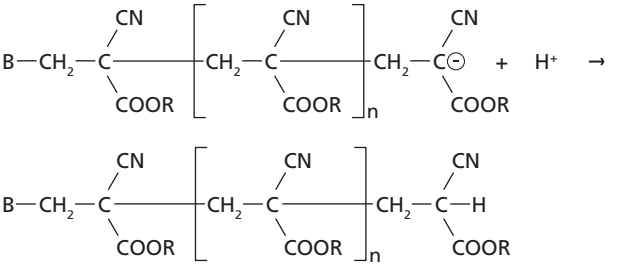


Figure 1. Mécanisme de polymérisation anionique. (Coover et al.*, 1990).*

puisse former des joints adéquats. Il faut s'assurer que la surface est propre et procéder, dans la mesure du possible, à un dégraissage avant l'application du produit. Le dépolissage de la surface, en particulier pour les métaux, permet d'améliorer la force des joints, mais il n'est pas toujours possible ou correct du point de vue déontologique de procéder ainsi avec les objets. Il est parfois nécessaire d'utiliser des activateurs de surface pour renforcer le joint, surtout sur les substrats acides ou poreux (p. ex. bois, papier) ou encore sur le polyéthylène, le polypropylène ou le poly(chlorure de vinyle) plastifié (Millet, 1981). Pour nettoyer les surfaces acides, il est courant d'utiliser un produit faiblement alcalin comme activeur de surface (Coover *et al*., 1990). D'autres activateurs de surface possibles sont les amines dissoutes dans un solvant (Millet, 1981), les éthers couronnes, les sila-couronnes, les calixarènes et les éthers de polyalkylène (Coover *et al*., 1990).

Les cyanoacrylates peuvent être à base d'esters de méthyle, d'éthyle, de butyle, d'octyle, etc. La plupart des cyanoacrylates offerts sur le marché nord-américain sont des cyanoacrylates d'éthyle. Les cyanoacrylates de butyle et d'esters supérieurs substitués sont plus rares, mais il est possible de se les procurer auprès de certains fournisseurs de produits médicaux.

Historique et utilisation

Les premiers brevets liés aux cyanoacrylates ont été octroyés à la B.F. Goodrich Company en 1949 (Ardis, 1949). On a d'abord découvert les propriétés adhésives des cyanoacrylates par mégarde dans les laboratoires de Kodak pendant la Seconde Guerre mondiale (Coover, 1983). Un adhésif a été commercialisé dix ans plus tard sous le nom de « Eastman 910 » (Schoenberg, 1990). On a proposé l'utilisation des cyanoacrylates pour la fermeture des plaies et on les a effectivement utilisés pendant la guerre du Vietnam pour arrêter les saignements (Coover, 1983).

Les cyanoacrylates forment des joints solides avec les matériaux non poreux qui contiennent des traces d'eau en surface. Ils ont été utilisés comme adhésifs structuraux industriels pour les métaux, les alliages, les plastiques, les caoutchoucs, les composants électroniques et les modèles réduits d'avions. Dans le domaine des sciences judiciaires, ils servent à détecter les empreintes digitales latentes laissées sur les surfaces. Depuis le début des années 1960, ils sont utilisés comme adhésifs chirurgicaux afin de refermer les plaies et de traiter les fractures osseuses.

Dans le domaine de la conservation, les cyanoacrylates ont des usages limités (Fiorentino et Borrelli, 1975); ils sont utilisés sur la pierre (Jahont, 1979), les métaux (Herczeg, 1992), le verre (Robson, 1993; Davison, 1984) et les fossiles (Elder *et al*., 1998; Elder *et al*., 1997; Vestergaard et Horie, 1996; Howie, 1984). Les restaurateurs et les préparateurs de fossiles s'en servent depuis le début des années 1970 (Howie, 1984) et leur utilisation sur les matières géologiques a débuté dans les années 1980.

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Coover *et al.* (1990) ont publié un excellent article de synthèse sur les polymères à base de cyanoacrylate. Parmi les avantages des cyanoacrylates figurent leur facilité d'utilisation (ils ne nécessitent pas le mélange de deux composants), leur durcissement rapide, leur force, leur résistance aux solvants (sauf à l'acétone, au nitrométhane, au diméthylsulfoxyde et au diméthylformamide) ainsi que leur polyvalence (ils forment des joints solides avec une vaste gamme de substrats) (Coover *et al*., 1990; Millet, 1981).

Leurs limites sont elles aussi bien documentées (Coover *et al*., 1990; Drain *et al*., 1984; Al-Khawam

et al., 1983; Millet, 1981). Ils dégagent une forte odeur, même s'il est possible d'y ajouter des esters d'alcoxyalkyle pour les rendre inodores (Millet, 1981). Ils ont tendance à être friables, en particulier les esters inférieurs (méthyle, éthyle), alors que les esters supérieurs (butyle) sont moins friables (Coover *et al*., 1990). Ils possèdent une faible résistance au pelage, aux chocs et à l'humidité (en particulier sur les surfaces métalliques, alors qu'ils donnent de meilleurs résultats sur les plastiques et les caoutchoucs) (Drain *et al*., 1984). Ils possèdent également une faible résistance à la chaleur, bien que l'ajout d'esters d'allyle et d'acrylates permette d'améliorer cette résistance (Samatha *et al*., 2000; Millet, 1981). De plus, ils conviennent mal au comblement des vides, bien que l'ajout d'épaississants comme des polymères, des plastifiants et des silices hydrophobes permette d'améliorer leur capacité de comblement (Millet, 1981). Il a été démontré que les cyanoacrylates (Loctite 406 et Loctite 460) causent le fendillement du Perspex ou du Plexiglas en raison des contraintes qui s'exercent lorsqu'ils sont soumis à une charge (Sale, 2011, 1993).

Plusieurs facteurs influent sur la qualité des joints formés par les cyanoacrylates : la composition du substrat, l'alcalinité de la surface du substrat (les cyanoacrylates sont moins efficaces sur les surfaces acides), la porosité de la surface (il est préférable d'éviter la pénétration du produit par capillarité dans un substrat poreux), la préparation de la surface (il est préférable que la surface soit propre), les contraintes appliquées, l'humidité et la température (les joints sont sensibles aux conditions d'humidité et de température élevées), la formulation de l'adhésif ainsi que l'âge du cyanoacrylate (Coover *et al*., 1990). Par rapport aux acryliques, aux époxy et aux uréthanes, les cyanoacrylates forment des joints moins durables et moins résistants aux températures basses et élevées (Bishari *et al*., 2003; Brewis, 1985). Les joints formés par les cyanoacrylates se détériorent au fil du temps lorsqu'ils réunissent des surfaces alcalines comme le verre (Schoenberg, 1990). Cependant, des morceaux de sculptures anciennes en marbre et en albâtre tenaient toujours ensemble dix ans après avoir été collés avec de la colle à base de cyanoacrylate sans qu'il y ait de changement visible (Jahont, 1979). L'hydrolyse du cyanoacrylate durci produit du formaldéhyde, ce qui entraîne une perte graduelle de la force (Schoenberg, 1990).

Recherche médicale et dégradation des cyanoacrylates

Dans le domaine de la médecine, les cyanoacrylates sont surtout prisés pour leur capacité de fermer les plaies et de réparer les fractures osseuses. La plupart des travaux de recherche scientifique concernant les cyanoacrylates ont été menés par des chercheurs en médecine, et certains de leurs résultats pourraient s'avérer utiles en conservation.

En ce qui concerne la fermeture des plaies, les résultats de la recherche médicale laissent entendre que les cyanoacrylates se dégradent par scission hydrolytique, entraînant ainsi la formation de formaldéhyde et de cyanoacétate d'alkyle, deux sous-produits toxiques (**figure 2**) (Leonard *et al*., 1966). Les conditions alcalines font accroître la vitesse de

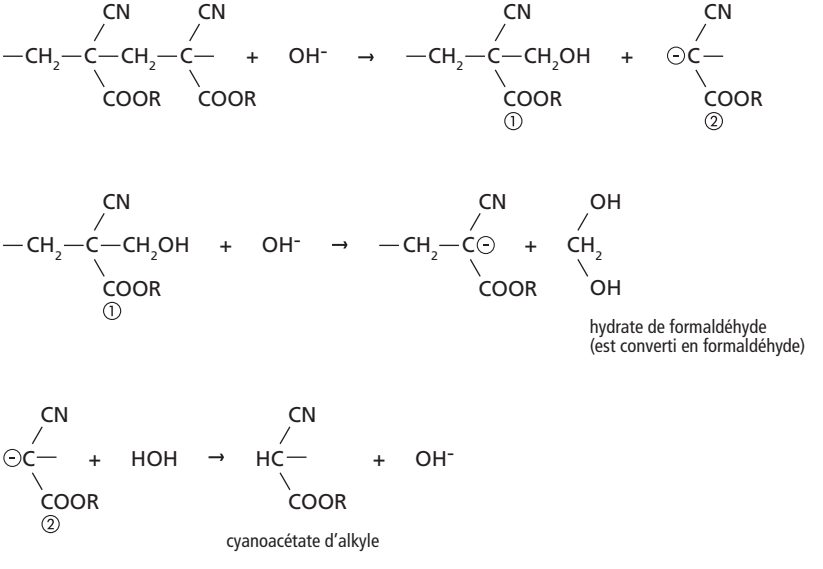


Figure 2. Dégradation des cyanoacrylates par scission hydrolytique. (Toriumi et al*., 1990).*

dégradation, et les esters inférieurs (p. ex. méthyle, éthyle) se dégradent plus rapidement que les esters supérieurs (p. ex. butyle, octyle) (Leonard *et al*., 1966). Les chercheurs en médecine qui s'intéressent à la fermeture des plaies (Toriumi *et al*., 1990; Al-Khawam *et al*., 1983) concentrent leurs efforts sur les cyanoacrylates d'isobutyle et de *n*-butyle, étant donné qu'ils génèrent les sous-produits toxiques suffisamment lentement pour que l'organisme les absorbe et les tolère plus facilement. Par contraste, les cyanoacrylates de méthyle ou d'éthyle génèrent ces sous-produits plus rapidement que le corps ne peut les absorber, ce qui cause des dermatites, des carcinomes et d'autres problèmes.

En ce qui concerne la réparation des fractures osseuses, les recherches ont démontré que ce sont les esters d'isobutyle qui forment, entre le cyanoacrylate et l'os, les joints les plus résistants à la traction, et que la présence d'hydroxyapatite (à 10 %) améliore la force des joints (Papatheofanis, 1989). Une autre étude a conclu que les cyanoacrylates d'isobutyle et d'isoamyle formaient des joints plus forts que le cyanoacrylate d'éthyle après avoir été soumis à un cycle thermique (5 à 55 °C) dans un bain d'eau pendant 30 jours (Bauer *et al*., 1979). Une étude portant sur les propriétés des cyanoacrylates en ce qui a trait au comblement des vides a démontré que, dans le cas des os, l'eau (immersion) affaiblissait les joints (de 15 à 30 %) après entreposage (3 à 26 semaines); la force des joints minces variait de 6 à 11 MPa, tandis que la force des joints de comblement des vides était nettement inférieure, variant de 0,3 à 0,4 MPa; les joints étaient plus forts après que la porosité des os a augmenté suite à un prétraitement aux acides; les esters d'isobutyle se sont montrés plus efficaces pour le comblement des vides (Bhat *et al*., 1992). Il faut noter que des solutions salines ont été utilisées dans le cadre de ces travaux de recherche médicale afin de reproduire les conditions liées à des blessures. Par conséquent, les résultats ne sont pas nécessairement transposables dans le domaine de la conservation. La vitesse de dégradation dans un milieu où l'humidité relative est de 50 % ou plus pourrait être inférieure à la vitesse de dégradation observée dans les solutions salines, ce qui rendrait l'utilisation de ces cyanoacrylates plus acceptable.

CYANOACRYLATES ET PRÉPARATION DES FOSSILES

Les cyanoacrylates sont des produits de choix pour la préparation des fossiles car ils sont forts et faciles à utiliser, ils prennent rapidement et ils demeurent transparents, mais ils ont plusieurs désavantages : ils sont difficiles à enlever, sont susceptibles de tacher les matrices riches en fer, et leurs caractéristiques de vieillissement sont mal connues (Howie, 1984). Dans une étude portant sur l'utilisation de cinq adhésifs (dont un cyanoacrylate d'éthyle) pour réparer un fossile, plus précisément une dent de mastodonte, les chercheurs ont fait appel à la microscopie électronique à balayage, à la spectroscopie infrarouge et à des essais de résistance à la traction. (Vestergaard et Horie, 1996). Les cyanoacrylates ont permis de combler les vides entre les parties adhérées, mais leur contraction a entraîné des craquelures internes et une certaine perte d'adhérence, ce qui a conduit à l'effritement de la dent. Cette étude a également démontré que, même si les cyanoacrylates produisent des joints forts, ce sont les résines époxy qui produisent les joints les plus forts et c'est un poly(acétate de vinyle) (PACV) qui s'est avéré le meilleur adhésif pour la dent.

Après avoir examiné les raisons pour lesquelles les cyanoacrylates sont utilisés pour les fossiles (facilité d'utilisation, force, prise rapide), Elder *et al*. (1998) ont formulé des recommandations afin d'assurer l'efficacité des traitements, dont les suivantes :

- laisser le cyanoacrylate durcir lentement pour favoriser une pénétration profonde;
- ne pas utiliser d'accélérateurs;
- utiliser les accélérateurs et les activateurs avec parcimonie (p. ex. pour arrêter la pénétration à un certain point, et non par manque de patience);
- ne pas utiliser dans des endroits humides;
- une fois le contenant ouvert, ne pas exposer le produit à d'importantes variations de la température ou à la lumière, car cela pourrait entraîner la polymérisation du produit dans le contenant;
- tant que le contenant n'est pas ouvert, le produit peut être entreposé au congélateur pour en prolonger la durée de conservation, mais il faut le laisser revenir à la température ambiante avant de l'utiliser;
- évaluer soigneusement chaque situation pour déterminer si l'utilisation d'un adhésif est réellement nécessaire, puisqu'aucun agent de consolidation ne peut être complètement enlevé (conserver sans appliquer de produits chimiques afin de préserver l'acquisition ultérieure de données sur le spécimen);
- utiliser d'abord le cyanoacrylate d'éthyle pour consolider l'objet, puis appliquer les cyanoacrylates plus épais. Les cyanoacrylates d'éthyle sont plus efficaces comme agents de consolidation que comme adhésifs en raison de leur pouvoir de pénétration et de leur résistance élevée à la traction. Leur utilisation comme agents de consolidation permet de minimiser l'incidence de leur faible résistance aux chocs et de leur faible

résistance au pelage. Les mélanges plus visqueux de cyanoacrylate d'éthyle et de poly(méthacrylate de méthyle) sont plus efficaces comme adhésifs que comme agents de consolidation, car ils ont une meilleure consistance ainsi qu'une résistance aux chocs et au pelage plus élevée.

Les cyanoacrylates sont utilisés couramment pour la préparation des fossiles, même si très peu d'études scientifiques dans le domaine de la conservation ont été menées, car beaucoup d'utilisateurs estiment que les avantages liés aux cyanoacrylates compensent pour le manque de connaissances à leur égard (Elder *et al*., 1998). Une étude a été réalisée récemment dans le domaine de la conservation pour donner suite aux recherches médicales mentionnées précédemment; les chercheurs comparaient la vitesse de dégradation de différents cyanoacrylates d'alkyle (éthyle, butyle) dans diverses conditions de pH, mais toujours dans un milieu fossile (Down et Kaminska, 2006). Ils ont examiné la dégradation de trois types d'adhésifs à base de cyanoacrylate – un cyanoacrylate d'éthyle (Loctite 420), un cyanoacrylate d'éthyle additionné de poly(méthacrylate de méthyle) (Paleobond PB1500) et un cyanoacrylate de butyle (Glustitch) – en présence et en l'absence de cinq fossiles différents provenant de divers sites se distinguant par leur composition et leur pH. Les chercheurs ont suivi la dégradation hydrolytique du cyanoacrylate polymérisé en utilisant une méthode de détermination quantitative du formaldéhyde, l'un des produits de la dégradation. Le cyanoacrylate de butyle se dégradait plus lentement que le cyanoacrylate d'éthyle, en présence ou en l'absence du fossile (**tableau 1**). Ces résultats indiquent que le cyanoacrylate de butyle doit faire l'objet d'autres recherches (notamment en ce qui concerne son coût, sa disponibilité, ses propriétés de manipulation, sa facilité d'utilisation, sa pénétration, le maintien de sa force et sa capacité d'enlèvement) en vue de son éventuelle utilisation

Tableau 1. Formaldéhyde produit par les cyanoacrylates en présence et en l'absence de fossiles pendant la dégradation hydrolytique (7 jours d'immersion dans l'eau à 50 °C)
(Down et Kaminska, 2006)

Présence d'un fossile	pH du fossile	Formaldéhyde (µg/g d'adhésif)			Commentaire sur la dégradation des cyanoacrylates en fonction du pH ↓
		Poly(cyanoacrylate d'éthyle)	Poly(cyanoacrylate d'éthyle) + poly(méthacrylate de méthyle) (PMAM)	Poly(cyano-acrylate de butyle)	
NON	5,94 (eau)	160	315	7,3	← **intermédiaire** en l'*absence* de fossile
OUI	4,53	33,7	113,9	6,6	← **la plus faible** en présence d'un fossile acide
OUI	7,43	1 093	878	466,3	← **la plus forte** en présence d'un fossile neutre ou alcalin
OUI	7,76	1 273	1 251	912,1	
OUI	8,44	2 123	1 504	996,5	
OUI	8,48	1 223	766	765,6	
commentaires sur la dégradation en fonction du type de cyanoacrylate →		↑ Le poly(cyanoacrylate d'éthyle) subit une dégradation **intermédiaire** comparativement aux autres cyanoacrylates en l'absence de fossile ou en présence d'un fossile acide, mais il subit **la plus forte** dégradation en présence d'un fossile neutre ou alcalin.	↑ Le mélange de poly(cyanoacrylate d'éthyle) et de PMAM subit **la plus forte** dégradation, par rapport aux autres cyanoacrylates, en l'absence de fossile ou en présence d'un fossile acide, mais une dégradation **intermédiaire** en présence d'un fossile neutre ou alcalin.	↑ Le poly(cyano-acrylate de butyle) subit **la plus faible** dégradation par rapport aux autres cyanoacrylates.	

pour les fossiles. Les chercheurs ont également conclu que les fossiles acides préviennent la dégradation des cyanoacrylates, tandis que les fossiles neutres ou alcalins l'accentuent. Ainsi, si le fossile est acide, il se peut que l'utilisation d'un cyanoacrylate d'éthyle soit moins problématique, car le produit se dégrade moins dans ce genre de milieu qu'en présence d'un fossile neutre ou alcalin ou qu'en l'absence totale d'un fossile. Le cyanoacrylate de butyle subissait tout de même la plus faible dégradation. Il faudrait poursuivre les recherches pour déterminer dans quelle mesure la dégradation observée des cyanoacrylates se répercute sur la force des joints entre le fossile et le cyanoacrylate, et dans quelle mesure les conditions d'humidité élevée influent sur la dégradation des cyanoacrylates, en comparaison de la technique d'immersion utilisée pour dégrader les cyanoacrylates.

Utilisation des cyanoacrylates dans d'autres domaines de la conservation

Céramique

Des chercheurs ont mis à l'essai neuf adhésifs, dont des cyanoacrylates (Scotch, Super Glue), des PACV, un nitrate de cellulose, des acryliques et une résine époxy afin d'évaluer la résistance à la traction, l'indice de jaunissement (avant et après un vieillissement à la chaleur cyclique), l'épaisseur des joints, le temps de travail ainsi que les dangers globaux liés à l'utilisation des produits pour le traitement de céramiques espagnoles datant de l'époque médiévale (Castro et Doménech Carbó, 1999). C'est le Paraloid B-72 (à 50 % dans l'acétone) qui a donné les meilleurs résultats lors des essais. Le cyanoacrylate Scotch a montré une bonne résistance au vieillissement, mais il ne convenait pas en raison de ses autres propriétés.

Verre

Comme les cyanoacrylates se décomposent dans les conditions alcalines caractéristiques de la plupart des surfaces de verre, leur utilisation n'est pas recommandée pour réparer du verre de manière permanente; cependant, ils peuvent servir à faire tenir temporairement des fragments de verre pendant l'application d'adhésifs à base de résines époxy à durcissement lent le long des lignes de cassure. Des études ont montré que certains cyanoacrylates peuvent modifier l'apparence de certains feuils à base de résine époxy (p. ex. gerçure, opacité, couleur), ce qui limite leur utilité comme adhésif temporaire s'il faut en employer de grandes quantités (Monahan, 1994; Miller, 1996).

Métaux

Les cyanoacrylates sont reconnus pour réagir avec le laiton (Horie, 1987, p. 110).

Questions de santé

La peau humaine est un substrat idéal pour la polymérisation des cyanoacrylates en raison de la présence d'humidité et de protéines; par conséquent, il faut éviter de se coller accidentellement les doigts en manipulant ces produits (Millet et Withee, 1982).

Lorsqu'un cyanoacrylate entre en contact avec la peau et un textile comme le coton ou la laine, il peut provoquer une forte réaction exothermique et ainsi causer de graves brûlures cutanées (Clarke, 2011). Il peut s'enflammer au seul contact du coton ou de la laine (Accumetric, 2000). Il ne faut pas porter de gants en coton au moment de manipuler des cyanoacrylates.

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les cyanoacrylates sont difficiles à enlever des spécimens géologiques et paléontologiques (Elder *et al*., 1997). Cependant, ils sont assez sensibles au nitrométhane, à l'acétone, à l'eau chaude et à la vapeur d'eau, et ils se dissolvent dans le diméthylformamide (Horie, 2010, p. 158; Coover *et al*., 1990; Roff et Scott, 1971, p. 97).

La capacité d'enlèvement des cyanoacrylates dépend du fait que le solvant doit atteindre l'adhésif. Dans le cas des spécimens paléontologiques, il est nécessaire d'appliquer le solvant à la surface de l'adhésif, et d'attendre que ce dernier devienne gluant (Elder *et al*., 1998). La couche ramollie est enlevée, le solvant est de nouveau appliqué, et ces étapes répétées jusqu'à ce qu'il ne reste plus d'adhésif.

---

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

La poly(2-éthyl-2-oxazoline)

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation	thermoplastique		1,520
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
69-71† 55††		6,4	

(†Polymer Chemistry Innovations, 2010; ††Wolbers *et al*., 1998)

Abréviations

PEOX poly(2-éthyl-2-oxazoline)

Types, synonymes et noms commerciaux

Aquazol, poly 2-éthyloxazoline, polyéthyloxazoline, poly(*n*-propionyléthylèneimine)

Chimie et préparation

La poly(2-éthyl-2-oxazoline) (PEOX) (**figure 1**) est obtenue lorsque la 2-éthyl-2-oxazoline monomérique subit une polymérisation cationique par ouverture de chaîne cyclique (Wolbers *et al*., 1998; Kroschwitz *et al*., 1985, p. 680-739). Sa masse moléculaire peut varier (p. ex. 50 000, 200 000, 500 000) (Kroschwitz *et al*., 1985, p. 680-739).

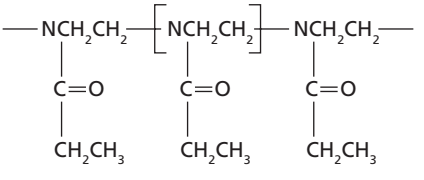


Figure 1. Structure de base de la PEOX. (Wolbers et al.*, 1998).*

Historique et utilisation

La Dow Chemical Company a mis au point la PEOX et a déposé des demandes de brevet en 1977 (Wolbers *et al*., 1998).

La PEOX a été utilisée comme adhésif biodégradable pour l'emballage, comme liant pour les pièces de céramique crues, comme encollage sur la fibre de verre, comme liant pour les adhésifs thermofusibles et les adhésifs sensibles à la pression et comme additif afin de modifier les propriétés mécaniques des résines époxy (Wolbers, 2008; Arslanoglu et Tallent, 2003; Wolbers *et al*., 1998).

Dans le domaine de la conservation, l'Aquazol a été utilisé comme agent de consolidation pour le verre; comme adhésif, agent de consolidation et matériau de retouche pour les peintures à l'huile, les peintures sur verre, les meubles peints et les aquarelles; comme matériau de comblement sculptable en mélange avec du blanc de Meudon; comme agent de consolidation pour l'émail détérioré et les sculptures en argile non cuite; comme matériau de dorure; et il a été proposé comme revêtement adhésif sur les papiers de soie réhumectables en vue de la conservation des livres et du papier (Lechuga, 2011; Knight et Borgioli, 2008; Arslanoglu et Tallent, 2003). Enfin, il a été proposé comme plastifiant durable pour le Paraloid B-72, la pâte d'amidon de blé, la méthylcellulose et la colle de peau (Wolbers, 2008).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

La PEOX est prisée dans le domaine de la conservation, car elle est soluble dans une vaste gamme de solvants, elle est thermostable et elle est non toxique (Arslanoglu et Tallent, 2003). Elle permet d'effectuer des traitements ultérieurs avec d'autres adhésifs, elle ne se contracte pas, ne devient pas friable et ne favorise pas la prolifération des moisissures (Arslanoglu, 2005).

L'Aquazol n'a pas changé de couleur lors d'essais d'exposition à la lumière et il n'a montré aucun

changement de spectre infrarouge à transformée de Fourier, de pH ou lors d'essais de resolubilisation; sa viscosité a diminué après vieillissement, une observation qui laisse supposer une diminution de la masse moléculaire observée (Wolbers *et al*., 1998). Les données de chromatographie sur gel ont confirmé ce phénomène, ce qui porte à croire que la PEOX ne réticule pas; elle se dégrade par scission des chaînes. Dans la même étude, les propriétés mécaniques de l'Aquazol 500 ont été modifiées par l'humidité relative (HR) : lorsque l'HR était élevée, la PEOX s'affaiblissait et devenait extensible, mais dans une mesure acceptable. La PEOX résiste à des températures allant jusqu'à 220 °C, voire 320 °C (Wolbers *et al*., 1998; Keskkula et Paul, 1986). Les feuils d'Aquazol semblent se plastifier lorsqu'ils absorbent de l'eau (Wolbers, 2008).

Peintures

Dans une étude comparant l'Aquazol à la gélatine et à la colle d'esturgeon en vue de son utilisation pour la conservation des peintures, les résultats ont montré que, lorsque l'HR était élevée, l'adhésion sur la toile diminuait à mesure que l'HR augmentait (Arslanoglu et Tallent, 2003). La même étude a démontré que, lorsque l'humidité était élevée, l'Aquazol absorbait plus d'humidité que la gélatine, la colle d'esturgeon ou le Jade 403, mais elle le faisait plus lentement. Toutefois, lorsque les feuils d'Aquazol étaient formés avec de l'isopropanol et de l'eau plutôt qu'avec de l'eau seulement, ils absorbaient moins d'humidité. L'étude a également révélé que les feuils d'Aquazol se contractaient moins et étaient plus flexibles (Aquazol 50 > 200 > 500) que ceux des autres adhésifs. L'Aquazol était plus mou, son temps de travail était plus long et sa pénétration était meilleure, comparativement aux autres adhésifs. Il faut tenir compte de l'HR au moment d'utiliser de l'Aquazol, et garder à l'esprit que le produit peut former des complexes avec les ions métalliques, ce qui est susceptible de ralentir la resolubilisation (Arslanoglu, 2005).

Des essais ont démontré que l'Aquazol 500, avec ou sans colle d'esturgeon, n'était *pas* assez fort pour convenir à la réparation fil par fil des déchirures dans les toiles (Demuth *et al*., 2011).

Solubilité et capacité d'enlèvement*

La PEOX est soluble dans une vaste gamme de solvants (p. ex. eau, acétone, méthyléthylcétone, méthanol, éthanol, isopropanol, chloroforme, éthylhexanol, acétate de méthyle, chlorure de méthylène, dioxane, acétonitrile, nitrométhane, carbonate de propylène), et elle est légèrement soluble dans le toluène et le *n*-pentane (Wolbers *et al*., 2008).

---

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

Les résines époxy

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
durcissement chimique [à la température ambiante (la plupart des résines époxy utilisées en conservation) ou à température élevée]	thermodurcissable	~ 0,1-0,2 en 24 h ~ 1,0 après 10 jours à 20-25 °C	~ 1,56
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
résines typiques (EDGBA) durcies avec : polyamides > 50 amines aliphatiques 100-150 amines aromatiques 160-200	varie selon la composition, mais peut aller de 100 à 18 000		70-120 x 10^{-6}

(Roff et Scott, 1971, p. 270; Shields, 1976, p. 299)

Abréviations

EP époxy ou époxyde

Types, synonymes et noms commerciaux

Ablebond, Araldite, Devcon, Dur-a-glaze, Eccobond, Epojet, Epon, Eponex, Epo-Tek, Epoweld, Epoxybond, Epoxyglass, Fynebond, Homalite, Hxtal, Hysol, LePage, Maraglas, Novalac, résines époxyde, résines éthoxyliques, Scotch-Weld, Tra-Bond, Tra-Cast, UHU, West System

Chimie et préparation

Les adhésifs à base de résines époxy sont des systèmes à deux composants qui durcissent grâce à une résine et à un durcisseur. La résine comporte des groupements époxyde, qui sont des anneaux hétérocycliques à trois atomes. L'éther diglycidylique de bisphénol A (EDGBA) est une résine époxy typique (**figure 1**). Le durcisseur est habituellement un composé d'amide ou d'amine aliphatique (**figure 2**). La résine et le durcisseur sont mélangés dans des proportions prédéfinies, qui varient selon le nombre de groupements époxyde dans la résine et le nombre de groupements azotés dans le durcisseur. Les deux composants réagissent ensemble de manière exothermique pour former un réseau réticulé en trois dimensions. Des matières de charge inertes, des diluants, des agents assouplissants et des produits ignifuges y sont souvent ajoutés pour modifier les propriétés des produits ou en réduire le coût (Potter, 1970, p. 4). Il existe des adhésifs à base de résines époxy durcissant à la température ambiante et des adhésifs à base des résines époxy durcissant à température élevée. De manière générale, ce sont des durcisseurs à base d'amines et d'amides qui entrent dans la composition des adhésifs durcissant à la température ambiante, alors que les adhésifs durcissant à température élevée utilisent des anhydrides (Horie, 2010, p. 290). Dans le domaine de la conservation, des adhésifs à base de résines époxy durcissant à la température ambiante sont habituellement utilisés.

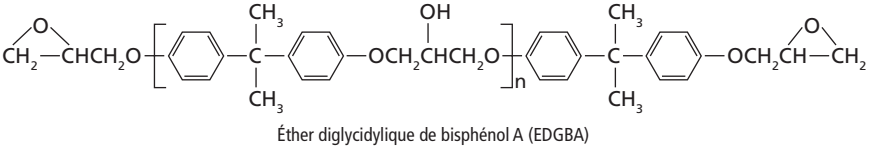


Figure 1. Résine époxy typique.

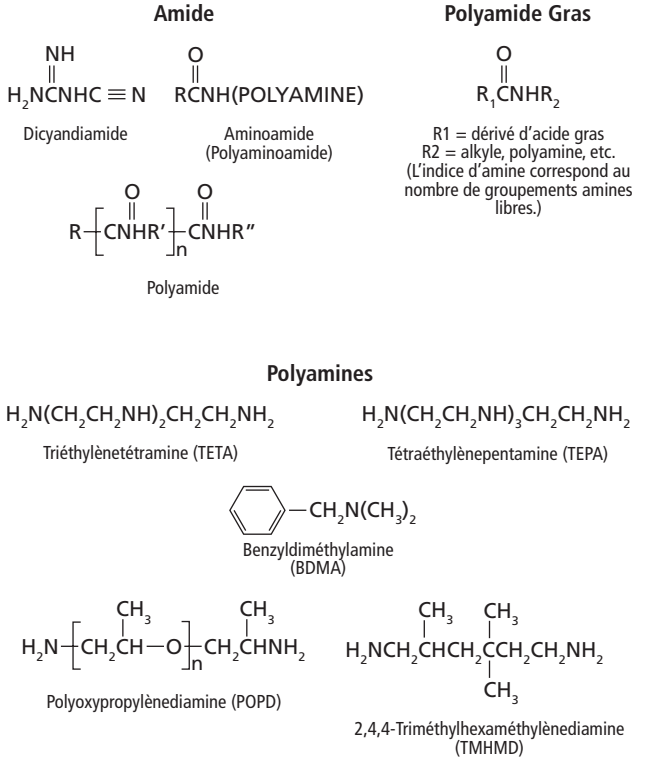


Figure 2. Durcisseurs typiques.

Historique et utilisation

Les travaux de recherche sur les résines époxy ont commencé en 1891, mais ce n'est qu'en 1934 que des brevets ont commencé à être délivrés pour ces produits (Roff et Scott, 1971, p. 272; Potter, 1970, p. 5). Ils ont été commercialisés en 1939, en Suisse, en vue d'une utilisation en dentisterie et ils ont été mis au point comme adhésifs par Ciba en 1945 (Roff et Scott, 1971, p. 272). Aux États-Unis, Shell s'est mise à examiner, dès 1943, l'utilisation possible de résines époxy comme revêtements (Potter, 1970, p. 5). De nouveaux produits ont commencé à faire leur apparition dans les années 1950 et 1960, notamment les résines Novalac, qui contiennent plus de groupements époxyde que les résines d'EDGBA et qui sont plus cassantes une fois durcies, ainsi que d'autres résines (Meath, 1990; Potter, 1970, p. 6).

Les adhésifs à base de résines époxy ont été utilisés à l'échelle commerciale comme revêtements sur les métaux, les planchers en pierre et la chaussée; dans les matériaux stratifiés; dans les pièces coulées; dans le domaine de l'électricité; pour le calfeutrage; dans les matériaux d'étanchéité; comme adhésifs pour les métaux, le bois, le verre, la céramique, les matières polaires apparentées et les assemblages de fibre de verre (Roff et Scott, 1971, p. 272; Potter, 1970, p. 6-7).

Dans le domaine de la conservation, les résines époxy ont été utilisées comme adhésifs pour les métaux, la céramique, le verre, le vitrail, l'écaille de tortue, les minéraux et les peintures (réparation des déchirures, construction de supports en nid d'abeilles); comme adhésifs et agent de consolidation pour le bois et la pierre; comme revêtements sur les métaux et la pierre; et comme matériaux pour combler les vides (Horie, 2010, p. 296-297; Vidler, 2006; Koob 2003, 2000; Elder *et al*., 1997; Munnikendam, 1978).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Les adhésifs à base de résines époxy sont réputés pour leur ténacité exceptionnelle, leur polyvalence (adhésion à de nombreux substrats), leur résistance aux attaques chimiques et à la chaleur, leur grande force, leur faible fluage et leur résistance électrique élevée (Potter, 1970, p. 212). Souvent, la force de cohésion des résines époxy est si grande que le substrat cède avant l'adhésif (Potter, 1970, p. 210). Cette caractéristique fait des adhésifs à base de résine époxy des produits idéaux pour les applications structurales *indirectes*, mais la prudence est de mise lorsqu'il s'agit de les utiliser *directement* sur les objets; ils sont de plus très difficiles à enlever. Les adhésifs à base de résines époxy se contractent peu au durcissement; par conséquent, les contraintes exercées le long de la ligne de colle sont faibles. De plus, leur résistance au pelage est généralement faible (Ebnesajjad, 2008, p. 80-81; Potter, 1970, p. 212). Les adhésifs à base de résines époxy ne contiennent pas de solvant et, par conséquent, l'effet du solvant sur le substrat ne constitue donc pas une préoccupation; il faut néanmoins s'assurer que l'adhésif est compatible avec le substrat visé, et qu'il ne l'endommagera pas. Ces adhésifs ne sont pas susceptibles d'être attaqués par les microbes, même si une prolifération microbienne a pu être constatée lors d'une étude portant sur leur utilisation pour la consolidation de la pierre (Domaslowski et Strzelczyk, 1986).

Les adhésifs à base de résines époxy dégagent de la chaleur (réaction exothermique) lors de leur durcissement, surtout lorsque de grandes quantités sont préparées. La hausse de température dépend de la quantité utilisée, de la nature de la résine et du durcisseur, de la température des réactifs et de la température du milieu environnant (Potter, 1970, p. 37-39). Les objets sensibles à la chaleur doivent être protégés, et il est recommandé de faire durcir de petites quantités d'adhésif à la fois.

Les adhésifs à base de résines époxy sont connus pour avoir un indice de réfraction (IR) identique à celui du verre, ce qui permet de faire des joints presque invisibles. C'est pour cette raison qu'ils servent souvent à réparer le verre, même s'il est difficile de les enlever par la suite. Les résines époxy sont parmi les rares adhésifs suffisamment polaires pour bien adhérer au verre, un matériau très polaire. Malheureusement, les adhésifs à base de résines époxy sont susceptibles au jaunissement, comme il est expliqué dans la section suivante.

Jaunissement

Même si de nombreuses études ont été menées sur la stabilité des adhésifs à base de résines époxy industriels sous l'effet de la chaleur et de la lumière, elles portaient sur les propriétés physiques et mécaniques des adhésifs, et non sur le changement de couleur (Down, 2001b). Il y a néanmoins une ou deux études qui se sont intéressées au jaunissement. L'une d'elles a démontré que le jaunissement par la lumière était aggravé par les caractéristiques suivantes des durcisseurs (Lee et Watson, 1964) :

- présence de groupements azotés adjacents aux cycles aromatiques;
- présence d'éthylène au lieu de méthylène ou de propylène entre les groupements azotés;
- groupes amine nombreux;
- présence de traces d'impuretés.

Cette même étude a démontré que ni la formation de carbonyles ni la liaison carbone-azote (C-N) ne contribuaient au jaunissement. Plus tard, d'autres recherches ont montré que le jaunissement photochimique était attribuable à la formation d'une structure conjuguée dans la résine de bisphénol A (Grassie *et al*., 1986, 1986b, 1985, 1985b, 1985c; Allen *et al*., 1982; Noskov, 1975; Kelleher et Gesner, 1969).

Dans l'une des premières études sur le jaunissement menées dans le domaine de la conservation, un chercheur a comparé sept adhésifs à base de résines époxy soumis à un vieillissement à la lumière naturelle et à un vieillissement à la lumière artificielle (Tennent, 1979). Le chercheur a repéré quelques adhésifs à base de résines époxy qui résistaient bien au jaunissement, l'Ablebond 342-1 étant celui qui jaunissait le moins. Il a également présenté des preuves selon lesquelles un plastifiant à base de phtalate de dibutyle et un accélérateur à base d'alkylphénol favorisaient le jaunissement par la lumière, et que la pureté des produits tout comme le rapport résine/durcisseur jouaient également un rôle à cet égard. Lorsqu'il a réexaminé, 25 à 35 ans plus tard, les objets (en vitrail) conservés à l'aide des résines époxy, lesquelles avaient été jugées assez bonnes lors de cette étude, le chercheur a constaté que l'Araldite AY103/HY951 ne montrait aucun signe perceptible de jaunissement après 35 ans, ce qui allait au-delà des prévisions (Tennent, 2011). Le produit Ablebond 342-1 montrait des signes de jaunissement allant d'à peine perceptibles à modérés au bout de 25 ans, ce qui concordait avec les prévisions établies dans l'étude réalisée en 1979.

Étude de l'Institut canadien de conservation

À compter de 1978, l'Institut canadien de conservation a mené des essais sur 55 adhésifs à base de résines époxy. L'objectif était de recenser les produits commerciaux qui jaunissaient le moins en vue de leur utilisation pour la conservation du verre. Une synthèse des résultats est présentée ci-dessous.

Vieillissement accéléré à la chaleur

Des essais ont d'abord été menés pour mettre au point une technique normalisée pour prédire le taux de jaunissement basée sur un vieillissement accéléré à la chaleur et l'équation d'Arrhenius (Down, 1984). Les adhésifs ont été soumis à un vieillissement à température élevée, afin de déterminer les taux de jaunissement, lesquels ont été extrapolés à la température ambiante à partir d'un graphique du logarithme du taux de jaunissement en fonction de l'inverse de la température absolue (graphique « de type Arrhenius »). L'avantage de cette méthode est qu'elle évite de devoir attendre des années pour voir s'il se produit un changement de couleur à la température ambiante, car le jaunissement est plus rapide à température élevée. Malheureusement, cette technique n'a pas donné de bons résultats; les prévisions fondées sur l'équation d'Arrhenius concordaient mal avec les données sur le vieillissement naturel des adhésifs à base de résines époxy à la température ambiante. Bien des raisons peuvent expliquer cette divergence; d'après une théorie plausible, un composé volatil aurait catalysé le jaunissement pendant le vieillissement à basse température, alors que ce composé aurait été éliminé (par volatilisation) sous l'effet d'un vieillissement à température élevée. En raison de cette divergence avec les données sur le vieillissement naturel, le vieillissement accéléré à la chaleur a été écarté au profit du vieillissement naturel à l'obscurité.

Vieillissement naturel à l'obscurité

Les résultats de l'étude dans laquelle 55 adhésifs à base de résines époxy ont été soumis à un vieillissement naturel à l'obscurité [22 °C, ~ 45 % d'humidité relative (HR)] indiquent que le jaunissement à la température ambiante ne varie pas nécessairement de façon linéaire avec le temps (Down, 1984b). Les principaux constituants de tous les adhésifs à base de résines

époxy ont été caractérisés. La plupart contenaient de l'EDGBA, alors que les durcisseurs étaient constitués de différents polymères aminés (polyamines, amides, polyamides gras). Les formulations contenant des durcisseurs similaires ont été regroupées pour voir si leur comportement de jaunissement était également semblable. La plupart des adhésifs à base de résines époxy contenant un durcisseur aminé modifié résistaient mieux au jaunissement que les autres. Au début, les adhésifs à base de résines époxy renfermant de simples polyamines (p. ex. triéthylènetétramine) jaunissaient rapidement, mais le phénomène ralentissait par la suite. La plupart des adhésifs à base de résines époxy contenant un durcisseur de type polyamide gras sont à éviter pour la conservation du verre; ils sont très colorés au départ et leur coloration augmente rapidement.

Vieillissement par exposition à une lumière de haute intensité

Les 55 adhésifs à base de résines époxy ont également été exposés à une lumière de haute intensité produite par un appareil de vieillissement accéléré à arc au xénon afin de mesurer leur jaunissement (Down, 1986). L'utilisation d'un tel appareil pour reproduire le vieillissement à la lumière pose le problème suivant : puisque la lumière qu'il produit est beaucoup plus intense que celle habituellement présente dans un musée, l'appareil accélère les réactions induites par la lumière. Il faudrait beaucoup plus de temps pour que les échantillons soumis à une lumière moins forte, comme celle dans un musée, absorbent un rayonnement total équivalent à celui que les échantillons absorbent sous l'effet d'un appareil de vieillissement accéléré. Après de si longues périodes de vieillissement naturel, la contribution de la chaleur au jaunissement peut être considérable et doit être prise en compte. Par conséquent, l'indice de jaunissement associé à l'exposition à la lumière (ajusté en fonction de diverses conditions d'éclairage) a été additionné à l'indice de jaunissement associé au vieillissement naturel à l'obscurité, alors que la durée utile probable a été estimée en nombre d'années devant s'écouler avant que le jaunissement ne devienne inacceptable. Pour additionner les indices de jaunissement induit par la lumière à l'indice de jaunissement induit par le vieillissement naturel, le taux à haute intensité a été converti, à l'aide d'une simple règle de proportionnalité, en un taux estimé à plus faible intensité qui est représentatif de diverses conditions d'exposition dans un musée. Cette conversion n'est possible que si le jaunissement est directement proportionnel à l'intensité de la lumière, c'est-à-dire si la loi de réciprocité est respectée. Une expérience distincte a permis de confirmer que ceci était bien le cas.

Les résultats ont permis de constater que le jaunissement induit par la lumière aussi ne varie pas toujours de façon linéaire avec le temps. La plupart des adhésifs à base de résines époxy étaient presque incolores et transparents avant le vieillissement (à l'exception de ceux qui contiennent des polyamides gras). Lorsque le jaunissement induit par la lumière et le jaunissement induit par la chaleur ont été pris en compte simultanément, les résultats ont montré que l'intensité de la lumière dictait la durée utile probable. Sous une lumière de faible intensité (éclairage de musée), la durée utile probable n'était pas significativement différente des valeurs estimées à partir du vieillissement naturel à l'obscurité.

Entre 1979 et 1985, la période de réalisation de l'étude, ce sont le Hxtal NYL-1 et l'Epo-Tek 301-2 qui s'étaient avérés les plus résistants au jaunissement parmi tous les adhésifs à base de résines époxy mis à l'essai; l'Araldite AY103/HY956, l'Epoxyglass et l'Epo-Tek 301-1 donnaient eux aussi d'assez bons résultats. En 2012, lorsque les mêmes échantillons vieillis à l'obscurité ont été soumis à de nouvelles mesures et analyses pour caractériser leur jaunissement au bout de 33 ans, ces résultats tenaient toujours (Down, 2013b). L'utilisation d'adhésifs à base de résines époxy dans des endroits très éclairés, notamment à proximité d'une fenêtre, n'est pas recommandée.

Prévention du jaunissement

Une étude a été menée pour examiner trois moyens de prévenir le jaunissement des adhésifs à base de résines époxy : l'ajout de stabilisants, le durcissement sous atmosphère inerte et la modification du rapport résine/durcisseur dans le mélange (Down, 2001b). La plupart des stabilisants étudiés n'ont pas réduit le jaunissement induit par le vieillissement (à la chaleur), mais il en a été autrement pour certains. La réduction du jaunissement dépendait non seulement de la concentration de stabilisant, mais également de la composition chimique de l'adhésif à base de résine époxy. Par exemple, l'ajout du 2,6-di-t-butyl-4-méthylphénol (BMP) en concentration de 1 % comme stabilisant dans de l'EC-2216 (époxy avec durcisseur à base de polyamide gras) faisait diminuer considérablement le taux de jaunissement mais, en concentration de 0,1, de 2, de 5 ou de 10 %, l'ajout était sans effet. Toutefois, l'ajout de BMP en concentration de 1 % à de l'Araldite AY103/HY951 (époxy avec durcisseur à base de triéthylènetétramine) faisait considérablement augmenter le taux de jaunissement; il n'avait aucun effet en concentration de 2 ou de 10 %, et il réduisait considérablement le taux de jaunissement en concentration de 5 %. Il serait utile de poursuivre les travaux sur les

stabilisants puisqu'aucun essai n'a été mené sur l'ajout de stabilisants aux produits Hxtal NYL-1 et Epo-Tek 301-2, deux bons adhésifs qui ne jaunissent pas. Il serait intéressant de voir si l'utilisation d'un stabilisant améliore le rendement de ces adhésifs.

Aucune des résines époxy durcies sous atmosphère inerte d'azote n'a vu son taux de jaunissement diminuer après vieillissement. En outre, même si certaines modifications du rapport résine/durcisseur dans le mélange (d'habitude, une réduction de la proportion de durcisseur) diminuaient effectivement le taux de jaunissement après vieillissement, il en résultait souvent un feuil collant et non durci.

Tennent et Townsend (1987) ont découvert que certains adhésifs à base de résines époxy jaunissaient en surface, et que le jaunissement était plus faible au centre du feuil. Dans le cas de ces résines époxy, les estimations du jaunissement en fonction de l'épaisseur du feuil pourraient être erronées; cependant, sur une note positive, ce jaunissement superficiel pourrait protéger le reste du feuil contre un jaunissement supplémentaire. Dans l'étude de l'Institut canadien de conservation, les chercheurs ont constaté que le jaunissement n'était pas un phénomène se produisant uniquement en surface, mais qu'il était uniforme partout dans les feuils examinés.

Impact de la durée de conservation sur le jaunissement

Dans le domaine de la conservation, il arrive parfois d'utiliser des adhésifs ayant dépassé leur date de péremption. Pour déterminer si cette pratique pouvait avoir un impact négatif sur le taux de jaunissement, 17 adhésifs à base de résines époxy ont été entreposés pendant 2 ans dans des contenants distincts pour les résines et les durcisseurs; une certaine quantité a été prélevée tous les 6 mois pour produire des films qui ont été soumis ensuite à un vieillissement à la chaleur (Down, 2001b). De manière générale, le taux de jaunissement augmentait lorsque les composants des adhésifs à base de résines époxy étaient entreposés pendant deux ans. Cette durée d'entreposage est environ le double de celle recommandée par les fabricants. Ces essais ont confirmé qu'il est préférable d'utiliser des résines époxy fraîches pour effectuer des réparations, sans quoi les joints pourraient jaunir plus vite. Il est également recommandé de commander de petites quantités à la fois.

Impact de l'ajout de solvants avant le durcissement

Les adhésifs à base de résines époxy sont parfois additionnés de solvants avant (et pendant) le durcissement afin de les rendre moins visqueux. Pour déterminer si cette pratique pouvait avoir un impact sur le jaunissement, quelques solvants ont été mis à l'essai (Down, 2001b). L'ajout de xylène (à 50 %) accroissait considérablement le jaunissement, tandis que l'ajout d'acétone, de benzène et de toluène n'avait aucun impact. Ces essais montrent que, si le jaunissement est important, il est judicieux de faire des tests de jaunissement sur des feuils obtenus à partir d'adhésifs à base de résines époxy dilués dans divers solvants, car ces derniers pourraient aggraver le jaunissement des feuils une fois durcis.

RÉTENTION DE LA FORCE

Il est généralement présumé que la plupart des adhésifs à base de résines époxy conserveront une résistance mécanique suffisante pour répondre aux besoins de la conservation, même après un vieillissement prolongé. Par exemple, les adhésifs à base de résines époxy se sont révélés trop forts pour certains verres fragiles (Newton et Davison, 1989).

Pour étudier la force des adhésifs à base de résines époxy, des essais ont été menés sur 10 produits utilisés sur des substrats en verre (Epoweld 3672, Tra-Cast 3012, Maraglas R658/H558, Araldite 6010/HY951, Homalite 1100, Araldite 502/HY951, Araldite 502/HY956, Hysol TE6175/HD3561, Devcon-2-ton, Canus 1000/68) afin de déterminer leur résistance au cisaillement en mode compression avant et après vieillissement (vieillissement à la lumière, vieillissement à la chaleur et vieillissement naturel à l'obscurité) (Down, 1996). Les résultats ont montré que la résistance initiale, avant vieillissement, était assez élevée (11 à 33 MPa). La résistance de la plupart des échantillons a augmenté; elle atteignait son maximum après vieillissement et se mettait à diminuer par la suite. L'Epoweld 3672 est le seul adhésif n'ayant montré aucun changement dans toutes les conditions de vieillissement étudiées. Il est à noter que les produits Hxtal NYL-1 et Epo-Tek 301-2, c'est-à-dire les résines époxy résistant le mieux au jaunissement, n'ont pas été soumis aux essais. Il est difficile de prédire avec certitude à quel moment la résistance serait entièrement disparue dans des conditions muséales normales pour les produits mis à l'essai. Cependant, aucun des adhésifs à base de résines époxy n'a perdu de sa résistance de façon excessive. La résistance la moins élevée atteignait quand même 7 MPa, ce qui devrait être adéquat pour la liaison normale du verre, selon Moser (1962).

La rupture de certains adhésifs à base de résines époxy utilisés pour réparer des vitraux anciens dans des églises en Écosse pourrait être attribuable à un taux d'humidité élevé (Moncrieff, 1975).

Le phénomène pourrait dépendre du type de résine et de durcisseur utilisé (p. ex. amines aliphatiques), car certains produits sont plus sensibles à l'humidité que d'autres (Meath, 1990). D'autres chercheurs ont signalé des problèmes de durcissement et la formation de feuils troubles en présence d'un taux d'humidité élevé (Koob, 2003; Hayes, 1987; Kulikov *et al*., 1977). De plus, selon les résultats d'une étude, l'eau semble accélérer le durcissement et réduire la force d'adhésion des adhésifs à base de résines époxy (Kulikov *et al*., 1977). Cette observation a été faite également lors d'une autre étude, dans laquelle la force et le module d'élasticité d'un adhésif à base de résine époxy (3M EC-2216) ont diminué après vieillissement dans l'eau (immersion, à 35 °C) (Popineau et Shanahan, 2006). Le degré de réduction dépendait de la quantité d'eau absorbée ainsi que de la durée et de la température d'exposition. Les chercheurs ont également noté une perte d'adhérence de certains adhésifs à base de résines époxy sur le verre lorsque l'HR dépassait les 70 % (Lefebvre *et al*., 2000). Par conséquent, le taux d'HR idéal pour le durcissement des adhésifs à base de résines époxy se situerait entre 40 et 55 % à une température de 20 à 25 °C (Koob, 2003).

Hxtal NYL-1

À part l'étude de l'Institut canadien de conservation (Down, 1986), qui a permis d'établir que le Hxtal NYL-1 était l'une des résines époxy les plus résistantes au jaunissement parmi toutes celles mises à l'essai, plusieurs autres études ont été réalisées sur ce produit. L'une d'elles a démontré que la couleur du Hxtal NYL-1 restait stable sous l'effet de la lumière, mais que ce produit manquait de stabilité lorsqu'il était soumis à un vieillissement à la chaleur, qu'il formait avec le verre des joints de force variable, et qu'il était partiellement réversible à l'aide de certains solvants (Bradley, 1990). Dans cette étude, les échantillons pigmentés étaient difficiles à préparer, et ils ont changé de couleur en vieillissant.

Dans une autre étude comparant le Hxtal à d'autres adhésifs à base de résines époxy, à des résines réagissant aux rayons ultraviolets (UV), à des résines au silicone et à des cyanoacrylates après un vieillissement accéléré simulant un vieillissement en période hivernale (-20 à 15 °C, 30 minutes d'exposition à la lumière du soleil selon un cycle de 4 heures, 72 cycles) ainsi qu'en période estivale (10 à 60 °C, 45 minutes d'exposition à la lumière du soleil selon un cycle de 3 heures, 96 cycles), il a été constaté que le Hxtal était le produit qui convenait le mieux pour former des joints en bordure du verre (Marschner, 2000). Toutefois, dans une autre étude portant sur la résistance à la traction, la stabilité et la réversibilité du Hxtal NYL-1 et de deux adhésifs photosensibles, ces deux derniers se sont révélés plus forts que le Hxtal, même s'ils ont subi un changement de couleur plus important après avoir été exposés aux rayons UV (Swierenga, 2000). La réversibilité était à peu près équivalente pour les trois produits.

Trente et un adhésifs utilisés pour la conservation du verre (résines époxy, polyesters, silicones, acryliques, nitrile) ont été évalués selon plusieurs critères (jaunissement, réversibilité à court et à long terme); un adhésif à base de résine époxy (Eccobond 24) et un acrylique à durcissement UV ont été recommandés si le changement de couleur doit être évité, mais le Hxtal NYL-1 a été suggéré pour effectuer des réparations externes nécessitant une bonne résistance aux intempéries (Robson, 1987).

Dans une autre étude, la température de transition vitreuse (T_v) du Hxtal a été comparée à celle de deux autres résines époxy, le Fynebond et l'Araldite 2020 (Nunes de Silva, 1998). Le Fynebond possédait la T_v la plus élevée (44 à 48 °C); il conviendrait donc mieux que l'Araldite 2020 (40 à 46 °C) ou le Hxtal (40 à 45 °C) dans les pays chauds. Le facteur le plus important, entre le temps de durcissement et le changement de couleur, pourrait aussi aider à déterminer lequel des trois produits doit être choisi, puisque la contraction, la force et la dureté étaient à peu près semblables dans les trois cas (Shashoua et Ling, 1998). Le Hxtal est supérieur du point de vue de la stabilité de la couleur, mais son temps de durcissement est long (96 à 168 heures). Le Fynebond était le meilleur du point de vue du temps de durcissement (6 à 24 heures), mais il était plus faible que les deux autres, et sa couleur était moins stable. L'Araldite se rapprochait davantage du Fynebond que du Hxtal pour ce qui est du temps de durcissement (12 à 36 heures), mais il n'était pas aussi dur, et sa couleur était moins stable.

L'un des désavantages du Hxtal est son long temps de durcissement. L'application de chaleur permet de raccourcir ce délai – par exemple, l'objet peut être entreposé dans une pièce chaude (23 à 30 °C) ou placé dans un four (35 à 40 °C) – mais cette pratique peut accroître la force et le jaunissement du produit (Williston et Myers, 1991; Williston, 1983). Il est possible de mélanger les constituants à l'avance et de les laisser durcir jusqu'à ce que la consistance désirée soit obtenue avant d'utiliser le produit. Il faut tenir compte du fait que les pigments peuvent ralentir encore davantage le durcissement (Koob, 2003; Fisher, 1992).

AJUSTEMENT DE L'INDICE DE RÉFRACTION

L'indice de réfraction (IR) de bon nombre d'adhésifs à base de résines époxy correspond à celui du verre de l'époque médiévale et du verre au plomb (Tennent et Townsend, 1984c). L'IR des résines époxy peut être légèrement modifié en ajustant la quantité et le type de durcisseur et en ajoutant d'autres constituants comme des plastifiants et des diluants. L'IR des adhésifs à base de résines époxy ne varie pas au fil du vieillissement naturel ou d'un lot de produit à l'autre (Tennent et Townsend, 1984).

Dans une autre étude, l'IR de l'Ablebond 342 et du Hxtal NYL-1 a été modifié grâce à l'utilisation d'époxydes halogénés et de mélanges combinant les deux résines. Les résultats ont montré que les composés halogénés modifiaient l'IR dans une mesure négligeable et, après un an de vieillissement à l'obscurité, les feuils du Hxtal avaient jauni de manière inacceptable, contrairement aux feuils d'Ablebond (Augerson et Messinger, 1993; Messinger et Lansbury, 1989). Le fait de mélanger les deux résines a fait passer l'IR de 1,515 à 1,57 et, après un an de vieillissement à l'obscurité, les mélanges n'avaient pas jauni de manière inacceptable.

ADDITIFS ET ADHÉSIFS À BASE DE RÉSINES ÉPOXY

Tennent (1979) a répertorié plusieurs colorants stables à la lumière pouvant être ajoutés aux adhésifs à base de résines époxy. Les colorants se dispersaient facilement dans les résines époxy, mais ils étaient moins stables à la lumière que les pigments, lesquels se dispersaient avec difficulté. En outre, les adhésifs à base de résines époxy ont un impact négatif sur la stabilité à la lumière des colorants de dispersion à base d'anthraquinone, mais l'utilisation de pièges à radicaux aide à empêcher ce phénomène (Allen *et al.*, 1983). L'impact de l'ajout de colorants aux résines est complexe : le jaunissement peut être plus important que le changement de couleur, mais un rétablissement partiel est possible après un léger pâlissement induit par la lumière (Tennent et Townsend, 1984b). Par ailleurs, l'ajout de pigments peut ralentir le durcissement de la résine époxy et modifier la T_v dans une certaine mesure. Une étude a toutefois permis de démontrer que l'état final après le durcissement n'était pas significativement différent de l'état obtenu en l'absence de pigments (Cope *et al.*, 1995).

Certaines matières de charge à base de silice sublimée font prendre une couleur jaune vif aux adhésifs à base de résines époxy, tandis que l'ajout de nitrate de cellulose les fait virer à l'orange (Tennent, 1995). Cette dernière observation peut être importante dans le cas des joints de nitrate de cellulose qui sont recollés à l'aide d'adhésifs à base de résines époxy.

L'effet de l'ajout de solvants sur la vitesse de durcissement des adhésifs à base de résines époxy est bien caractérisé (Selwitz, 1992; Kotlik *et al.*, 1981). Les composés hydroxylés (p. ex. alcools) catalysent le durcissement, tandis que les hydrocarbures aromatiques et l'essence minérale n'ont aucun effet à cet égard. Les composés carbonylés (p. ex. acétone) retardent quant à eux le durcissement.

UTILISATION D'ADHÉSIFS À BASE DE RÉSINES ÉPOXY EN COMBINAISON AVEC DES CYANOACRYLATES

Les cyanoacrylates sont souvent utilisés comme adhésifs temporaires lors de la réparation du verre, car ils permettent de tenir les morceaux ensemble avant l'application d'un adhésif à base de résine époxy permanent. Cependant, les cyanoacrylates peuvent modifier l'apparence de l'époxy pendant le durcissement (jaunissement, fendillement ou changement de l'opacité). Par exemple, la combinaison d'Epo-Tek 301 avec le produit Instabond a provoqué une altération, tandis que l'utilisation de Hxtal NYL-1 avec le produit Krazy Glue a peu modifié l'apparence (remarque : une grande quantité de cyanoacrylate a été utilisée dans le cadre de ces expériences) (Monahan, 1994). En outre, quatre cyanoacrylates différents (Instabond, Krazy Glue, Mastercraft Superglue, The Gripper Superglue) ont été utilisés en combinaison avec deux adhésifs à base de résines époxy (Hxtal NYL-1, Epo-Tek 301-2), et les mélanges avec le Hxtal (sauf le mélange de Hxtal et de Gripper) sont demeurés stables et n'ont pas jauni, tandis que les mélanges avec l'Epo-Tek ont jauni sous l'effet de la lumière (Miller, 1996).

AUTRES ÉTUDES DANS LE DOMAINE DE LA CONSERVATION

Peintures

Des chercheurs ont évalué le comportement mécanique de plusieurs adhésifs contenant divers matériaux de comblement pour réparer des peintures sur panneau de bois; selon leurs résultats, l'Araldite 2014, avec ou sans farine de seigle comme matériau de comblement, s'était avéré plus fort que le bois seul (Young *et al.*, 2002).

Bois

Dans le cadre d'un essai mené sur quatre feuils barrière (Butvar B-98, Paraloid B-72, Titebond Liquid Hide Glue et Paraloid B-67) et un adhésif

à base de résine (Araldite 1253) appliqués sur des échantillons de bois, les chercheurs ont constaté que le Paraloid B-72 assurait la meilleure protection; la résistance au cisaillement était comparable à celle mesurée sans feuil barrière, et les joints étaient facilement réversibles dans des vapeurs de xylène (Ellis et Heginbotham, 2004). Cependant, lorsqu'ils ont utilisé le Paraloid B-67 comme feuil barrière, ils ont obtenu une faible résistance au cisaillement, et la réversibilité n'était pas bonne. Le Butvar B-98 et le Titebond ont donné d'assez bons résultats du point de vue de la résistance. Le Butvar B-98 était réversible dans l'éthanol, tandis que le Titebond était facilement réversible lorsque chauffé dans un four à micro-ondes.

Plâtre

L'utilisation de mélanges aqueux d'acryliques et de résines époxy a été proposée pour la consolidation du plâtre (Phillips, 1995). Ces agents de consolidation utilisent un acrylique soluble en milieu alcalin pour aider à solubiliser l'époxy cycloaliphatique. Une fois en place, l'agent de consolidation réticule avec le temps. Cette pratique est préférée à l'utilisation d'agents de consolidation en solution dans des solvants parce qu'elle permet d'éliminer les risques d'incendie et de toxicité. Dans des essais subjectifs préliminaires, il a été constaté que la dureté, la ténacité, le degré de réticulation, la résistance à l'humidité et la force étaient adéquats, mais d'autres essais doivent être réalisés dans des conditions d'HR plus élevée ou variable.

Céramique

Des chercheurs ont mis à l'essai neuf adhésifs, dont un à base de résine époxy (Araldite AY103/HY991), des poly(acétates de vinyle), du nitrate de cellulose, des acryliques et des cyanoacrylates afin d'évaluer leur résistance à la traction, leur indice de jaunissement (avant et après un vieillissement à la chaleur cyclique), l'épaisseur de leurs joints, leur temps de travail ainsi que les dangers globaux liés à leur utilisation pour le traitement de céramiques espagnoles de l'époque médiévale (Castro et Doménech Carbó, 1999). De tous les produits, c'est le Paraloid B-72 qui a donné les meilleurs résultats, tandis que l'adhésif à base de résine époxy était excellent quant à la force des joints, mais inadéquat quant à toutes ses autres propriétés.

Pierre

L'utilisation de résines époxy pour la consolidation de la pierre a fait l'objet de nombreuses études; les résultats pertinents de ces études sont résumés dans la présente section. Tout d'abord, Domaslowski (1988b) a recensé les propriétés que doit idéalement posséder un agent de consolidation pour les monuments en pierre (ces propriétés ont servi de critères pour la plupart des études mentionnées ci-dessous); un bon consolidant :

- doit pénétrer facilement à l'intérieur de l'objet et permettre la pénétration par capillarité afin d'assurer une distribution uniforme dans les pores de la pierre;
- ne doit pas migrer vers la surface pendant l'évaporation du solvant (en cas d'utilisation d'un solvant);
- ne doit pas obstruer les pores dans la pierre;
- ne doit pas changer de couleur;
- doit accroître la résistance mécanique;
- doit accroître l'hydrophobicité;
- doit accroître la résistance aux sels hydrosolubles, aux micro-organismes et au vieillissement.

L'une des premières études sur la consolidation de la pierre a montré que, en augmentant la concentration de résine époxy (dans un solvant), la teneur en époxy et la profondeur de pénétration dans la pierre augmentaient (Kotlik et Zelinger, 1981). Cependant, la viscosité limitait la pénétration, qui se faisait par diffusion plutôt que par capillarité. Si la durée d'immersion était prolongée et que la pression dans l'enceinte d'imprégnation était réduite, la pénétration augmentait également. Une étude ultérieure semblait indiquer que les agents de consolidation à base d'organosilanes pénétraient mieux que les agents de consolidation à base d'époxy et amélioraient la perméabilité aux gaz, mais qu'ils ne consolidaient pas aussi efficacement la pierre que les résines époxy (Kotlik et Zelinger, 1983). Les deux types d'agents de consolidation conféraient un caractère hydrofuge à la pierre, mais ne fixaient pas les sels hydrosolubles dans la pierre. Selon les chercheurs, pour être un bon agent de consolidation pour la pierre, la résine époxy « doit contenir une résine et un durcisseur de faible masse moléculaire ainsi qu'un type et une quantité appropriés de solvant, elle doit être appliquée selon une méthode d'imprégnation efficace et elle doit prévenir la migration inverse » [traduction] (Kotlik *et al.*, 1983, p. 75).

Domaslowski (1988b) a profité du fait que la dilution de la résine époxy dans un solvant modifie le temps de durcissement. Il a constaté que la meilleure combinaison de solvants était un mélange d'alcool (méthanol) avec un hydrocarbure aromatique (benzène, toluène). Plus la proportion d'alcool augmentait, plus le durcissement était adéquat. Le chercheur a découvert que l'humidification préalable de la pierre avec le solvant améliorait le taux de pénétration par capillarité; les meilleurs résultats ont été obtenus avec des résines qui durcissaient en moins de 10 jours et en empêchant les solvants de s'évaporer.

Le chercheur a observé un accroissement de la force de la pierre, mais aussi une diminution de l'absorption d'eau, attribuée à une réduction de la porosité.

Selwitz (1992), dans un article de synthèse sur les résines époxy utilisées pour consolider la pierre, a décrit les premiers travaux de recherche réalisés pour améliorer la pénétration dans la pierre, en utilisant notamment des températures élevées (70 °C), des couches de protection prévenant l'oxydation des résines, des résines époxy peu visqueuses avec des diluants réactifs, ou des résines époxy classiques avec des silanes. Ces traitements ne fonctionnaient pas très bien (faible pénétration) ou ils étaient difficiles à appliquer, ou encore, ils laissaient une croûte foncée en surface. Il était également question dans cet article de la rigidité des molécules dans les résines époxy de type aromatique, laquelle contribuait à leur viscosité élevée et à leur faible pénétration dans la pierre; lorsque la structure aromatique était hydrogénée, la résine époxy était moins visqueuse et moins susceptible de changer de couleur (p. ex. Eponex, EP2101). L'auteur mentionnait également qu'une bonne adhésion au substrat est généralement tributaire des durcisseurs, mais que ceux-ci peuvent être volatils, toxiques et constituer la principale cause du changement de couleur. Il est possible de se procurer des produits plus stables, moins volatils et moins toxiques en modifiant le durcisseur soit en fabriquant des dérivés, soit en faisant réagir une partie du durcisseur avec la résine à l'avance. Cette pratique réduit la viscosité des résines époxy et leur procure une bonne stabilité à la lumière, quoiqu'elle ralentisse le durcissement.

L'auteur de l'article a étudié également la profondeur de pénétration de la résine époxy, qui dépend de la nature de la pierre, de la composition et de la viscosité de l'agent de consolidation, ainsi que de la méthode d'application. Selon l'article de synthèse de Selwitz, le traitement de consolidation avec des résines époxy ne conviendrait pas au marbre faiblement poreux et au calcaire détérioré. Il est préférable d'utiliser un agent hydrofuge sur ces pierres. Par contre, le grès poreux (porosité d'au moins 14 %) et le calcaire poreux (porosité d'au moins 28 %) bénéficient de la consolidation avec une résine époxy, mais le traitement doit être soigneusement conçu et faire l'objet d'essais au préalable. De bons résultats ont aussi été obtenus avec du marbre détérioré. Les autres facteurs pouvant influer sur la consolidation abordés dans l'article sont indiqués ci-dessous :

- il faut enlever les sels de la pierre avant la consolidation, sans quoi ils perturberont le traitement;
- les solvants ont un effet sur le taux de polymérisation de la résine époxy et du durcisseur;
- l'application au pinceau n'est pas recommandée pour les pierres peu poreuses;
- le renouvellement de l'agent de consolidation (pénétration par capillarité par application d'un jet constant à la surface) est une bonne pratique;
- l'enveloppement de la pierre pour prévenir l'évaporation de l'époxy et du solvant est également une bonne pratique.

De plus, Selwitz soulignait qu'une méthode de consolidation utilisée en Europe consiste à utiliser une résine époxy dans un mélange d'alcool et d'hydrocarbure aromatique, et à envelopper la pierre (comme il est mentionné ci-dessus) tandis qu'aux États-Unis, une méthode courante consiste à appliquer le produit (époxy dans l'acétone) par pulvérisation et à l'abraser afin d'éliminer tout changement de couleur. Selon cet article, les caractéristiques d'un bon traitement de consolidation à l'époxy sont les suivantes :

- tous les sels doivent être enlevés (teneur en sodium < 0,02 %);
- la profondeur de pénétration doit être de 2,5 cm;
- la résistance à la compression doit augmenter de 50 %;
- la perméabilité à la vapeur d'eau doit être réduite d'au plus 10 %;
- l'absorption d'eau liquide ne doit pas dépasser 5 % en 48 heures.

La conclusion générale de cet article de synthèse est la suivante : la méthode américaine convient mieux aux bâtiments de grande taille, et la méthode européenne, elle, convient mieux aux objets en pierre de petite taille.

Une résine époxy cycloaliphatique [dans l'isopropanol (Eponex 1510 + Jeffamine T-403)] et des mélanges d'acryliques et de résines époxy [dans un mélange d'isopropanol et d'eau (Neocryl-520 + ERL-4221 et Carboset-5141H + ERL-4221)] – tous vieillis dans diverses conditions *in situ* ainsi qu'en laboratoire, dans des conditions imitant un climat tropical chaud et humide – ont été évalués selon une série de critères (profondeur de pénétration, durcissement dans des conditions d'HR élevée, résistance à la microabrasion, résistance à l'abrasion par l'eau, modification de la porosité), et les résultats des essais indiquent que ces produits amélioraient la résistance à l'érosion par l'eau et par les particules d'un calcaire affaibli d'origine maya (Kumar et Ginell, 1995).

Dans le cas du grès, les dérivés de silane fonctionnent assez bien « parce qu'ils pénètrent profondément, qu'ils accroissent la force mécanique et la durabilité, et que leur application est relativement aisée et sans danger » [traduction] (Ginell *et al.*, 1995, p. 824). Cependant, dans le cas du calcaire, qui est

très sensible à la détérioration par les conditions environnementales, les résines époxy fonctionnent mieux que les acryliques ou les silanes, ce qui est attribuable au groupement amine des résines époxy. L'enveloppement réduit la migration inverse avant le durcissement, et l'exposition ultérieure de la pierre à des conditions extérieures modérées aide en fait à réduire l'assombrissement, tandis que l'imprégnation sous vide accroît la profondeur de pénétration.

Dans une étude portant sur divers agents de consolidation [résine époxy, silane, polyester, poly(chlorure de vinyle), polyacrylamide, silicate d'éthyle] utilisés sur du calcaire français, les chercheurs ont constaté que, après un vieillissement naturel (pendant 18 ans), tous les traitements avaient perdu de leur effet consolidant en surface, mais pas nécessairement en profondeur dans la pierre (Vallet *et al*., 2000). L'étude a révélé que le silane et la résine époxy produisaient les meilleurs résultats, ce qui est attribuable à la diminution de la porosité et à leurs propriétés de capillarité.

Lors d'essais menés sur l'utilisation de la résine époxy Epojet pour restaurer des bâtiments historiques, les chercheurs ont constaté que le produit n'avait durci complètement qu'après quatre mois. Le chauffage (50 °C) accroissait la T_v et la force (indiquant ainsi une augmentation de la réticulation). L'exposition à une HR élevée (98 %) abaissait la T_v (indiquant ainsi une plastification). Enfin, après immersion, la désorption de l'eau contenue dans le substrat n'était pas complète (Frigione *et al*., 2006).

L'efficacité de la consolidation de la pierre est en lien direct avec la quantité d'agent de consolidation absorbée. Pinto et Rodrigues (2008), qui ont étudié ce phénomène, ont constaté que la première application au pinceau est celle qui transfère la plus grande partie de l'agent de consolidation dans la pierre. De plus, dans le cas des pierres de carbonate, la porosité doit être supérieure à 18 % pour que l'absorption soit bonne. Les résines époxy et les acryliques ne consolident les pierres de carbonate que sur quelques millimètres, tandis que le silicate d'éthyle assure une consolidation plus profonde, mais moins forte.

Enfin, lorsqu'un support en fibre de verre a été posé au revers d'une mince couche de granite à l'aide d'un adhésif à base de résine époxy, la résistance au pelage ainsi obtenue était considérable, même après une exposition cyclique à des conditions rigoureuses, ce qui a permis de conclure que ce genre de traitement pourrait offrir un support adéquat aux minces dalles de placage utilisées dans la restauration des édifices historiques (Roper et Poulos, 1988).

Métaux

Il ne faut pas utiliser d'adhésifs à base de résines époxy sur le cuivre parce qu'ils peuvent causer de la corrosion (Lee et Neville, 1967, p. 6-52). Cette corrosion peut être aggravée par la présence d'eau et elle varie aussi en fonction de la perméabilité de la résine époxy à l'eau et de la présence de certaines matières de charge.

Il a été démontré que les enduits de résine époxy améliorent la stabilité du fer archéologique; en effet, ils préviennent l'apparition de fentes, l'écaillage, le suintement et la formation de rouille, mais ce genre de traitement n'a pas fait l'objet de recherches approfondies pour déterminer si les avantages sont supérieurs aux inconvénients (irréversibilité, décomposition de la résine, etc.) (Keene, 1984).

Questions de santé

Certains éthers glycidyliques pourraient provoquer une atrophie des testicules et des anomalies hématopoïétiques chez les animaux de laboratoire (HESIS, 1989; NIOSH, 1978). Certains des premiers adhésifs à base de résines époxy commerciaux étaient associés à une toxicité chronique et à des cancers de la peau mais, apparemment, les produits plus récents, qui contiennent moins d'épichlorhydrine, un contaminant, ne causent pas de cancer chez les animaux (HESIS, 1989; Cooper, 1981). Le contact cutané avec la résine, le durcisseur ou l'additif peut entraîner une dermatite (Mathias, 1981). Il faut éviter tout contact cutané avec le produit et éviter d'inhaler les vapeurs d'un adhésif à base de résine époxy, porter des gants et des lunettes de protection, mélanger les constituants dans un endroit bien ventilé, et travailler de manière propre et ordonnée (HESIS, 1989; NIOSH, 1976).

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les adhésifs à base de résines époxy sont des résines thermodurcissables qui ne peuvent être dissoutes par des solvants. Une fois durcies, les résines sont relativement insensibles à l'eau, aux hydrocarbures, aux alcools et à certains réactifs inorganiques (acide

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

sulfurique à 50 %, acide nitrique à 10 %, acide chlorhydrique concentré, hydroxyde de sodium à 20 %) (Roff et Scott, 1971, p. 268-269). Ils peuvent se ramollir légèrement sous l'effet des cétones et subir un gonflement induit par divers solvants, selon le type d'adhésif à base de résine époxy utilisé (Roff et Scott, 1971, p. 269). Les résines durcies par une polyamine ont tendance à être peu résistantes à l'eau froide (ce qui devrait faciliter leur enlèvement), tandis que les résines durcies par un polyamide ne réagissent pas autant à l'eau froide, mais sont peu résistantes à l'eau chaude et aux alcalis (Shields, 1984, p. 44-45).

Rémillard (1989) a étudié le gonflement de 5 feuils de résines époxy dans 13 solvants. Elle a constaté qu'un mélange 1:1 de diméthylformamide (DMF) et de tétrahydrofurane (THF) était le solvant le plus efficace, suivi du chloroforme, du chlorure de méthylène et du THF seul. Les solvants les moins efficaces étaient les alcools et les cétones. Parmi les adhésifs mis à l'essai, la résine époxy la plus facile à enlever était l'Ablebond 342, suivie de l'Epo-Tek 301-2, de l'Epo-Tek 301-1, de l'Araldite 502/HY956 et de l'Epoxyglass. L'affinité pour les solvants varie en fonction de la résine époxy, probablement parce que la chimie est différente d'une résine époxy à l'autre. Par exemple, l'Araldite 502/HY956 gonflait davantage dans un mélange de DMF et THF, tandis que l'Epo-Tek 301-2 gonflait davantage dans le chloroforme. L'acide acétique avait un certain effet sur le gonflement, contrairement aux solutions d'acide chlorhydrique, d'acide sulfurique, d'hydroxyde de sodium, de borate de sodium, de chlorure de sodium et même de jus d'ananas, qui n'en avaient aucun. Le vieillissement à 100 °C réduisait le gonflement et limitait donc la capacité d'enlèvement.

Une autre étude a été menée sur le gonflement du joint et la durée nécessaire pour rompre les joints entre une résine époxy et une lame de verre à l'aide de divers solvants chlorés (Scott, 1986). Les résultats ont montré que les mélanges de dichlorométhane avec du méthanol et du xylène (90:5:5 ou 80:10:10) étaient les plus efficaces à cet égard, que le vieillissement allongeait la durée nécessaire pour rompre les joints, et que bien des solvants chlorés n'avaient aucun impact sur l'Hxtal NYL-1. Les sept autres résines époxy mises à l'essai (Araldite AY103/HY956, Ablebond 342, Epo-Tek 301, Panel Fix, 5 Minute Araldite, Polystik, Epoxy Bond Putty) réagissaient davantage aux solvants chlorés.

La présence d'un feuil barrière à base d'acrylique (Paraloid B-72) a amélioré la réversibilité d'un adhésif à base de résine époxy (Araldite AY103/HY991) utilisé sur de la pierre (Podany *et al*., 2001). La couche de feuil barrière doit être « relativement mince, conforme, continue et complètement sèche » [traduction] (p. 29) avant l'application de l'adhésif à base de résine époxy pour assurer cette réversibilité. Il s'est avéré assez fort pour former des joints structuraux, mais le fluage à long terme n'a pas été étudié.

Certains ont tenté d'utiliser des moyens moins classiques pour enlever les adhésifs à base de résines époxy. Par exemple, une étude sur l'utilisation d'enzymes pour enlever des résines époxy vieillies par exposition aux rayons UV a montré que cette technique était absolument inefficace (Harvey, 1994). Une autre étude portant sur la diffusion de divers acides (à 8 %) dans des adhésifs à base de résines époxy a révélé que l'acide propionique détruisait les adhésifs à base de résines époxy en 10 jours et que le degré de diffusion variait selon les produits, présentés en ordre décroissant : acide propionique, acide formique, acide acétique, acide sulfurique et acide chlorhydrique (Kalenda, 1992). La diffusion dépendait de la structure de l'adhésif à base de résine époxy et de la teneur en époxy.

Des chercheurs ont mené des essais pour déterminer l'efficacité des lasers à enlever des adhésifs à base de résines époxy; leurs constatations sont présentées ci-dessous (Scheerer *et al*., 2003) :

- le laser Nd:YAG n'était pas aussi efficace que le laser Er:YAG pour enlever les adhésifs à base de résines époxy; la longueur d'onde jouait un rôle important;
- une fois irradiés, les adhésifs à base de résines époxy devenaient solubles dans des solvants plus doux (acétone, éthanol);
- il était difficile d'enlever un adhésif à base de résine époxy d'une surface poreuse à cause de l'effet de pénétration; cependant, il était possible d'en enlever la couche superficielle;
- un dégagement de chaleur considérable se produisait pendant l'ablation, ce qui pourrait avoir un impact sur l'objet; il faut prendre ce phénomène en considération;
- les matières de charge présentes dans un adhésif à base de résine époxy pourraient subir une contrainte physique pendant l'ablation, et cette contrainte pourrait s'exercer sur l'objet;
- en général, un adhésif à base de résine époxy jauni était plus sensible au traitement qu'un adhésif incolore ou transparent;
- l'objet changeait souvent de couleur aux environs de la zone irradiée; il est donc recommandé de tester le produit sur un endroit peu visible avant de procéder à un traitement.

Le nylon soluble

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
évaporation	thermoplastique		
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
le point de fusion (T_f) diminue à mesure que le pourcentage de substituants amide (subst.) augmente : 0 % subst. : T_f = 264 22 % subst. : T_f = 185 32 % subst. : T_f = 130 35 % subst. : T_f = 150-160 50 % subst. : T_f = 100-110 fortement subst. : T_f ~ 22			

(Sease, 1981; De Witte, 1975)

Types, synonymes et noms commerciaux

Calaton, Elvamide, Maranyl Nylon, nylon *n*-méthoxyméthylé, Ultramid, Zytel

Chimie et préparation

Le nylon est un polymère dur, non élastique et pratiquement insoluble dont le point de fusion est élevé. Ces propriétés sont attribuables aux nombreuses liaisons hydrogène entre les chaînes étendues de l'unité cristalline. Si le nylon est modifié chimiquement en substituant les hydrogènes amide par des groupements alcoxy, le polymère obtenu, appelé « nylon soluble », est plus soluble et plus flexible que le nylon dont il est issu (Sease, 1981; De Witte, 1975). Le type de nylon soluble le plus répandu est le nylon *n*-méthoxyméthylé (**figure 1**); il est obtenu en faisant chauffer du nylon avec du formaldéhyde, de l'acide formique et du méthanol pour produire de courtes chaînes latérales (Horie, 2010, p. 195).

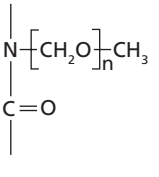


Figure 1. Nylon n*-méthoxyméthylé. (Horie, 2010, p. 195; Fromageot et Lemaire, 1991).*

Historique et utilisation

Les premières demandes de brevet pour le nylon soluble ont été déposées par Du Pont de Nemours entre 1939 et 1945 (De Witte, 1975).

Dans le secteur industriel, le nylon soluble a été utilisé pour rigidifier et lier les textiles, et comme adhésif et vernis pour conférer une résistance à l'abrasion ou un fini antidérapant aux fils de textile (De Witte, 1975; Roff et Scott, 1971, p. 223).

Dans le domaine de la conservation, le nylon soluble a été utilisé pour l'encollage du papier; pour la consolidation de la pierre friable, de l'os, de l'ivoire, de la poterie, du papier, des pigments, du bois, des peintures murales, de la toile, des objets ethnographiques, des métaux et des textiles; et comme adhésif pour le cuir (Horie, 2010, p. 195-196; Sease, 1981; De Witte, 1975). Le nylon soluble a été utilisé en paléontologie comme support temporaire pendant le rinçage des fossiles pour en éliminer les sels, et comme agent de consolidation pour les fossiles crayeux (Elder *et al*., 1997). À la fin des années 1960, l'utilisation du nylon soluble n'était plus recommandée et, dans les années 1980, elle était fortement déconseillée.

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

La modification du nylon pour obtenir du nylon soluble rend le produit plus flexible, du moins

au départ (Horie, 2010, p. 195). Plus le degré de substitution (par des groupements alcoxy) augmente, plus la flexibilité et l'élasticité augmentent (De Witte, 1975). Si le nylon soluble était prisé auparavant en conservation, c'est en raison de sa flexibilité, et aussi parce qu'il donne un fini mat après séchage, qu'il permet la circulation de l'eau et des sels et qu'il possède de bonnes propriétés d'adhésion (Sease, 1981). Cependant, au fil des ans, plusieurs études ont constaté que le nylon soluble réticule, devient insoluble et friable, et se contracte après vieillissement (Horie, 2010, p. 195; Sease, 1981). Les problèmes éprouvés étaient si graves que l'utilisation d'antioxydants a été proposée pour permettre au nylon soluble de résister plus longtemps à l'exposition à la lumière (Fromageot et Lemaire, 1991). D'autres études ont fait ressortir d'autres désavantages liés à l'utilisation du nylon soluble, notamment :

- le nylon soluble avait une température de transition vitreuse assez basse; il était donc susceptible d'accumuler de la poussière et des saletés (Buys et Oakley, 1993);
- il favorisait la prolifération microbienne (Kyi et Drew, 2000);
- au départ, l'application de nylon soluble sur du papier acide rendait celui-ci assez neutre et en augmentait la résistance au pliage mais, après un vieillissement à la chaleur, le papier redevenait acide et s'affaiblissait (Bass, 1976);
- l'utilisation de nylon soluble comme cartonnage temporaire ou comme agent de consolidation pour le papier a été déconseillée, car elle laissait des résidus même après un long trempage dans divers solvants (méthanol et eau, essences méthylées industrielles et eau, *n*-propanol et eau, éthylèneglycol, thymol et méthanol, diacétone-alcool, alcool benzylique, *n*-méthylpyrrolidone, isopropanol, isopropanol et eau, *n*-butanol, *n*-propanol et thymol) (Daniels, 1985);
- des chercheurs ont examiné des objets renfermant des fibres végétales 10 ou 15 ans après leur traitement au nylon soluble; ils ont constaté que leur apparence, leur flexibilité et la résistance à la rupture des fibres avaient été altérées (Shashoua *et al.*, 1990b);
- des sculptures en pierre consolidées avec du nylon soluble pendant leur dessalage ont pris une couleur brun-gris après deux ans de trempage, et il a fallu employer des techniques draconiennes pour enlever l'adhésif (De Witte, 1975);
- des essais ont montré que le nylon soluble devenait très friable, non élastique, vulnérable aux déchirures et insoluble après trois mois de trempage (De Witte, 1975).

En raison de ces difficultés, l'utilisation du nylon soluble n'est pas recommandée à des fins de conservation.

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Le nylon *n*-méthoxyméthylé est soluble (à l'état frais) dans les alcools tièdes (éthanol ou méthanol avec un peu d'eau) (Horie, 2010, p. 195). Sa solubilité dans l'éthanol augmente avec le degré de substitution (De Witte, 1975). Au fil du temps, le nylon soluble devient insoluble à cause de sa réticulation (Sease, 1981). Cette réticulation se produit habituellement en présence d'acides faibles et de chaleur, mais elle semble également se produire au fil du temps même dans des conditions relativement favorables (Sease, 1981).

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

Les silicones(polysiloxanes) et les silanes

Mécanisme de prise	Catégorie	Absorption d'eau (%)	Indice de réfraction
durcissement chimique	thermodurcissable	caoutchoucs : dépend de la matière de charge; 0,4-10 % après 30 jours résines : ~ 0,03-0,2 % après 24 h, épaisseur de 3 mm	caoutchoucs : 1,404 résines : 1,405-1,49
Température de transition vitreuse (°C)	**Viscosité (mPa.s)**	**pH**	**Coefficient de dilatation linéaire/°C**
polydiméthylsiloxane : -125 polyméthylphénylsiloxane : -112			caoutchoucs : 50-400 x 10^{-6}

(Shields, 1976, p. 299; Roff et Scott, 1971, p. 462-463)

Abréviations

SI plastiques de silicone (à ne pas confondre avec « Si », qui est le symbole de l'élément silicium)

Types, synonymes et noms commerciaux

alcoxysilane, Conservare, Dow Corning, Drisil, esters d'acide silicique, esters de silicone, Funcosil, General Electric (GE), organosiloxane, orthosilicates, polysiloxane, Rhodorsil, Silastic, Silex, silicates d'alkyle, Silicoset, Silygutt, Tegovakon (Wheeler, 2005, p. 8)

Chimie et préparation

Les adhésifs, les agents de consolidation et les produits d'étanchéité à base de silicone sont considérés comme étant partiellement inorganiques parce qu'ils combinent des structures inorganiques (de silicium) et des structures organiques (de carbone) dans un même composé (Dean, 1990). Ils ont été appelés à tort « silicones », car leur structure était considérée à l'origine comme étant similaire à celle des cétones en chimie organique. Cependant, les cétones contiennent une liaison double entre le carbone et l'oxygène, alors que les « silicones » contiennent une liaison simple entre le silicium et l'oxygène (New World Encyclopedia). Le nom chimique correct des silicones est « siloxanes polymérisés » ou « polysiloxanes ».

La nomenclature des composés à base de silicium est très similaire à celle des composés à base de carbone, par exemple le silane et le méthane (**figure 1)** (Charola, 1988). La substitution sur la molécule de silane, tout comme la nomenclature utilisée, sont similaires à celles de la molécule de méthane.

SiH_4 = silane	CH_4 = méthane
$ClSiH_3$ = chlorosilane	$ClCH_3$ = chlorométhane
Cl_2SiH_2 = dichlorosilane	Cl_2CH_2 = dichlorométhane
$(CH_3O)_3SiH$ = triméthoxysilane	$(CH_3O)_3CH$ = triméthoxyméthane

Figure 1. Nomenclature des composés à base de silicium et similarité avec la nomenclature des composés organiques.

Les groupements réactifs les plus communs sont l'hydrogène (H), le fluor (F), le chlore (Cl) et les alcoxy [RO, où R désigne un groupement alkyle (p. ex. méthyle, éthyle, butyle) et où O désigne un atome d'oxygène] (Wheeler, 2005, p. 14). Le groupement RO est appelé méthoxy, éthoxy, etc., selon le groupement alkyle présent. La nomenclature des silanes comportant des groupements alcoxy suit les mêmes règles que la nomenclature des composés organiques (**figure 2**).

La liaison silicium-carbone n'est pas réactive (**figure 3**) et elle résiste à l'hydrolyse, tandis que les liaisons avec les groupements H, F, Cl et RO sont réactives.

L'atome de silicium peut former des liaisons avec quatre atomes voisins. Habituellement, dans le cas des silicones, il s'agit d'atomes d'oxygène ou de carbone, et le nombre d'atomes d'oxygène liés au silicium détermine la valence fonctionnelle de celui-ci. Les unités sont monofonctionnelles (M) s'il y a un atome d'oxygène, bifonctionnelles (B) si deux atomes

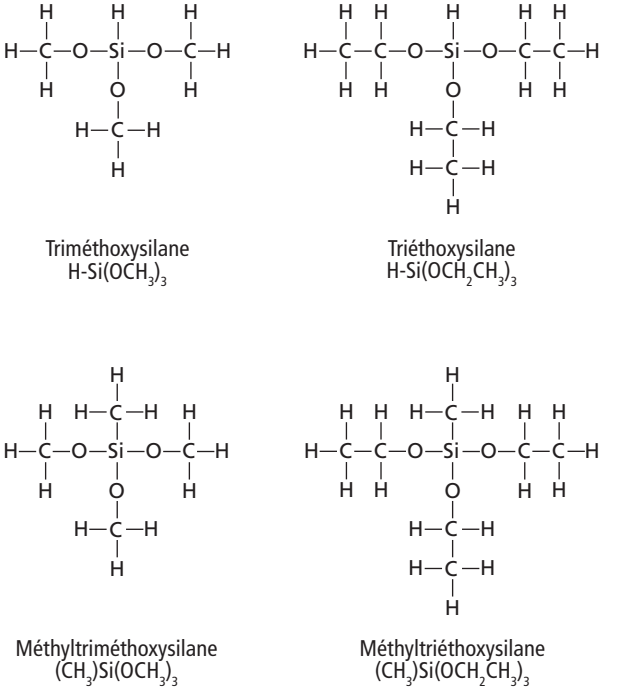


Figure 2. Nomenclature des silanes.

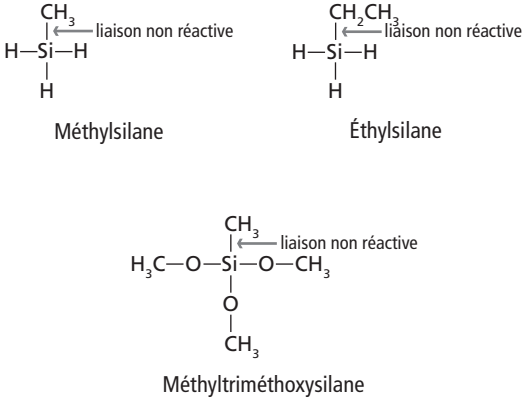


Figure 3. Exemples de composés avec des liaisons silicone-carbone non réactives.

d'oxygène sont présents, trifonctionnelles (T) si trois atomes d'oxygène sont présents, et tétrafonctionnelles ou quadrifonctionnelles (Q) si quatre atomes d'oxygène sont présents (**figure 4**). Les groupements R (**figure 4**) désignent une structure carbonée non réactive, comme il a été mentionné précédemment.

Lorsque le composé fait l'objet d'une substitution hydroxyle (OH), il est connu sous le nom de « silanol » (**figure 5**); la nomenclature est très similaire à celle des alcools en chimie organique.

Lorsque des silanols réagissent ensemble, ils produisent une liaison siloxane (**figure 6**).

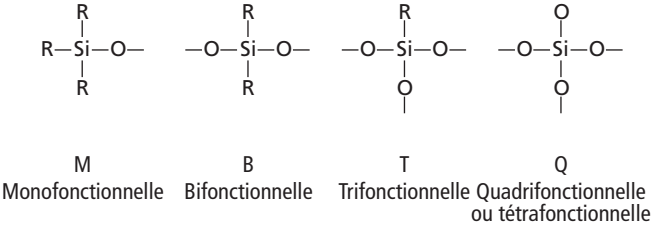


Figure 4. Différentes valences fonctionnelles des silicones. (Mayer, 1999; Roff et Scott, 1971, p. 458-459).

R_3SiOH = silanol

Figure 5. Silanol.

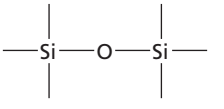


Figure 6. Unité siloxane.

Les unités siloxane sont toujours constituées d'un atome d'oxygène placé entre deux atomes de silicium, ce qui constitue la base d'une « silicone ». Ces liaisons Si-O-Si sont très stables.

La **figure 7** illustre la réaction entre deux alkylalcoxysilanes qui forme une liaison siloxane. La réaction est amorcée par la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère ou sur la surface du substrat. Les sous-produits de la réaction peuvent être des acides carboxyliques (p. ex. acide acétique), des alcools ou des amines (Dean, 1990). Ces sous-produits s'évaporent après le durcissement.

Les unités M, B, T et Q se combinent de diverses façons pour former des composés possédant différentes propriétés. Dans le domaine de la conservation, les composés qui suscitent l'intérêt sont les caoutchoucs et les résines de silicone.

CAOUTCHOUCS DE SILICONE

Les caoutchoucs de silicone sont des chaînes linéaires d'unités B, avec des unités M à chaque extrémité (**figure 8)** (Roff et Scott, 1971, p. 459). Parfois, des unités Q sont ajoutées à la formulation pour produire une réticulation entre les chaînes B linéaires (Mayer, 1999).

Le caoutchouc de polysiloxane obtenu avec des unités B, M, et Q peut avoir des propriétés différentes, selon les groupements R présents (Roff et Scott, 1971, p. 459). Par exemple, le diméthylsiloxane est d'usage général; le méthylphénylsiloxane résiste au froid;

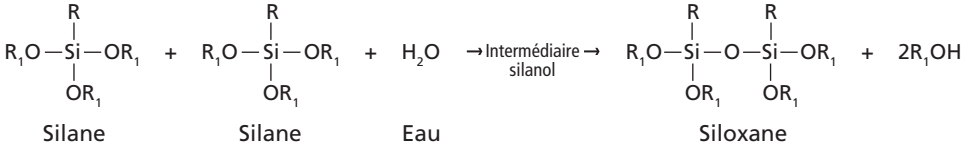


Figure 7. Réaction entre des alkylalcoxysilanes formant une liaison siloxane.

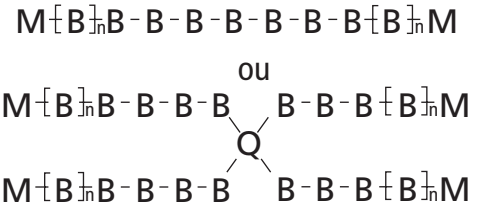


Figure 8. Composition des caoutchoucs de SI.

le méthylvinylsiloxane est réticulable; les caoutchoucs de polysiloxane contenant des groupements H, OH, alcoxy ou acyloxy sont des produits de vulcanisation à température ambiante (VTA); ceux qui comportent des groupements cyanoacryle ou fluoro résistent au gonflement. Les caoutchoucs de silicone peuvent être des systèmes à un ou deux composants.

RÉSINES DE SILICONE

Les résines de silicone comptent davantage d'unités T et de points de ramification (de réticulation), ce qui leur confère un plus grand degré de durcissement (Roff et Scott, 1971, p. 459). Encore une fois, les groupements R procurent différentes propriétés aux résines. Par exemple, si les groupements R sont des méthyles, la résine sera dure et faible; si elle comporte des chaînes alkyle plus longues, la résine sera plus molle, moins résistante à la chaleur et plus soluble; si les groupements R sont des phényles, la résine aura une force, une résistance à la chaleur, une solubilité et une friabilité accrues. Parfois, une combinaison de groupements méthyle et phényle est utilisée pour obtenir des caractéristiques intermédiaires.

Pour ce qui est des agents de consolidation, en particulier ceux utilisés pour la pierre, la résine de prédilection comporte des unités T ou Q, étant donné qu'elles comptent davantage de groupements réactifs capables de former un réseau tridimensionnel dans la pierre (Wheeler, 2005).

En résumé, les silanes sont des monomères qui polymérisent pour former des polysiloxanes (si un alkyloxysilane est utilisé comme matière première) et qui comportent les liaisons silicium-oxygène décrites précédemment. Les caoutchoucs, notamment les produits d'étanchéité communs et les produits VTA, sont des polysiloxanes composés d'unités monofonctionnelles et bifonctionnelles, tandis que les résines (utilisées comme agents de consolidation pour la pierre) sont des polysiloxanes composés d'unités trifonctionnelles et tétrafonctionnelles.

HISTORIQUE ET UTILISATION

Des composés d'organosilicium ont été préparés pour la première fois entre 1857 et 1863, mais la production de silicones n'a commencé que bien plus tard, après que des études exhaustives aient été menées sur ces composés et la chimie des polysiloxanes (Roff et Scott, 1971, p. 468-469). Dans les années 1940, un chimiste employé par General Electric, aux États-Unis, et un chimiste indépendant en Allemagne ont commencé à synthétiser les matières premières des silicones (Miller, 2006). Le caoutchouc de silicone a été produit à l'échelle commerciale pour la première fois en 1946 aux États-Unis par Dow Corning, une entreprise créée expressément pour exploiter ce marché, et l'entreprise Albright & Wilson Ltd. en a commencé la production au Royaume-Uni en 1954, alors qu'en Russie, la production a débuté autour de 1947 (Roff et Scott, 1971, p. 468-469).

Les caoutchoucs de silicone ont été utilisés dans la fabrication de nombreux produits, comme des adhésifs VTA; dans les produits d'étanchéité et les joints d'étanchéité afin de permettre leur fonctionnement à basse ou à haute température ou en milieu extérieur; dans les textiles de fibre de verre utilisés dans les conduites de chauffage; pour l'isolation électrique; pour les rouleaux et les courroies antiadhésifs; et pour les implants chirurgicaux (Roff et Scott, 1971, p. 467-468).

Les résines de silicone ont été utilisées dans les revêtements et les peintures résistants à la chaleur et hydrofuges; pour l'imprégnation du papier, des textiles et des rubans; et comme agents de démoulage et antiadhésifs (p. ex. moules, intercalaires) (Roff et Scott, 1971, p. 468).

Dans le domaine de la conservation, les silanes, en particulier le tétraéthoxysilane (TEOS, aussi appelé silicate d'éthyle, tétraéthylorthosilicate et ester éthylique d'acide silicique), ont été abondamment

utilisés pour la consolidation de la pierre (Horie, 2010, p. 276-280) (Wheeler, 2005, p. 8; Shashoua, 1995, p. 322-324). Des agents de couplage à base de silane ont été ajoutés à des adhésifs afin d'accroître leur adhésion sur le verre (Horie, 2010, p. 277). L'utilisation d'huiles de silicone a été proposée comme couches de protection sur les métaux et les fossiles et comme agents de démoulage. Des caoutchoucs de silicone VTA ont été employés pour la réparation de vitrail et la fabrication de moules ainsi que pour le calfeutrage de vitrines d'exposition. Enfin, des caoutchoucs sont entrés dans la fabrication de textile de doublage sensible à la pression pour les peintures (Fabri-Sil), et leur utilisation a été proposée comme vernis pour les tableaux (Vani-sil) (Horie, 2010, p. 281; Fieux, 1984).

Caractéristiques, limites et études de vieillissement

Généralités

Les caoutchoucs de silicone vulcanisés conservent leurs propriétés à une vaste gamme de températures (basses et élevées) et possèdent une résistance exceptionnelle à un chauffage prolongé, à la dégradation par oxydation ainsi qu'aux effets de l'ozone et des rayons ultraviolets (Dean, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 467-468). Ils possèdent une bonne résistance chimique, un excellent caractère hydrofuge et des propriétés électriques utiles en raison de leur faible polarité (Miller, 2006; Dean, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 467-468). Il existe des formulations VTA de force faible, moyenne ou élevée mais, en général, leur rendement est inférieur à celui des caoutchoucs organiques à la température ambiante; cependant, à température élevée, les silicones sont aussi, sinon plus efficaces que ces caoutchoucs (Dean, 1990; Roff et Scott, 1971, p. 458). Les silicones possèdent une excellente résistance aux intempéries; ils ne se contractent pas et ne se fissurent pas à long terme en milieu extérieur, ce qui en fait de bons produits d'étanchéité pour la construction (Park *et al*., 2003; Oldfield et Symes, 1996; Dean, 1990).

Puisque les caoutchoucs ont une température de transition vitreuse très basse, ils accumulent de la poussière (Horie, 2010, p. 276). De plus, les caoutchoucs de silicone renferment parfois des huiles de silicone n'ayant pas subi de réaction, qui peuvent migrer dans les matières poreuses ou s'infiltrer dans les joints (Horie, 2010, p. 281; Shashoua, 1995, p. 322-324). Les caoutchoucs libérant de l'acide acétique constituent généralement des adhésifs et des produits d'étanchéité très forts, mais ils peuvent induire la corrosion (Romig et Bush, 1979). Les caoutchoucs libérant des alcools et des amines posent moins de risques de corrosion, mais leur force et leur adhésion peuvent être plus faibles, et leur durcissement, plus lent (Romig et Bush, 1979). Les caoutchoucs dégageant des alcools sont souvent employés pour sceller le verre des vitrines d'exposition des musées (Shashoua, 1995, p. 322-324).

Moules

Les caoutchoucs de silicone sont fréquemment utilisés pour mouler les objets parce qu'ils sont faciles à utiliser et qu'ils produisent de bonnes reproductions. Le caoutchouc utilisé doit avoir une faible résistance à la déchirure afin de réduire les contraintes exercées sur l'objet, un allongement à la rupture élevé pour permettre d'enlever le moule sans causer de dommages, et une bonne dureté afin de conserver sa forme par la suite (Horie, 2010, p. 281). Les caoutchoucs en silicone contiennent des huiles; il n'est donc pas nécessaire d'appliquer un revêtement protecteur entre le moule et l'objet, sauf si le substrat est poreux (comme la pierre), auquel cas il faut utiliser un revêtement protecteur imperméable (Shashoua, 1995, p. 322-324). Cela a été démontré dans une étude portant sur deux caoutchoucs de silicone (Elite Double, Silicoset 105) qui ont été jugés adéquats pour mouler la céramique parce qu'ils produisaient une bonne reproduction, qu'ils ne se contractaient pas après le durcissement, et que leur durcissement n'était pas ralenti par le composé à modeler utilisé; des huiles ont migré dans le substrat, ce qui a engendré des problèmes (Ecclestone et Daniels, 1999).

Résistance microbienne

Une étude a montré que divers silanes possédaient une résistance allant de médiocre à bonne aux attaques microbiennes : le Tegovakon V avait une bonne résistance, le GE Silicone 1048, le Conservare H et le Conservare OH, une résistance moyenne, et le Conservare H40 était le moins résistant (Koestler, 2000).

Papier

Une étude a démontré que l'aminopropylméthyl-diéthoxysilane (AMDES) désacidifie le papier, crée une réserve alcaline et améliore les propriétés mécaniques du papier (Dupont *et al*., 2011). Après un vieillissement hygrothermique (à 100 °C pendant 2, 5 ou 10 jours dans une enceinte en verre close), ces propriétés étaient en partie conservées, mais dans une moins bonne mesure dans le cas des papiers fortement détériorés. L'auteur de l'étude a émis l'hypothèse que le jaunissement sur les papiers fortement détériorés pourrait être attribuable à une réaction entre l'amine

de l'AMDES et les groupes carbonyle de la cellulose contenue dans le papier.

Photographies

Des silicones à un composant à durcissement à l'acide acétique ont été utilisées pour le montage frontal de photographies en couleur sur du Plexiglas. Cette technique (appelée Diasec) a été mise au point dans les années 1970 afin d'améliorer le contraste des couleurs sur les photos. La silicone durcit dans un espace étanche à l'air entre la photo et le Plexiglas grâce à l'humidité contenue dans l'émulsion de gélatine. La silicone était employée en raison de sa stabilité, de son caractère inerte et de sa résistance à la température et à l'humidité relative (HR). Certains problèmes peuvent survenir si des résidus chimiques provenant de tirages traités inadéquatement sont piégés. De plus, ce procédé n'est pas réversible; le Plexiglas devient donc partie intégrante de l'objet, et il peut être égratigné quand il est époussetéé (le Plexiglas accumule facilement la poussière). Une étude a démontré que ce procédé ralentit l'apparition de taches jaunes, mais qu'il favorise les distorsions de la couleur dans le tirage, selon les matériaux photographiques, le procédé de tirage, les matériaux de montage et les conditions d'entreposage (Jürgens, 2001). D'autres études ont montré que les photographies montées à l'aide de ce procédé changent de couleur plus rapidement que les photographies non montées et qu'elles peuvent se délaminer, tandis que les colorants jaune et magenta dans les photos se dégradent de manière visible et que l'acide acétique libéré par la silicone semble accélérer la dégradation (Zorn et Dobrusskin, 2011; Wei, 2008).

Peintures

Au début des années 1980, un adhésif sensible à la pression (ASP) à base de silicone (Fabri-Sil) a été proposé pour le rentoilage des peintures (Fieux, 1984). Sa réactivité était faible, il était chimiquement neutre, il ne migrait pas dans les matières poreuses, il pouvait être appliqué sans chaleur ni pression, et il pouvait être enlevé à l'aide de naphta. Dans une étude portant sur diverses procédures de rentoilage ne faisant pas appel à la chaleur ou à l'humidité, l'application de Fabri-Sil légèrement pressé à la main a produit des joints relativement faibles; cependant, lorsque le produit était activé avec de l'essence de pétrole, la pégosité et la force des joints augmentaient et les résultats obtenus semblaient adéquats à ce moment-là (Phenix, 1985). Le Fabri-Sil semblait montrer aussi une certaine résistance au fluage et aux déformations lorsqu'il était soumis à des contraintes constantes. En dépit de ces avantages, il n'a pas été adopté comme traitement par les restaurateurs en raison de son caractère imprévisible, notamment en ce qui a trait à la perte de force des joints et à la délamination qui se produisaient au fil du temps dans les applications de rentoilage (Belloli, 1993).

Bois

Dans une étude exhaustive portant sur 33 matériaux de comblement des vides dans le bois, le caoutchouc de silicone avec microbilles s'est révélé être le meilleur produit de comblement des vides en raison de son faible module de compression, comparativement aux autres matériaux étudiés (Grattan et Barclay, 1998).

Mousse de polyuréthane

Une résistance accrue à la compression a été observée dans les mousses d'ester de polyuréthane consolidées avec de l'AMDES, tant dans les échantillons vieillis que dans les échantillons non vieillis. Le dépôt est plus important sur les mousses vieillies à cause de la réaction avec les groupements carboxyle qui se forment dans la mousse au cours de la dégradation thermique. La consolidation à l'AMDES a quelque peu changé la couleur de la mousse dans le cas des échantillons non vieillis, contrairement aux échantillons vieillis, qui ont moins changé de couleur après l'application de l'AMDES. La texture naturelle de la mousse était préservée lorsque de l'AMDES était utilisé.

Verre

Diverses silicones (Seurasil 1503, Silygutt, M.S.W.2A, Rhodorsil 3B) se sont révélées adéquates pour réparer le vitrail, étant donné qu'elles demeuraient flexibles et translucides lors des essais de vieillissement par exposition aux intempéries (Bettembourg, 1975, 1972).

Fossiles

Une silicone VTA à durcissement neutre (Silastic RTV 1080) a été mise à l'essai et retenue pour le collage de morceaux détachés d'empreintes dans le mudstone; après que l'adhésif a été soumis à un cycle d'ébullition et de chauffage, il lui a fallu plus de temps pour céder que les adhésifs à base de résines époxy également mis à l'essai, il était facilement réversible par pelage, il était flexible et il ne changeait pas de couleur (Agnew, 1984).

Pierre et maçonnerie

Selon le type utilisé, les alcoxysilanes ont tendance à s'évaporer avant que la réaction d'hydrolyse ne puisse avoir lieu, d'autant plus que cette réaction est habituellement très lente (Mayer, 1999). Il est possible d'améliorer la consolidation en renouvelant constamment l'agent de consolidation sur la surface,

en recouvrant la surface avec une membrane imperméable et en ajoutant des solvants à évaporation lente (Horie, 1987, p. 159).

Une étude portant sur des résines de silicone [Sandsteinverfestiger OH (non hydrophobe), X 54-802 (hydrophobe), Drisil 773 (hydrofuge)] utilisées pour la conservation de la pierre a démontré que le durcissement par polymérisation était accéléré lorsque l'HR augmentait et que la polymérisation était ralentie lorsque l'épaisseur du feuil augmentait, étant donné que le durcissement se fait de l'extérieur du joint vers l'intérieur (Mavrov, 1983). Cette étude a également démontré que les feuils formés par ces produits révélaient beaucoup de défauts (p. ex. trous, déchirures, fissures, zones de tension) lors d'un examen au microscope électronique. En outre, le produit hydrophobe protégeait contre les effets de l'eau et d'une solution saline, mais il vieillissait plus rapidement dans le dioxyde de soufre dans des conditions d'HR élevée. Aucun des produits n'a formé un feuil recouvrant en continu les pores de la pierre; ils formaient plutôt des ponts qui amélioraient les propriétés mécaniques. L'un des résultats les plus importants de cette étude tient du fait que les produits étaient incapables de bloquer les sels hygroscopiques dans les pores de la pierre. Il n'est donc pas recommandé d'utiliser ce genre de produits dans le cadre d'un traitement visant des pierres salines ou insuffisamment dessalées qui pourraient être exposées à l'humidité.

L'HR joue un rôle important dans le durcissement du méthyltriméthoxysilane (Charola *et al*., 1984). Le durcissement doit s'effectuer dans des conditions où l'HR se situe entre 30 et 50 %; si l'HR est supérieure à 50 %, le durcissement sera trop rapide, ce qui donnera lieu à des contraintes. À l'opposé, si l'HR est inférieure à 30 %, une quantité trop grande de résine s'évaporera. La consolidation de poudre de silice fine avec du silane a donné de meilleurs résultats que la consolidation de silice grossière, mais le silane n'a pas permis de consolider de la poudre de marbre, les deux matières n'ayant pas d'affinité chimique. Il faut donc en conclure que la consolidation du marbre détérioré observée avec cette résine est attribuable à un « verrouillage » physique plutôt qu'à un phénomène chimique. Cette propriété est considérée comme un avantage, car le substrat était moins perturbé qu'il ne l'aurait été par certaines formes d'interaction chimique.

Dans une étude portant sur l'application de couches de silicone sur le calcaire, des chercheurs ont constaté que la couche disparaissait rapidement lorsqu'elle était exposée à un milieu extérieur, ce qui était attribuable à une mauvaise adhésion (Zádor *et al*., 1993). Cette observation a été corroborée dans un autre essai systématique mené sur les agents hydrofuges à base d'organosilicium : le caractère hydrofuge conféré dépendait du type de substrat (p. ex. plus élevé pour la brique que pour le calcaire) et de la concentration de l'agent hydrofuge, mais pas du diluant, étant donné que l'eau et les solvants organiques semblaient donner le même résultat (De Witte *et al*., 1996).

Des résines de méthylsilicone à deux composants avec de l'essence minérale et un agent de réticulation ont été utilisées comme agent de consolidation (Ahydrosil Z) et comme liant (Adhesil K1) pour des matériaux de maçonnerie employés en Pologne (Zielecka et Rościszewski, 1988). Les produits conféraient un caractère hydrofuge et une résistance au gel, aux sels corrosifs et à d'autres agressions de nature chimique (p. ex. pluies acides). De plus, ils ne changeaient pas la couleur ou l'apparence de la surface de la maçonnerie. Enfin, la pénétration des solvants dans la maçonnerie demeurait inchangée, ce qui rendait possibles des imprégnations subséquentes.

Une autre étude semblait indiquer que les agents de consolidation à base d'organosilanes pénétraient mieux que les agents de consolidation à base de résines époxy et procuraient une meilleure perméabilité aux gaz et aux vapeurs, mais qu'ils n'assuraient pas une consolidation aussi efficace que les résines époxy (Kotlik et Zelinger, 1983). Les deux types d'agents de consolidation conféraient un caractère hydrofuge aux substrats, mais ne fixaient pas les sels hydrosolubles dans la pierre.

Une étude a été menée sur 25 agents de consolidation, y compris sur des produits désignés comme étant des silicones, des silanes, des résines époxy, des acryliques, des fluorures et un polyuréthane, afin d'évaluer leurs capacités de consolidation sur du grès et du calcaire (résistance à la traction et résistance à la compression) (Clifton, 1984). Les quelques agents de consolidation qui ont été jugés adéquats ont été soumis à d'autres essais, notamment un essai d'exposition à un acide appliqué goutte à goutte, à un essai de stabilité au gel-dégel et à un essai de dilatation thermique afin d'en déterminer l'impact sur la profondeur de pénétration, l'apparence, la profondeur de l'érosion et le changement de couleur. Les silanes et les silicones n'ont pas donné de bons résultats. De manière générale, les silanes ont été incapables de consolider la pierre, mais ils pénétraient bien et procuraient une bonne apparence, tandis que les silicones assuraient une consolidation très faible. C'est la résine époxy qui a donné les meilleurs résultats. Fait intéressant,

les chercheurs d'une autre étude ont noté que la consolidation avec un silane (méthyltriéthoxysilane) rendait la pierre poreuse résistante à la désintégration lorsqu'elle était exposée à des cycles de gel-dégel, tandis que les résines acryliques et les résines époxy conféraient peu de protection à cet égard (Nishiura *et al*., 1984).

Une évaluation de divers agents de consolidation utilisés sur un calcaire affaibli d'origine maya, notamment le Conservare H [mélange de silicate d'éthyle et de méthyltriéthoxysilane (Stein *et al*., 2000)], a montré que ce produit ne protégeait pas contre l'érosion (Kumar et Ginell, 1995). Une résine époxy et un mélange de résine acrylique et de résine époxy ont donné de meilleurs résultats. Une autre étude a démontré que les silanes étaient assez efficaces dans le cas du grès « parce qu'ils pénètrent profondément, améliorent la résistance mécanique et la durabilité, et sont relativement sans danger et faciles à appliquer » [traduction] (Ginell *et al*., 1995, p. 824). Cependant, dans le cas du grès détérioré, les résines époxy donnent de meilleurs résultats que les acryliques ou les silanes.

Dans une étude portant sur divers agents de consolidation [silane (type non précisé), silicate d'éthyle, résine époxy, polyester, poly(chlorure de vinyle) (PCV) et polyacrylamide] utilisés sur un calcaire français et soumis à un vieillissement naturel (pendant 18 ans), tous les traitements avaient perdu en partie leur effet de consolidation en surface, mais pas nécessairement à l'intérieur de la pierre (Vallet *et al*., 2000). Les produits ayant le mieux conservé leur effet de consolidation superficielle étaient le silane et la résine époxy, tandis que le PCV, le polyester et le polyacrylamide n'étaient pas aussi efficaces à cet égard. L'efficacité du silane et de la résine époxy a été attribuée à une diminution de la porosité et de la capillarité. Le silicate d'éthyle était sensible à un milieu acide et partiellement hydrolysé.

Une étude comparative a été menée sur trois traitements à base d'organosilicium pour la pierre [Paraloid B-72 avec Dri-Film 104 (méthylsilicone), Rhodorsil R893 (méthylphénylsiloxane) et Strengthener H (silicate d'éthyle avec alkylalcoxysilane)] afin de déterminer leur absorption d'eau après 20 ans d'exposition sur le terrain; les chercheurs de l'étude ont également comparé le spectre infrarouge à transformée de Fourier des agents de consolidation d'origine et des agents de consolidation après vieillissement (Rossi-Manaresi *et al*., 1995). Le mélange de Paraloid B-72 et de Dri-Film 104 était toujours efficace et demeurait un agent de préservation durable pour un tombeau en grès; cependant, les chercheurs ont constaté une altération chimique considérable du produit au bout de 20 ans. Le Rhodorsil R893 avait subi moins d'altération chimique, avait conservé son caractère hydrophobe et possédait toujours une bonne capacité d'agrégation. Le Strengthener H s'est montré moins efficace et moins durable que les deux autres produits; son hydrophobicité était plus faible, et il était friable.

Lorsque des chercheurs ont effectué la consolidation de blocs de sable de quartz et de poussière de marbre dans le cadre d'un traitement séquentiel (le silicate d'éthyle d'abord, suivi du Paraloid B-72 puis du méthyltriméthoxysilane) et qu'ils ont comparé les résultats du traitement avec ceux obtenus en utilisant un mélange des trois produits, les différences constatées dans les propriétés (profondeur de pénétration, absorption d'eau, densité apparente, transmission de la vapeur d'eau et cristallisation des sels) n'étaient pas tellement grandes entre les deux types de traitement (Matero et Oliver, 1997). Cependant, la consolidation s'est avérée un peu plus efficace avec le mélange des trois produits qu'avec le traitement séquentiel. La résine acrylique ajoutée au silane joue un rôle d'agent mouillant, accroît la viscosité, réduit l'évaporation et favorise une pénétration plus profonde dans les pores (Shashoua, 1995, p. 322-324).

Lorsque des chercheurs ont évalué l'angle de contact, l'absorption d'eau par capillarité, la perméabilité à la vapeur et le changement de couleur de cinq pierres différentes (marbres de Drama et de Thassos, pierre poreuse de Kilkis, grès de Turquie et brique) – toutes recouvertes de cinq couches de polymères différentes [Bayer LF (copolymère de siloxane et d'acrylique), Rhodorsil 224 (polyméthylsiloxane), Wacker 290 (mélange de silanes et de siloxanes), Akeogard P (polyéther perfluoré), Florsam 39 (fluoro-organosilane)] – ils ont constaté que le copolymère de siloxane et d'acrylique a donné les meilleurs résultats dans l'ensemble, sauf dans le cas de la brique (Tsakalof *et al*., 2007).

En 2005, un article de synthèse sur l'utilisation des alcoxysilanes pour la consolidation de la pierre a été publié; son auteur y faisait l'historique de l'utilisation de ces produits et faisait état des connaissances en la matière à l'époque (certains éléments ont été cités précédemment dans la présente section) (Wheeler, 2005). Selon cet article, le TEOS ou le silicate d'éthyle a été proposé dès 1861 pour la consolidation de la pierre, tandis que l'utilisation des alkylalcoxysilanes ne remonte qu'à la fin des années 1940; cependant, dans les années 1970, il y avait des opinions contradictoires quant à leur efficacité.

Wheeler a noté que les alcoxysilanes étaient prisés comme agents de consolidation pour la pierre, car leurs matières premières avaient une faible viscosité et que, une fois durcis, ils résistaient à la chaleur, à l'oxydation et à l'exposition à la lumière. Leur comportement est plutôt complexe, mais en somme, la composition et la structure de la pierre peuvent avoir un impact sur la catalyse, la gélification, le mûrissement et le séchage de ce type d'agents de consolidation. Toujours selon l'auteur, les pierres qui fonçaient après avoir été traitées avec ces produits étaient habituellement des pierres contenant certains minéraux ou encore des pierres à pores ou à matrices fines. De manière générale, comme il a déjà été mentionné, les pierres de silicate (grès) sont davantage renforcées que les pierres de carbonate (calcaires). Des expériences de laboratoire portant sur l'impact des cycles de gel-dégel et de conditions humides-conditions sèches ont révélé que les produits cédaient après seulement quelques cycles; cela indique qu'il faut examiner et retraiter souvent les pierres sur le terrain. Wheeler a également affirmé que, dans bien des cas, la consolidation avec des alcoxysilanes ne permet pas de stabiliser les pierres qui s'écaillent, mais que le traitement est efficace si les écailles sont suffisamment petites. De la même manière, si les espaces intergranulaires dans la structure de la pierre sont assez petits, la consolidation peut être efficace. L'efficacité du traitement de consolidation avec un alcoxysilane est généralement tributaire de la composition originale de la pierre, de son état et de la possibilité d'éliminer ou non les causes de la détérioration.

Solubilité et capacité d'enlèvement*

Les silicones ont une très faible énergie de surface, ce qui explique leur capacité de mouiller à peu près n'importe quelle surface avec laquelle elles entrent en contact (Cagle, 1973, p. 1-13). Par conséquent, une surface contaminée par une silicone aura une très faible énergie de surface, et elle sera donc difficile à mouiller avec un adhésif, une peinture ou un agent nettoyant. Comme les silicones sont très stables chimiquement et très résistantes à la chaleur, elles sont difficiles à enlever d'une surface et ne devraient jamais être employées à moins que « d'autres traitements moins permanents n'aient été envisagés » [traduction] (Shashoua, 1995, p. 322-324; Cagle, 1973, p. 1-13). Il existe maintenant des silicones qu'il est possible de peindre; leur énergie de surface serait plus élevée.

Le caoutchouc de silicone non réticulé est soluble dans les hydrocarbures, dans les hydrocarbures chlorés, dans certaines cétones et dans certains esters et éthers, tandis que les résines non durcies sont solubles dans divers liquides organiques comme le toluène, le xylène, l'essence de pétrole et l'acétate de *n*-butyle (Roff et Scott, 1971, p. 461).

Le caoutchouc vulcanisé gonfle sous l'effet des liquides non polaires (p. ex. hydrocarbures), des hydrocarbures chlorés, des esters, de la méthyléthylcétone, de certains fluides à la silicone, du disulfure de carbone et de l'eau chaude (> 70 °C; Roff et Scott, 1971, p. 461). Les résines durcies gonflent sous l'effet du toluène et de certains autres hydrocarbures, du tétrachlorure de carbone, du chlorure de méthyle, de l'acétone, de la méthyléthylcétone, de l'ammoniac liquide, du dioxyde de soufre liquide et de l'acide acétique glacial (Roff et Scott, 1971, p. 461).

Un mélange très puissant d'acide alkylbenzènesulfonique et de dichlorométhane, de toluène et de xylène a été proposé pour enlever de la vieille silicone sur des objets en verre, mais ce mélange n'était pas recommandé pour les surfaces métalliques, pour certains verres, pour certaines céramiques cuites à basse température contenant des carbonates ou encore pour les matériaux poreux sensibles à l'acide, comme le papier et les textiles (Bradshaw, 1992; Erhardt, 1983). De plus, le traitement doit être suivi d'un rinçage. Aucun impact sur le Plexiglas, le Lexan, le Mylar ou le polyéthylène après contact n'a été constaté, mais ces matériaux pourraient se fendiller ultérieurement à cause de l'exposition à ces solvants.

Une résine de silicone prépolymérisée est plus facile à enlever de la pierre qu'une résine de silicone polymérisée à partir d'un monomère, car la première se dépose sur la pierre en formant peu de liaisons avec celle-ci, tandis que la seconde forme un réseau irréversible autour des particules constituant la pierre (Charola *et al.*, 1984b).

* Mise en garde : Même si les solvants mentionnés dans la présente section peuvent dissoudre le polymère ou l'adhésif en question, ils ne sont pas nécessairement recommandés pour des traitements de conservation. Certains peuvent être extrêmement toxiques ou peuvent contenir des éléments (comme le chlore) susceptibles d'endommager les matériaux présents dans l'objet. Avant d'acheter ou d'utiliser un solvant, il est important de se renseigner sur sa toxicité et sa nature chimique. Il est fortement recommandé de tester tous les solvants avant de les utiliser afin de s'assurer qu'ils n'auront pas d'effet indésirable sur l'objet.

7 Le choix des adhésifs ou des agents de consolidation dans le cadre de traitements

Introduction

Carole Dignard, Institut canadien de conservation

Le chapitre précédent fournit la description des propriétés techniques et des caractéristiques des différentes classes d'adhésifs, des restrictions qui leur sont propres et des résultats d'études de vieillissement. Le présent chapitre, quant à lui, traite des critères de sélection des adhésifs lors de traitements. Le choix et l'utilisation d'adhésifs ne constituent, en fait, qu'un élément du processus décisionnel dans le cadre de travaux visant à conserver et à restaurer des biens culturels (**figure 1**). Les objectifs du présent chapitre consistent à examiner les approches possibles qui peuvent être adoptées et les solutions les plus courantes, ainsi qu'à illustrer, à l'aide d'exemples, le processus décisionnel lorsqu'un adhésif doit être choisi en fonction de traitements particuliers. De nombreux adhésifs de nature semblable sont utilisés dans les diverses spécialités du domaine de la conservation et l'introduction du présent chapitre porte donc sur les propriétés et les méthodes d'application qui leur sont communes. Les sections subséquentes traitent de la sélection des adhésifs selon les critères particuliers de chaque spécialité.

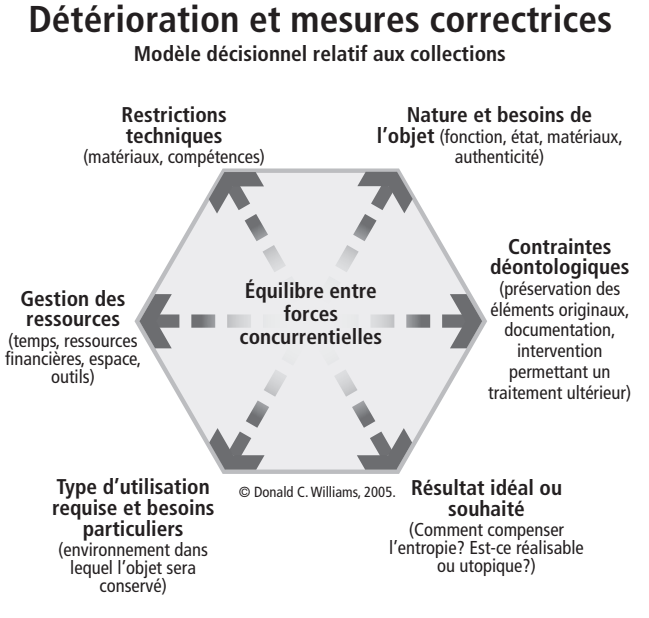


Figure 1. Processus décisionnel en matière de conservation et de restauration de biens culturels (Williams, 2011).

Principes généraux

Les principes déontologiques dans le domaine de la conservation fournissent les règles de base qu'un restaurateur doit suivre pour déterminer si un adhésif est adéquat, notamment :

- l'adhésif et le traitement ne doivent pas avoir d'effets négatifs pour l'objet;
- l'adhésif doit être chimiquement stable et conserver de bonnes propriétés en vieillissant;
- l'adhésif doit pouvoir être enlevé ultérieurement et le traitement doit être réversible (il faut être en mesure de justifier toute dérogation à cette règle);
- il est préférable de limiter l'intervention à ce qui est nécessaire pour stabiliser l'œuvre, plutôt que d'effectuer un traitement envahissant (considérer les options autres que l'utilisation d'adhésifs; points de couture, montage sans adhésif, etc.);
- la réparation faite à l'aide de l'adhésif devrait normalement être moins résistante que le matériau traité. Ainsi, si l'ensemble est ultérieurement soumis à des contraintes, ce sera la réparation qui subira une défaillance et non le matériau d'origine;
- l'adhésif doit être compatible avec les autres matériaux utilisés dans toutes les étapes du traitement de l'objet; de plus, la présence d'adhésif ne doit pas empêcher de traiter de nouveau l'objet si nécessaire.

Outre ces principes généraux, le choix d'un adhésif, quelle que soit la spécialité, est toujours tributaire de la nature de l'objet, de son état, du type de traitement requis ainsi que de l'utilisation finale de l'objet (le type d'utilisation et son emplacement). Des essais avant traitement aident à cerner les choix.

Propriétés générales des adhésifs

Quelle que soit la spécialité en conservation, avant d'entreprendre un traitement nécessitant l'utilisation d'un adhésif, il est nécessaire d'évaluer les propriétés de l'adhésif pertinentes au résultat recherché.

Les sections qui suivent comprennent une description de certaines propriétés qui sont pertinentes à plusieurs spécialités.

LA FORCE

Il est essentiel d'évaluer le niveau de solidité du joint que le traitement visera à obtenir; par exemple déterminer si le joint subira une charge ou non et le type de contraintes présentes ou celles qui pourraient ultérieurement être exercées. Les zones endommagées qui ont été réparées à l'aide d'adhésifs doivent résister aux contraintes exercées durant la manipulation de l'objet, son exposition et son transport et, dans certains cas, à celles associées à des variations d'humidité relative et de température. Sinon, les dommages se reproduiront ou réapparaîtront peu à peu.

LA FLEXIBILITÉ

La flexibilité d'un feuil adhésif est liée à la température de transition vitreuse (T_v) du matériau (voir le chapitre 4) : les polymères ayant une T_v plus basse sont plus flexibles et donc ont cet avantage sur les polymères plus cassants ayant une T_v plus élevée. Toutefois, les adhésifs ayant une basse T_v dont la valeur est proche ou inférieure à la température ambiante demeurent collants; ils courent donc le risque de coller à des matériaux adjacents, ou encore, de retenir les saletés en surface. La flexibilité de la zone réparée dépend non seulement de la T_v du polymère dont est constitué l'adhésif, mais aussi de l'épaisseur de la couche d'adhésif, du degré de rétention du solvant et du degré de pénétration de l'adhésif dans le substrat. Si un matériau de doublage est utilisé, son épaisseur et sa flexibilité intrinsèque auront également un impact important sur la flexibilité globale de la zone réparée.

LA VISCOSITÉ ET LA CAPACITÉ DE PÉNÉTRATION

Pour certains traitements, il est souhaitable d'utiliser un adhésif ou un agent de consolidation d'une certaine viscosité. Dans le cas des adhésifs thermodurcissables comme les résines époxy, la viscosité est habituellement déterminée par le choix du produit en lui-même; sa dilution ou l'ajout d'agents modifiants altérerait le comportement du produit lors de la polymérisation ainsi que les propriétés du feuil adhésif. Par contre, en ce qui a trait aux adhésifs thermoplastiques à base de solvants ou à base d'eau, la viscosité est le plus souvent régie par le choix du ou des solvants ou des agents dispersants, par la concentration de la solution adhésive (c'est-à-dire son degré de dilution), ou par l'utilisation d'additifs (agents épaississants). Souvent, la porosité du substrat et le degré de pénétration de l'adhésif font aussi partie des éléments clé du traitement : dans certains cas, une adhérence superficielle est requise, tandis que dans certains autres, il est souhaitable d'obtenir une pénétration plus profonde de l'adhésif dans le substrat. Les facteurs qui influent sur le degré de pénétration, outre la nature même de l'adhésif, comprennent la méthode d'application et, dans le cas de l'application par voie liquide, le solvant choisi, la viscosité ainsi que le temps de séchage.

LES RÉSIDUS EN SURFACE ET LE LUSTRE

La surface de l'objet traité ne doit présenter aucune trace d'adhésif résiduel qui produirait un lustre. En outre, l'adhésif ne doit pas altérer l'aspect initial de la surface (par exemple en faisant varier l'indice de réfraction). L'application d'une solution ou d'un solvant afin d'éliminer l'excès d'adhésif ne doit entraîner aucune modification des caractéristiques de la surface.

LE TEMPS DE SÉCHAGE

Il peut être utile de choisir un adhésif ayant une courte période de séchage, par exemple lorsqu'il est impossible d'appliquer de la pression ou des poids pendant de longues périodes. Des produits ayant de plus longues périodes de séchage peuvent être utiles lorsque des structures complexes doivent être alignées avec précision. Les adhésifs pouvant être appliqués au moyen de différentes méthodes et selon divers paramètres (par exemple en employant différents solvants) permettent ainsi de varier leurs périodes de manipulation et temps de séchage selon les besoins, ce qui les rend très polyvalents.

L'APPLICATION : ÉLÉMENTS GÉNÉRAUX

L'application des adhésifs thermodurcissables, comme les résines époxy, est habituellement effectuée uniquement par voie liquide, à l'aide d'un pinceau ou par action capillaire par exemple. Toutefois, dans le cas des adhésifs thermoplastiques, il existe souvent diverses méthodes d'application, chacune pouvant influer grandement sur le traitement et plus particulièrement sur les propriétés de l'adhésif (le temps de séchage, la force du joint obtenu ainsi que le degré de pénétration de l'adhésif). Les adhésifs de ce type peuvent être appliqués sous forme liquide (solution ou dispersion) en utilisant un pinceau, une seringue, un tube applicateur, un pistolet vaporisateur ou un nébulisateur à ultrasons; ils peuvent aussi être appliqués à l'état sec, sous forme de feuils, lesquels peuvent être réactivés à la chaleur ou au moyen de solvants ou de vapeurs de solvant. Ces diverses

méthodes d'application présentent des avantages et des inconvénients, et ces questions sont abordées dans les sections qui suivent.

L'application d'un adhésif liquide

La pratique la plus courante consiste à appliquer l'adhésif sous forme liquide (en solution ou sous forme de dispersion), d'habitude au moyen d'un pinceau. De manière générale, la nature du solvant ou du liquide de dispersion (généralement de l'eau) influe grandement sur les résultats obtenus. Elle peut en effet modifier la force du joint, la flexibilité, la période de manipulation, le temps de séchage, la viscosité ainsi que le mouillage (Hansen, 1995). La décision d'employer un solvant polaire, comme l'eau ou l'éthanol, ou un solvant non polaire peut avoir d'importantes répercussions sur les résultats obtenus pour les substrats tant organiques qu'inorganiques. Les solvants doivent être mis à l'essai afin de s'assurer qu'ils ne causent pas d'effets négatifs ou indésirables. Il est important de maintenir un bon contact entre les différents éléments durant la période de séchage. Le **tableau 1** résume les avantages et les inconvénients propres à ce mode d'application.

La réactivation à la chaleur ou au moyen de solvants ou de vapeurs de solvant

L'application d'adhésif par réactivation consiste en l'utilisation d'un feuil adhésif, employé tel quel ou appliqué sur un matériau de doublage : le feuil, ou le doublage avec feuil d'adhésif, est placé sur l'objet à traiter, puis réactivé au moyen de chaleur, de solvants, ou de vapeurs de solvants, ce qui créé le joint. Il existe peu de feuils adhésifs commerciaux prêts à l'emploi qui conviennent aux applications en conservation, le BEVA 371 Film en étant un. Toutefois, la plupart des adhésifs peuvent être moulés sous forme de feuils, notamment les polymères acryliques, les poly(acétates de vinyle), les copolymères d'acétate de vinyle et d'éthylène,

Tableau 1. Application d'un adhésif sous forme liquide (solution ou dispersion) – avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
Adhésifs à base d'eau (en solution ou sous forme de dispersion)	
- l'eau peut ramollir des matériaux organiques rigides ou déformés, améliorant ainsi le contact - application rapide, avec un minimum de préparations - évite l'utilisation de chaleur ou de solvants - dangers minimes pour la santé - nécessite très peu d'outils et de matériel - choix de produits présentant une variété de propriétés - large éventail de viscosités possibles (permet de varier la viscosité en vue de son effet sur la pénétration) - les réparations faites à l'aide de dispersions sont peu affectées si de l'eau est utilisée par la suite pour traiter les zones adjacentes	- problèmes possibles si le substrat, un constituant (colorant, liant) ou un corps étranger (saletés, taches) est sensible à l'eau (par exemple : dissolution, cernes, taches) - problèmes possibles liés à l'absorption de l'eau par les substrats organiques : risques de gonflement, de retrait ou de désalignement - possibilité que l'adhésif pénètre trop ou tache - manipulation et positionnement de l'adhésif liquide ou collant peuvent être difficiles à réaliser (risque de maculage) - mouillage difficile en présence d'huiles - utilisation requise de serre-joints ou de poids afin de créer le contact nécessaire à une bonne adhérence - les additifs peuvent affecter la stabilité des dispersions (recherche requise)
Solutions non aqueuses	
- évite l'utilisation d'eau et l'emploi de chaleur - application rapide, avec un minimum de préparation - choix de produits présentant une variété de propriétés - utilisation possible de divers solvants, ce qui permet de varier certaines propriétés comme la vitesse d'évaporation, la viscosité, etc.	- possibilité que l'adhésif pénètre trop, tache ou provoque un raidissement - ramollissement possible des matériaux sensibles aux solvants (certains liants de peintures) - manipulation et positionnement de l'adhésif liquide peuvent être difficiles à réaliser - période de manipulation restreinte, selon la vitesse d'évaporation du solvant - utilisation requise de serre-joints ou de poids afin de créer le contact nécessaire à une bonne adhérence - dispositif d'aspiration des vapeurs requis, en raison des risques pour la santé

les copolymères d'éthylène et d'acétate de vinyle et les mélanges de tous les précédents avec des adhésifs d'autres natures (par exemple des éthers de cellulose). Des papiers de soie fixables à chaud sont aussi disponibles dans le commerce, mais la plupart n'ont pas fait l'objet d'essais rigoureux pour savoir s'ils conviennent en conservation. Les avantages de l'adhésion par réactivation comprennent l'absence ou la faible quantité de liquide, moins de risques de pénétration ou de taches, moins de risque de maculage accidentel durant le positionnement de l'adhésif et, dépendant de la méthode de réactivation et en particulier dans le cas de la réactivation à la chaleur, une durée plus courte de serrage. Bien qu'ils ne soient pas couramment utilisés en conservation, les papiers de soie réhumectables, s'ils s'avèrent stables, peuvent constituer des solutions intéressantes dans le cas des œuvres sur papier et des photographies, car leur emploi fait appel à de très petites quantités d'humidité, ce qui réduit les problèmes associés au gonflement et au rétrécissement lors du traitement.

La réactivation thermique

La réactivation thermique est une méthode qui utilise la chaleur produite par des instruments manuels (p. ex. spatules chauffantes) ou des tables chauffantes sous vide (surtout utilisées pour traiter les peintures) pour ramollir l'adhésif, tout en appliquant une pression qui permet de maintenir le contact entre les surfaces, et permettre l'adhésion lors du refroidissement. Afin d'obtenir un joint solide, l'adhésif doit suffisamment ramollir pour créer un nouveau joint. Les températures d'activation se situent généralement dans la plage de 60 à 80 °C, selon la nature de l'adhésif. Il faut assurer un contrôle rigoureux de la température. L'innocuité de l'utilisation de la chaleur doit être vérifiée au préalable, car certains matériaux sont thermosensibles. Le **tableau 2** résume les avantages et les inconvénients propres à cette méthode de réactivation.

La réactivation au moyen d'un solvant ou de vapeurs de solvant

Ce mode de réactivation fait appel à un solvant ou à des vapeurs de solvant pour ramollir le feuil adhésif, ce qui permet un fixage à froid. Il faut généralement prendre des mesures de contrôle de l'évaporation, par exemple recouvrir l'endroit sous traitement par une feuille de plastique. Le solvant peut être appliqué à l'aide d'un pinceau ou d'une seringue, souvent lorsque tout est en place, après le positionnement des éléments à réparer et du matériau de doublage recouvert d'adhésif. Le solvant peut aussi être appliqué à l'aide d'un pistolet vaporisateur ou d'un nébulisateur à ultrasons. Une autre solution consiste à mettre un matériau absorbant (buvard, tampon d'ouate) en contact avec le doublage lui-même en place contre l'endroit à réparer, ce qui permet d'appliquer de petites quantités de solvant pour réactiver le feuil adhésif. L'utilisation d'une couche barrière semi-imperméable, comme le Gore-Tex, peut être utile s'il est important d'empêcher un solvant liquide d'atteindre l'objet par capillarité. Pour réactiver l'adhésif au moyen de vapeurs de solvants, il est possible d'utiliser une enceinte

TABLEAU 2. RÉACTIVATION THERMIQUE – AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Avantages	Inconvénients
- positionnement facile, surtout dans des espaces restreints (aucune présence d'adhésif à l'état liquide lors du positionnement; période de manipulation illimitée) - possibilité d'exécuter les travaux à la verticale (aucun écoulement). - aucun dispositif de serrage nécessaire; contrôle manuel de la pression exercée à l'aide de la spatule - l'adhésif prend en peu de temps (question de secondes) - degré de pénétration de l'adhésif contrôlé en ajustant la température et la durée d'exposition à la chaleur - peu de pénétration par capillarité dans le matériau de doublage (selon la nature de l'adhésif) - possibilité de préparer d'avance le feuil adhésif ou le matériau de doublage (facilite l'exécution de travaux *in situ*) - évite l'emploi de solvants et n'exige pas l'utilisation d'un système d'aspiration des vapeurs; les risques pour la santé sont généralement faibles - aucune présence d'eau	- effets de la chaleur (potentiellement néfastes pour certains matériaux) - effets de la pression (potentiellement néfastes pour certains matériaux ou certaines surfaces) - préparer les feuils demande plus de temps que l'application de l'adhésif liquide au pinceau - méthode qui requiert habituellement accès au dos de l'objet (il est préférable d'appliquer la chaleur à travers le matériau de doublage)

à vapeur lors de la réparation. Il est aussi possible de créer une « mini-enceinte » localement, en utilisant un flacon inversé au-dessus de l'endroit à réparer, au fond duquel est coincé un buvard légèrement humecté de solvant. Le ramollissement de l'adhésif et la formation d'un bon joint requièrent plus de temps lorsque des vapeurs de solvant sont utilisées, comparativement à du solvant liquide. Toutes les méthodes susmentionnées nécessitent l'application d'une certaine pression (poids, serre-joints, vide, etc.) pendant la réactivation et le séchage.

Le **tableau 3** présente un résumé des avantages et des inconvénients généraux pour ces méthodes de réactivation. Les facteurs qui influent sur les résultats finaux comprennent la nature du solvant et les quantités utilisées, l'efficacité des mesures de réduction de l'évaporation qui permettent un ramollissement suffisant de l'adhésif et l'application de pressions adéquates qui assurent un bon contact entre les surfaces.

La vaporisation des solutions

La vaporisation est une des techniques habituelles pour appliquer des solutions adhésives de faible viscosité lorsqu'il est important d'obtenir un dépôt uniforme sur une grande surface, par exemple dans le cas de traitements de consolidation en surface (**tableau 4**).

La nébulisation à ultrasons

Les techniques de nébulisation à ultrasons sont utiles lorsqu'il s'agit d'appliquer des solutions de faible viscosité à la surface des objets, particulièrement dans les cas de la consolidation de pigments pulvérulents (Michalski et Dignard, 1997) (**tableau 5**).

Tableau 3. Réactivation au moyen d'un solvant ou de vapeurs de solvant – avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
- aucune présence d'eau et de chaleur - aucun gonflement ou retrait des substrats organiques si un solvant non polaire est utilisé - contrôle de la quantité de solvant et de la zone d'application - possibilité de créer une bonne adhérence en surface - possibilité d'exécuter les travaux à la verticale (aucun écoulement d'adhésif) - courtes périodes de serrage possibles, selon la pégosité du produit, la période d'évaporation du solvant, etc. - possibilité d'application de faibles pressions	- préparer les feuils peut prendre beaucoup de temps - dispositif d'aspiration des vapeurs requis, en raison de risques pour la santé - risques possibles d'appliquer un excès de solvant, ce qui pourrait entraîner une pénétration excessive de l'adhésif ou des taches - application d'une certaine pression est requise - un certain temps est requis pour permettre le ramollissement de l'adhésif - risque d'obtenir un joint faible si l'adhésif ne ramollit pas suffisamment ou si le contact entre les surfaces est faible - les buvards ou les couches barrière semi-imperméables masquent la zone sous traitement durant le séchage de l'adhésif

Tableau 4. Vaporisation (mécanisme pneumatique) – avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
- application uniforme sur de grandes surfaces est habituellement possible - aucune trace laissée par les soies du pinceau - application rapide - possibilité d'appliquer un revêtement de viscosité moyenne	- les gouttelettes vaporisées sont projetées à la surface de l'objet; les surfaces fragiles pourraient ne pas supporter la force de l'impact - difficulté de contrôler la dilution de la solution à son impact, car il y a évaporation de la solution au cours de l'application (trajet de la buse à la surface de l'objet) - applications ponctuelles et précises sont difficiles à exécuter, étant donné la distance à maintenir entre la buse et l'objet afin de réduire la force de l'impact (le masquage est alors nécessaire) - risques de séchage de la solution d'adhésif avant d'obtenir l'effet prévu (p. ex. avant qu'il y ait suffisamment de zones de contact ou suffisamment de pénétration de l'adhésif, etc.) - difficulté de produire une couche adhésive uniforme due à la variation dans la taille des gouttelettes projetées et l'irrégularité du jet

Tableau 5. Nébulisation à ultrasons – avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
- force d'impact minime du jet de gouttelettes; technique d'application très délicate - régulation de l'application au moyen de la buse manuelle de petite taille (celle-ci est maintenue à environ 1 cm de l'objet et le faisceau de 1 cm de diamètre permet de traiter des zones précises) - taille des gouttelettes nébulisées de 10 à 100 fois inférieure à celle des gouttelettes vaporisées au pistolet - réduction des risques de maculage ou de délogement des éléments de surface (pigments pulvérulents)	- seules des solutions peu visqueuses (donc souvent très diluées) peuvent être nébulisées; les adhésifs sous forme de dispersion peuvent être difficiles à nébuliser - plusieurs couches doivent habituellement être appliquées; le procédé est donc lent - la surface d'application du jet de gouttelettes est petite (environ 1 cm de diamètre); le procédé est donc lent - technique efficace uniquement pour consolider des particules (inefficace dans les cas d'écailles)

Les œuvres sur papier

Sherry Guild, Institut canadien de conservation et Anne F. Maheux, Bibliothèque et Archives Canada

Une œuvre sur papier peut être définie grâce à plusieurs critères, notamment la composition, la nature et la méthode de fabrication du support papier, ainsi que les matériaux, la technique et la fabrication de l'image ou du texte. Le choix d'un traitement aux adhésifs doit tenir compte de tous ces aspects ainsi que de l'état de l'œuvre et des objectifs du traitement.

Traditionnellement, les restaurateurs de papier ont utilisé divers adhésifs aqueux d'origine naturelle, que ce soit des amidons et des gommes, comme l'amidon de blé, le *funori* et la gomme arabique, ou encore des protéines, comme la gélatine, la colle de parchemin et l'isinglass (Fuchs, 2008). Les adhésifs synthétiques et les dérivés de cellulose sont prisés pour leurs propriétés uniques, dont leur solubilité dans l'eau et les solvants organiques, leur résistance à la biodégradation et la stabilité de leur pH (Feller et Wilt, 1990; Down *et al*., 1996). Ces adhésifs naturels et synthétiques ont été employés seuls ou en mélange dans le cadre des traitements.

Propriétés et état de l'objet influant sur le choix de l'adhésif

Les caractéristiques physiques du papier sont notamment la résistance, la densité, la texture, la couleur et le fini de surface. Ces attributs influent sur le choix de l'adhésif et des matériaux auxiliaires utilisés dans une opération donnée, comme le décrivent les sections qui suivent.

La résistance

La résistance de la feuille varie selon le type de fibre, le degré de réduction en pâte et de raffinage en pile, la présence d'impuretés, le traitement chimique et les additifs. Les papiers exceptionnellement résistants, comme le papier couché lourd, le carton bristol ou le papier cartonné, peuvent nécessiter un adhésif possédant de bonnes propriétés d'adhésion. Si l'adhésif doit bien coller au substrat en papier, il ne doit pas être trop fort (au risque de causer des dommages) ni trop faible (au risque de fragiliser l'objet).

La porosité

La porosité influe sur l'absorption de l'adhésif, laquelle peut produire des cernes et des taches sur les feuilles de papier poreux en raison du mouvement des produits de détérioration solubles. Les papiers moins poreux peuvent résister à l'adhésion; il en résulte donc un joint plus faible entre le substrat et les matériaux utilisés pour la réparation, le doublage ou la pose de charnières.

La flexibilité

La flexibilité varie selon la qualité des fibres entrant dans la fabrication du papier et selon la présence de lignine ou d'autres impuretés. Les supports flexibles souvent manipulés nécessitent des adhésifs flexibles, comme une combinaison de pâte d'amidon de blé (PAmB) et de méthylcellulose (MC). Les papiers friables et dégradés peuvent exiger un support plus robuste afin de réduire au minimum les dommages ultérieurs; la flexibilité de l'adhésif ne constitue pas une préoccupation dans ce cas.

La couleur et le fini de surface

La couleur et le fini de surface ont une incidence sur la sensibilité du substrat à l'eau ou aux solvants. L'application d'adhésifs sur des surfaces fortement calandrées ou enduites peut produire des cernes ou des taches. L'utilisation d'adhésifs réactivés par un solvant sur des papiers teints est à éviter pour les mêmes raisons.

Les matériaux et leurs caractéristiques uniques

L'eau, les solvants, la chaleur, le poids et la pression, qu'ils soient utilisés ensemble ou séparément dans le cadre d'un traitement aux adhésifs, peuvent avoir un effet indésirable sur les matériaux utilisés. Par exemple, un adhésif inadéquat peut nuire à la qualité de la surface de l'objet (brillante ou mate).

Les matériaux écaillés ou friables peuvent poser des difficultés, tant pour la réparation ou le doublage du substrat que pour la consolidation des matériaux. Un pastel non fixé est facilement perturbé par la manipulation de la surface, alors que les couches de gouache écaillées peuvent être perturbées et endommagées encore davantage par une méthode et des matériaux de traitement inadéquats. Les adhésifs aqueux peuvent laisser des cernes irréversibles sur un matériau mat, comme la gouache ou la détrempe.

Les caractéristiques propres à divers matériaux peuvent également poser des difficultés pendant le traitement. Les matériaux à base d'huile peuvent imprégner et dégrader le papier, rendant difficile l'adhésion des pièces, des matériaux de comblement et des doublages. L'application de chaleur ou de pression pendant l'activation ou le séchage de l'adhésif peut modifier la texture de la surface, les gaufrures et les cuvettes des gravures.

Il se peut que les substrats fortement gaufrés ne puissent pas supporter la pression ou le poids nécessaires pour former un joint solide à l'aide d'un adhésif aqueux. Les adhésifs sensibles à la pression ou réactivés par un solvant qui n'exigent qu'une faible pression pourraient s'avérer un meilleur choix.

Dans le cas de certains objets, la présence d'encre ferro-gallique a entraîné la corrosion de l'encre, suivie d'une dégradation du substrat en papier (Neevel et Mensch, 1999). Cette dégradation est causée par la présence de deux substances dans l'encre ferro-gallique : des ions fer (II) et des acides. En présence d'eau ou dans des conditions d'humidité relative élevée, les ions fer (II) et les acides peuvent migrer de l'encre vers le papier environnant, élargissant ainsi la zone de corrosion causée par l'encre (Eusman et Mensch, 2000). Les zones de corrosion causées par de l'encre ferro-gallique peuvent être en mauvais état en raison de fissures et de lacunes au niveau des lignes d'encre. Pour cette raison, elles peuvent nécessiter une stabilisation physique au moyen de réparations ou de doublages localisés. Le choix de l'adhésif est alors crucial, car un adhésif trop humide peut étendre la zone de corrosion.

De nombreux pigments et encres utilisés sur les documents en papier historiques contiennent du cuivre, et des études ont démontré que les ions de cuivre catalysent l'oxydation du papier (Daniels, 2002). Le substrat en papier peut ainsi être fragilisé physiquement et nécessiter des réparations ou une stabilisation mécanique. Il faut donc choisir avec soin le type d'adhésif à utiliser et la méthode d'application.

La forme et la taille de l'objet

Le traitement d'œuvres sur papier de grand format, de forme inhabituelle ou faite de papier lourd peut être délicat, d'où le besoin de choisir un adhésif offrant une forte adhésion afin d'obtenir des résultats satisfaisants. Par exemple, la pose de charnières sur des œuvres d'art grand format sur papier lourd peut nécessiter l'utilisation de matériaux non traditionnels, comme un non-tissé en polyester, combiné à un adhésif acrylique en dispersion (p. ex. Lascaux 360 HV). Une PAmB épaisse et pratiquement sèche peut constituer un bon choix d'adhésif pour effectuer des réparations ou des comblements sur des supports épais plus rigides, comme du carton d'artiste ou du carton à dessin. Les objets en papier en trois dimensions, comme les éventails, les paravents ou les œuvres en papier mâché, peuvent nécessiter des adhésifs offrant une force d'adhésion adéquate et une humidité minimale, comme de la PAmB épaisse et pratiquement sèche; ces produits permettent les délicates manipulations nécessaires pour traiter des objets aussi fragiles.

L'état général de l'objet

La résistance et l'état général de l'objet peuvent influer sur le choix de l'adhésif et de l'application du traitement. Par exemple, les adhésifs thermodurcissables ou réactivés par un solvant peuvent convenir au doublage d'objets en papier fragiles ou d'objets en papier d'archives fragmentés qui ne peuvent pas supporter la manipulation que requièrent les adhésifs humides. Il est également possible de modifier des adhésifs humides comme la PAmB à l'aide de MC pour offrir plus de glissement et de temps de travail, ce qui permet de réduire au minimum la manipulation de l'objet fragmenté.

Propriétés d'adhésif à considérer

Les facteurs à considérer lors du choix d'un adhésif comprennent la compatibilité de l'adhésif avec l'objet, le protocole de traitement proposé et le résultat prévu. Les qualités de l'adhésif à considérer comprennent la stabilité, la capacité d'enlèvement, la force du joint, la pénétration dans le substrat en papier, la flexibilité, le pH, la teneur en eau et le lustre. La méthode d'application est également une considération importante qui est régie par la nature et l'état du substrat et des matériaux.

L'application des adhésifs s'effectue selon trois modes : l'application humide (pâtes d'amidon), l'application par activation par la chaleur [par exemple dispersions acryliques comme les produits Lascaux, les poly(acétates de vinyle) et des mélanges d'adhésif et de solvants commerciaux, comme le BEVA 371] et l'application par réactivation par un solvant (produits Lascaux).

Adhésifs couramment utilisés

Le **tableau 1** présente les adhésifs et les agents de consolidation couramment utilisés pour le papier.

Tableau 1. Adhésifs couramment utilisés pour le papier

Type de traitement	Adhésifs d'usage courant
pose de charnières	pâte d'amidon, éthers de cellulose, dispersions de polymères synthétiques
réparation des déchirures	pâte d'amidon, éthers de cellulose
renforcement	pâte d'amidon, éthers de cellulose
comblement	pâte d'amidon, éthers de cellulose
doublage	pâte d'amidon, éthers de cellulose, dispersions de polymères synthétiques
cataplasme	éthers de cellulose
encollage	éthers de cellulose, protéines de gélatine
consolidation	éthers de cellulose, protéines de gélatine, résines acryliques
retouches	éthers de cellulose

Opérations nécessitant l'utilisation d'adhésifs

La pose de charnières

La PAmB s'est montrée bien adaptée aux applications directes à long terme sur la plupart des œuvres sur papier. Il s'agit de l'un des adhésifs préférés dans le domaine du papier, et elle sert souvent à la pose de charnières sur des objets en papier. La pâte cuite peut être diluée de manière à obtenir l'épaisseur appropriée, qui varie selon l'objet et la méthode d'application. La pâte conservera sa force, une caractéristique qui permet de produire des adhésifs de forces variées à partir d'un même matériau et qui fait de la PAmB un adhésif très polyvalent. Une fois sèche, elle forme un joint fort, fiable et réversible. Lorsque son utilisation est possible, la PAmB constitue l'adhésif privilégié pour la pose de charnières sur des œuvres sur papier. La PAmB diluée peut être utilisée sur des papiers légers pour lesquels un adhésif plus fort pourrait causer une déformation du support. Il est possible d'utiliser une PAmB plus épaisse pour la pose de charnières sur du papier lourd pour aquarelle. Pour réduire l'humidité, les éléments de charnières peuvent être déposés sur un buvard qui absorbera l'excédent d'eau.

Des adhésifs réhumidifiables, ou réactivés, sont employés pour la pose de charnières, la réparation ou le doublage d'objets en papier sensibles à l'humidité (p. ex. le papier calque). L'adhésif est appliqué en couche lisse et uniforme sur un feuil de polyester (p. ex. du mylar), et le papier de réparation est appliqué sur l'adhésif. Une fois sec, le papier est enlevé du feuil de polyester et il peut être entreposé jusqu'au moment de l'utiliser. L'adhésif est réactivé par une nébulisation d'eau, dans le cas d'un adhésif à base d'eau, ou par une nébulisation de solvant, dans le cas d'une dispersion de polymère synthétique (**figure 1**). Les amidons, les gélatines, l'isinglass, les éthers de cellulose et les dispersions de polymère synthétique sont tous des adhésifs convenant aux feuils à réactivation (Pataki, 2009).

La PAmB peut être utilisée sur la plupart des œuvres sur papier, mais pas toutes. Le produit convient à la plupart des papiers à base de cellulose poreux, mais il n'adhère pas aux substrats non poreux comme le

Figure 1. Montage d'un dessin grand format techniques mixtes sur une toile. Les œuvres sur papier grand format nécessitent souvent des charnières robustes, faites par exemple de papier Japon solide, qui sont tirées à travers des fentes pratiquées dans le montage et collées au verso en guise de renforcement. Dans le cas d'un long dessin techniques mixtes exécuté sur du papier lourd, un non-tissé en polyester (Hollytex) et un adhésif à base de dispersion acrylique à base d'eau (Lascaux 360 HV) ont été choisis pour monter le dessin sur un support auxiliaire de toile tendue. Les charnières en Hollytex ont été enduites de Lascaux 360 HV. Une fois sec, le feuil d'adhésif sur les charnières a été réactivé avec de l'acétone. Les charnières ainsi obtenues étaient robustes et bien collées au support auxiliaire de toile.

papier enduit, le papier calque ou le papier imitation vélin. Les adhésifs synthétiques, comme les Lascaux 360 HV, 498 HV et 49820-X, peuvent mieux convenir à ces papiers. Ils peuvent être dilués avec de l'eau pour en contrôler la force et ils sont insolubles dans l'eau une fois secs. Ils peuvent être réactivés par la chaleur ou par des solvants afin de former un joint fort et flexible (Maheux, 1992).

Quand la force d'adhésion n'est pas cruciale, la MC peut s'avérer efficace pour la pose de charnières. Elle peut servir, par exemple, à poser des charnières sur de petits objets en papier Japon mince. La MC est disponible en plusieurs viscosités, la viscosité intermédiaire (1 500 mPa.s) étant la mieux adaptée à cette opération. En raison de son adhésion plus faible, la MC est parfois utilisée pour le collage de charnières dans les coins inférieurs d'œuvres sur papier à montage flottant, afin de prévenir le contact avec le vitrage quand elles sont encadrées.

La réparation des déchirures

La PAmB est souvent utilisée pour la réparation des déchirures dans le cas des œuvres sur papier. Elle peut être diluée afin d'obtenir l'épaisseur voulue (p. ex. une fine couche pour les papiers légers, une couche épaisse pour les papiers lourds). Si l'œuvre sur papier est très sensible à l'humidité (p. ex. le papier calque), les réparations à base de PAmB réhumidifiable constituent une option. De même, les dispersions de polymère synthétique permettent d'éviter le recours à l'humidité et peuvent être réactivées par de la chaleur ou des solvants.

Il existe peu d'options de traitement pour les papiers contenant de l'encre ferro-gallique qui ont été gravement endommagés ou qui ont perdu une grande partie de leur substrat. Les réparations localisées devraient être exécutées en utilisant le moins d'humidité possible, car une humidité excessive peut causer la migration des ions fer (II) et des acides contenus dans l'encre vers le papier avoisinant (Jacobi *et al*., 2011). Il est possible d'utiliser, avec précaution, du papier réactivé par un solvant ou du papier réhumidifiable afin de réparer ces œuvres. Les papiers de réparation enduits d'un adhésif approprié, comme le Klucel G (2 % dans l'eau), peuvent être réactivés par un solvant (Ubbink et Partridge, 2003) et peuvent réduire le risque de migration de l'encre. Des recherches ont également révélé que la gélatine retarde la corrosion de l'encre ferro-gallique (Kolbe, 2004) et qu'elle pourrait être le meilleur adhésif à employer pour les réparations effectuées à l'aide de papier réhumidifiable. La gélatine, réactivée par un mélange d'eau et d'éthanol (25:75), peut servir à préparer les papiers réhumidifiables qui serviront pour les réparations (Titus *et al*., 2009; Pataki, 2009). Les recherches initiales menées sur les papiers réhumidifiables enduits de gélatine (Pataki, 2009), les gélatines modifiées et les protéines recombinées (Meyer et Neumann, 2009) ont conclu que ces produits pourraient s'avérer efficaces pour protéger le papier contre la corrosion attribuable aux pigments à base de cuivre. La poursuite des recherches devrait permettre de formuler des recommandations plus claires concernant le traitement de ces œuvres.

Le renforcement

En suivant la méthode décrite dans la section intitulée *La réparation des déchirures*, il est possible de renforcer les zones affaiblies des œuvres en papier, comme les froissures, les plis, les usures et le papier affaibli par des matériaux délétères, en utilisant du papier Japon d'un grammage approprié en combinaison avec de la PAmB. Les objets sensibles à l'humidité qui sont vulnérables à des déformations hors-plan peuvent être renforcés à l'aide de papier enduit d'adhésifs réhumidifiables, thermodurcissables ou réactivés par un solvant, pourvu qu'ils n'endommagent pas les matériaux.

Le comblement

Le comblement des lacunes dans les objets en papier s'effectue souvent au moyen de feuilles de papier, de matériaux de comblement à base de pâte ou de doublages complets afin de restaurer l'intégrité esthétique de l'œuvre et de lui redonner sa stabilité physique. En plus de fixer en place les matériaux de comblement, les adhésifs sont ajoutés au mélange de matériaux de comblement à base de pâte afin d'améliorer la dispersion des fibres et d'accroître la force d'adhésion (Paper Conservation Catalog, 1990). Par ailleurs, il est possible d'enduire d'adhésif dilué la surface des matériaux de comblement afin de contrôler le niveau d'absorption des matériaux de comblement et d'obtenir un fini de surface ou un traitement de surface particulier.

Les critères de sélection d'un adhésif utilisé pour fixer les matériaux de comblement comprennent la flexibilité, la force, le vieillissement sans jaunissement et la réversibilité. Les pâtes d'amidon sont souvent choisies, car, en plus d'être fortes et relativement incolores, elles ont une consistance lisse et une bonne pégosité, même lorsque diluées. Les éthers de cellulose sont eux aussi souvent utilisés à cette fin et ils possèdent les mêmes qualités, mais ils forment des joints moins forts que les pâtes d'amidon (Paper Conservation Catalog, 1990).

Le doublage

Un support auxiliaire de papier ou de non-tissé en polyester peut être solidement collé au verso d'un objet qui doit être renforcé, qui a besoin de plus de flexibilité ou qui doit faire l'objet de réparations ou d'un traitement de comblement des lacunes. Le type de doublage choisi dépend des caractéristiques physiques de l'objet et de son état. De manière générale, pour effectuer un doublage primaire, un matériau plus léger que celui de l'objet est privilégié. Plusieurs couches de doublage peuvent être appliquées, parfois en utilisant des adhésifs différents. Par exemple, si un support rigide est nécessaire pour le montage d'une affiche, il est possible d'utiliser un doublage intercalaire de papier Japon collé avec de la PAmB, qui sera lui-même fixé sur un carton plus épais au moyen d'un adhésif synthétique réactivé par un solvant, de manière à éviter l'application d'humidité et à prévenir les éventuelles déformations hors-plan de l'affiche doublée.

Le type et la force de l'adhésif du doublage dépendent aussi des caractéristiques physiques et de l'état du substrat et des matériaux. Le choix du diluant de l'adhésif (eau ou solvant) doit tenir compte de la solubilité des matériaux. La viscosité de l'adhésif est un autre facteur à considérer. Une pâte fine convient mieux aux substrats délicats; elle sèche plus rapidement et offre une adhésion minimale. Les pâtes plus épaisses assurent une meilleure adhésion aux substrats lourds et poreux. Les systèmes de doublage réhumidifiables conviennent également aux substrats fragiles et aux matériaux sensibles à l'eau, et ils permettent de former les joints les plus faibles.

La pâte d'amidon est l'adhésif le plus souvent utilisé pour les doublages. La MC sert aussi de produit de doublage, soit seule ou en mélange avec de la pâte d'amidon. L'ajout de MC permet de modérer la force, la viscosité et la flexibilité de la PAmB et peut augmenter le glissement et le temps de travail, ce qui permet au restaurateur de bien aligner les morceaux et les déchirures. Les taux de distorsion et de contraction sont nettement inférieurs dans le cas des doublages à base de MC, et de tels doublages peuvent être facilement enlevés par l'application d'un peu d'humidité (Brückle, 1996).

Pour les objets lourds ou de grand format, il est recommandé d'utiliser des adhésifs plus forts. Les dispersions de polymères synthétiques, comme les adhésifs Lascaux, peuvent être appliquées sur les charnières sous forme de feuils qui peuvent être réactivés par la chaleur ou par un solvant. Les adhésifs synthétiques servent à l'application de doublages secondaires, mais peuvent aussi entrer en contact direct avec les objets sensibles à l'humidité ou non traditionnels (Maheux, 1992; Jirat-Wasiutynski, 1980). Ces adhésifs sont non seulement forts et flexibles, ils sont également transparents et peuvent être utilisés avec des substrats non traditionnels comme les films à tracer en polyester.

Les cataplasmes

Les éthers de cellulose, qui sont souvent utilisés comme cataplasmes retenant l'eau, permettent d'enlever les adhésifs. La MC (4 000 mPa.s) (2,0-5,0 % dans l'eau) peut être appliquée, par exemple pour ramollir les vieilles couches d'adhésif après l'enlèvement d'un support secondaire. Elle est particulièrement efficace comme cataplasme avec des enzymes (Schwarz *et al*., 1999).

L'encollage

Les traitements de lavage sont présumés enlever l'encollage original d'un objet, soit en partie ou en totalité; il faudra donc considérer l'application d'un nouvel encollage. La fonction de l'encollage est de conférer au papier la résistance mécanique et la flexibilité nécessaires, en plus de protéger sa surface. L'encollage utilisé pour les œuvres en papier est habituellement à base de protéine ou d'éther de cellulose et il peut s'appliquer au pinceau ou par vaporisation. Les MC de faible ou moyenne viscosité (400-1 500 mPa.s) (0,5 % dans l'eau) servent souvent à encoller de nouveau le papier. Il est recommandé d'utiliser de la gélatine comme encollage pour les œuvres contenant de l'encre ferro-gallique, car elle peut bloquer la corrosion par le fer (Kolbe, 2004).

La consolidation

La consolidation, dans le contexte du traitement du papier, est l'application d'un liant sur des matériaux friables ou écaillés afin de les fixer au support. Les propriétés et les caractéristiques de l'agent de consolidation doivent être évaluées en fonction des matériaux et du support, de la technique d'application et de l'objectif du traitement. Au moment de choisir un agent de consolidation, il faut prendre en compte plusieurs facteurs, dont le changement de couleur, le lustre, la cohésion et l'adhésion des matériaux, ainsi que la compatibilité physique et chimique de l'agent de consolidation avec l'objet. L'état des matériaux détermine la méthode d'application. Des couches de peinture stables comportant de grandes écailles peuvent être consolidées au pinceau, tandis que les matériaux friables peuvent être mieux consolidés au moyen d'une nébulisation à ultrasons. Certaines techniques ont cependant leurs limites. Par exemple, si une

peinture pulvérulente doit être consolidée par nébulisation à ultrasons, le choix de l'agent de consolidation se limite aux produits qui peuvent être nébulisés, habituellement en faible concentration (**figure 2**) (Dignard *et al*., 1997). Les polymères généralement employés pour la consolidation de matériaux sur papier sont la gélatine ou la MC (400 mPa.s), même s'il existe des cas où le *funori*, l'isinglass, la colle de parchemin, le Klucel G ou le Paraloid B-72 peuvent être utilisés.

La retouche

La retouche consiste en l'ajout de matériaux appropriés aux matériaux de comblement, aux zones réparées ou aux autres zones présentant des pertes afin d'intégrer visuellement les zones endommagées au reste de l'œuvre. La retouche se limite à la zone présentant des pertes et, bien que peu de matériaux de retouche soient entièrement réversibles, l'application d'une couche d'isolation sur le substrat original permet d'améliorer la réversibilité. Des MC de faible ou moyenne viscosité (400-1 500 mPa.s) (0,5 % dans l'eau) sont souvent appliquées avant la retouche; elles servent alors de couche d'isolation pour les zones de perte de papier et elles facilitent l'enlèvement des matériaux de retouche en réduisant au minimum leur pénétration dans les fibres du papier.

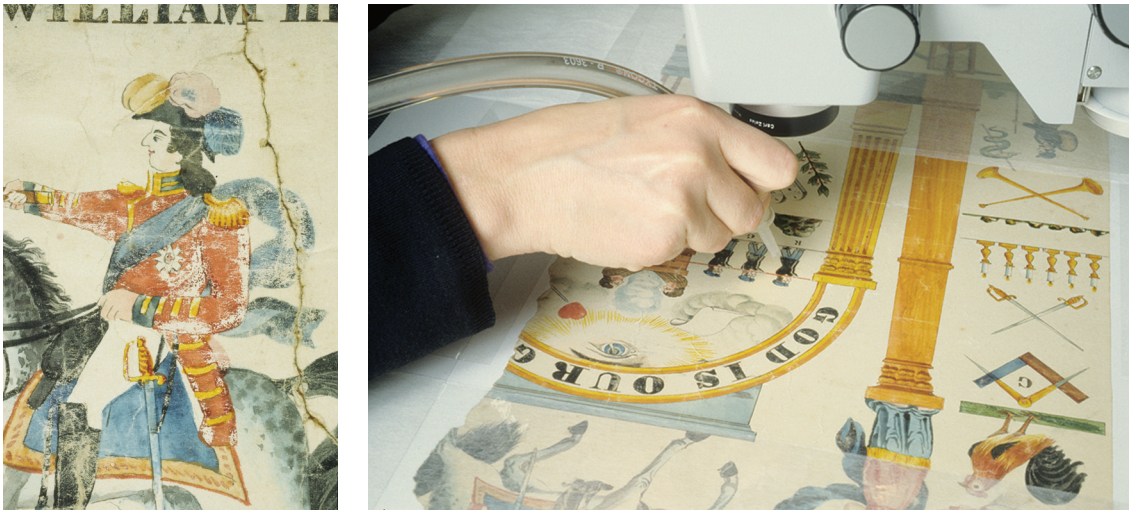


Figure 2. Consolidation d'aquarelle friable qui s'écaille sur un dessin à l'encre. Les zones comprenant des pigments friables et pulvérulents ont été consolidées au moyen de Methocel A4C (0,25 % dans l'eau) appliqué à l'aide d'un nébulisateur à ultrasons. Le Methocel A4C a été choisi pour ce traitement car, parmi les agents de consolidation pouvant être nébulisés, il offre une bonne stabilité et possède un pH presque neutre. Afin de faciliter la pénétration de l'agent de consolidation, de petites zones du dessin ont été maintenues sous un léger vide sur une table d'aspiration pendant la nébulisation. L'observation sous microscope a permis de diriger la nébulisation vers un endroit précis et de déterminer à quel moment la zone était adéquatement saturée d'agent de consolidation. Le nébulisateur à ultrasons a été utilisé pour ce traitement, car les petites gouttelettes ne causent pas l'étalement du pigment friable, et la faible concentration de l'agent de consolidation, nécessaire à sa nébulisation, permet de suivre de près l'évolution du traitement et de l'interrompre avant qu'un changement de couleur ou de lustre ne survienne. Les zones où les pigments se soulevaient en cuvette ou s'écaillaient ont été consolidées par deux applications de Methocel A4C (0,5 % dans l'eau) faites au pinceau (Dignard et al., *1997).*

Les documents photographiques

Gregory Hill, Institut canadien de conservation

Les photographies, qu'il s'agisse des négatifs ou des épreuves positives, sont généralement composées de matériaux composites multicouches comprenant un support, une émulsion photosensible (couche qui forme l'image) et une couche intercalaire qui maintient l'émulsion sur le support. Les matériaux utilisés varient selon le procédé. Dans le cas des documents photographiques classiques en noir et blanc, la substance qui forme l'image est constituée d'argent métallique; on exploite ici la photosensibilité de certains sels d'argent (halogénures). Même si la plupart des émulsions employées pour les photographies couleur font également appel aux halogénures d'argent pour former l'image, l'image finale est composée de colorants synthétiques. D'autres matériaux photosensibles ne contenant pas d'argent ont été utilisés à divers moments dans l'histoire de la photographie pour créer des images sur papier, notamment le platine, le fer et divers pigments et gommes; tous ces matériaux se trouvent régulièrement dans les collections de beaux-arts et d'archives.

Les adhésifs sont utilisés traditionnellement pour réparer les dommages physiques, y compris ceux qui découlent des attaques par des agents biologiques, ainsi que pour effectuer le montage des photographies en vue de leur exposition. Comme les documents photographiques sont principalement constitués de papier, les restaurateurs dans le domaine de la photographie ont largement emprunté au domaine du papier en ce qui a trait aux techniques de réparation, de manipulation et d'exposition des épreuves photographiques. Les photographies ont toutefois des propriétés distinctes qu'il est nécessaire d'aborder.

Propriétés et état de l'objet influant sur le choix de l'adhésif

Les matériaux et la structure des photographies

Les négatifs

Les négatifs se distinguent tant par le support que par le liant (type d'émulsion). Le premier support viable ayant servi à faire des négatifs était le papier, suivi du verre, et enfin, des pellicules en plastique flexible. De manière générale, les négatifs sur papier ne contenaient aucun liant pour l'image argentique, laquelle reposait directement sur la surface du papier. Cependant, de l'huile ou de la cire était appliquée régulièrement sur le papier pour le rendre plus translucide.

Vers la fin des années 1840, le verre a remplacé le papier en raison de sa transparence complète. Un liant était nécessaire pour faire adhérer l'image argentique sur la surface du verre et, après de nombreuses expériences, le collodion a finalement été adopté et utilisé pendant toute la deuxième moitié du XIX^{e} siècle. Des vernis à base de résines naturelles étaient appliqués comme couche de protection après le développement. Le collodion a également servi de liant pour les ambrotypes, les ferrotypes et les papiers au collodio-chlorure. Vers la fin du XIX^{e} siècle, la gélatine a remplacé le collodion dans les plaques sèches à la gélatine présensibilisées, qui ont été commercialisées vers les années 1880 (Valverde, 2003).

L'invention des bobines de pellicule en plastique flexible, à la fin des années 1880, a permis l'avènement de l'industrie du cinéma et de la photographie d'amateur. Parmi les plastiques utilisés figuraient le nitrate de cellulose, l'acétate de cellulose et le polyester. L'albumine était employée à l'occasion comme couche intercalaire pour les plaques au collodion, alors que la gélatine contenant des additifs, tels que l'albumine et le caoutchouc naturel, était plutôt utilisée dans le cas des plaques sèches à la gélatine. Les premières pellicules en plastique comprenaient comme couche intercalaire du nitrate de cellulose dilué qui, plus tard, a fait place à de la gélatine additionnée de polymères (Valverde, 2003).

À partir de ce moment et jusqu'à l'apparition des supports électroniques, magnétiques et numériques, tous les supports pour négatifs offerts sur le marché étaient recouverts d'une couche de gélatine argentique.

Les épreuves photographiques positives

Les épreuves photographiques positives se distinguent également par le support et le liant, qui font généralement appel aux mêmes émulsions que les négatifs. Dans sa forme la plus simple, comme l'épreuve sur papier salé, l'épreuve est une image argentique incrustée dans les couches supérieures des fibres du papier. Il n'y a aucune

couche distincte. La plupart des images non argentiques, notamment les platinotypes, les palladiotypes, les cyanotypes, les épreuves Van Dyke, les argentotypes et les chrystalotypes, ont cette même structure de base.

Il a été découvert très tôt que le papier pouvait constituer une source d'agents oxydants pour les images argentiques. C'est pourquoi le papier de très haute qualité a toujours été privilégié pour les photographies.

Les liants, qui ont fait leur apparition à la fin des années 1840, permettaient d'élever les grains d'argent de l'image au-dessus de la surface du papier, procurant du même coup une meilleure protection physique et chimique. Au XIX^{e} siècle (1850 à 1890), le liant le plus couramment utilisé était l'albumine d'œuf, et les photographies qui en contenaient étaient appelées « épreuves à l'albumine ». La gélatine et le collodion (collodio-chlorure), quant à eux, ont été adoptés comme liants vers la fin des années 1880. Ces deux produits faisaient appel à une autre innovation : la couche barytée, c'est-à-dire du sulfate de baryum dans de la gélatine. Placée entre le support papier et le liant ou l'émulsion, la couche barytée procurait à l'image un arrière-plan blanc lisse. La production de papiers au collodio-chlorure a cessé au début du XX^{e} siècle, faisant ainsi de la gélatine le seul liant utilisé jusqu'à ce jour pour tous les supports offerts sur le marché. À la fin des années 1960 sont apparus les papiers à revêtement de résine, dans lesquels une couche de polyéthylène était appliquée sur les deux côtés du support papier. Ce procédé protégeait les fibres contre les produits chimiques utilisés pour le développement, ce qui réduisait considérablement la durée des lavages. La grande majorité des matériaux utilisés pour les épreuves couleur classiques (non numériques) depuis le début des années 1970 sont constitués d'une émulsion chromogène sur papier à revêtement de résine. Cependant, les papiers à revêtement de résine et les papiers à base de fibres (sans revêtement) sont encore produits de nos jours.

Le coloriage et l'application d'éléments décoratifs sur la surface des photographies ont été pratiqués tout au long de l'histoire de la photographie, et tant les négatifs que les épreuves positives ont été retouchés pour améliorer la qualité de l'image. Il n'est donc pas rare de trouver de l'aquarelle, des encres, des pigments secs, du pastel, du charbon et du graphite sur les photographies. De plus, le montage des photographies à des fins de protection et à des fins décoratives est pratiqué presque depuis l'avènement de la technique.

L'ÉTAT ET LA SENSIBILITÉ DES PHOTOGRAPHIES

Au moment de choisir le traitement et l'adhésif à utiliser, il faut prendre en compte la nature et la diversité des matériaux, la sensibilité de la substance qui forme l'image (argent, colorants ou pigments), l'état de l'objet ainsi que l'usage prévu de l'objet après son traitement.

L'oxydation de l'image argentique

Les images argentiques sont très sensibles à l'oxydation; par conséquent, les adhésifs, les textiles utilisés pour les réparations, les cartons de montage, etc., ne doivent pas être réactifs et ils doivent réussir l'essai d'activité photographique, un test standardisé à l'échelle internationale pour évaluer les produits d'entreposage et d'exposition des photos (ISO 18916:2007; Schenck et McCabe, 1989).

Les surfaces non poreuses

La réparation des plaques en verre à des fins de reproduction exige un adhésif qui se lie avec des surfaces non absorbantes, qui forme un joint très fort et qui possède un indice de réfraction identique à celui du verre.

Le pH

Certaines substances qui forment l'image et qui sont utilisées en photographie sont sensibles au pH. Par exemple, les cyanotypes changent de couleur en milieu alcalin.

La translucidité

Les réparations visant les négatifs sur papier doivent préserver leur translucidité et être effectuées sur la surface ne supportant pas l'image. Pour cette raison, l'utilisation de papiers de réparation est généralement exclue de ce genre de réparations. Les adhésifs doivent être flexibles et ne pas trop se contracter. Tout agent de consolidation en émulsion appliqué sur un négatif, de quelque type que ce soit, doit être incolore et complètement transparent.

La résistance et le grammage du papier

Les papiers pour impression photo du XX^{e} siècle sont pour la plupart très denses et robustes. La réparation des déchirures et des lacunes nécessite l'utilisation d'un adhésif fort, comme la pâte d'amidon de blé (PAmB), combiné à un papier de réparation solide. D'autres papiers peuvent être très légers et nécessiter l'emploi d'un papier fin et d'un adhésif moins fort, comme une solution diluée de PAmB vieillie ou de la méthylcellulose (MC). Les cartons acides cassants se rompent ou s'endommagent facilement le long des bords. Puisque l'alignement des bords peut être problématique, il faut procéder à l'humidification du papier en plus d'utiliser un adhésif et un papier de réparation forts.

Le joint entre l'émulsion et le support

Les émulsions peuvent se détacher des supports en verre ou en plastique en raison de fluctuations du taux d'humidité, ce qui compromet le joint formé entre la couche intercalaire et le support. Les plastiques instables en état de détérioration, y compris le nitrate de cellulose et l'acétate de cellulose, peuvent entraîner le soulèvement ou l'écaillage des émulsions ou la formation de canaux dans les émulsions et, dans bien des cas, une destruction complète. Les agents de consolidation utilisés doivent être incolores et complètement transparents.

La fissuration de la couche d'émulsion

Toutes les couches d'émulsion peuvent se craqueler, se plisser, se soulever et s'écailler en raison d'une mauvaise manipulation, du dessèchement de la gélatine et des différentiels de contraction et de dilatation de chacune des couches de l'épreuve. Les agents de consolidation employés doivent être incolores, forts et compatibles avec le liant.

La solubilité des couches d'émulsion

Puisque les colorants utilisés en photographie peuvent être sensibles aux solvants, il s'agit d'un facteur important à considérer au moment de choisir des adhésifs à base de solvant ou avant de solubiliser des résidus d'adhésifs liés au montage. Les couleurs appliquées, les retouches et les éléments décoratifs peuvent tous être sensibles à l'humidité, ce qui limite l'utilisation d'adhésifs à base d'eau. D'autres matériaux peuvent devenir friables et exiger une consolidation. Le collodion et la plupart des laques utilisées pour protéger les émulsions sont solubles dans les solvants couramment utilisés en conservation.

Les déformations hors-plan

Il arrive souvent que les épreuves non montées se recourbent. Les adhésifs utilisés pour le doublage doivent être résistants, mais flexibles, et leur contraction doit compenser la tendance naturelle de l'épreuve à faire infléchir l'émulsion vers l'intérieur. Les traitements à base d'eau peuvent exacerber ce problème; il est alors préférable d'envisager l'utilisation d'adhésifs non aqueux.

Les papiers à revêtement de résine subissent des déformations localisées (froncement, soulèvement) lorsque des charnières sont posées sur le revers à l'aide d'adhésifs aqueux. Il est alors nécessaire d'utiliser des adhésifs non aqueux fixables à chaud ou des adhésifs activés par un solvant.

La flexibilité

Les matériaux utilisés pour les épreuves et les négatifs sans support auxiliaire rigide sont des matières flexibles qui nécessitent des adhésifs flexibles. La réparation des craquelures dans l'émulsion doit permettre de conserver un degré élevé de flexibilité, pour s'assurer notamment que les matériaux de comblement ne se fissurent pas au cours des manipulations.

Les caractéristiques de la surface – l'indice de réfraction

La surface du papier photographique peut être extrêmement sensible au toucher et au contact avec l'eau et les solvants. Par exemple, l'indice de réfraction peut être modifié par l'emploi d'un traitement inapproprié avec de l'eau ou un solvant, combiné à des manipulations physiques. La fissuration des liants à l'albumine fait partie du processus de vieillissement naturel, mais elle peut être sérieusement aggravée par les traitements aqueux (Messier et Vitale, 1993; 1994). Il est essentiel de préserver l'homogénéité de la surface de l'émulsion.

La détérioration de la gélatine

De manière générale, les émulsions photographiques de gélatine sont des structures fortes et durables, mais elles peuvent être affectées par des températures élevées, un taux d'humidité élevé, la lumière et les moisissures. Une gélatine ainsi affectée peut devenir plus soluble; il faut donc utiliser les adhésifs aqueux de manière judicieuse. Une tentative de consolidation d'une émulsion détériorée peut même aggraver l'écaillage.

La forme et la taille de l'objet

De nombreuses épreuves surdimensionnées sur papier à revêtement de résine ou sur base de polyester sont destinées à être montées parfaitement à plat ou montées de sorte que les ondulations à la surface soient minimes. Dans la plupart des cas, la surface est lisse, lustrée et facilement endommagée. Le montage requiert en général un système non aqueux entièrement mécanisé.

La porosité

Les papiers minces ou dégradés peuvent être très poreux, surtout si les anciens supports sur lesquels ils étaient montés étaient très acides. La migration des produits de dégradation dans le papier pendant le traitement par voie liquide peut faire apparaître des taches ou des cernes sur l'image (qu'il est souvent impossible d'enlever par la suite), ce qui limite l'utilisation d'adhésifs aqueux.

L'état général de l'objet

La résistance et l'état physique général de l'objet peuvent avoir une incidence sur le choix de l'adhésif et de la méthode d'application du traitement. Par exemple, il peut être judicieux d'utiliser des adhésifs fixables à chaud ou des adhésifs activés par un solvant afin de

doubler des photographies fragiles ou fragmentées qui ne peuvent pas supporter les manipulations requises dans le cas des applications d'adhésifs humides. Par ailleurs, un adhésif aqueux comme la PAmB peut être modifié par l'ajout de MC afin d'allonger le temps de travail et d'améliorer le glissement pour faciliter la manipulation de l'objet fragmenté.

Les azurants

Les azurants (p. ex. les composés stilbènes) sont entrés dans la fabrication des matériaux d'impression photographique à base de fibres dans les années 1950. Ils peuvent se dégrader au fil du temps, et les traitements à base d'eau ou de solvant peuvent les altérer.

Propriétés d'adhésif à considérer

Au moment de choisir un adhésif pour une photographie sur support papier, les facteurs à considérer sont les mêmes que pour les objets en papier (voir la section intitulée *Les œuvres sur papier*).

Adhésifs couramment utilisés

Le **tableau 1** présente les adhésifs et les agents de consolidation couramment utilisés pour les documents photographiques.

Le montage des photographies

La pose de charnières

La PAmB et la MC sont traditionnellement utilisées avec des charnières en papier Japon afin de fixer des épreuves photographiques à base de fibres sur un passe-partout à l'aide de charnières. Les deux adhésifs assurent une fixation solide, sont facilement réversibles et constituent des produits de choix pour les charnières en T ou en V. Cependant, à cause de la possibilité de déformations hors-plan, il ne faut pas utiliser des adhésifs aqueux sur le papier à revêtement de résine (**figure 1**). Le papier d'imprimante à jet d'encre enduit d'un polymère peut également poser problème à cet égard. Jusqu'à tout récemment, les adhésifs non aqueux préférés étaient des feuils synthétiques à base d'acryliques en dispersion (p. ex. Rhoplex N-580, Lascaux 498 HV, Lascaux 360 HV, Plextol B500), qui peuvent être fixés à chaud ou activés par un solvant et qui ne déforment pas le papier (Watkins, 2004). Le Lascaux 360 HV sur du papier Japon était aussi utilisé lorsqu'il fallait un joint très faible pour une charnière sensible à la pression; il est possible de l'enlever facilement soit par des moyens mécaniques, soit par exposition à une faible chaleur. Employés seuls ou ensemble, le Lascaux 498 HV et le Lascaux 360 HV possèdent des propriétés qu'il est possible de faire varier selon les besoins de l'objet. Ces produits se sont révélés particulièrement utiles pour le montage des épreuves grand format sur papier à revêtement de résine ou sur base de polyester pigmenté ne supportant aucune déformation hors-plan. Appliquées sur du papier Japon ou sur un filet de polyester non tissé comme du Hollytex, les bandelettes peuvent être utilisées pour le doublage des bords et peuvent être activées par un solvant dans les cas où la chaleur risque de causer des dommages, avant d'être enroulées autour d'un support rigide (Chen *et al.*, 2007; Morrison, 2007; Valverde, 2007). Malheureusement, ces matériaux ont échoué aux essais d'activité photographique menés récemment par l'Institut canadien de conservation (ICC), et aucun adhésif de remplacement acceptable n'a encore été trouvé (Down *et al.*, 2013). De plus, la production du Lascaux 360 HV a cessé récemment, et selon son fabricant, Lascaux, le produit aurait été remplacé par le Lascaux 303 HV, un copolymère d'acrylate de 2-éthylhexyle et d'acrylate d'éthyle, une formulation très différente. Le Lascaux

Tableau 1. Adhésifs couramment utilisés pour les documents photographiques

[Seuls les adhésifs qui réussissent l'essai d'activité photographique sont recommandés pour les documents photographiques (ISO 18916:2007). Il faut garder à l'esprit que certains acryliques en dispersion n'ont pas réussi l'essai d'activité photographique (voir la section intitulée *La pose de charnières* ci-dessous).]

Type de traitement	Adhésifs couramment utilisés
pose de charnières	PAmB, éthers de cellulose, acryliques en dispersion
réparation du montage	PAmB, acryliques en dispersion
réparation des plaques de verre	résines époxy, résines acryliques (Paraloid B-72)
réparation de l'émulsion	gélatine, éthers de cellulose
réparation du papier	PAmB, éthers de cellulose, acryliques en dispersion
doublage	PAmB, éthers de cellulose, acryliques en dispersion, copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle
papier fixable à chaud	acryliques en dispersion
consolidation	gélatine, éthers de cellulose
revêtements de surface	résines acryliques
cataplasme	PAmB, éthers de cellulose

Figure 1. Exemple d'adhésif aqueux appliqué sur un papier à revêtement de résine ayant causé une déformation hors-plan. Les cibachromes et les bases de polyester pigmenté peuvent se déformer légèrement après séchage une fois que les adhésifs aqueux ont été appliqués, ce qui entraîne un plissement de la surface. Ici, les charnières sont visibles à la surface. Il est recommandé d'utiliser des adhésifs non aqueux fixables à chaud ou activés par un solvant qui seront appliqués sur des charnières en papier Japon.

303 HV a réussi l'essai d'activité photographique et il possède un pH initial neutre (7,77 ± 0,06). Cependant, vu le manque d'information sur sa stabilité à long terme ou ses propriétés rhéologiques, l'ICC ne peut pas cautionner entièrement son utilisation pour l'instant (Down *et al*., 2013; Down, 2013). Le BEVA 371 Film (formule originale) a réussi l'essai d'activité photographique et pourrait constituer une solution viable pour répondre à certains besoins à l'égard de la pose de charnières; toutefois, le nouveau BEVA 371b (en solution) a échoué à l'essai d'activité photographique (Down *et al*., 2013).

Le montage par voie humide

Le montage des documents photographiques sur des supports solides, une technique très ancienne, visait à protéger les photographies contre les dommages physiques, à faciliter leur exposition et à répondre à des considérations esthétiques. Les épreuves à l'albumine, qui étaient traditionnellement tirées sur du papier très mince ayant tendance à se recourber, étaient souvent montées par voie humide sur des supports en carton épais de différents formats : cartes de visite, photos de format cabinet, minettes, etc. Les premières épreuves sur gélatine et sur papier au collodio-chlorure étaient montées de la même façon. La PAmB et les gélatines purifiées étaient couramment utilisées, tout comme les résines et les gommes naturelles, la dextrine et l'albumine. De nos jours, la PAmB et la MC sont couramment utilisées et sont parfois combinées pour modifier leurs propriétés rhéologiques.

Le montage à sec

Vers le début du XX^{e} siècle, de minces feuilles de papier imprégnées de résines thermoplastiques naturelles, appelées « papier de montage à sec », étaient utilisées pour faire adhérer les photographies sur des cartons de montage (Watkins, 1993). Le chauffage excessif en cours de montage affaiblissait la couche d'émulsion, et les résines naturelles changeaient de couleur avec le temps. Les cartons de montage étaient pour la plupart des laminés de pâte de bois très acides; avec le temps, nombre d'entre eux devenaient friables et vulnérables aux dommages et aux pertes. Plus tard, des papiers de montage à sec et des systèmes de montage sensibles à la pression faisant appel à divers adhésifs synthétiques ont été mis au point; certains se sont montrés instables et néfastes pour les épreuves photographiques (Reinhold, 1991). Cependant, puisque bien des photographes contemporains travaillent sur de très grands formats qui doivent être parfaitement plats, ils ont recours au montage à sec sur des feuilles d'aluminium laminé (p. ex. Dibond) et sur des feuilles d'acrylique [poly(méthacrylate de méthyle) (PMAM), p. ex. Plexiglas]. Les formulations d'adhésifs de montage changent souvent. Même s'il existe peu d'information sur leur composition, beaucoup de produits font preuve d'une bonne stabilité.

Le montage frontal

Le montage frontal de photographies sur des feuilles de PMAM ou de Plexiglas s'est répandu sur le marché des beaux-arts dans le cas des tirages grand format

(chromogènes ou numériques) pour des motifs esthétiques et pratiques. Ce type de montage assure une protection contre les empreintes de doigts et les dommages mécaniques, alors que les composés du Plexiglas qui absorbent les rayons ultraviolets limitent la dégradation photochimique. Sur le plan esthétique, les couleurs sont en général plus saturées et plus nettes. Le procédé Diasec fait appel à une couche d'adhésif à base de caoutchouc de silicone placée entre l'épreuve et le PMAM, dont la composition chimique est brevetée, mais il est appliqué par beaucoup d'utilisateurs non certifiés, et peu de recherches ont été menées sur sa stabilité à long terme (Penichon et Juergens, 2001).

La réparation des plaques de verre

La réparation des plaques de verre exige l'utilisation d'un adhésif fort, qui se lie bien avec les supports non poreux et dont l'indice de réfraction est identique à celui du verre traité. Comme ils résistent bien au jaunissement, l'Epo-Tek 301-2 et le Hxtal NYL-1 sont deux adhésifs à base de résines époxy qui sont recommandés pour cet usage, le premier étant plus visqueux et ayant de meilleures propriétés rhéologiques (Down, 1986; Hendriks *et al*., 1991). L'alignement est difficile, car il est rare que les plaques de verre soient parfaitement plates. Récemment, une procédure améliorée a été mise au point, selon laquelle la plaque est assemblée à la verticale, et les morceaux sont maintenus en place à l'aide de cire collante Vigor (Koob, 2000; Whitman et Wiegandt, 2007) (**figure 2**). Ce procédé est facilité par l'utilisation d'un faisceau lumineux dirigé le long de la surface de la plaque pour éclairer l'interface des cassures. Le Paraloid B-72 (à 20 % dans le toluène) est appliqué par capillarité dans les fissures à partir de la face de la plaque qui ne porte pas l'épreuve. Une fois le produit pris, il durcit avant d'être renforcé avec une couche de silicone transparente (Clear P-4 Silicone de Silicones Inc.) appliquée sur le verso de la plaque. Comparativement aux résines époxy, la solution de Paraloid B-72 est peu visqueuse, ce qui lui permet d'être facilement entraînée par capillarité dans les cassures; et comme les résines époxy, son indice de réfraction est identique à celui du verre. Le Paraloid B-72 a réussi l'essai d'activité photographique mené par l'ICC (Down *et al*., 2013).

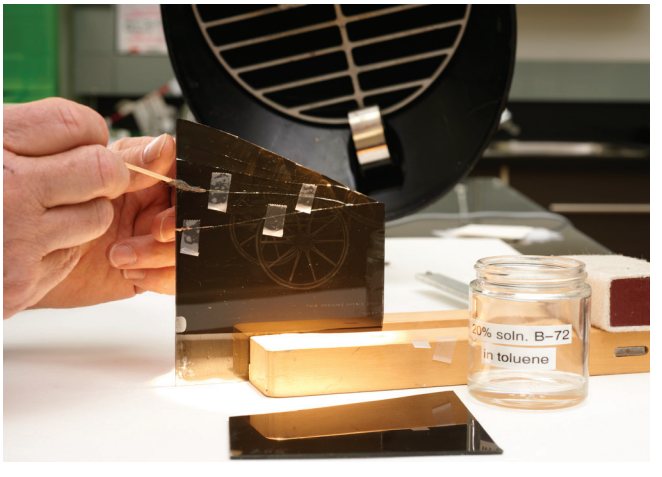


Figure 2. Exemple de plaque de verre en cours de réparation par assemblage à la verticale. La base d'une plaque de verre cassée est placée dans un étau qui la maintient à la verticale. Les morceaux sont ensuite assemblés de bas en haut et maintenus en place à l'aide de ruban adhésif collé légèrement du côté du verre. L'adhésif, du Paraloid B-72 (à 20 % dans le toluène), est appliqué le long des cassures à l'aide d'un coton-tige en laine d'acier.

La réparation

Le choix d'un adhésif en vue de la réparation d'épreuves photographiques dépend du papier, du type d'émulsion et de la solubilité des médias en question. La procédure à privilégier consiste à appliquer une petite quantité d'adhésif, la plupart du temps de la PAmB, sur les fibres de papier qui ressortent le long de la déchirure, à réunir les deux bords de la déchirure, à les recouvrir de polyester non tissé et de buvards, puis à placer l'assemblage entier sous pression jusqu'à ce que le tout soit sec. Dans la plupart des cas, il est nécessaire d'utiliser des papiers de réparation et, lorsqu'il s'agit de réparer des épreuves argentiques à la gélatine sur fibres de papier lourd, les fissures dans l'émulsion doivent aussi être comblées à l'aide d'applications de gélatine tiède le long des fissures, puis légèrement polies et laissées à sécher sous pression (Hendriks *et al*., 1991). Dans les photographies panoramiques enroulées, les fissures ont tendance à se produire à la verticale, sur toute la hauteur de la photographie, et à s'ouvrir sur la face. Elles ont une forte tendance à se soulever en cuvette, même après l'application de procédures appropriées pour les aplanir. Souvent, plusieurs couches de papier de réparation doivent être appliquées au revers de ces fissures ou de ces déchirures pour les remettre à plat.

Les épreuves à l'albumine réagissent fortement avec les adhésifs aqueux; pour les traiter, il faut utiliser une couche très mince de pâte d'amidon sèche ou de MC sèche sur un papier Japon mince. Le montage est placé sous un poids pendant une longue durée afin de contrer toute déformation hors-plan. Les papiers extrêmement fragiles et réactifs peuvent aussi être réparés à l'aide de textiles réhumidifiables, avec du Klucel G activé par un alcool.

La PAmB, le papier Japon et les papiers occidentaux forment également les joints les plus forts en vue de la réparation et de la consolidation des cartons de montage détériorés. Il est possible d'introduire

de la pâte entre les couches du carton et de la laisser sécher sous pression afin de réduire au minimum les déformations hors-plan. Les coins manquants peuvent être reconstruits à l'aide de couches de papier occidental dont les bords ont été mouillés avec de l'eau avant d'être coupés pour assurer l'entrelacement entre les fibres du papier et du carton. Les coins reconstruits peuvent alors épouser la forme de la déchirure. La teneur en humidité de la pâte doit être contrôlée de manière à éviter l'apparition de taches par suite de la pénétration d'eau dans le carton par capillarité.

Le doublage

Les dommages physiques et la dégradation du papier peuvent rendre nécessaire le doublage entier de l'épreuve, après réparation des déchirures. De manière générale, le papier Japon de grammage approprié ou le papier occidental de haute qualité, tout comme la PAmB, servent à faire les doublages. Il faut toujours garder à l'esprit que l'adhésif peut tacher le papier ou la couche qui forme l'image. Il est possible d'appliquer une doublure en Dacron ou en Dacron modifié ou encore une doublure abaissée directement sur le revers d'une photographie humidifiée (Wagner, 1991).

Le doublage des épreuves à l'albumine endommagées exige beaucoup de précautions, car l'humidité a des effets dommageables sur les liants à base d'albumine (Messier et Vitale, 1994). L'humidification est nécessaire pour faire gonfler le papier et le liant avant de procéder au doublage (Vischi et Hill, 2008). La photographie est immédiatement placée, face vers le bas, sur un morceau de polyester, afin d'être réparée et doublée, l'humidité étant réduite en plaçant l'objet sur une table aspirante. Pendant qu'elle est encore humide, la photographie doublée est placée dans un empilement « dur-mou » de buvards pour éviter qu'elle ne se recourbe (Homburger et Korbel, 1999; Vischi et Hill, 2008). Les papiers de doublage réhumidifiables avec des mélanges de MC et de PAmB peuvent être très efficaces pour le doublage et la réparation des épreuves à l'albumine et d'autres objets sensibles à l'humidité puisque ces papiers exigent peu d'humidité (Brückle, 1997; Wagner, 1997).

La réparation des épreuves sur supports non traditionnels, comme les épreuves sur cuir et sur textile, peut nécessiter l'utilisation de matériaux de doublage peu usités dans le domaine de la conservation du papier et des photographies. Par exemple, une photographie panoramique grand format sur textile datant de 1913 a été doublée avec un nouveau textile à l'aide de BEVA 371 Film (Baker et Hill, 1987).

La consolidation des émulsions qui se soulèvent et s'écaillent

Lorsque le joint entre l'émulsion et un support de verre est compromis, l'émulsion devient très vulnérable aux dommages mécaniques, et il est alors nécessaire de la recoller. La gélatine se dilate considérablement au contact de l'humidité, ce qui rend difficile, voire impossible l'alignement des morceaux lorsqu'un adhésif aqueux est utilisé. Le Klucel G (à 2 % dans l'éthanol, appliqué à l'aide d'un pinceau) est absorbé par capillarité sous les fragments détachés, ce qui permet de former un joint relativement faible. La gélatine est légèrement humidifiée à l'aide d'un nébulisateur à ultrasons avant d'être recollée (**figures 3a** et **3b**). La gélatine tiède (à 2 % dans l'eau) peut servir à consolider de très petites zones le long des bords des négatifs et des épreuves positives qui s'écaillent. Un procédé utilisant du Paraloid B-72 (à 5 % p/v dans le xylène) avec humidification de la gélatine a été utilisé, mais il n'a pas encore fait l'objet d'essais exhaustifs (Albright *et al.*, 2003).

Figures 3a et 3b. Gélatine écaillée recollée sur un support de verre à l'aide de Klucel G (en solution à 1,5 à 2 % dans l'éthanol). Les écailles sont soulevées délicatement, puis l'adhésif est appliqué. La gélatine est ensuite humidifiée à l'aide d'un nébulisateur à ultrasons, puis les écailles reposées et remises en place. Une légère pression doit être exercée tant que l'adhésif n'a pas pris.

Les bords d'une déchirure peuvent être collés avec de la gélatine tiède une fois réunis. En général, il est conseillé de réparer d'abord les déchirures à partir du revers, à l'aide de papier Japon et de PAmB. Il faut appliquer ensuite de la gélatine tiède (à 2 %) sur les bords de l'émulsion, procéder à un léger polissage, puis laisser sécher la photographie sous pression. La gélatine appliquée sur le revers de la fissure peut aider à ramener dans le plan la gélatine qui se soulève en cuvette, selon l'épaisseur du papier (Hofmann, 1991; Long, 1989).

Les émulsions de gélatine détériorées et friables peuvent être consolidées grâce à des applications contrôlées de gélatine tiède (à 2 %) faites à des endroits précis à l'aide d'un pinceau fin ou d'un nébulisateur à ultrasons. Il faut préalablement procéder à des essais rigoureux, parce qu'une réticulation de la gélatine est possible. Le joint formé n'est habituellement pas très fort, et tout pliage peut facilement perturber les surfaces consolidées. La MC peut également convenir à ce genre d'opération, car il s'agit d'un produit plus flexible. Les surfaces de peinture friables des agrandissements au crayon (photographies grand format dont la surface est peinte) peuvent être consolidées à l'aide d'un nébulisateur à ultrasons (voir la section intitulée *Les œuvres sur papier*).

Les livres

Lynn Curry et Geneviève Samson, Bibliothèque et Archives Canada

Un livre est un assemblage de pages imprimées, manuscrites (écrites à la main) ou vierges qui sont cousues ou collées ensemble d'un côté puis reliées entre des plats rigides ou des couvrures flexibles. La présente section portera principalement sur la reliure des livres, plutôt que sur les pages qu'ils contiennent. Dans le domaine de la conservation des livres, il faut tenir compte d'une multitude d'éléments : structures de reliure anciennes ou modernes, fixations de couvrure, insertion d'éléments multimédia et vestiges des interventions précédentes. Si l'on employait traditionnellement le parchemin, le papier, les textiles, le bois, les cartons, le cuir, les encres et les pigments pour la fabrication des livres, on utilise également de nos jours des matériaux comme les matières plastiques ou les métaux. Les adhésifs traditionnels utilisés pour la reliure et la conservation ou la réparation des livres sont à base d'amidon ou de colles animales. Depuis les années 1940, on a aussi recours à des adhésifs synthétiques, comme les poly(acétates de vinyle) (PACV), les adhésifs acryliques en dispersion et les adhésifs thermofusibles (copolymères d'éthylène et d'acétate de vinyle, copolymères séquencés de styrène et polyuréthanes à composants réactifs).

Le vieillissement d'un livre s'accompagne d'une détérioration chimique et physique de ses matériaux, adhésifs et structures. Les opérations de conservation visent à renforcer ou à remplacer les pièces du livre qui ne sont plus fonctionnelles pour qu'il puisse continuer à jouer son rôle, qui est de permettre au lecteur de consulter son contenu. En effet, la valeur d'un livre tient à sa capacité d'usage continu. Selon la fréquence de manipulation, le milieu d'entreposage et les propriétés du matériel utilisé pour la reliure, les livres ayant une valeur durable nécessiteront des opérations de conservation périodiques tout au long de leur vie. Une intervention minimale ou des traitements non adhésifs devraient être envisagés, dans la mesure du possible, pour prévenir la perte d'éléments de reliure ou d'information contenue dans le livre.

Propriétés et état de l'objet influant sur le choix de l'adhésif

Les aspects déontologiques

Le choix des adhésifs et des matériaux de réparation doit respecter le style de reliure, la période historique dont est issu le livre ainsi que les techniques, les matériaux et la tradition de fabrication. Au moment de choisir les adhésifs et les matériaux de réparation, il faut tenir compte de la signification religieuse ou culturelle de l'objet, notamment en ce qui a trait à l'utilisation de produits d'origine animale. Enfin, il faut examiner attentivement la cause de la détérioration actuelle ainsi que les objectifs du traitement, tout en gardant à l'esprit les usages futurs prévus et la préservation.

Les adhésifs et les revêtements antérieurs

Les couches successives d'adhésifs et de matériaux de réparation conduisent à une rigidité ou à une perte de flexibilité des éléments du livre, ce qui peut entraîner une rupture de la structure et nécessiter l'enlèvement de ces matériaux. Cette opération peut se révéler problématique si les adhésifs antérieurs sont peu réversibles ou ne sont pas réversibles, s'ils sont difficilement accessibles ou s'ils entrent en contact avec des matériaux poreux ou fragiles. Les nouveaux joints adhésifs seront affaiblis si les adhésifs précédents ne sont pas entièrement éliminés (p. ex. les adhésifs à base d'amidon ne collent pas bien aux adhésifs synthétiques). De plus, le joint ne sera pas fiable si la surface est recouverte d'une matière quelconque, comme un enduit de cire ou un apprêt pour le cuir.

La force

Il est nécessaire d'évaluer l'état et la force des matériaux et des éléments structuraux d'origine de la reliure. Les structures mobiles d'un livre nécessitent un joint modérément fort et des matériaux de réparation flexibles. Les éléments entièrement détachés peuvent exiger un joint plus fort que les éléments fragiles ou susceptibles de se séparer.

La porosité et la pénétration

La porosité des matériaux influe sur la capacité d'absorption et le degré de pénétration des adhésifs. Le cuir poreux ou dégradé peut se tacher, devenir plus foncé, rétrécir ou durcir au contact d'un adhésif à base d'eau (**figure 1**). Un dos en papier fragile peut se raidir ou se tacher après l'application d'une couche épaisse d'adhésif. Un carton-fibre poreux absorbera rapidement l'adhésif, réduisant ainsi l'épaisseur du feuil adhésif et la force d'adhésion. Le choix de la

Figure 1. Assombrissement du cuir sous l'effet d'un adhésif à base d'eau.

méthode d'application, l'ajustement de la viscosité, l'application de l'adhésif en couches et la réduction de la quantité d'adhésif sont tous des moyens de contrôler le degré de pénétration.

La flexibilité

De manière générale, une grande flexibilité est souhaitable pour la réparation des charnières, le doublage et la pose d'un nouveau dos. La mobilité des éléments structuraux dépend de la flexibilité des matériaux d'origine et du choix des matériaux de réparation et de l'adhésif, qui doivent fonctionner comme un tout.

La solubilité

Les éléments des reliures contiennent des composés susceptibles de se solubiliser ou de migrer quand ils entrent en contact avec des adhésifs à base d'eau ou de solvant. Les produits d'encollage, les colorants et les pigments des livres reliés en toile ou en papier peuvent migrer ou former des taches. La migration des tanins dans les cuirs à tannage végétal dégradés peut causer un assombrissement. Il peut aussi y avoir migration d'acides dans les matériaux à base de papier. Enfin, les vieux adhésifs peuvent entraîner la formation de taches sur les matériaux ou leur raidissement.

L'accès à la zone des mors

Lorsque l'accès à la zone du mors est restreint, il est crucial d'adapter l'adhésif ou la méthode d'application pour que le traitement soit efficace. Par exemple, il peut être très difficile d'accéder à un mors détérioré si le matériau de couvrure est intact. Il peut alors être pratique d'utiliser un adhésif dont le temps de travail est plus long ou encore d'appliquer l'adhésif à l'aide d'une seringue. Pour faire adhérer une charnière sous un cuir ancien et fragile, l'adhésif peut être mis en place à partir d'une pellicule de polyester du côté chair du cuir selon un procédé en deux étapes : d'abord, l'application d'une fine couche d'adhésif pour étanchéifier le cuir ou le carton, suivie de l'application d'une seconde couche d'adhésif pour fixer la charnière.

La mise en presse

Pour assurer la liaison des réparations effectuées à l'aide d'un adhésif, il est nécessaire de presser les éléments, d'y appliquer un poids ou une pression ou de les attacher adéquatement pendant le séchage. L'application d'une pression ou d'un poids excessifs durant le séchage des zones réparées à l'aide d'un adhésif aqueux peut conduire à la formation de taches ou à l'assombrissement des matériaux de couvrure en cuir, en papier ou en textile. Les imperfections ou les inégalités sous-jacentes apparaîtront à travers le matériau de couvrure s'il a été pressé trop longtemps ou trop fortement. Les adhésifs peuvent suinter ou être repoussés vers des endroits non désirés quand ils sont soumis à une trop forte pression, ce qui entraîne un affaiblissement du joint, la formation de grumeaux d'adhésif durcis ainsi qu'une adhésion ou un changement de couleur non voulus des matériaux. Inversement, une pression ou un poids insuffisants peut entraîner une mauvaise adhésion.

Propriétés d'adhésif à considérer

De manière générale, les adhésifs qui conviennent aux livres peuvent s'appliquer de différentes façons, sont faciles à préparer, ne sont pas susceptibles d'être attaqués par les insectes ou les agents biologiques ou de changer de couleur, ont une durée de vie raisonnable, demeurent facilement solubles et faciles à éliminer, sont exempts d'acide et conservent une efficacité d'adhésion suffisante (Metzger *et al*., 2003). Le **tableau 1** présente les adhésifs couramment utilisés pour les livres.

Choix de l'adhésif pour les traitements

Le doublage

Les adhésifs et les matériaux utilisés pour le doublage du dos sont choisis en fonction d'un certain nombre de facteurs, comme les caractéristiques de la reliure, l'usage prévu de l'objet et l'expérience ou la tradition du relieur ou du restaurateur. Une certaine rigidité verticale est nécessaire pour soutenir la structure du dos et empêcher la déformation. La flexibilité dans le sens de la largeur du dos est nécessaire pour assurer la mobilité de cette structure. Cet équilibre essentiel entre

Tableau 1. Adhésifs couramment utilisés pour les livres

Type de traitement	Adhésifs couramment utilisés
doublage	collagène (gélatine, colle animale), amidon (blé, riz, maïs), éther de cellulose [méthylcellulose, hydroxypropylcellulose (Klucel G)], dispersion de copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène (AVE) (Jade 403, Elvace 45675), dispersion acrylique (Lascaux 360 HV, Lascaux 498 HV), mélange d'adhésifs à base d'eau (amidon/AVE; méthylcellulose/AVE)
pose d'un dos nouveau	amidon (blé, riz, maïs), dispersion AVE (Jade 403, Elvace 45675), dispersion acrylique (Lascaux 360 HV, Lascaux 498 HV), mélange d'adhésifs à base d'eau (amidon/AVE; méthylcellulose/AVE)
pose de charnières	collagène (gélatine, colle animale), amidon (blé, riz, maïs), dispersion AVE (Jade 403, Elvace 45675), dispersion acrylique (Lascaux 360 HV, Lascaux 498 HV), mélange d'adhésifs à base d'eau (amidon/AVE; méthylcellulose/AVE)
emploi de cataplasmes	éther de cellulose [méthylcellulose, hydroxypropylcellulose (Klucel G)]
consolidation	collagène (gélatine, colle animale), éther de cellulose [méthylcellulose, hydroxypropylcellulose (Klucel G)], dispersion acrylique (Lascaux 360 HV, Lascaux 498 HV), résine acrylique (Paraloid B-72, série Plextol)

rigidité et flexibilité s'obtient grâce à des combinaisons d'adhésifs, de matériaux et de techniques.

Le doublage primaire du dos

Le doublage primaire du dos consiste à appliquer un adhésif avec ou sans l'application d'un matériau de doublage directement sur le dos du corps d'ouvrage. La force du joint n'a pas à être exagérément élevée, car les principales contraintes sur le dos mobile s'exercent dans le sens de sa largeur et non perpendiculairement sur l'adhésif ou sur le doublage (Conroy, 1987). Comme cette opération peut être la seule mesure de doublage effectuée sur le dos, elle doit maintenir celui-ci dans sa forme fonctionnelle désirée. Des adhésifs à base d'amidon sont traditionnellement utilisés en reliure et en conservation en raison de leur stabilité chimique, de leur nature aqueuse et de la fiabilité du joint qu'ils produisent, dont la force peut être ajustée selon les besoins. Ils ont généralement une forte teneur en eau et sont lents à sécher. Les pâtes d'amidon peuvent être appliquées sous forme diluée (pâte détrempée), avec ou sans papier de doublage, afin de sceller les cahiers de papier plié constituant le dos, et elles peuvent agir comme barrière pour les couches d'adhésif ultérieures (**figure 2**). Le doublage entre les supports de couture (doublure transversale) prévient l'accumulation d'adhésifs, il évite que le doublage entraîne une perte de flexibilité, et il prévient des dommages potentiels aux supports et aux fils de couture causés par un excès d'humidité.

Figure 2. Doublage primaire du dos. Pâte d'amidon de blé diluée et papier Japon en fibres de Kozo.

Les adhésifs à base de collagène (p. ex. gélatine ou colles animales) ont également été utilisés pour le doublage primaire et secondaire (le doublage secondaire est abordé plus loin). Ces adhésifs particulièrement forts sont stables chimiquement et réversibles dans l'eau; cependant, une fois secs, ils ont tendance à être plutôt friables. L'ajout d'additifs comme le sorbitol et la glycérine permet d'améliorer leur flexibilité. Les adhésifs au collagène ont un fort pouvoir adhésif, ils prennent rapidement et ils contiennent moins d'eau que les pâtes d'amidon, ce qui réduit le gondolage des matériaux. Ils doivent être utilisés à chaud, mais la chaleur doit être adaptée aux matériaux devant être collés. La technique traditionnelle consistant à appliquer une épaisse couche de gélatine comme adhésif de doublage sur le corps d'ouvrage en parchemin ne conviendrait pas au matériau et entraînerait à la fois la rigidité et la rupture des structures du dos. La gélatine est toutefois un adhésif fort et réversible auquel il est possible d'ajouter des agents tampons et des assouplissants. Le corps d'ouvrage en parchemin peut bénéficier d'un doublage primaire sans adhésif (Spitzmueller, 2004).

Le doublage secondaire du dos

Le doublage secondaire du dos consiste à appliquer des adhésifs et des matériaux qui fournissent un support structural ou des moyens physiques pour rattacher des cartons ou des couvrures, comme un soufflet, des charnières en toile ou des onglets de parchemin. De manière générale, les adhésifs utilisés pour le doublage secondaire forment le joint qui relie les nouveaux matériaux, comme le papier de doublage primaire et une toile de doublage.

Les adhésifs à base d'amidon ou de collagène donnent généralement des résultats fiables (comme il est mentionné dans la section précédente). Les pâtes d'amidon sont souvent choisies pour les reliures anciennes, rares ou fragiles en raison de leur réversibilité. Les dispersions de copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène (AVE) sont utilisées lorsqu'un joint plus solide est nécessaire, qu'un temps de séchage plus court est souhaité pour prévenir le changement de couleur ou le gonflement ou lorsque la réversibilité n'est pas une préoccupation. Les dispersions AVE – utilisées avec un doublage en toile de coton ou de lin prélavée pour supporter de nouvelles coutures collées sur le doublage primaire – offrent un meilleur ancrage pour la doublure, un meilleur support structural et une meilleure flexibilité pour le dos (McPherson, 2000). Si la reliure comporte des agrafes contenant du fer, les adhésifs à base d'eau peuvent les faire rouiller et endommager les matériaux en cellulose environnants. Dans ce cas, une dispersion AVE peut apporter moins d'humidité et permettre un séchage plus rapide que la pâte d'amidon, ce qui empêche une dégradation accrue des agrafes (Doyle, 2004). Lors de la préparation d'une charnière en toile, il importe de bien faire pénétrer l'AVE dans la toile, car la force du rattachement des plats dépend en partie de la formation d'un joint fort entre la toile et le dos du corps d'ouvrage. Les doublures en toile de lin ou en coton peuvent être légèrement humectées pendant l'application pour obtenir une meilleure adhésion au dos (Brock, 2001). Il est également possible d'appliquer une dispersion AVE réversible (p. ex. le Jade R) directement sur un dos recouvert de pâte d'amidon pour que la toile de lin puisse mieux adhérer à la nouvelle reliure (Funazaki, 2007).

Il est possible de mélanger divers adhésifs aqueux, selon les besoins du traitement, pour faire varier le temps de séchage, le degré de pénétration, le pouvoir adhésif, le glissement, le temps de serrage, la force ou la flexibilité. Le vieillissement des mélanges d'adhésifs contenant des colles synthétiques peut contribuer à rendre l'adhésif irréversible (Fuchs, 2008). Un sondage a révélé que 13 % des restaurateurs de livres utilisaient des mélanges de PACV et de pâte d'amidon ou de PACV et de méthylcellulose (MC) (St. John, 2000). Les dispersions AVE tempérées par de la MC (25 %) et appliquées avec modération peuvent contrôler la concavité du dos sans empêcher l'ouverture du corps d'ouvrage (McPherson et McPherson, 2000). Un doublage secondaire en parchemin – collé à l'aide d'un mélange de dispersion AVE et de pâte d'amidon pour réduire le temps de séchage – assure une forte adhésion au doublage primaire (Kellar, 1988).

La pose d'un dos nouveau

La pose d'un dos nouveau consiste à enlever et à remplacer les matériaux et les adhésifs qui recouvrent le dos et qui sont habituellement en état de détérioration. L'opération peut également viser à maintenir la mobilité du dos ou à assurer la fixation de la couvrure. L'objectif est de former un joint durable et flexible entre les anciens et nouveaux matériaux, tout en contrôlant l'humidité et le temps de séchage. Le rapport entre la réversibilité et la durabilité de la réparation est un facteur important à considérer. À ce chapitre, les exigences d'un volume provenant d'une collection spéciale seront différentes de celles d'un volume de consultation courante. Selon les résultats souhaités et les matériaux dont il s'agit, il est possible d'obtenir des variations en ajustant les recettes et les concentrations des adhésifs ou en combinant divers adhésifs aqueux. L'application contrôlée de pâte d'amidon visqueuse sur le côté chair d'un cuir ancien crée une barrière prévenant la pénétration d'eau par capillarité au travers de la surface lors de l'application subséquente de couches de pâte d'amidon (**figure 3**).

Figure 3. Application contrôlée d'adhésif sous un cuir ancien.

Pour réduire tout risque de changement de couleur, de rétraction ou de raidissement du cuir ancien, il est préférable d'employer une dispersion AVE plutôt que de la pâte d'amidon. Les adhésifs Lascaux 360 HV et 498 HV, seuls ou en mélange, peuvent être utilisés pour coller le cuir ancien sur un nouveau substrat, car leur solubilité dans certains solvants peut leur donner une capacité d'enlèvement supérieure à celle des dispersions AVE. Lors d'un traitement, Frederick et Hellman (2001) ont utilisé du Lascaux 360 HV pour coller un doublage en papier Japon à un dos fait de cuir ancien; cet adhésif est resté très flexible et n'a pas entravé le mouvement du dos.

La pose de charnières

Les dispositifs traditionnels pour attacher les plats au corps d'ouvrage sont les supports de couture, les matériaux de couvrure et les pages de garde. Tous ces éléments peuvent subir des dommages physiques en raison d'un pliage répétitif qui peut conduire à la séparation des couvrures. Pour renforcer les mors affaiblis mais toujours intacts, un long outil pointu ou une seringue peut servir à insérer de l'amidon dilué ou une dispersion AVE dans l'espace restreint situé entre le mors et le dos du livre.

Voici trois ensembles de techniques utilisées pour remplacer des mors brisés :

Le remontage des ficelles sur le corps d'ouvrage

De manière générale, le premier ensemble de techniques mise sur le lien physique que représentent les nouveaux éléments de couture afin d'attacher la couvrure au corps d'ouvrage; il est toutefois possible d'utiliser des adhésifs pour attacher de nouveaux éléments et pour rattacher les éléments d'origine dans le cadre du processus de pose de charnières (voir la section intitulée *La pose d'un dos nouveau*).

Les allongements des doublures du dos

Le deuxième ensemble de techniques mise sur le joint formé entre les nouveaux éléments de la charnière et le dos ou le mors du corps d'ouvrage et la couvrure.

Les charnières rapportées

Cette technique consiste à doubler un dos avec une bande de textile dont les allongements peuvent être collés au recto ou au verso de la couvrure en vue de servir de charnières. Divers types d'adhésif ont été utilisés à cette fin. Par exemple, pour un livre datant du XIII^{e} siècle, une pâte d'amidon de riz a été employée pour coller un rebord en toile sur des cartons en chêne, fournissant ainsi un dispositif de fixation réversible adapté aux matériaux d'origine (Quandt, 1991). De plus, une toile de lin lavée et prérétrécie a été collée sur des aies de bois du XVII^{e} siècle avec de la pâte d'amidon; cela a donné un résultat réversible et acceptable sur le plan esthétique (Honey, 2003). Par ailleurs, le PACV a été utilisé dans le cadre d'un procédé de rattachement de charnières rapportées en toile qui avait été conçu pour des livres (petits ou grands) à dos brisé cousus sur nerfs, ce qui nécessitait l'utilisation d'un joint très fort (Brock, 2001).

La refente des plats

L'utilisation de PACV (incluant des dispersions AVE) ou de gélatine permet de former un joint plus fort que les pâtes lorsqu'il faut attacher les charnières rapportées aux chants fendus des plats (Fredericks et Hellman, 2001). Tant les PACV que la pâte d'amidon ont un temps de travail supérieur à celui de la gélatine, ce qui est utile au moment d'insérer la toile

dans la rainure. Cependant, la pâte d'amidon peut s'avérer un meilleur choix en raison de sa permanence reconnue et de son pouvoir adhésif suffisant pour maintenir la toile dans la fente. De manière générale, le coton possède une meilleure résistance au pliage que le lin et il peut donc être plus durable comme élément de charnière (Zimmern, 2000).

Les charnières rapportées

Le troisième ensemble de techniques mise sur la formation d'un joint entre de nouvelles charnières et le mors ou les pages de garde et les plats.

Les charnières rapportées en papier Japon

Selon la taille, le poids, la rareté et l'état du livre, la pâte d'amidon peut former un joint adéquat entre la charnière en papier Japon et les plats ou le revêtement des plats (Primanis, 2000). Etherington (2007) estime que le PACV ou un mélange de PACV et de pâte d'amidon forme un joint plus fort et plus fiable entre le papier de réparation et le cuir ancien que la pâte d'amidon utilisée seule. Dans une étude de Dorning (2005), des essais de résistance au pliage menés après 8 mois de vieillissement et 1 000 pliages ont permis d'établir que les charnières les plus fortes étaient celles qui avaient été collées au moyen d'un mélange de pâte d'amidon de blé (PAmB) et d'Evacon sur lequel a ensuite été appliqué un revêtement de Liquitex et de SC6000. L'Evacon est une dispersion AVE tandis que le SC6000 est un mélange de cires et de résine acrylique émulsifiée dans de l'isopropanol aqueux. De même, l'application de Lascaux 498 HV sur un papier Japon utilisé comme papier de réparation réactivable par un solvant offre les avantages suivants : application rapide, force accrue et stabilité du matériau de réparation, facilité de réintégration chromatique du papier de réparation au substrat et réversibilité de l'adhésif. Contrairement au Lascaux 360 HV, le Lascaux 498 HV n'est pas collant à la température ambiante. Enfin, pour ce qui est des adhésifs pouvant convenir à cette technique, une méthode d'application à base de solvant risque moins d'assombrir ou d'endommager un cuir ancien, des problèmes souvent éprouvés lors de l'application directe d'adhésifs à base d'eau (Puglia et Anderson, 2007).

L'emploi de cataplasmes

Il peut être nécessaire d'enlever les adhésifs cristallisés ou qui s'effritent sur le dos du corps d'ouvrage avant d'appliquer de nouveaux adhésifs et de nouvelles doublures. Pour éviter que les fonds des cahiers et des mors ne deviennent trop humides, le grattage à sec des vieux adhésifs ou l'application limitée d'un cataplasme peuvent contribuer à ramollir les adhésifs solubles dans l'eau et les doublures en cellulose. La PAmB, la MC et le produit Laponite RD se prêtent bien à la préparation de cataplasmes (**figure 4**), et leur viscosité tout comme leur pH peuvent être ajustés. Il est possible de contrôler l'application de ces produits en évitant les zones où l'humidité pourrait causer des dommages, comme les supports de couture en textile et le fil, ou en les appliquant à travers un intercalaire synthétique ou en cellulose afin de prévenir l'accumulation du cataplasme dans les fonds des cahiers ainsi que l'apparition de cernes et de taches sur les cahiers.

La consolidation

Les surfaces des cuirs utilisés en reliure nécessitent souvent un traitement de consolidation en raison de la

Figure 4. Élimination complète de plusieurs couches d'adhésif et de doublages au moyen d'un cataplasme à base de Laponite (5 % dans l'eau).

pourriture rouge ou de la détérioration de la couche du grain du cuir. La consolidation devrait être considérée comme irréversible en raison de la pénétration de l'agent de consolidation dans les matériaux poreux dégradés (ou en cours de détérioration). La consolidation peut être l'étape finale d'un traitement ou elle peut faciliter l'exécution d'étapes ultérieures, comme la consolidation d'un dos brisé avant de l'enlever du corps d'ouvrage (Cains, 1994). La gélatine peut former un joint fort avec la couche du grain d'un cuir qui s'effrite en offrant une flexibilité légère sans pour autant causer d'autres pertes. Cependant, le cuir peut changer de couleur (Cains, 2007). La fleur du cuir qui s'effrite ou se détache peut être renforcée par l'application de Paraloid B-72 dans de l'acétone; ce mélange ne fait pas foncer le cuir, mais peut le faire durcir et le rendre rigide (Puissant, 1994).

Le Klucel G (hydroxypropylcellulose) est un agent de consolidation de surface polyvalent pour les reliures de cuir qui s'effritent ou sont poudreuses, car il peut être dissous dans une variété de solvants à diverses concentrations. La concentration de la solution peut donc être ajustée de manière à obtenir la force voulue, à assurer une pénétration adéquate, à limiter l'assombrissement du cuir et à donner au cuir un fini mat. Le Klucel G (1-2 % dans l'éthanol ou l'isopropanol) peut être un agent de consolidation efficace qui peut s'appliquer en plusieurs minces couches au pinceau ou à l'aérographe (Primanis, 2000). Cependant, il risque de ne pas pénétrer plus profondément que la couche de surface et de ne pas améliorer la cohésion entre la couche du grain du cuir et les couches côté chair (Fredericks et Hellman, 2001). Il est connu que le feuil formé par le Klucel G se désagrège en présence d'acide sulfurique, un sous-produit de la détérioration du cuir. Le feuil de Klucel G est vulnérable aux fractures de tension et est donc plus efficace s'il est appliqué sur des matériaux semi-rigides comme les plats des livres que sur les mors ou les dos souples en cuir. Le produit devrait être conservé dans un contenant bien fermé, au sec, afin de prévenir toute augmentation de sa teneur en humidité qui pourrait causer l'assombrissement du cuir (Cains, 2007). La consolidation du cuir atteint par la pourriture rouge avec du Klucel G permet de sceller la surface poudreuse, ce qui en fait une base acceptable pour les adhésifs aqueux nécessaires à la pose d'une charnière en papier Japon sur les plats (Fredericks et Hellman, 2001). Le Klucel G peut être utilisé pour coller un cartonnage sur un cuir fragile avant de le soulever; le cartonnage peut être enlevé au terme du traitement (Espinosa, 1991) (**figure 5**). À la suite de la consolidation au Klucel G, il est possible d'utiliser de la PAmB pour coller le cartonnage sans causer de changement de couleur du cuir (Levy, 1987).

Pour obtenir une force, une flexibilité, une pénétration et un fini de surface qui conviennent davantage aux livres reliés en cuir ancien, une solution à parts égales (1:1:1) d'éthanol, de SC6000 et de Klucel G (2 % dans l'éthanol) offre un niveau adéquat de protection (Ruzicka *et al*., 2007). Un mélange de Lascaux 498 HV et d'isopropanol (1:6) donne un mélange transparent et légèrement visqueux dont une seule couche suffit à consolider la plupart des cuirs. Ce mélange préserve la flexibilité du cuir et forme un joint fort entre le cuir ancien et le papier de réparation activé par un solvant (Puglia et Anderson, 2007).

Figure 5. Collage du cartonnage au cuir du dos au moyen de Klucel G (3 % dans l'éthanol).

Les cuirs et les peaux

Carole Dignard et Janet Mason, Institut canadien de conservation

Les traitements aux adhésifs sont généralement utilisés pour réparer les déchirures, renforcer les zones affaiblies et combler les parties manquantes dans les cuirs et les peaux ou encore pour consolider ces matériaux. Le choix du traitement et de l'adhésif repose non seulement sur la fonction ou l'utilisation de l'objet, mais aussi sur le type de peau ou de cuir, ses propriétés et son état.

Propriétés de l'objet et facteurs influant sur le choix de l'adhésif

Il y a une grande variété de peaux et de cuirs dans les collections muséales. La façon dont une peau est transformée et tannée influe sur ses caractéristiques, sa détérioration et ses options de traitement :

- les *cuirs de tannage végétal* de diverses épaisseurs, souplesses et finitions sont courants dans les collections muséales, notamment comme revêtement de meubles (cuirs d'ameublement) et de sièges d'automobiles, cuirs de décors muraux, articles de sellerie, etc. Ces cuirs peuvent se raidir lorsqu'ils sont inutilisés; ils peuvent également s'acidifier et s'affaiblir au fil du temps. Dans certains cas, ils deviennent extrêmement faibles et pulvérulents en raison de la « pourriture rouge », une altération qui les rend plus vulnérables aux déchirures et aux pertes;
- les *peaux tannées aux sels de fer (*ou *peaux tannées noires)* peuvent être atteintes de « pourriture noire », caractérisée par une faiblesse et une fragilité extrêmes;
- les *peaux* et *peaux à fourrures semi-tannées* selon des techniques autochtones, aussi appelées peaux tannées à la cervelle ou à la fumée, sont généralement douces, souples et charnues; elles sont utilisées dans la confection de vêtements, tels que les vestes de daim, les mocassins et les parkas. D'autres articles, comme des tentes, sont faits de peaux plus épaisses et plus rigides. Les peaux semi-tannées peuvent perdre de leur flexibilité si elles sont inutilisées ou si elles sont exposées à l'eau;
- les *cuirs tannés à l'huile (peaux chamoisées)* sont généralement doux et souples. Ils sont souvent utilisés pour fabriquer des sacs ou des articles de vêtement mous, dont des vêtements de fourrure. La peau chamoisée est un matériau robuste, résistant à l'eau et aussi très absorbant;
- les *peaux mégissées*, utilisées notamment dans la confection de gants et d'autres accessoires raffinés, ne sont pas aussi stables dans l'eau que les cuirs tannés; une teneur élevée en gras améliore leur résistance à l'eau;
- les *cuirs bruts* sont des peaux dures et rigides de diverses épaisseurs qui sont utilisées à diverses fins, comme dans les silhouettes de théâtre d'ombres, les sacs, etc. Certains objets en cuir brut présents dans les collections pourraient avoir été huilés à l'origine, comme les kayaks et les flotteurs en peau de phoque, ce qui occasionne des difficultés supplémentaires;
- les *peaux d'intestin* minces et translucides utilisées par les Inuits pour fabriquer des parkas constituent un défi en raison de leur rigidité, de leur minceur et de leur surface huilée;
- les *peaux étirées* ou *tendues*, comme celles qui recouvrent des coffres en bois ou des écrans, ou comme celles utilisées sur les tambours, peuvent présenter des difficultés supplémentaires en ce qui concerne l'accès aux peaux, le serrage et les contraintes environnementales anisotropes;
- le *cuir archéologique* est souvent fragmenté, et il peut être très faible, friable, cassant et se séparer en couches.

Propriétés d'adhésif à considérer

Plusieurs articles ont été publiés sur le choix des adhésifs en vue du traitement d'une variété de cuirs et de peaux, notamment par Fenn (1984), Wouters (1989), Calnan *et al.* (1991) ainsi que par Kite et Thomson (2006). Au moment de choisir un traitement à base d'adhésif, toutes les composantes du traitement, comme l'utilisation de chaleur, d'eau ou de solvants, la méthode de serrage, etc., doivent être évaluées par rapport aux caractéristiques et à l'état du cuir ou de la peau.

L'utilisation de la chaleur

Dans le cas des peaux de faible stabilité hydrothermique (p. ex. température de rétraction < 40 °C), il est préférable d'éviter d'utiliser de l'eau. L'utilisation d'eau pourrait causer une rétraction fibrillaire irréversible, entraînant le durcissement, la déformation ou l'assombrissement de la peau, voire la gélatinisation, l'amincissement ou la

formation de trous. Il faut éviter tout particulièrement l'utilisation combinée de chaleur et d'eau, car l'eau fait gonfler les macromolécules de collagène (le principal polymère dans la peau et le cuir), qui deviennent par la suite vulnérables à la dénaturation thermique. L'application de chaleur seule sur une peau dégradée et sèche peut également être problématique, même si le collagène non gonflé est plus résistant à la dénaturation thermique. Les données empiriques démontrent que la chaleur sèche, entre 60 et 75 °C, est généralement sécuritaire, mais des essais doivent être réalisés à ce sujet. Il importe donc de réduire la température le plus possible ainsi que la durée de l'exposition à la chaleur.

L'utilisation d'eau et de solvants

Les effets des solvants doivent également être évalués. Certains types de peaux ou de cuirs sont sans aucun doute endommagés par l'eau (p. ex. peaux mégissées). L'eau et les solvants polaires peuvent causer des taches, un raidissement ou un durcissement des peaux et des cuirs ou encore la migration en surface des tanins. De manière générale, les solvants moins polaires ont moins d'effets. L'eau et, dans une moindre mesure, les solvants polaires, peuvent causer le gonflement et la contraction des zones sous traitement, ce qui peut entraîner un désalignement des bords de la déchirure durant l'étape de réparation. Si les cuirs sont teints, la résistance des teintures à l'eau et aux solvants doit également être vérifiée.

La pénétration

La pénétration de l'adhésif ou du solvant dans une peau dépend de l'état et de la porosité de la peau. Les peaux semi-tannées, les peaux de ganterie, les peaux avec fourrure et les cuirs de tannage végétal en particulier peuvent absorber l'adhésif ou le solvant, risquant ainsi de raidir, de se tacher ou de foncer. Les feuils adhésifs secs peuvent minimiser la pénétration, car les méthodes d'activation peuvent créer un adhésif collant mais ferme et un joint de surface. Les adhésifs à haute viscosité ont aussi une pénétration réduite. Cependant, la pénétration de l'adhésif pourrait être nécessaire pour renforcer les substrats fragiles ou pour consolider des peaux friables ou pulvérulentes. Le choix du solvant, la viscosité de l'adhésif, la méthode d'application et la quantité d'adhésif appliquée sont tous des moyens de contrôler la pénétration.

La capacité d'enlèvement

La capacité et le degré d'enlèvement de l'adhésif varient selon le type d'adhésif, la quantité appliquée, le solvant (ou, dans le cas des dispersions, le liquide de suspension), la porosité de la peau, le degré de pénétration et la méthode d'application utilisée.

Si l'utilisation d'eau ou de solvants ne convient pas à la peau, les options d'enlèvement deviennent alors plus limitées. Les joints de surface à pénétration minimale s'enlèvent plus facilement que les joints à pénétration profonde. Il peut être efficace de procéder mécaniquement, par exemple de peler ou de détacher l'adhésif à l'aide de petits outils, de spatules et de scalpels. Les moyens mécaniques peuvent être combinés, au besoin, avec diverses méthodes pour faire gonfler ou pour dissoudre l'adhésif (p. ex. l'utilisation de petites quantités de solvants, de vapeurs de solvant, de cataplasmes ou de gels de solvants). Les adhésifs qui pénètrent profondément par capillarité (p. ex. consolidation) sont pratiquement impossibles à enlever complètement. La stabilité de l'adhésif au fil du temps est un facteur important et elle est essentielle pour les traitements qui nécessitent une pénétration.

La force du joint

La force du joint formé par l'adhésif doit être suffisante pour répondre aux besoins de l'objet et convenir à son utilisation prévue. La force requise varie selon que la peau ou le cuir doit résister ou non à certaines contraintes (p. ex. si la zone réparée doit porter ou non une charge ou si elle est exposée ou non à des conditions climatiques changeantes). Lors d'un traitement, la méthode d'application de l'adhésif et le solvant utilisés peuvent avoir un impact sur la force du joint créé. Un bon contact est essentiel pour former un joint fort. Les huiles en surface repousseront un adhésif à base d'eau ou de solvant polaire, tandis que les surfaces qui sont pulvérulentes, poussiéreuses ou recouvertes d'autres dépôts peuvent également nuire à la force du joint. Les surfaces déformées qui doivent être remises en plan présentent aussi des défis; habituellement, un traitement de remise en forme précédera le traitement de réparation. Si des sections faisant l'objet de réparations restent dans une certaine mesure déformées ou mal alignées, l'utilisation d'un adhésif à base d'eau ou de solvant polaire peut avoir l'avantage additionnel d'aider à ramollir et à remettre en forme les petites déformations, ce qui améliore le contact et l'alignement.

La flexibilité

De manière générale, la zone réparée doit avoir la même flexibilité que la peau ou le cuir. La flexibilité du matériau de doublage utilisé aura également un impact global important.

Le pH

Le pH de l'adhésif doit se situer près du point isoélectrique normal de la peau ou du cuir ou encore dans la plage des valeurs neutres. Le pH de la peau ou

du cuir dépend de son traitement et de son tannage (p. ex. le cuir brut a un pH entre 5 et 6; le tannage végétal rend une peau légèrement plus acide).

La compatibilité et le serrage

La compatibilité de l'adhésif avec d'autres traitements, comme le nettoyage ou l'imprégnation, ou encore la facilité d'accès à la peau en vue de bien aligner toutes les pièces et d'effectuer le serrage, sont d'autres facteurs à considérer lors du choix de l'adhésif.

Adhésifs couramment utilisés

Le **tableau 1** présente les adhésifs couramment utilisés pour les cuirs et les peaux.

Le doublage

Le doublage est couramment pratiqué pour renforcer des cuirs et des peaux fragiles ou pour refermer des déchirures. Un bon contact sur toute la surface traitée est nécessaire pour assurer un support uniforme. Dans le cas des réparations localisées, le matériau de doublage reliant chaque côté de la déchirure doit être suffisamment large pour que la zone réparée soit suffisamment forte. Parmi les matériaux de doublage pouvant être utilisés, on retrouve :

- divers cuirs et peaux;
- les parchemins ou vélins;
- les membranes de peau [p. ex. baudruche, peaux de vessie natatoire de poisson, boyaux de vache, boyaux à saucisse régénérés (breveté), préservatifs en peau de mouton];
- les papiers Japon;
- les textiles tissés [p. ex. crêpeline de soie, gaze, coton, lin, polyesters comme Tetex (anciennement Stabiltex)];
- les textiles non tissés (p. ex. polyesters tels que Hollytex, Reemay, Bondina T1780; nylon transparent tel que Cerex; et viscose telle que Tootal).

Les propriétés dont il faut tenir compte dans le choix du matériau de doublage comprennent l'épaisseur, la force, la flexibilité, la texture, l'armure, la stabilité, ainsi que la capacité de coller à l'adhésif et d'épouser la forme de l'objet. La composition, la texture et le fini de surface du matériau de doublage peuvent influer sur le mouillage de l'adhésif et la force de la zone réparée. Un matériau de doublage poreux comme les textiles tissés pourrait ne pas convenir aux adhésifs qui restent collants après séchage. En raison de leur armure, les textiles tissés réagissent différemment des cuirs et des peaux aux fluctuations de l'humidité relative (HR). Si le matériau de doublage sera visible sur l'objet, il peut être important de pouvoir facilement le teindre ou le colorer.

Le BEVA 371 et le BEVA 371 Film

Le produit BEVA 371 et le BEVA 371 Film sont pratiques lorsqu'ils sont utilisés comme adhésifs pour le doublage de divers objets en cuir et en peau, comme en ont discuté Kronthal *et al.* (2003). L'utilisation de ces produits offre certains avantages : caractéristiques de vieillissement connues, capacité d'enlèvement, formation de joints forts, faible température de réactivation, flexibilité et bonne pégosité. Leur application par réactivation à la chaleur (**figures 1** et **2**) est rapide et précise; elle permet également de simplifier le serrage et d'éviter l'emploi de solvants. Plusieurs ouvrages font mention de leur utilisation pour le traitement d'une variété de cuirs et de peaux, y compris du cuir d'ameublement (Calnan, 1991), du cuir de Cordoue (Tsu *et al.*, 1999; Calnan, 1992), une selle (Sturge, 2000), des peaux semi-tannées (Richardson, 2002; Dumka, 2006), des capes ornées de fourrure (Kite, 1990; Dignard et Gordon, 1999), des gants en suède (Kite, 1996), des silhouettes de théâtre d'ombres (Falcao, 2007; Kronthal, 2001) ainsi qu'une peau de tambour et une peau de lézard sur un spécimen naturalisé (Nieuwenhuizen, 1998). Lorsqu'il est chauffé, le BEVA 371 devient fluide assez brusquement; le degré de pénétration de

Tableau 1. Adhésifs couramment utilisés pour les cuirs et les peaux

Type de traitement	Adhésifs couramment utilisés
doublage	BEVA 371, BEVA 371 Film, Lascaux 498 HV, Lascaux 498 HV + Lascaux 360 HV, Paraloid B-72, résines de PACV (p. ex. AYAA), éthers de cellulose (p. ex. Klucel G), pâte d'amidon de blé (seule ou mélangée avec d'autres adhésifs)
réparation directe des bords d'une déchirure	BEVA 371 Film, Lascaux 498 HV
comblement	BEVA 371, BEVA 371 Film, Paraloid B-72, résines de PACV (p. ex. AYAA), éthers de cellulose (p. ex. Klucel G)
consolidation	éthers de cellulose (p. ex. Klucel G), BEVA 371, Paraloid B-72, Paraloid F-10, résines de PACV (p. ex. AYAA)

Figure 1. Fauteuil recouvert de cuir datant de 1876 et comportant des pertes et des déchirures (Mason, 2010). À gauche : avant le traitement. En haut à droite : un vieux rapiéçage en cuir collé avec de la colle de peau a foncé et durci, causant de nouveaux dommages. En bas à droite : durant le traitement, la zone d'où l'ancien rapiéçage a été retiré a été d'abord doublée d'un coton ou d'un non-tissé revêtu de BEVA 371 Film, puis comblée avec une pièce de cuir aminci, fixée en place contre le doublage en réactivant le BEVA 371 Film à la chaleur. La pièce de cuir doit encore faire l'objet de retouches. L'utilisation du BEVA 371 Film a simplifié la mise en place du doublage et de la pièce de cuir, permettant leur adhésion graduelle par petites touches localisées. Les fibres exposées ont été consolidées au besoin avec du Klucel G (2 % dans l'éthanol).

l'adhésif est fonction de la quantité d'adhésif utilisée, de la température, de la durée et de la pression. Les traitements peuvent aussi être effectués en appliquant du BEVA 371 au pinceau ou en utilisant le BEVA 371 Film (ou encore du BEVA 371 coulé sous forme de feuil) et en réactivant le produit à l'aide de solvants ou de vapeurs. Ces joints sont plus faibles que ceux activés par la chaleur. Les applications sans chaleur ont été principalement utilisées pour les peaux non tannées et semi-tannées (Heine, 2003; Kronthal, 2001; Boulton, 1986; Fenn, 1984).

Les dispersions de polymère à base d'eau

Les dispersions à base d'eau, comme celles faites de copolymères d'acétate de vinyle et d'acrylique, de copolymères d'acétate de vinyle et d'éthylène et de polymères d'acrylique, ont des propriétés qui sont avantageuses pour les traitements adhésifs des cuirs et des peaux : elles permettent d'obtenir des joints à la fois forts et flexibles, leur humidité aide à ramollir les surfaces rigides et déformées, leur viscosité relativement élevée peut réduire le risque de pénétration et d'assombrissement indésirables, et elles posent peu de risques pour la santé. Certains produits commerciaux ont une capacité d'enlèvement et une stabilité douteuses (p. ex. jaunissement, acidité, émissions acides); des essais sont donc nécessaires pour déterminer s'ils sont adéquats. Certains produits ayant une faible température de transition vitreuse (T_v) ont tendance à rester collants après séchage, ce qui peut également constituer une source de préoccupation. Raphael (2003) et Morrison (1988) ont ajouté aux dispersions des éthers de cellulose et de la pâte d'amidon de blé (PAmB) pour améliorer la réversibilité ou pour contrôler d'autres propriétés, comme la force des joints, le temps de séchage, les propriétés de vieillissement ou la flexibilité.

La dispersion acrylique Lascaux 498 HV est souvent utilisée pour le doublage de cuirs et de peaux, parfois combinée avec la dispersion Lascaux 360 HV. Ces dispersions Lascaux ont une texture fouettée épaisse, ce qui fait en sorte que le produit ne dégoutte pas et réduit les risques de pénétration excessive; toutefois, contrairement à un adhésif hautement visqueux, elles sont faciles à étendre en fine couche. Elles offrent plusieurs avantages, dont la formation de joints forts sans pénétration de l'adhésif, une bonne stabilité, une solubilité à long terme (p. ex. dans l'acétone ou le toluène) et

Figure 2. Traitement d'une cape en velours noir ornée de fourrure datant du XIX^e^ siècle (Dignard et Gordon, 1999). En haut : la bordure de fourrure pendant qu'elle était enlevée de la cape. La peau était extrêmement faible et déchirée à maints endroits. En bas, de gauche à droite : pour le doublage, du Tetex (Stabiltex), une toile légère en polyester, a été pulvérisé de BEVA 371 et appliqué par réactivation à la chaleur sur la peau de la fourrure. L'exécution a été faite en deux temps : d'abord des fragments individuels ont été doublés de façon localisée au moyen de petites bandes de Tetex-BEVA; ensuite, cinq grandes pièces de Tetex-BEVA ont été appliquées pour renforcer toute la peau. La pose d'un doublage complet a conféré à la peau une plus grande force et a fourni aussi un moyen de recoudre la fourrure sur la cape. En bas, à droite : après le traitement.

une bonne capacité d'enlèvement (p. ex. gonflement par solvant ou pelage par des moyens mécaniques). Le Lascaux 498 HV produit un feuil flexible qui demeure légèrement collant une fois sec tandis que le Lascaux 360 HV produit un feuil plus flexible et un peu plus collant, ce qui peut ne pas convenir à plusieurs applications mais qui peut permettre au joint de glisser si des tensions se produisent. Diverses combinaisons des deux produits permettent d'obtenir des propriétés intermédiaires. Ces produits peuvent être appliqués directement au pinceau ou ils peuvent d'abord être coulés sous forme de feuil ou sur un matériau de doublage, puis être réactivés par la chaleur, des solvants ou des vapeurs de solvant. Ils sont utiles pour un large éventail d'objets. Voici des exemples de doublages effectués avec des produits Lascaux :

- le Lascaux 498 HV utilisé sur du daim (**figure 3**), du cuir brut (Dicus, 1995) et sur des parties d'un sac en peau teinte en noir (Cruickshank *et al.*, 2009);
- le Lascaux 360 HV utilisé sur une peau de tambour (Bonnot-Diconne, 2000);
- des mélanges de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV utilisés sur du cuir archéologique (Lafrance, 2010) (**figure 4**), sur des gants (Sturge, 2006a) et sur divers cuirs de tannage végétal dont des cuirs de Cordoue (Calnan, 1991; Sturge, 2000; Kite et Thomson, 2006, p. 268-324).

D'autres types de dispersions de polymère à base d'eau ont aussi été utilisés pour le doublage de cuirs ou de peaux, dont les suivants :

- le Mowilith DM5 sur des bottes en cuir de Russie (Volken et Volken, 1995);
- le Mowilith DMC2 sur du cuir de Cordoue (Bonnot-Diconne et Fournet, 2007; Chiotasso et Sarnelli, 2007), des parkas en peau d'oiseau (Rae et Wills, 2002), des peaux de phoque (Ruppel, 2002) et du cuir archéologique (Montembault, 2001);
- le Vinamul 3254 sur du cuir d'ameublement (Angus et Joram, 1995; Calnan, 1991) ou du cuir de Cordoue (Calnan, 1992);
- le Hewitt Reversible M218 sur une chaise en cuir de python (Sturge, 2000) et du cuir d'ameublement (Beaumont et Sturge, 2006);
- le Jade 403 sur du cuir d'ameublement (Trupin, 2003) et des peaux semi-tannées (Long, 2001).

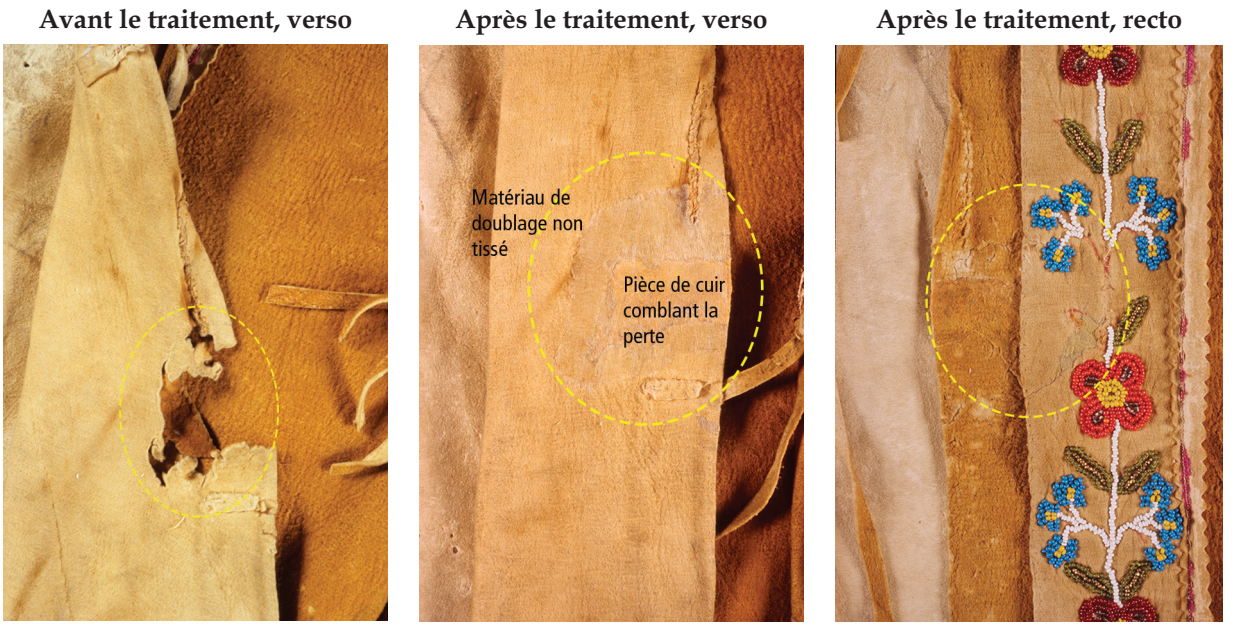


Figure 3. Doublage localisé sur un manteau de cuir tanné selon des techniques autochtones (Mason, 1996). À gauche : vue du rabat avant d'un manteau perlé en cuir tanné selon des techniques autochtones, avant le traitement (verso), qui montre des déchirures et des pertes. Au centre et à droite : détails après traitement, du verso et du recto respectivement. Les éléments de la peau qui étaient déchirés et déformés ont d'abord été réalignés en appliquant des bandes de polyester non tissé enduites de Lascaux 498 HV en doublages localisés. Après le séchage, un doublage de non-tissé plus grand a été appliqué sur toute la partie endommagée. Pour combler la perte, une pièce en cuir tanné selon des techniques autochtones a été découpée, puis collée sur le matériau de doublage au moyen du même adhésif. Les bords de la pièce et le périmètre de la peau originale ont également été collés pour former un joint d'about. Des poids ont été appliqués jusqu'à ce que l'adhésif soit sec.

Figure 4. Doublage localisé sur une botte archéologique en cuir (Lafrance, 2010). À gauche : botte en cuir après le traitement. À droite : détail après le traitement du talon. Les zones où le cuir était friable ainsi que celles où les fibres étaient exposées ont été consolidées avec du Klucel G (2 % en p/v dans l'éthanol) appliqué au pinceau ou à la seringue. La partie endommagée près du talon a fait l'objet d'un doublage à l'aide de bandes ou des morceaux de Reemay recouverts d'une couche sèche de Lascaux 498 HV et de Lascaux 360 HV (50:50 p/p) réactivée avec de l'acétone. La réparation a été efficace et s'intègre bien à l'original, tout en étant facilement repérable et réversible. La force d'adhésion était suffisante pour maintenir les morceaux ensemble tout en assurant la flexibilité.

Les résines à base de solvant

Les résines acryliques à base de solvant, en particulier le Paraloid B-72, et les résines de poly(acétate de vinyle) (PACV), comme l'AYAA, l'AYAC et le Mowilith 50, peuvent également être utilisées pour réparer les cuirs et les peaux. Elles sont prisées pour leur bonne stabilité et leur réversibilité, et elles constituent des options lorsqu'il faut éviter l'eau ou la chaleur. Elles ont une rigidité allant de moyenne à assez élevée, et elles permettent de réparer des cuirs et des peaux rigides à modérément flexibles. Elles sont habituellement utilisées à des viscosités élevées, ce qui peut causer des difficultés de manipulation, comme la formation de fils. Elles sont généralement appliquées au pinceau. Il faut prendre des précautions pour éviter toute pénétration indésirable dans une peau poreuse, qui causerait son raidissement ou des taches. Elles peuvent sécher rapidement selon le solvant (p. ex. acétone). Elles peuvent aussi être coulées sous forme de feuils puis être réactivées. Elles ont un fini brillant une fois sèches.

Il existe de nombreux exemples d'utilisation de résines à base de solvant :

- le Paraloid B-72 pour réparer des peaux ethnographiques (Kaminitz et Levinson, 1988), un kayak (Marchand, 1998), des sangles, casques et fourreaux militaires (Storch, 1989), une selle (Selm, 1989), un recouvrement de chaise et un coffre recouvert de cuir (Spicer, 1995). Le Paraloid B-72 peut aussi être mélangé avec des éthers de cellulose pour augmenter la viscosité, la pégosité ou la flexibilité (Vuori, 1985). Par exemple, des mélanges avec de l'éthylhydroxyéthylcellulose ont servi à réparer un kayak (Dignard, 1992) (**figure 5**) et d'autres avec du Klucel G ont servi à réparer des parkas en peaux d'intestin (Dumka, 1991);
- le Paraloid B-48N pour réparer les peaux d'oiseaux d'un collier (Kaminitz et Levinson, 1988);
- le Mowilith 50 pour réparer une cape en peau d'oiseau (Rae et Wills, 2002), un modèle de kayak (Cruickshank, 1987) et des peaux d'intestin de phoque traitées au polyéthylèneglycol (Hill, 1986);
- le AYAA sur un sac en membrane de peau (Kaminitz et Levinson, 1988).

Les éthers de cellulose

Même si les éthers de cellulose produisent en général des joints faibles qui pourraient ne pas résister aux flexions, ils peuvent convenir dans certains cas. Par exemple, ils ont été utilisés comme adhésif dans le traitement d'éventails (Hermans, 1992), de mocassins (Chapman, 1987), de parkas (White et Sully, 1992; Fenn, 1984) et d'un sac en peau teinte en noir (Cruickshank *et al.*, 2009). Le Klucel G est l'adhésif le plus couramment utilisé; il est soluble dans l'eau ou dans divers solvants. Les éthers de cellulose sont aussi couramment utilisés comme agents modifiants,

Figure 5. Traitement d'une grande déchirure dans un kayak en peau de phoque. À gauche, en haut : détail montrant une grande déchirure dans les peaux de phoque d'un kayak. À gauche, en bas : application d'un doublage fait de papier Japon collé avec du Paraloid B-72 mélangé avec de l'éthylhydroxyéthylcellulose. Du Parafilm et des coins en styromousse ont été utilisés pour serrer les peaux contre le doublage, le support interne étant fourni par la structure de bois du kayak. À droite : l'espace restant entre les bords de la déchirure a été comblé avec un mélange de fibres de pâte à papier dans un liant de méthylcellulose, puis retouché avec des peintures acryliques.

avec des dispersions ou des résines acryliques (voir les sections intitulées *Les dispersions de polymère à base d'eau* et *Les résines à base de solvant*, présentées ci-dessus).

La pâte d'amidon de blé (PAmB)

La PAmB est réversible dans l'eau et elle produit des joints forts mais rigides qui pourraient ne pas convenir si des flexions sont prévues. Les inconvénients sont liés à sa forte teneur en eau, qui peut causer des taches, des plissements ou des rétrécissements. L'utilisation de PAmB « presque sèche » permet d'éviter ces problèmes. Comme la PAmB ne peut remplir les vides, un contact étroit est nécessaire. Elle n'adhère pas bien aux surfaces huileuses ni à certains matériaux synthétiques. Des exemples de son utilisation en tant qu'adhésif de doublage pour cuirs et peaux comprennent le traitement de divers cuirs de Cordoue (Paris *et al*., 2008; Angus *et al*., 2006), d'une boîte recouverte de cuir (Sturge, 2006b), de gants en cuir mégissé (Beaumont, 2006), d'éventails (Hermans, 1992) et d'un sac archéologique (Kaminitz et Levinson, 1988). L'ajout de PACV ou d'une dispersion acrylique à de la PAmB permet d'obtenir un mélange dont la force et la pégosité sont supérieures à celles de la PAmB utilisée seule. La présence de PAmB dans ces mélanges aide à ralentir le séchage et à améliorer la réversibilité par rapport aux dispersions utilisées seules (Raphael, 2003). Parfois, ces mélanges sont additionnés d'éther de cellulose. Des mélanges de PAmB et d'alginate de sodium ont également été utilisés, notamment sur une longue veste ornée de fourrure (Kite, 1991).

Les adhésifs à base de collagène

Les adhésifs à base de collagène, comme la colle de parchemin, la gélatine, l'isinglass et les colles animales, sont des matériaux traditionnels (la colle de parchemin est utilisée depuis longtemps pour réparer le papier vélin et le papier parchemin). Ces adhésifs sont stables et s'enlèvent dans l'eau. Ils présentent certains inconvénients : dommages possibles liés à l'utilisation d'eau et de chaleur sur du cuir détérioré, fortes réactions aux fluctuations de l'humidité relative, retrait important de l'adhésif durant le séchage et feuils relativement cassants. Des exemples de traitements de doublage effectués avec cette classe d'adhésifs comprennent l'utilisation de l'isinglass refroidi pour réparer une longue veste en peau de saumon (Kite, 1999) et de la colle de parchemin pour coller un doublage en papier contre des panneaux de cuir de Cordoue (van Kempen, 2007).

La réparation directe des bords d'une déchirure

La réparation directe des bords d'une déchirure – que ce soit pour former un joint d'about, un joint à recouvrement ou un joint en biseau – est une technique utilisée pour rapprocher le plus possible les bords d'une déchirure dans le même plan. Ce type de réparation peut servir à renforcer davantage la zone endommagée lorsqu'elle est effectuée en combinaison avec un doublage ou un comblement d'une perte (**figure 3**). L'application d'adhésif directement contre les bords d'une déchirure produit en soit un joint faible, surtout dans le cas des joints d'about, en raison de la petite surface de contact visée par la réparation; toutefois, s'il s'avère que le joint produit est suffisamment fort pour les besoins de l'objet, ce type de réparation a l'avantage d'être moins envahissant que l'application d'un doublage. Ce type de réparation est pratique dans le cas de petites déchirures, de coupures ou lorsqu'un doublage n'est pas possible pour des raisons d'esthétique ou d'inaccessibilité. La force, la flexibilité et une viscosité élevée sont habituellement des caractéristiques importantes d'un adhésif servant à réparer les bords des déchirures. Le BEVA 371 Film, tel qu'utilisé par Richardson (2002) pour réparer des peaux tannées selon les techniques autochtones, ainsi que le Lascaux 498 HV, sont des adhésifs qui peuvent être efficaces dans ce genre de traitement.

Le comblement des pertes

Calnan *et al*. (1991), Raphael (1985) et Nieuwenhuizen (1998) sont des sources utiles concernant les traitements de comblement de pertes pour les cuirs et les peaux. Une méthode courante, souvent effectuée en combinaison avec un doublage, est la pose de pièces de cuir ou de peau semblable à l'original (voir les **figures 1** et **3**) : la pièce est alors collée sur le périmètre de la zone à combler au moyen d'un joint à recouvrement, d'un joint en biseau ou d'un joint d'about. Les adhésifs utilisés sont généralement les mêmes que ceux présentés à la section intitulée *Le doublage*. Comme pièce de comblement, il est également possible d'utiliser d'autres matériaux en feuille pouvant imiter l'apparence du cuir ou de la peau sous traitement : par exemple certains textiles non tissés, ou encore des pellicules à base de résines qui, par moulage, reproduisent en surface le côté fleur du cuir original adjacent [p. ex. du Paraloid F-10 mélangé avec des microsphères (Nieuwenhuizen, 1998)].

Le comblement peut aussi être effectué en appliquant, dans la partie manquante et au-dessus du doublage, une pâte faite d'un adhésif et d'une matière de charge et en la laissant sécher. L'application de la pâte se fait en couches successives jusqu'à ce que la zone comblée atteigne l'épaisseur désirée. Le BEVA 371 et le BEVA 371 Film sont couramment utilisés pour former de telles pâtes. Parmi les autres polymères adhésifs

pouvant être utilisés, on compte les résines acryliques (p. ex. Paraloid B-72, Paraloid F-10) et les résines de PACV (p. ex. AYAA, AYAC ou leurs équivalents, car ces derniers ne sont plus disponibles). Il est également possible d'employer des microsphères de verre, de la poudre de cellulose, du cuir déchiqueté, du parchemin en poudre ou des fibres de papier comme matières de charge pour épaissir la pâte et réduire le retrait au séchage. Il y a souvent lieu d'ajouter des pigments secs et ceux-ci aussi épaissiront la pâte et réduiront le retrait. L'ajout de silice sublimée peut améliorer les propriétés de modelage. D'autres types de pâtes de comblement peuvent être faites à partir de fibres de papier mélangées avec de petites quantités d'éther de cellulose (Dignard, 1992; voir la **figure 5**) ou de pâte d'amidon de blé (Boulton, 1986). De manière générale, les pâtes de polymère et les pâtes fibreuses ne reproduisent pas l'apparence du cuir ou de la peau aussi bien que des pièces en cuir ou en peau neuves, ou encore, des pièces en pellicules de résines reproduisant par moulage le côté fleur d'un cuir. Néanmoins, ces pâtes sont utiles lorsque les lacunes sont petites, étroites ou irrégulières (p. ex. le long d'une fissure), car alors la pose de pièces est difficile à mettre en œuvre. Les propriétés d'une pâte qui servira de comblement sont généralement les suivantes : une consistance épaisse, un séchage rapide et un retrait minimal après le séchage. L'utilisation d'une pièce solide faite d'une peau neuve ou d'un textile non tissé pour remplir la plus grande partie de la perte, suivie du traitement de sa surface avec une pâte de polymère, est une variante qui réduit les problèmes de retrait de la pâte, car alors il y a moins de volume à combler. Les propriétés suivantes sont aussi recherchées dans une pâte servant au comblement : de bonnes caractéristiques de vieillissement, la réversibilité, la flexibilité, la force, la résistance à l'abrasion, la stabilité dimensionnelle à long terme et la capacité de s'agencer à l'original.

La consolidation

La consolidation en profondeur vise à augmenter la force de cohésion interne; elle est principalement envisagée pour les surfaces pulvérulentes (atteintes de pourriture rouge), pour les surfaces extrêmement friables (atteintes de pourriture noire) ou pour les objets archéologiques fragiles. Il est essentiel que l'agent de consolidation possède une stabilité à long terme et de bonnes caractéristiques de vieillissement, car le traitement est pratiquement irréversible. De manière générale, l'agent de consolidation doit pouvoir bien pénétrer et doit augmenter tant la force que la souplesse de l'objet traité sans en altérer l'apparence. Une T_v élevée est conseillée, et requise dans les climats très chauds (Wills, 2001). Les agents de consolidation à base d'eau, ainsi que ceux dissous dans des solvants polaires, peuvent faire foncer et durcir les peaux dégradées. Le Klucel G en solution non aqueuse est utilisé pour la consolidation des cuirs et des peaux (voir la **figure 4**) : il peut pénétrer dans le cuir dégradé et le renforcer, sans causer d'assombrissement ou de taches. Une autre option est le Paraloid B-72 (Wills, 2001; Fenn, 1984). O'Donnell (1997) a réalisé une analyse rétrospective sur l'utilisation passée du Pliantex (qui n'est plus disponible). Cameron *et al*. (2006) ainsi que Wills (2001) ont examiné les agents de consolidation utilisés pour le cuir archéologique, comme les résines acryliques, les éthers de cellulose, le poly(butyral de vinyle) et les copolymères d'éthylène et d'acétate de vinyle.

La consolidation de surface peut être nécessaire pour les zones où le côté fleur du cuir est usé et montre des pertes. Les adhésifs utilisés pour de telles applications comprennent le Klucel G ou le Paraloid F-10 (Mason, 2010; Bonnot-Diconne et Fournet, 2007). Le clivage entre le derme et la fleur peut nécessiter une consolidation, comme dans le cas décrit par Tsu *et al*. (1999) pour des cuirs de décors muraux traités avec du BEVA 371. S'il y a présence de couches épidermiques qui se soulèvent, un traitement de consolidation peut s'avérer nécessaire, par exemple à l'aide de Paraloid B-72 (Heine, 2003) ou de pâte d'amidon de blé (Sturge, 2000, p. 15). La consolidation en surface ne requiert pas un adhésif qui pénètre autant que si la consolidation visait à renforcer tout le derme du cuir. Les agents de consolidation de surface devraient permettre de bien contrôler la pénétration selon les besoins, de bien mouiller la surface, de produire un bon résultat visuel (pas de taches ni d'assombrissement) et ne devraient pas demeurer collants.

Les textiles

Irene F. Karsten et Jan Vuori, Institut canadien de conservation

Les traitements aux adhésifs réalisés sur les textiles sont complexes. La recherche a permis de confirmer la même observation faite par les restaurateurs dans le cadre de leur expérience pratique : la formation d'un joint apte à supporter un objet textile ne dépend pas uniquement du choix de l'adhésif (Karsten, 2003). De nombreux facteurs entrent en ligne de compte, dont les caractéristiques de l'objet, le support, les matériaux et les procédés nécessaires pour faire adhérer le support à l'objet, l'utilisation future de l'objet, l'expérience du restaurateur ainsi que la disponibilité des matériaux, de l'équipement et des mesures de sécurité nécessaires (p. ex. utilisation d'un système d'aspiration des vapeurs). La nature de l'objet textile, ses fibres, ses teintures, ses décorations appliquées, sa confection, son état, etc. dicteront quels adhésifs, solvants ou procédés *ne peuvent pas* être utilisés dans le traitement de l'œuvre. En respectant ces limites, il est possible qu'un ou plusieurs adhésifs et méthodes d'application *puissent* être mis en œuvre pour réaliser un traitement efficace et acceptable. À mesure que les restaurateurs de textiles font face à de nouveaux défis et qu'ils continuent d'apprendre en évaluant des traitements passés (Lewis, 1998; Hillyer, 1998; Hillyer *et al*., 1997; Hillyer, 2010), ils continueront d'affiner leurs méthodes de traitement et leurs raisonnements.

L'utilité première des adhésifs, le principal sujet abordé dans la présente section, consiste à fixer un objet textile qui est fragile ou qui s'effiloche à un tissu de support (doublage). Les adhésifs peuvent également servir à recoller des éléments textiles qui, à l'origine, faisaient partie d'objets composites, à recoller des éléments décoratifs sur des textiles, en particulier ceux qui étaient collés à l'origine, et à coller des cartonnages pour supporter temporairement un textile fragile ou fragmenté pendant le traitement (Cruickshank *et al*., 1999; Hackett et Szuhay, 2003). Les adhésifs sont également utilisés pour consolider la peinture de textiles peints, un traitement qui exige la participation de restaurateurs de tableaux (AIC Textile Specialty Group, 2011).

L'utilisation d'adhésifs est bien moins courante en conservation des textiles que dans la plupart des autres spécialités du domaine de la conservation. De manière générale, les restaurateurs savent bien que les traitements aux adhésifs réalisés sur les textiles ne sont jamais entièrement réversibles. Même si l'adhésif devait rester soluble, il est impossible de l'enlever complètement d'une surface poreuse, fibreuse ou affaiblie sans causer certains dommages. Il faut donc évaluer les risques, les avantages et la faisabilité d'un traitement aux adhésifs à la lumière d'autres options de traitement, comme la couture ou le montage par pression. La plupart des applications faisant intervenir des adhésifs sont limitées aux textiles qui ne peuvent être traités par ces autres moyens, ce qui représente une faible proportion des travaux effectués dans la plupart des laboratoires de conservation des textiles. De plus, l'efficacité d'un traitement aux adhésifs dépend de la compétence technique et du jugement du restaurateur, des qualités qui ne s'acquièrent que par l'expérience. Même s'ils ont suivi une formation formelle aux techniques utilisées, ce qui est d'ailleurs fortement recommandé, les restaurateurs peuvent avoir de la difficulté à acquérir et à actualiser les connaissances approfondies nécessaires pour exécuter de tels traitements. Un traitement aux adhésifs inadéquat ou maladroit peut causer des dommages graves et permanents au textile.

Propriétés et état de l'objet textile influant sur le choix de l'adhésif

La flexibilité

La flexibilité (ou drapé), une caractéristique fondamentale des textiles, diminue lorsqu'un textile est fixé sur un matériau de support, que ce soit par couture ou par collage. Il existe essentiellement deux façons de conserver la flexibilité d'un textile collé : limiter le contact de l'adhésif avec le textile et sa pénétration dans celui-ci à l'aide de techniques de réactivation de l'adhésif, ou encore, utiliser un adhésif dont la température de transition vitreuse (T_v) du polymère est similaire ou inférieure à la température ambiante. Les adhésifs dont la T_v du polymère est inférieure ont une légère pégosité, ce qui peut faciliter le positionnement du support sur l'objet avant la réactivation de l'adhésif, mais ils demeurent collants et peuvent attirer la saleté ou adhérer aux matériaux voisins. La flexibilité de l'adhésif n'est en général pas importante pour les textiles qui reposeront à plat sur un support rigide après le traitement.

La composition et la confection

Les propriétés chimiques et physiques d'un objet textile détermineront l'exécution ou non d'un

traitement aux adhésifs de même que les limites qui s'imposent. Les méthodes et les matériaux de traitement, en particulier les adhésifs et les solvants, ne doivent pas nuire aux composantes de l'objet. La confection du tissu est elle aussi importante. Les traitements de doublage aux adhésifs représentent la meilleure solution de support pour les textiles flexibles et tissés serrés; ils peuvent également convenir aux textiles fragiles qu'une couture altérerait visuellement. Il existe toutefois des exceptions, notamment l'avers d'un satin à effet chaîne fragile; dans ce cas particulier, le collage d'un tissu de support au revers ne serait aucunement bénéfique (Lord, 1997). Le doublage au moyen d'un adhésif ne procure pas un support adéquat aux textiles lourds, complexes ou épais comme les tapisseries. Les textiles fortement texturés, comme les broderies avec flottés et nœuds au revers, risquent de ne pas bien adhérer si des techniques de réactivation sont utilisées. Sur de tels textiles, le doublage par collage sur du papier, en utilisant de l'amidon comme adhésif, a donné de bons résultats (Kite et Webber, 1995).

Les supports collés sont plus efficaces si la surface d'adhésion, normalement le revers, est entièrement accessible. Plusieurs facteurs peuvent limiter l'accessibilité, dont la multiplicité des couches, la tridimensionnalité, les cassures, les plis, les fronces (courantes dans les costumes) et la déformation du tissu. Les textiles possédant ces caractéristiques peuvent nécessiter un adhésif qui permet de former un joint plus fort et plus flexible, ainsi qu'un matériau de support qui permet de mieux épouser les formes de l'objet. Dans certains cas, le démontage peut donner accès à la surface d'adhésion (Hartog et Tinker, 1998). Cependant, le démontage, même partiel, est une opération d'envergure qui ne devrait jamais être entreprise si ses avantages ne contrebalancent pas la perte des détails de la confection originale qui résulterait de l'opération. Dans les cas où le démontage n'était pas possible, des supports transparents ont été posés sur l'avers des textiles (Gill et Boersma, 1997; Lord, 1997). Par ailleurs, les structures complexes rendent difficile l'alignement du droit fil de l'objet et du support enduit, lequel optimiserait la flexibilité du stratifié collé (Bede, 1993). L'alignement peut être facilité en découpant le support en morceaux correspondant à la structure de l'objet, mais il n'est pas toujours possible de parvenir à une correspondance parfaite (Hartog et Tinker, 1998).

L'état

Bien que la plupart des textiles traités avec des adhésifs soient en mauvais état, l'utilisation d'adhésifs est particulièrement déconseillée dans certains cas. De manière générale, les textiles qui s'effritent ne sont pas de bons candidats au doublage à l'aide d'adhésif parce que, avec le temps et les manipulations, le support adhérera seulement aux fibres qui s'effritent, et non plus au textile. Les textiles extrêmement friables peuvent ne pas supporter la manipulation et la pression nécessaires au traitement. Certaines formes de détérioration, comme la fragmentation provoquée par le chargement de la soie avec des sels métalliques ou l'affaiblissement des fibres causé par la teinture ou l'impression avec des mordants à base de fer, sont progressives et, par conséquent, il faudrait alors envisager un support collé sur l'ensemble du textile, même si les dommages actuels sont localisés (AIC Textile Specialty Group, 2011).

Les salissures par des particules détachées, les taches et les résidus des traitements aux adhésifs précédents peuvent nuire à la force et à l'efficacité d'un joint. Il est donc souvent nécessaire de procéder au nettoyage de l'objet textile avant de le coller sur un tissu de support. De plus, des tentatives sont effectuées pour aligner la structure de l'armure du textile. Cette opération permet de faire en sorte que le poids du textile soit mieux réparti sur le tissu de support et supporté de façon plus uniforme par celle-ci (Keyserlingk, 1993). L'ampleur du nettoyage et de l'alignement sont déterminés par la nature et l'état du textile.

Les utilisations futures

La façon dont le textile sera exposé, étudié et entreposé influera sur le choix du traitement aux adhésifs. Un textile plat de grand format qui sera enroulé à des fins d'entreposage nécessitera un adhésif qui peut former un joint fort et flexible; il en va de même pour un costume qui sera enfilé sur un mannequin, puis enlevé de façon répétée. Dans le cas des textiles exposés à l'air libre, les adhésifs à base de polymère ayant une $T_v > 25$ °C sont considérés comme souhaitables, contrairement à ceux dont la T_v est < 10 °C (Pretzel, 1997). Le traitement aux adhésifs cache souvent l'une des surfaces du textile, ce qui entrave les analyses structurales ultérieures. De même, les résidus d'adhésif peuvent interférer avec les analyses instrumentales ultérieures. La possibilité d'avoir à nettoyer ultérieurement le textile traité avec de l'eau ou des solvants pose également des problèmes.

Propriétés d'adhésif à considérer

Les adhésifs utilisés pour la conservation des textiles doivent répondre à certains critères : stabilité physique et chimique, compatibilité avec le substrat, force d'adhésion adéquate, absence de couleur et de

jaunissement, et réversibilité. Les méthodes et les solvants utilisés pour créer le joint adhésif et le défaire ne devraient pas non plus avoir un effet nocif sur le textile (p. ex. fibres, teintures, décorations appliquées).

Adhésifs couramment utilisés

Les restaurateurs de textiles ont utilisé de nombreux adhésifs pour les traitements de stabilisation (**tableau 1**) (Hillyer *et al*., 1997; Karsten, 1998). Les polymères synthétiques – surtout les copolymères d'acétate de vinyle et les acryliques – sont employés si l'adhésion s'effectue par réactivation par la chaleur. L'amidon ou d'autres hydrates de carbone sont utilisés si la réactivation par la chaleur ou par un solvant non aqueux ne convient pas. Des techniques de réactivation par un solvant peuvent être utilisées avec des adhésifs à base de polymère synthétique ou d'hydrate de carbone, bien que les méthodes proprement dites varient. Il est également possible d'utiliser certains adhésifs, comme le Klucel G (Haldane, 2000) ou des mélanges de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV (Thompson, 2001), pour le moulage de feuils sans support, qui pourront être réactivés par un solvant sur place.

Les propriétés particulières des adhésifs influent sur leur comportement lors des traitements de doublage du textile, même s'il est souvent difficile de faire la distinction entre leur comportement et les effets qui découlent de la méthode de traitement. Les adhésifs à base de polymère ayant une T_v ou un module faibles, comme le BEVA 371, le Lascaux 360 HV (seul ou en mélange avec du Lascaux 498 HV selon un rapport de 1:1) ou le Vinamul 3252, produiront des revêtements adhésifs plus flexibles qui s'étireront probablement en réponse à une contrainte, permettant ainsi de former des joints qui résistent à la rupture sous flexion. Cependant, s'il est souhaitable de pouvoir peler l'adhésif en vue d'inverser le traitement ultérieurement, ces adhésifs sont plus susceptibles de perdre de la cohésion et de laisser des résidus sur la surface de l'objet. Cela se produit en particulier lorsque les adhésifs ne recouvrent que les fils, sont appliqués sous forme de revêtement floqué (**figure 1**) ou se lient mal aux fils, comme le font les mélanges de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV (1:1) ainsi que les revêtements sur filet en monofilament de nylon (**figure 2**) (Karsten et Kerr, 2003). Les adhésifs plus rigides, comme le Clariant T1601 (appelé aussi Mowilith DMC2) ou le Paraloid F-10, ont tendance à céder à l'interface adhésif-objet, le transfert d'adhésif étant presque nul, à moins qu'un revêtement mince et faible ne s'étende sur de larges interstices dans les tissus de support, comme le filet de nylon (**figure 3**) (Karsten et Kerr, 2003). Les joints formés par des adhésifs moins flexibles ont tendance à être plus faibles (Karsten, 2003; Karsten et Kerr, 2011).

Le BEVA 371, qui contient de la cire, peut imprégner les textiles et les faire changer de couleur s'il est réactivé à une température trop élevée. Lorsqu'il est

Tableau 1. Adhésifs couramment utilisés en conservation des textiles

Adhésif	Type de traitement
Polymères synthétiques	
BEVA 371 (mélange de résines et de cire dans un solvant)	doublage : réactivation par la chaleur, réactivation par un solvant
Lascaux 360 HV ou Lascaux 498 HV (dispersions aqueuses)	doublage : réactivation par la chaleur, réactivation par un solvant, feuil sans support
Lascaux P 550-40 TB (résine dans du solvant)	doublage : réactivation par la chaleur
Clariant T1601 (anciennement Mowilith DMC2) (dispersion aqueuse)	doublage : réactivation par la chaleur
Vinamul 3252 (dispersion aqueuse)	doublage : réactivation par la chaleur
Amidon et hydrates de carbone	
mélange d'amidon d'arrow-root et de carboxyméthylcellulose	doublage : doublage à froid, réactivation par un solvant
hydroxypropylcellulose (Klucel G)	doublage : ajout d'un tissu diaphane par-dessus le textile cartonnage : réactivation par un solvant, feuil sans support
méthylcellulose	cartonnage : réactivation par un solvant, application liquide
pâte d'amidon de blé	doublage, cartonnage : application liquide

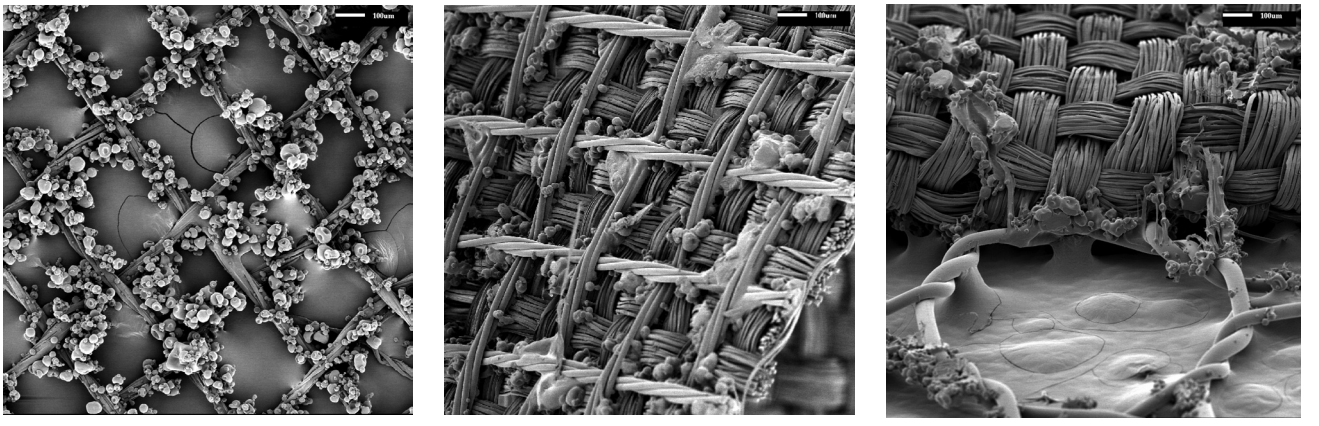


Figure 1. Revêtements floqués de BEVA 371. Micrographies obtenues par MEB de revêtements de BEVA 371 [solution 1:1 (v/v) dans le toluène] appliqués par vaporisation sur une crêpeline de soie (à gauche), une crêpeline de polyester (au centre, après la fixation à chaud à 65 °C durant 20 s sur de la soie habutai) et un filet de nylon (à droite, après la fixation à chaud et le pelage).

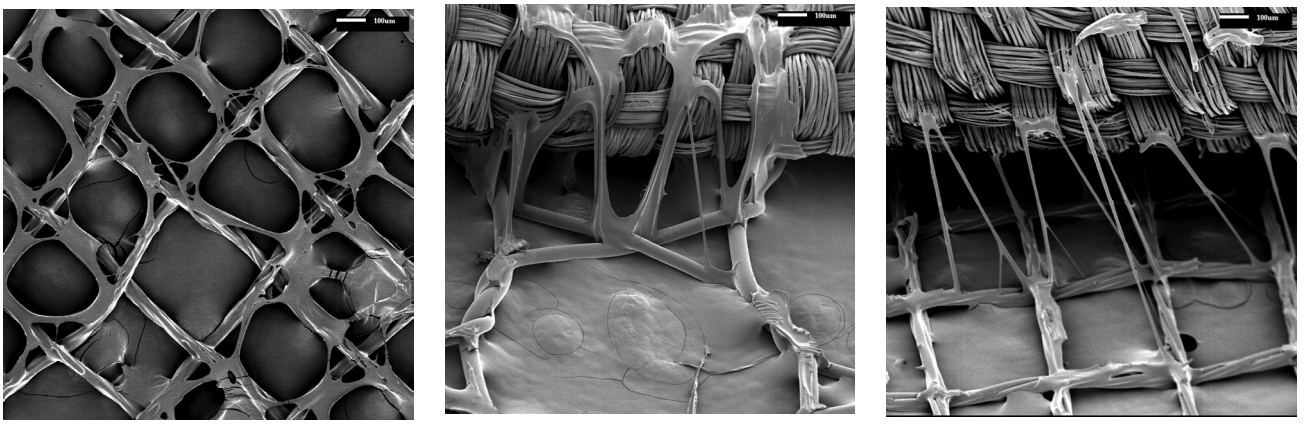


Figure 2. Transfert de revêtements adhésifs mal fixés. Micrographie obtenue par MEB (à gauche) d'un revêtement adhésif mal fixé fait à partir d'un mélange de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV [solution 1:1 appliquée au pinceau et solution 1:5 (v/v) dans l'eau]. Après la fixation à chaud à 60 °C durant 20 s et le pelage, cet adhésif présente un transfert plus important à la soie habutai à partir du filet en nylon (au centre) qu'à partir de la crêpeline de polyester (à droite). Le transfert à partir de la crêpeline de soie ou de polyester n'est pas toujours visible à l'œil nu.

utilisé pour le doublage de textiles peints, il n'est parfois appliqué qu'au revers des zones peintes, les parties non peintes étant doublées en employant un autre adhésif (p. ex. Mowilith DMC2) (Lochhead, 1995). Le BEVA 371 est connu pour jaunir à la lumière, mais il ne s'agit pas nécessairement d'un problème pour le revers des objets textiles. Au pelage, les revêtements de BEVA 371 appliqués au pinceau laissent moins de résidus sur le textile que les revêtements vaporisés (Karsten et Kerr, 2003). Le BEVA 371 Film est trop épais (0,03 mm ou 1 mil) pour de nombreux textiles.

Le Klucel G est un adhésif relativement faible qui est soluble à la fois dans l'eau et les solvants organiques (p. ex. éthanol ou acétone). Les formulations de faible masse moléculaire sont considérées comme ayant une stabilité « intermédiaire » (Feller et Wilt, 1990, p. 94).

Des revêtements secs sur un tissu diaphane ont été réactivés par un solvant pour servir au doublage (Lord et Sutcliffe, 2000), à l'ajout d'un tel tissu diaphane par-dessus un textile (Petschek, 1995) ou au cartonnage temporaire (Harrison *et al.*, 2005). La méthylcellulose est un autre adhésif relativement faible. Elle a été utilisée en combinaison avec de la pâte d'amidon de blé cuite pour préparer des papiers réhumidifiables qui sont utilisés comme cartonnage temporaire sur des textiles (Hackett et Szuhay, 2003).

Conception du traitement

La recherche (Karsten, 2003) et la pratique semblent indiquer que la stabilisation adéquate d'un adhésif utilisé sur des textiles tient moins du choix de l'adhésif que de l'agencement judicieux de matériaux et de

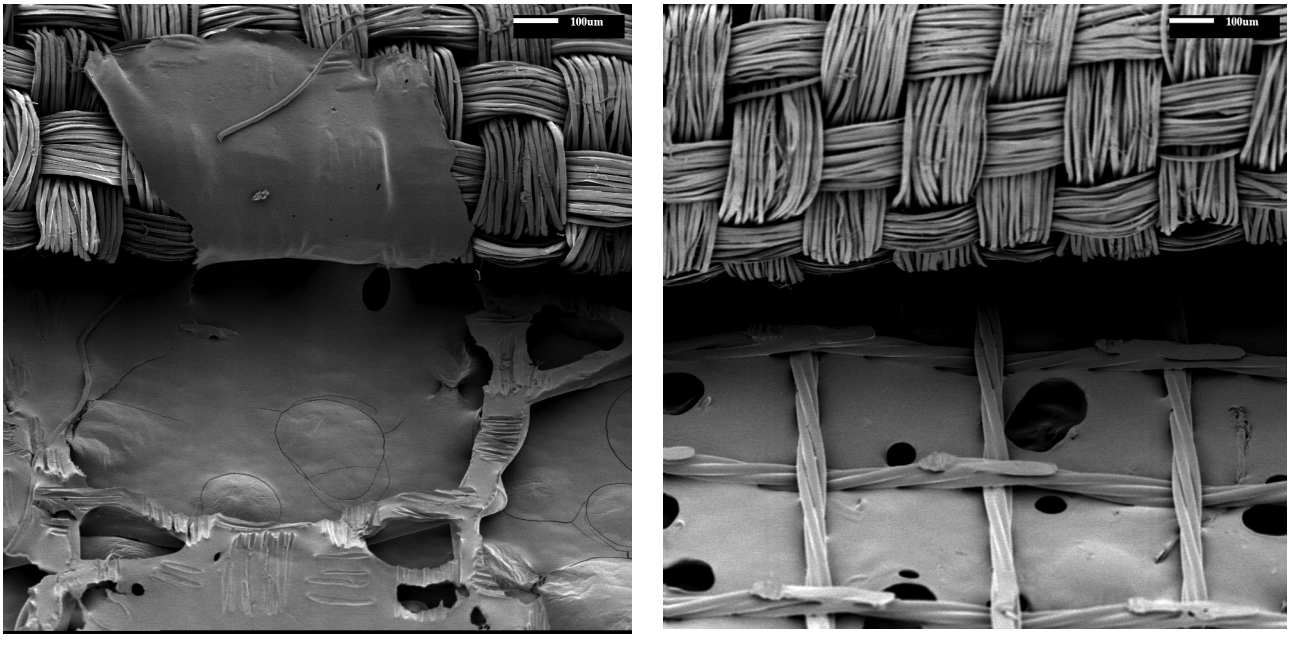


Figure 3. Comportement au pelage des adhésifs plus rigides. Micrographies obtenues par MEB d'échantillons de soie habutai collés avec du Clariant T1601 [à gauche, solution 1:5 (v/v) dans l'eau, appliquée au pinceau sur un filet en nylon, fixée à chaud à 95 °C durant 20 s] et du Paraloid F-10 [à droite, solution 1:8 (v/v) dans le toluène appliquée au pinceau sur une crêpeline de polyester, fixée à chaud à 65 °C durant 20 s].

méthodes requis pour obtenir un joint juste assez fort pour répondre aux objectifs du traitement. Une grille a été élaborée pour évaluer les propriétés physiques pertinentes (pH, T_v, température de fixation à chaud, résistance au pelage, résistance à la déchirure) de certains adhésifs ainsi que les propriétés d'emploi (facilité d'application sur le support, facilité de manipulation du support enduit d'adhésif, nécessité d'utiliser un système d'aspiration des vapeurs, formation de taches, résidus d'adhésif sur l'objet après le pelage) (Pretzel, 1997). Un système de notation et de pondération permet au restaurateur de coter les adhésifs en fonction de l'objet à traiter. Bien qu'utile, cette grille est limitée en ce sens que les résultats obtenus sont étroitement liés aux méthodes de traitement utilisées pour la constitution des échantillons. En effet, un même adhésif peut donner des résultats différents avec des techniques différentes (Karsten, 2003). Une démarche plus efficace consisterait probablement à mieux connaître l'influence de la conception du traitement sur le comportement de l'adhésif en menant des essais préalables.

Le support

La crêpeline de soie, la crêpeline de polyester (Tetex TR, Stabilitex) et le filet en nylon (20 deniers, Dukeries nº N8000) sont les matériaux de support les plus couramment utilisés pour les traitements aux adhésifs réalisés sur les textiles (**tableau 2**). Ces matériaux

Tableau 2. Matériaux de support

Tissu	Avantages	Inconvénients
crêpeline de soie	- contexture la plus élevée – retient plus d'adhésif - épouse bien le textile	- fils irréguliers – revêtement moins uniforme
crêpeline de polyester (Tetex TR, Stabilitex)	- armure et fils uniformes – revêtement uniforme	- n'épouse pas bien le textile - stratifié plus rigide
filet en nylon (20 deniers, Dukeries nº N8000)	- épouse mieux le textile que les filets de qualité inférieure ou la crêpeline de polyester - stratifié flexible	- monofilament, contexture la plus faible – retient moins d'adhésif - possibilité d'impression du motif du filet sur le textile - déformation quand l'adhésif est appliqué

sont diaphanes et légers mais suffisamment forts, et produisent un stratifié flexible qui permet de conserver un accès visuel à l'objet. Des matériaux non tissés ont également été utilisés, notamment des papiers, des papiers de soie et du nylon très fin (nylon léger Cerex), ainsi que du polyester non tissé par filage et calandré (Hollytex).

Dans certains cas, un support localisé sous forme de pièces peut être utilisé. Cependant, les pièces peuvent déformer le textile, devenir plus visibles avec le temps et causer une division sur les bords de la pièce. Leurs dimensions et leur disposition doivent être déterminées avec soin pour réduire au minimum les contraintes qui s'exercent sur cette jonction. Les techniques de pose font appel à des pièces minces dotées de bords amincis. L'adhésif peut être appliqué sur des tissus de support diaphanes et partiellement effilochés pour créer des « pansements » ou des « cils » (AIC Textile Specialty Group, 2011) ou sur des fils uniques pour réaliser des réparations très délicates (Landi, 1992).

La technique de revêtement

Presque toujours, on applique et on laisse sécher l'adhésif sur le support avant de le lier à un objet textile. Le droit fil des tissus tissés doit rester convenablement aligné parce qu'une fois l'adhésif sec, aucune correction n'est possible. Lorsqu'elle est appliquée au pinceau ou au rouleau sur un support diaphane recouvrant un substrat de moulage antiadhésif, la solution adhésive diluée rétrécit en séchant pour ne revêtir que le dessous des fils. Augmenter la concentration de la solution adhésive ou appliquer plusieurs couches permet d'obtenir un revêtement plus lourd ou un feuil continu sur le textile (**figure 4**); il en résulte donc des joints plus forts (Karsten, 2003). L'interaction de la solution adhésive avec le substrat de moulage (tissu de verre enduit de Téflon, feuille en polyéthylène ou feuil en polyester) a également un impact sur le revêtement. Les substrats plus lisses donnent des revêtements plus brillants (Hillyer *et al.*, 1997). Les plis et les bulles dans le substrat produisent des surfaces nues ou un dépôt d'adhésif irrégulier. La facilité avec laquelle le textile enduit d'adhésif peut être retiré du substrat de moulage est importante pour la manipulation et varie selon l'adhésif et le substrat de moulage. L'objectif de l'opération est de produire un revêtement uniforme d'adhésif, qui recouvre uniquement les fils ou les fils et les interstices (**figure 4**, gauche et droite).

Dans le cas des résines (p. ex. BEVA 371) dissoutes dans des solvants non aqueux, l'adhésif est souvent vaporisé sur un textile de support aligné et étiré sur un châssis. Le dépôt de l'adhésif est régi par plusieurs facteurs (p. ex. la concentration d'adhésif, la pression, la distance entre le vaporisateur et le support, le solvant). S'il est toujours en phase liquide quand il atteint le support, l'adhésif recouvrira les deux côtés des fils. Si le solvant s'évapore avant d'atteindre le support, les particules ou les fils d'adhésif sec forment une couche « floquée » d'un côté du support. L'application de plusieurs couches par vaporisation est donc nécessaire. Il est possible d'utiliser des gabarits pour masquer les zones où l'objet présente des lacunes afin que l'adhésif n'y soit pas appliqué.

Dans le cas des pâtes d'amidon ou des hydrates de carbone, l'adhésif est parfois appliqué sous forme humide (Masschelein-Kleiner, 1980; Van Steen et Masschelein-Kleiner, 1980; Thomsen, 1984; Cruickshank et Tinker, 1995; Kite and Webber, 1995). La pâte est appliquée sur du papier ou du papier de soie, laissée à sécher partiellement, puis appliquée sur le textile préalablement mouillé ou humidifié. Un léger tapotement avec un pinceau flexible permet au

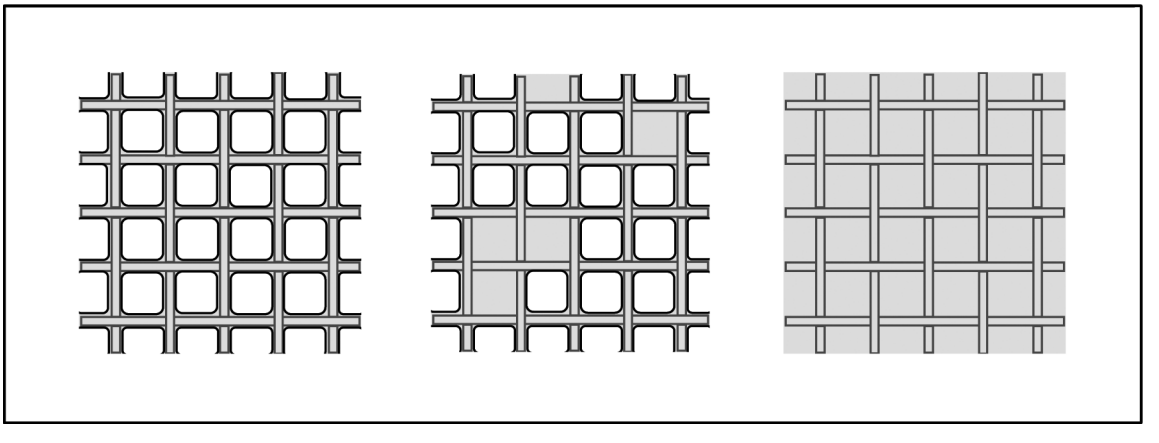


Figure 4. Effet de la méthode d'application de l'adhésif sur la continuité du revêtement. La solution adhésive et la façon dont elle est appliquée déterminent si le revêtement adhésif ne recouvrira que les fils (à gauche), s'il remplira certains interstices (au centre) ou s'il produira un feuil continu recouvrant à la fois les fils et les interstices (à droite).

papier non tissé d'épouser les formes du textile (Kite et Webber, 1995). Il serait judicieux d'exécuter cette technique grâce à la collaboration de restaurateurs de papier expérimentés.

La technique de réactivation

La chaleur ou un solvant approprié peut être utilisé pour ramollir suffisamment l'adhésif de sorte qu'il puisse se lier à l'objet textile. La force du joint dépend de la quantité d'adhésif appliquée sur le support, de la température ou du solvant choisi, du temps de réactivation et de la pression (Karsten et Down, 2005). Il existe diverses méthodes bien documentées : fers à repasser à main et table chauffante à aspiration dans le cas de la réactivation par la chaleur (Karsten, 1998); nébulisation au moyen d'un compresseur portatif et d'un nébuliseur (Kiefer, 2005), application directe ou distribution contrôlée à l'aide d'une barrière perméable aux solvants (p. ex. papier buvard, Gore-Tex ou Sympatex) (Medina et Rogerson, 2006; Takami et Eastop, 2002) dans le cas de la réactivation par un solvant; et le doublage à froid par mouillage dans le cas de la réactivation d'une pâte d'hydrate de carbone (Cruickshank *et al*., 1999). Des essais comparatifs réalisés au moyen d'un mélange de Lascaux 360 HV et de Lascaux 498 HV (1:2) ont montré que la réactivation par un solvant produit des joints plus forts que la réactivation par la chaleur dans des conditions identiques de temps et de pression (Karsten et Down, 2005). Un essai préalable est nécessaire pour déterminer les paramètres appropriés, car les outils et les techniques de réactivation diffèrent d'un laboratoire à l'autre, et le revêtement adhésif varie selon les matériaux et les techniques employés. Karsten et Down (2005) ont mis au point une méthode simple de comparaison de la force d'adhésion des échantillons, basée sur l'utilisation de pinces et de poids, pour les laboratoires qui ne possèdent pas d'appareils d'essais mécaniques commerciaux.

Quelle que soit la technique choisie, il faut éviter le chevauchement des zones réactivées. Si l'agent réactif et de la pression sont appliqués plus d'une fois, des joints inutilement forts pourraient être obtenus et le textile pourrait être imprégné d'adhésif. Pour éviter ce problème lors d'une réactivation par la chaleur, un mouvement constant est parfois donné à la spatule ou au fer. Il est néanmoins difficile de former un joint uniforme sur toute la surface du textile.

Les supports auxiliaires

Le collage d'objets textiles sur un textile de support diaphane assure la stabilisation et la sûreté de manipulation en vue d'une fixation ultérieure à un autre support auxiliaire plus ferme. Les tissus plus fermes des supports auxiliaires empêchent les couches de coller les unes aux autres, assurent un comblement esthétique des pertes subies par l'objet et fournissent un support solide pour la couture (Landi, 1992). Une couture supplémentaire peut grandement améliorer la durabilité d'un traitement aux adhésifs. Inversement, le traitement aux adhésifs réduit la quantité de couture nécessaire à un traitement. Les textiles plats immobilisés sur un support rigide peuvent être traités avec un adhésif plus faible.

L'élimination de l'adhésif du support

Au moment de choisir un adhésif, il faut songer à la technique à utiliser pour éliminer le produit des surfaces exposées du support. L'adhésif exposé à travers les pertes subies par le textile peut être brillant ou attirer la poussière. Par conséquent, il est éliminé localement au moyen de solvants conjugués à des matériaux absorbants ou à des appareils d'aspiration. Dans certains cas, l'adhésif exposé peut être recouvert d'un matériau de comblement cosmétique.

Nouveau traitement de textiles collés

Les textiles ayant déjà subi un traitement aux adhésifs peuvent nécessiter un nouveau traitement pour diverses raisons. Par exemple, le joint formé s'est peut-être défait ou le matériau de support est peut-être détérioré et ne fournit plus le support requis. L'état actuel du textile tout comme le traitement aux adhésifs envisagé doivent être soigneusement évalués, car il pourrait être préférable de conserver le traitement original et de le compléter en faisant les points de piqûre nécessaires, plutôt que d'essayer de l'inverser (Tinker, 2011).

Si le traitement aux adhésifs doit être inversé et que l'adhésif formant le joint doit être dissous, l'adhésif risque de pénétrer dans l'objet textile. Par conséquent, il est souvent préférable de privilégier une élimination mécanique, c'est-à-dire de faire gonfler l'adhésif ou de le ramollir (Ballard, 1987). Cette élimination peut s'effectuer à l'aide de solvants ou de chaleur. L'eau peut s'avérer efficace pour les adhésifs à base de dispersion de poly(acétate de vinyle) et les pâtes d'hydrate de carbone. Une action mécanique, comme le pelage, est requise pour enlever le support. Dans la plupart des cas, des résidus d'adhésif peuvent demeurer sur l'objet. Lorsque de la pâte d'amidon a imprégné un textile, une élimination enzymatique peut s'avérer nécessaire.

La vannerie

Ruth E. Norton, Field Museum of Natural History

Propriétés et état de l'objet influant sur le choix de l'adhésif

La vannerie désigne généralement les objets fabriqués par entrecroisement d'éléments plus robustes que ceux utilisés dans la confection de textiles. Les objets de vannerie sont constitués de structures nouées, maillées, liées, tressées ou tissées qui forment des paniers, des tapis, des récipients, des costumes, des parures de tête, des hamacs et une vaste gamme d'objets utilitaires ou composites (Florian *et al*., 1990; Seiler-Baldinger, 1994; Emery, 1966). Comme ils ne correspondent à aucune autre catégorie d'objets, le tissu en fibre d'écorce et les objets faits de matières végétales non ligneuses sont aussi classés parmi les objets de vannerie. La composition, la morphologie, le contexte culturel (y compris les attributs immatériels), l'utilisation avant et après l'intégration à une collection, la provenance, ainsi que le type de dommages ou de dégradation subis varient considérablement d'un objet de vannerie à l'autre (Florian *et al*., 1990; Mellor, 1992; Bernstein, 1992; Clavir, 2002). Il est possible de donner des lignes directrices générales pour l'application d'adhésifs sur ces objets, mais toutes ces variables doivent être prises en compte pour chaque application.

Les matériaux de vannerie sont souvent modifiés au cours de leur fabrication et de leur utilisation; ils sont soumis à des traitements tels que le trempage, le raclage, le pilage ou la coupe; l'application d'éléments décoratifs, comme les teintures, les peintures ou les huiles; et l'application de matières ayant une fonction culturelle, comme des huiles, du sang ou des poisons. Ces traitements ont une incidence sur la morphologie, la structure et la composition de l'objet et, par le fait même, sur le choix de l'adhésif. Les propriétés des adhésifs décrites ci-après sont présentées en détail dans l'introduction du présent chapitre. La densité a un effet sur le poids exercé sur le joint (force d'adhésion) et sur la pénétration de l'adhésif (choix du solvant, masse moléculaire). La texture de la surface (surface mate, surface polie) a un effet sur l'efficacité de l'adhésif. L'épiderme, qui est constitué de couches denses de cellules et de cutine cireuse, laisse moins pénétrer les produits et adhère moins bien que les surfaces constituées de structures sous-épidermiques plus poreuses. La flexibilité des matériaux constituant l'objet dicte le choix de l'adhésif et sa méthode d'application.

Le degré de compacité (tissage lâche ou serré, nouage, tressage) modifie le degré de flexibilité requis, le besoin de renforcer l'objet et le type de renforcement nécessaire. Le choix du solvant peut dépendre de la composition de la matière végétale, comme la présence de matières extractibles (résine, cire, huile, tanins, amidon), ainsi que de la composition des matières à fonction culturelle qui ont été appliquées sur l'objet. L'emplacement d'une cassure ou d'une zone affaiblie sur l'objet a souvent une incidence sur les contraintes de traction et de cisaillement auxquelles doit répondre l'adhésif, ce qui permet de déterminer, du même coup, la force de cohésion et la force d'adhésion nécessaires.

Propriétés d'adhésif à considérer

Les propriétés abordées dans l'introduction de ce chapitre sont pertinentes et doivent être prises en compte dans le choix d'adhésifs utilisés pour la vannerie. Des précisions supplémentaires sont présentées ci-après.

La solubilité de l'adhésif lors de l'application et de l'enlèvement

Le solvant utilisé pour l'application ou l'enlèvement d'un adhésif ne doit pas dégrader, altérer ou faire migrer les matières extractibles naturelles comme les huiles, les cires, les résines ou les tanins, ni les matières à fonction culturelle appliquées sur la vannerie, comme les huiles, les peintures, les cires ou les poisons.

Le taux d'évaporation du solvant

Le taux d'évaporation du solvant a un effet sur la migration et l'altération des matières mentionnées ci-dessus. Le temps de prise de l'adhésif peut être un facteur à considérer si la forme de l'objet, ou l'endroit où il est endommagé, limite l'application de pression.

Le retrait lors de la prise

Les matières végétales et les objets de vannerie sont constitués de structures fibreuses, de telle sorte que les couches en surface, les fibres et les éléments décoratifs peuvent être tirés par l'adhésif s'il est appliqué en trop grande quantité pour une application particulière. L'utilisation d'une solution diluée, de couches d'adhésif plus minces, d'un séchage plus lent ou d'un feuil réactivé par la chaleur ou par un solvant peut réduire les effets de retrait exercés par un adhésif.

La réversibilité

La réversibilité d'un adhésif est toujours souhaitable en conservation. Dans la pratique, des facteurs tels que l'emplacement (forme de l'objet ou emplacement des dommages) ainsi que le degré de pénétration de l'adhésif (porosité de la matière traitée ou tension superficielle du solvant) peuvent avoir une incidence sur la capacité d'enlèvement d'un adhésif.

La force de cohésion

La force interne de l'adhésif doit être égale aux contraintes de traction ou de cisaillement qui s'exercent sur le joint en raison de la gravité ou de la technique de fabrication.

La force d'adhésion

Idéalement, la force de cohésion de l'adhésif ou la force du joint formé par l'adhésif doivent être légèrement inférieures à la force interne de la zone endommagée de l'objet. De cette façon, si la réparation est soumise à une contrainte, l'adhésif ou le joint cède avant la matière constituant l'objet. Dans la pratique, cette information n'est pas toujours disponible. Les propriétés des adhésifs sont assez bien connues, mais il peut être impossible de connaître exactement les propriétés conférées par les techniques de fabrication des objets de vannerie et la morphologie des matériaux.

La flexibilité

La flexibilité de l'adhésif dépend de l'utilisation prévue de l'objet au sein d'une collection. L'objet sera-t-il statique ou faudra-t-il le bouger pour le manipuler ou l'ouvrir? Doit-il être flexible, comme un tissu d'écorce enroulé qu'il faudra montrer ou comme un récipient qu'il sera possible d'ouvrir?

Le lustre

Le lustre conféré par l'adhésif doit correspondre à celui de l'objet, qu'il soit mat, satiné ou brillant. Le lustre dépend non seulement du type et de l'épaisseur de l'adhésif, mais également de la nature des matières constituant l'objet. Il peut également être modifié par les techniques d'application employées (choix du solvant, atmosphère de séchage, application par vaporisation ou au pinceau, utilisé seul ou en mélange avec d'autres adhésifs ou agents de matité).

Adhésifs couramment utilisés

Le **tableau 1** présente les adhésifs et les agents de consolidation couramment utilisés pour la vannerie.

Tableau 1. Types d'adhésifs couramment utilisés pour les objets de vannerie

Adhésifs couramment utilisés	Type de traitement
pâte d'amidon	cassures fils, doublages ou cartonnages (pièce ou élément entier) comblement des pertes consolidation
éther de cellulose	cassures doublages ou cartonnages (pièce ou élément entier) comblement des pertes consolidation comblement des vides
feuil d'éther de cellulose à réactivation	doublages ou cartonnages (pièce ou élément entier)
colle animale	consolidation
dispersion	cassures doublages ou cartonnages (pièce ou élément entier) comblement des pertes consolidation
feuil en dispersion réactivé par la chaleur ou par un solvant	joints à recouvrement et joints en biseau doublages ou cartonnages (pièce ou élément entier)
résine en solution	cassures doublages ou cartonnages (pièce ou élément entier) comblement des pertes comblement des vides
mélange d'adhésifs	cassures doublages ou cartonnages (pièce ou élément entier) comblement des pertes

Les pâtes d'amidon

Les pâtes d'amidon sont souvent utilisées pour réparer des cassures, pour coller des fils, des doublages ou des cartonnages (pièces ou éléments entiers) et pour coller des morceaux pour combler des pertes (Florian *et al*., 1990; Smith et Winkelbauer, 2006; Anastassiades, 2001; Norton, 1984; Turchan, 1986; Agrawal, 1984; Elliot et Harding, 1987; Kite, 1995; Thomsen, 1976). Elles sont aussi employées à l'occasion pour la consolidation et le comblement des vides (Kite, 1995; Florian *et al*., 1990; Hatchfield et Marincola, 1994). Les pâtes d'amidon forment des joints solides avec la matière organique, en particulier la matière de nature fibreuse ou poreuse. En faibles concentrations, les pâtes d'amidon deviennent mates en séchant, et les pièces ou les doublages sur lesquels elles sont appliquées conservent la flexibilité de l'objet, alors que les pâtes d'amidon épaisses permettent de former des joints assez forts pour retenir des pièces plus épaisses et des matériaux plus rigides. L'utilité des pâtes d'amidon tient à leur base aqueuse, qui permet de faire un moulage plastique du papier et du fil de renfort, de sorte que les matériaux de renfort peuvent être tassés ou moulés pour épouser la forme et la texture de l'objet dans leurs moindres détails. Cette opération est importante, car elle permet d'obtenir une adhésion adéquate et une bonne intégration à l'objet sur le plan visuel, surtout si les matériaux de renfort sont teints afin de reproduire la couleur de l'objet (Norton, 2003). Les amidons de blé et de riz sont les plus couramment utilisés.

Les matériaux de renfort, qui peuvent être de très petites pièces ou un doublage complet, servent de pont pour joindre une surface à une autre. Ils comprennent le papier Japon à longues fibres (**figure 1**), le fil de coton (Florian *et al*., 1990) (**figure 2**), le fil de papier torsadé (Odegaard et Harvey, 1984; Dignard et Schlichting, 1991; Peacock, 1991) (**figure 3**) et la crêpeline de soie.

Les éthers de cellulose

D'après les études réalisées sur la stabilité (Feller et Wilt, 1990), la méthylcellulose (MC) est, en général, l'éther de cellulose (EC) le plus stable, et celui qu'il faut choisir de préférence pour les objets de vannerie. Les EC sont utiles pour réparer des cassures, pour coller une pièce ou un élément entier de doublage ou de cartonnage et pour coller des morceaux pour combler des pertes, surtout lorsqu'un joint assez faible est nécessaire et que les contraintes de traction et de cisaillement sont faibles. Par exemple, pour coller des couches de matière détériorée qui se chevauchent, comme du textile, du papyrus ou du tissu d'écorce, où il y a contact mais peu de contraintes, il suffit

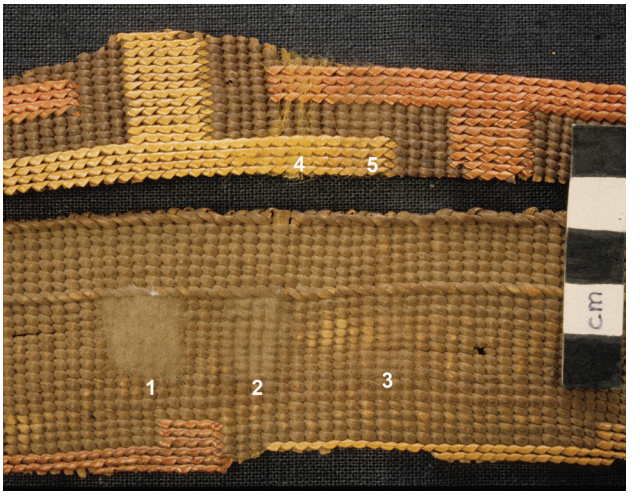


Figure 1. Exemples de rapiéçage avec du papier Japon et de la pâte d'amidon de riz collés à des fragments d'un panier fabriqué par des autochtones de la côte du Nord-Ouest (collection d'étude, Collège d'État de Buffalo). Le papier le plus épais est du papier en fibres de kozo Nao RK17. Le papier le plus mince est du papier en fibres de kozo Nao RK1. Les papiers sont teints avec des colorants réactifs pour fibre Procion. Fragment du bas : (1) RK17 teint en brun déposé sur la surface et laissé à sécher. (2) RK17 teint en brun déposé à la surface et tassé à l'aide de l'extrémité d'une brosse pour peinture à l'huile. Ce procédé montre à quel point il est important que le papier épouse la surface du panier pour optimiser la force et l'apparence. (3) RK1 teint en brun recouvrant la moitié droite d'une zone d'abrasion. Ce procédé illustre le caractère transparent d'un rapiéçage en papier. Fragment du haut : pièces recouvrant des zones rouges, brunes et jaunes d'un fragment de panier. Lorsque la pièce recouvre une zone de plus d'une couleur, comme les pièces (4) et (5) qui couvrent verticalement des bandes de couleur jaune, brune et rouge, le papier est teint de manière à reproduire la couleur moyenne, ce qui la rend moins visible. (4) RK1 teint en jaune. (5) RK1 teint en rouge-brun.

Figure 2. Exemple de réparation, à l'aide de fil de coton, d'une cassure verticale dans un panier d'origine californienne (Buffalo and Erie County History Society, 64.1046r). La réparation a été faite à l'aide de fil à broder en coton, trempé dans de la pâte d'amidon de blé et tassé dans les creux sous les éléments horizontaux.

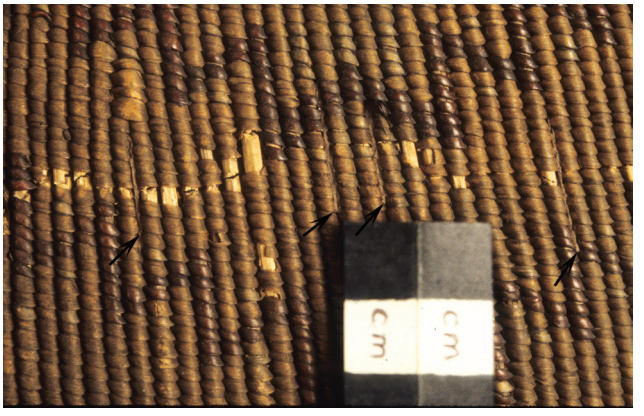


Figure 3. Exemple de réparation d'une cassure horizontale dans un panier pomo d'origine californienne à l'aide d'un fil de papier torsadé teint (Buffalo and Erie County History Society). La réparation a été faite avec des bandelettes de papier Japon teint, trempées dans de la pâte d'amidon de blé, et pressées dans les creux entre les éléments verticaux.

d'appliquer de la MC sous forme de petit amas de pâte assez sèche (teneur en eau : 2 à 4 %). Il en résulte un joint suffisamment fort qui peut être enlevé par un moyen mécanique, notamment à l'aide d'une microspatule en métal ou en Téflon. La structure du joint influe sur l'efficacité de l'adhésif. Les joints à recouvrement et les joints en biseau se prêtent bien à l'EC. La forte contrainte exercée sur l'objet et l'adhésif au niveau des joints d'about non renforcés fait souvent en sorte que le joint ne tient pas et que l'extrémité des éléments de l'objet est davantage endommagée. Plusieurs études font état de l'utilisation de MC pour effectuer des réparations (Takagi *et al*., 2006; Liow *et al*., 2005; Suryawanshi, 2000).

Lorsqu'ils sont utilisés aux faibles concentrations nécessaires, les EC deviennent mats après le séchage, ce qui les rend très utiles pour la consolidation de matières végétales détériorées et de peintures mates (**figure 4**). La MC (Methocel A4C) est utilisée en très faible concentration (0,5 à 1,0 % en poids dans l'eau) pour la consolidation de matières en fines particules. De plus fortes concentrations (2 à 10 % en poids dans l'eau) sont nécessaires pour la consolidation de particules plus grossières ou de matières fibreuses (Florian *et al*., 1990; Tworek-Matuszkiewicz, 1987). La dilution dans l'éthanol ou le prétraitement avec un mélange d'éthanol et d'eau est habituellement nécessaire pour contrebalancer la tension superficielle élevée de la solution aqueuse originale. L'hydroxypropylcellulose a également été utilisée pour la consolidation (Allington, 1986; Firnhaber et Erhardt, 1986).

En raison de leur texture mate et de leur base aqueuse, les EC peuvent être utilisés pour le comblement des

Figure 4. Exemples de conditions dans lesquelles la consolidation à l'éther de cellulose conviendrait à un wiranua aborigène d'origine australienne (National Museum of Australia, AIA ADC108). Image d'un récipient en tissu d'écorce d'eucalyptus. L'écorce externe est cousue et de la résine recouvre les coutures. La séparation de l'écorce externe entraîne un écaillage en fines couches. L'écorce externe est consolidée grâce à l'introduction de pâte de méthylcellulose (MC) entre les couches, qui sont ensuite pressées délicatement ensemble avec les doigts. La résine qui s'effrite est consolidée grâce à l'introduction d'une très mince couche de MC dans les fissures appliquée à l'aide de la pointe d'un pinceau (l'agent de consolidation a migré par capillarité).

vides, en agissant comme liant pour le papier, la pulpe de papier, les fibres, la sciure de bois et la silice sublimée (Hatchfield et Marincola, 1994; Florian *et al*., 1990; Sah, 2002). La viscosité très élevée de la pâte obtenue et la forte tension superficielle de l'eau aident à confiner le produit de comblement dans les trous, évitant ainsi la formation de taches souvent associées aux autres produits de comblement. La MC résiste bien à la compression, et le comblement à l'aide de ce produit résiste à des forces considérables. Comme le produit se contracte au séchage, il convient de procéder à un comblement progressif.

Les feuils d'éther de cellulose à réactivation

L'application de feuils d'EC, habituellement sur du papier Japon très mince (grammage de 7 à 10 g/m^2), peut servir au doublage d'objets minces et fragiles comme le tissu d'écorce, le papyrus, le bananier tressé et le tissu en fibres de *Phormium* détériorés. Les feuils d'hydroxypropylcellulose (p. ex. Klucel E ou Klucel G) peuvent être réactivés par de l'éthanol appliqué dans une enceinte à vapeur, par vaporisation

ou au pinceau. Cruickshank et Morgan (1993) donnent d'autres exemples de l'utilisation d'éthers de cellulose sous forme de feuils. Les feuils minces confèrent aux pièces et aux doublages flexibilité et transparence, et puisqu'ils ne sont pas collants, ils permettent l'ajustement des fragments de l'objet avant et pendant la réactivation.

LES COLLES ANIMALES

Les colles animales, comme la gélatine, sont utilisées dans les rares cas où il faut former un joint fort et où il faut utiliser de l'eau comme solvant pour l'application et l'enlèvement (p. ex. lors de l'application d'adhésifs et d'agents de consolidation sur une résine ou une cire). L'augmentation de la teneur en humidité des matières végétales constituant l'objet limite l'utilisation de l'eau pour enlever un adhésif vieilli. L'isinglass sous forme très diluée (0,5 à 1,0 % en poids dans l'eau) est utile pour la consolidation de pellicules minces, comme de la peinture mate et des matières végétales friables; l'utilisation d'autres agents de consolidation aurait pour effet de laisser des cernes, alors que l'utilisation de solvants non aqueux aurait pour effet de former des taches en raison de la migration des matières extractibles. Vu sa tension superficielle élevée, la MC en solution dans l'eau doit souvent être diluée avec de l'éthanol afin de faciliter sa pénétration, tandis que les solutions d'isinglass, dont la tension superficielle est beaucoup plus faible, peuvent pénétrer par capillarité sans aucune dilution ni aucun prétraitement avec des solutions alcool-eau.

LES DISPERSIONS

Les dispersions acryliques sont utilisées pour les objets de vannerie lorsqu'il faut réparer des cassures, coller des pièces ou des éléments entiers de doublage ou de cartonnage et pour coller des morceaux pour combler des pertes (Fenn, 1980; Gilberg et Grant, 1983, 1984; Barton, 1986). Dans le cas des joints rigides qui exigent une certaine dureté et une force de cohésion élevée (aucun étirement sous tension), les dispersions d'adhésifs composées de polymères ayant une température de transition vitreuse (T_v) élevée (p. ex. Rhoplex B-60A, Rhoplex AC-33) sont utilisées. Lorsqu'une certaine flexibilité est requise et qu'une force de cohésion plus faible est acceptable, il convient d'utiliser des dispersions d'adhésifs composées de polymères ayant une T_v plus basse (p. ex. Rhoplex AC-234, Plextol B500). L'emploi de dispersions est limité par leur fort lustre après le séchage; cet effet peut toutefois être réduit par l'utilisation d'agents de matité comme la silice sublimée. Étant donné la grande diversité des matériaux utilisés en vannerie, l'emploi de dispersions est également limité selon que l'objet peut tolérer les solvants aqueux au moment de l'application de l'adhésif et les solvants non aqueux au moment de l'enlèvement.

Les dispersions sont également utilisées pour la consolidation de peinture mate ou satinée ainsi que pour celle des matières végétales détériorées. Comme ces applications sont peu réversibles, il est essentiel d'utiliser des dispersions qui seront très stables à long terme (Horton-James *et al*., 1991).

LES DISPERSIONS EN FEUIL RÉACTIVÉ PAR LA CHALEUR OU PAR UN SOLVANT

Les feuils, en particulier les feuils renforcés, peuvent servir à coller des joints à recouvrement et des joints en biseau. Ils peuvent également servir à coller des pièces ou des éléments entiers de doublage ou de cartonnage lorsque le positionnement des composantes et le serrage ou l'application de pression avec des poids sont difficiles, que l'exposition à un milieu humide est problématique ou que l'adhésif ne doit pas trop pénétrer dans l'objet.

Les dispersions constituées de polymères à faible T_v (p. ex. Rhoplex AC-234, Plextol B500, Rhoplex ML 200) sont nécessaires pour permettre la réactivation opportune de l'adhésif par des solvants ou par la chaleur à basse température. Le choix est dicté par la tolérance de l'objet à l'égard des solvants (liquide ou vapeur) ou d'une chaleur modérée. Puisque cette technique vise entre autres à limiter l'exposition aux solvants, il faut utiliser des dispersions qui se réactivent rapidement dans des solvants à évaporation rapide. Les feuils ne renfermant que l'adhésif conviennent aux très petites zones où se trouvent des joints à recouvrement ou des joints en biseau, mais ils sont difficiles à manipuler dans les zones plus grandes ou les endroits où le positionnement est complexe. En plus d'être plus faciles à positionner, les feuils renforcés confèrent de la force aux zones de cassure ou aux zones affaiblies. Un morceau de feuil sec de la taille appropriée est découpé, positionné et réactivé. Si l'adhésif doit être réactivé par un solvant, le solvant en question peut être appliqué sous forme liquide ou sous forme de vapeur. Sous forme liquide, il faut laisser le solvant imbiber la zone par capillarité en utilisant un pinceau ou une pipette capillaire. Sous forme de vapeur, il faut placer l'objet entier dans une enceinte à vapeur ou installer une tente à vapeur au-dessus de la zone. Si l'adhésif doit être réactivé par la chaleur, il faut utiliser un fer à coller ou un instrument à air chaud (p. ex. un instrument Leister Labor). Robson (1986) et Barton (1986) proposent d'autres techniques.

Les matériaux de doublage comprennent la crêpeline de soie, la gaze de polyester (p. ex. Tetex), le papier

Japon (un papier mince offre davantage de flexibilité et de transparence) et le nylon très fin.

Les résines en solution

Les résines en solution non aqueuse sont utilisées pour réparer des cassures, pour coller des pièces ou des éléments entiers de doublage ou de cartonnage, pour coller des morceaux pour combler des pertes et des vides et, dans une moindre mesure, pour assurer la consolidation et combler des vides (Kronkright, 1981; Gilberg et Grant, 1983, 1984; Liow *et al*., 2005). Ces produits ont des avantages : ils offrent une vaste gamme de valeurs de solubilité et de taux d'évaporation des solvants et ils ne font pas gonfler les matières hydrophiles comme le papier, l'écorce interne, les feuilles fendues et les éclisses de bois, qui se retrouvent souvent dans les objets de vannerie. Les inconvénients comprennent la plastification et la migration de certains matériaux, comme les matières extractibles (p. ex. résine, cire, cutine, huile) ainsi que l'absorption des solvants par de nombreux types de plastiques, ce qui entraîne la dissolution et la fissuration sous contrainte. En raison de ses incomparables propriétés de vieillissement, le Paraloid B-72 constitue une résine de prédilection. Sa solubilité dans les alcools, les cétones et les hydrocarbures aromatiques représente un avantage lors du traitement d'objets de composition variée. Les résines comme l'Aquazol ont commencé à être utilisées récemment.

Même si elles sont efficaces comme agents de consolidation, les résines en solution sont d'une utilité limitée pour les objets de vannerie relativement poreux et les matériaux connexes. L'utilisation d'un solvant à évaporation lente permet de consolider les surfaces minces et poreuses sans les rendre plus foncées et lustrées (Welsh, 1980). Cependant, les surfaces plus épaisses qui s'effritent en gros morceaux deviennent plus foncées avant que la consolidation ne soit achevée. Les traitements de consolidation sont efficaces pour les matières solides, comme le bois ou le bambou, qui sont attaquées par des lyctes ou des microbes, mais comme la plupart des solutions ont une faible tension superficielle, il est difficile de maîtriser la pénétration du produit, ce qui entraîne souvent l'assombrissement de zones adjacentes.

Les résines acryliques et les résines de poly(acétate de vinyle) ont été utilisées sous forme de feuil

Figure 5. Exemple de l'utilisation d'une résine renforcée réactivée par la chaleur sur un masque provenant de Papouasie-Nouvelle-Guinée (National Museum of Australia, AIA MRM26). L'image montre une gaine de feuilles de cocotier sur une ossature de rotin. La gaine de feuilles est extrêmement friable, et les trous visibles menacent la stabilité de la structure. La zone délimitée par le trait blanc a été doublée de Stabilitex brun enduit de résine BEVA 371. Le doublage a été positionné puis collé par réactivation à la chaleur à l'aide d'un fer à coller.

réactivé par la chaleur ou par un solvant (Howatt-Krahn, 1986; Himmelstein et Appelbaum, 1977). Leur température de réactivation est toutefois plus élevée que celle des dispersions en feuils employées aujourd'hui. Le BEVA 371 Film réactivé par la chaleur (**figure 5**) ou par un solvant est également employé (Drummond, 1994). L'application de résines sur un textile ou un papier fin pour créer un feuil renforcé accroît la force du feuil et facilite son positionnement sur l'objet de vannerie.

Les mélanges d'adhésifs

L'amidon et les EC en mélange avec des dispersions acryliques sont parfois utilisés pour combiner la force d'adhésion et la flexibilité de l'acrylique à la réversibilité rapide de l'amidon et des EC. Ces propriétés sont particulièrement importantes lorsqu'il s'agit de réparer des cassures ou encore de rapiécer ou de doubler des surfaces extrêmement lisses, ou dans le cas d'un objet huilé. Parmi ces mélanges figurent la pâte d'amidon de blé et le Rhoplex ML 200, ainsi que le Methocel A4M et le Rhoplex AC-234 (habituellement dans un rapport 50:50, aussi 25:75 ou 75:25). Firnhaber et Erhardt (1986) en fournissent d'autres exemples.

Les peintures

Wendy Baker, Institut canadien de conservation

Presque tous les traitements visant à réparer des peintures endommagées font appel à des adhésifs au moins une fois. Les adhésifs rétablissent les joints de deux façons : d'une part, ils stabilisent les craquelures, les écaillements et les clivages dans la peinture ou entre les couches de peinture et les couches de préparation, et d'autre part, ils refixent ces couches aux supports sous-jacents. L'utilisation d'agents de consolidation peut également prévenir l'érosion d'une couche picturale pulvérulente en renforçant ou en rétablissant les joints entre les pigments et le liant. Les adhésifs tiennent ensemble les bords des déchirures dans le cas des peintures sur toile, collent les doublages aux toiles originales et renforcent les supports dégradés, selon les besoins. Les adhésifs permettent de coller les cartonnages sur les surfaces peintes endommagées avant et pendant les traitements, et ils servent de liant pour les matériaux de comblement et les retouches. Le choix de l'adhésif à utiliser dépend de nombreux facteurs. D'abord, le restaurateur choisit une catégorie d'adhésifs en fonction de l'état de l'objet. Ensuite, il prend en compte la sensibilité de l'objet à traiter ainsi que sa compatibilité avec l'adhésif. Le choix définitif d'un ou de plusieurs adhésifs repose sur une série de considérations; parmi les plus importantes figurent la possibilité d'enlever ou de réactiver l'adhésif, les propriétés rhéologiques à privilégier, la facilité de préparation et d'application, le temps de travail, la toxicité, la polyvalence et la disponibilité.

La présente section propose des conseils pratiques sur le choix et l'application de plusieurs adhésifs et agents de consolidation qui sont couramment utilisés pour traiter des peintures sur toile et qui permettent de régler les problèmes de clivage dans une couche ou entre des couches, de poser des cartonnages, d'effectuer des réparations structurales (doublage) et de réparer des déchirures.

Considérations initiales

La portée du traitement

Il est essentiel d'établir tout d'abord la nature et la cause des dommages, puis de vérifier dans quelles conditions la peinture sera conservée après le traitement. Si les conditions sont idéales [p. ex. humidité relative (HR) stable], le traitement peut cibler les dommages à réparer, comme la réparation d'une déchirure ou le recollage d'écailles de peinture dans une zone précise. La pose d'une toile de soutien non adhésive peut procurer une protection supplémentaire contre les vibrations ou permettre d'absorber les variations moyennes de l'HR ambiante. Tout traitement doit se faire dans l'optique de réduire le plus possible la portée de l'intervention et l'ajout de nouveaux matériaux. Si les dommages sont importants ou si la peinture sera conservée dans un milieu non contrôlé, un traitement plus exhaustif ou plus draconien peut être nécessaire.

La réversibilité

Chacune des couches d'une peinture laisse passer des liquides dès qu'elle présente des craquelures. Lorsque l'adhésif est dispersé dans le système que forme la peinture, il se lie avec les constituants de la peinture et devient difficile, voire impossible, à enlever. Cette absence de réversibilité souligne à quel point il est important de bien considérer les matériaux et les procédés de traitement à utiliser; par exemple, les adhésifs doivent avoir des propriétés de vieillissement exemplaires (dont le maintien d'un pH neutre), et tous les procédés doivent viser une intervention aussi réduite que possible (p. ex. joint formé sans imprégnation de l'adhésif dans les fibres de la toile par opposition à l'imprégnation de l'adhésif de doublage). Lorsque l'adhésif ne peut pas être enlevé, il doit au moins pouvoir être réactivé.

La modification de la saturation

Dans des situations particulières, l'utilisation de certains adhésifs entraînera une modification de la saturation de la peinture, des couches de préparation ou du support. Cela arrive surtout dans le cas des peintures pulvérulentes ou de toiles exposées, où l'agent de consolidation pénètre dans les couches picturales ou dans les couches de support et modifie de manière considérable la saturation de la matière.

L'eau, les solvants, la chaleur et la pression

Les adhésifs normalement utilisés pour le traitement des peintures sont dissous ou mis en suspension dans l'eau ou dans un solvant; ils nécessitent souvent (mais pas toujours) un chauffage pour être complètement activés. L'eau, les solvants

et la chaleur peuvent entraîner des dommages irréversibles s'ils ne sont pas appliqués correctement. De plus, les dommages peuvent être aggravés si une pression est exercée pendant le séchage ou la prise de l'adhésif. Il faut connaître la réaction de la peinture ainsi que ses sensibilités possibles avant de choisir les procédés et les adhésifs à utiliser pour le traitement. Par exemple, les adhésifs à base de solvant ne peuvent être utilisés pour le traitement des peintures acryliques ni pour bon nombre de peintures à l'huile récentes dans lesquelles la polymérisation de l'huile n'est pas complète. Ces adhésifs ne conviennent pas non plus aux peintures à l'huile renfermant des mélanges de résines et d'autres additifs sensibles aux solvants. Les peintures à l'huile très maigres, quant à elles, peuvent être sensibles à l'eau, tout comme les peintures à base de colle (détrempe). Les apprêts à la colle, contrairement aux apprêts à l'huile, sont sensibles aux adhésifs à base d'eau. Il est essentiel de connaître la composition de la peinture afin d'éviter d'appliquer un adhésif ou un traitement inapproprié.

État de l'objet et choix des matériaux

Le clivage entre les couches

Un certain nombre d'adhésifs peuvent être utilisés pour fixer une peinture dont les couches se séparent. Une description (non exhaustive) des principaux adhésifs utilisés pour ce traitement est présentée ci-dessous.

Les adhésifs pour refixer les couches picturales et les couches de préparation

Les adhésifs à base de collagène ou de protéines classifiés comme des gélatines, notamment la colle de peau de lapin, la colle de parchemin, la colle de poisson et l'isinglass, sont couramment utilisés pour refixer les couches picturales et les couches de préparation qui se détachent; ils possèdent des qualités supérieures d'écoulement et de pégosité, et ils sont compatibles avec des matières similaires employées dans les peintures de chevalet traditionnelles. Le *junfunori*, un extrait d'algue rouge de l'espèce *Gloiopeltis furcata*, est destiné à des usages spécialisés comme adhésif pour recoller les couches picturales, tout comme les dérivés de cellulose Klucel E et Klucel G (hydroxypropylcelluloses). Le *junfunori* et les produits Klucel peuvent être employés lorsque les couches picturales sont mates et sensibles au changement de couleur découlant de l'ajout d'un adhésif. D'autres adhésifs synthétiques sont utilisés pour traiter les couches picturales et les couches de préparation qui sont détachées ou se détachent de différents supports. Ils comprennent, sans toutefois s'y limiter :

- les copolymères d'acétate de vinyle et de maléate de dibutyle en dispersion (Mowilith DM427);
- les résines de poly(acétate de vinyle) (PACV) en solution (Mowilith 30, Mowilith 50, Mowilith 60);
- les copolymères d'acétate de vinyle et d'éthylène (AVE) en dispersion (Jade 403, Jade R, BEVA D8);
- le BEVA 371 basé sur un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle;
- les acryliques en dispersion (Rhoplex AC-33, Rhoplex AC-73, Rhoplex AC-234, Plextol B500);
- les résines acryliques en solution (Paraloid B-72, Plexisol P550);
- la poly(2-éthyl-2-oxazoline) (Aquazol).

Pour être efficace, un adhésif doit avoir une viscosité réglable ou faible, de bonnes propriétés de mouillabilité ou de fluidité ainsi qu'une bonne pégosité; il doit également conserver sa flexibilité et un pH neutre ou presque neutre à long terme et former des joints assez forts pour supporter les possibles contraintes. Lorsqu'un adhésif est utilisé pour fixer de la peinture craquelée ou se soulevant en cuvette ou encore des couches picturales et des couches de préparation, la force des joints formés par l'adhésif doit être élevée afin de contrebalancer les contraintes qui s'exercent sur eux en raison des possibles mouvements dans ces couches et les couches adjacentes. Bien des adhésifs ne sont pas assez forts pour supporter les contraintes constantes auxquelles est soumise la structure d'une peinture, surtout si le support de la peinture est composé d'une matière hygroscopique comme de la toile. Souvent, l'adhésif cédera, à moins que l'œuvre ne soit conservée dans des conditions idéales (Michalski, 2008, p. 37).

Les propriétés d'adhésif nécessaires pour fixer les couches picturales et les couches de préparation

La force des joints et l'écoulement

De manière générale, les dispersions de PACV (et certaines dispersions d'acrylique) sont constituées de particules de grande taille; cette caractéristique, combinée à la présence de stabilisants et d'émulsifiants – les dispersions d'acrylique contiennent habituellement moins de stabilisants et d'émulsifiants que les dispersions de PACV – peut considérablement limiter la pénétration de ces produits dans la structure des peintures craquelées (Koob, 1981, p. 86). Ces adhésifs peuvent former des joints forts avec les morceaux de peinture ou de préparation qui se détachent si la zone à consolider est exposée, par exemple dans le cas d'un éclat de peinture complètement détaché (**figure 1**).

Bien des adhésifs, lorsqu'ils sont utilisés en concentration suffisante pour assurer la formation de joints de force adéquate [p. ex. Paraloid B-72 (à 20 % dans le toluène ou l'éthanol)], sont trop visqueux pour bien s'écouler dans les petits vides et les craquelures dans les couches de peinture et de préparation.

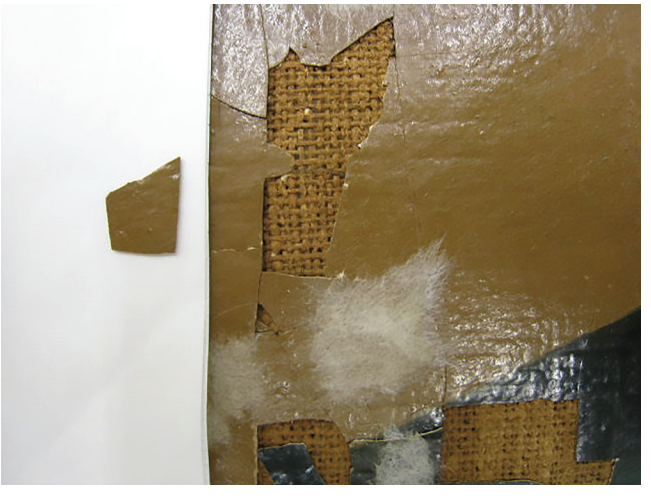


Figure 1. Éclat de peinture complètement détaché. La mise en place nécessite l'application d'un adhésif fort comme un copolymère AVE en dispersion (p. ex. Jade 403, BEVA D8) sur toute la surface. Ce type d'adhésif constitue un choix judicieux à condition que l'éclat de peinture soit placé exactement au bon endroit et que la toile n'ait pas rétréci, ce qui compromettrait l'ajustement. Il est également possible d'utiliser du Paraloid B-72 ou du BEVA 371; cependant, dans ce cas, la présence de solvant pourrait endommager le repeint brun. L'utilisation d'un adhésif possédant une faible viscosité et une mouillabilité élevée (p. ex. de la gélatine) entraînerait son absorption rapide par la toile, et il ne resterait pas assez d'adhésif pour assurer la formation de joints adéquats.

Les gélatines, qui constituent traditionnellement les adhésifs de choix pour refixer les morceaux de peinture aux couches de préparation et les couches de préparation aux supports en bois, peuvent avoir une pégosité très élevée et former des joints très forts en concentrations de 5 à 7 % et, dans le cas de l'isinglass (colle d'esturgeon), en concentrations encore plus faibles. Cette pégosité élevée, combinée à un bon écoulement à travers la structure des peintures, tout particulièrement si la gélatine est maintenue tiède pendant l'application, fait de ces adhésifs de bons choix pour refixer des couches picturales et des couches de préparation qui s'écaillent. Le BEVA D8 en dispersion possède de bonnes propriétés de fluidité qui sont attribuables, en partie, à la mouillabilité procurée par les agents de surface utilisés pour stabiliser le polymère.

Le BEVA D8, contrairement à d'autres dispersions de PACV, est capable de pénétrer dans les craquelures plus larges des couches picturales et des couches de préparation, ce qui permet la formation de joints forts à des concentrations maximales ou sous forme faiblement diluée (p. ex. BEVA D8 et eau, 4:1) (**figures 2a** et **b**). Le Rhoplex AC-234 et le Plextol B500 servent souvent à refixer la peinture qui s'écaille sur des substrats en bois absorbants, car ces produits permettent de former des joints solides (**figures 3a** et **b**).

Le BEVA 371 en solution, qui est conçu pour servir d'adhésif tout usage, peut aussi être utilisé en dilution pour refixer des couches de peinture qui se séparent. Le chauffage de la solution améliore ses propriétés d'écoulement (**figure 4**).

Figure 2a. Le BEVA D8 non dilué est injecté à travers le papier de cartonnage pour refixer de la peinture très écaillée sur un plafond en plâtre.

Figure 2b. La peinture écaillée ou recourbée a relaxé grâce à l'humidification et à l'application d'une légère pression après consolidation avec du BEVA D8. Les cartonnages appliqués avec de l'eau seulement sont facilement retirés de la surface traitée.

Figure 3a. La couche picturale et les couches de préparation à base d'huile s'écaillant sur un panneau sont consolidées à l'aide de Rhoplex AC-234.

Figure 3b. La zone qui s'écaillait après traitement avec du Rhoplex AC-234 et léger chauffage à l'aide d'un fer à coller à travers un cartonnage.

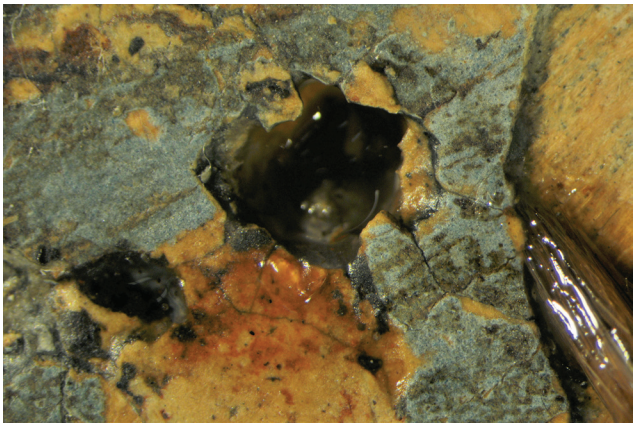


Figure 4. Le BEVA 371 (en mélange 1:1 avec du toluène) est appliqué à l'aide d'un pinceau pour refixer les couches picturales et les couches de préparation au support en bois. Le BEVA 371 a été choisi pour deux raisons principales : premièrement, les épaisses couches de préparation sont sensibles à l'eau et pourraient être endommagées par le mouillage à l'aide d'un adhésif à base d'eau et deuxièmement, le BEVA 371 est compatible avec la cire imprégnée dans le bois lors d'un traitement antérieur.

La flexibilité de l'adhésif

Bon nombre d'adhésifs synthétiques, comme le BEVA 371, le BEVA D8, le Jade R, le Mowilith DM427, le Plextol B500, le Klucel E, etc., forment des feuils flexibles qui permettent un certain degré de mouvement dans les couches picturales et les couches de préparation sans pour autant compromettre les joints de l'adhésif. Les polymères de faible masse moléculaire présents dans les adhésifs procurent une viscosité plus faible et une meilleure pénétration, mais ils ont tendance à former des feuils qui s'effritent au fil du temps, ce qui nuit à la stabilité des joints à long terme. L'Aquazol 50, malgré sa faible masse moléculaire, demeure flexible lorsqu'il sèche étant donné qu'il peut absorber facilement l'humidité. Même si sa pégosité est faible, l'Aquazol 50 peut servir à plastifier des adhésifs plus friables à base d'eau ou de solvants, comme les gélatines, le Paraloid B-72, etc. (Wolbers, 2008, p. 115).

Les facteurs empêchant une bonne adhésion

Lorsque certains adhésifs sont appliqués sur les couches poreuses et complexes d'une peinture, les solides qu'ils contiennent risquent de se séparer de la solution, d'être adsorbés, de migrer hors de la zone visée par le joint ou d'être déplacés par migration inverse pendant le séchage (Michalski, 2008). Certains de ces effets sont décrits ci-dessous.

L'adsorption

Si un adhésif est adsorbé avant d'atteindre la zone de clivage, le joint sera privé d'adhésif. Ce problème survient surtout dans le cas des peintures ayant un faible volume liant-pigment, où les particules de pigment exposées peuvent attirer l'adhésif à partir du solvant. Afin d'atténuer le risque d'adsorption précoce, surtout si le solvant de l'adhésif n'est pas un éluant puissant pour cet adhésif (c'est-à-dire que le solvant est capable d'extraire l'adhésif adsorbé du pigment) (Michalski et Dignard, 1997, p. 123), il est possible soit de remplacer le solvant par un autre solvant qui exerce plus d'attraction sur cet ~~adhésif soit~~ d'introduire un mélange de solvants polaires (p. ex. mélange 1:1 d'éthanol et d'eau) dans la craquelure ou l'appliquer le long des rebords avant l'application de l'adhésif. Ces solvants polaires seront adsorbés de préférence, permettant à l'adhésif de passer et de se déposer là où son action est requise, dans la zone de clivage.

La concurrence due à la capillarité
Les pores de petite taille exercent une attraction capillaire plus forte que les pores de plus grande taille, les craquelures ou les vides, d'où leur capacité d'extraire l'adhésif de la zone visée par le joint. Pour éviter que le joint soit privé d'adhésif, il est possible de procéder à des applications successives de l'adhésif ou d'appliquer ce dernier en concentrations croissantes. Les applications initiales seront absorbées par les plus petits pores et capillaires, ce qui permettra aux applications ultérieures ou aux applications en plus forte concentration de rester à l'endroit visé. Pour éviter de former un joint mince, des gélatines peuvent être utilisées; ces adhésifs ont l'avantage de ne pas migrer par capillarité, car la plupart d'entre eux forment un gel à la température ambiante (voir la section intitulée *Les avantages et les inconvénients des colles*).

La migration inverse
La migration inverse d'un adhésif, en particulier les adhésifs à base de solvant, peut avoir lieu pendant l'évaporation du solvant. L'adhésif migrera dans la peinture selon l'emplacement du front d'évaporation. Dans les cas où il est nécessaire de refixer un écaillage non superficiel, notamment entre les couches de préparation, de multiples couches picturales (y compris les couches d'empâtement) et le support, la migration inverse peut empêcher l'adhésif de demeurer à l'endroit nécessaire. Pour ralentir la migration, la vitesse d'évaporation peut être réduite en recouvrant la peinture, habituellement le devant, avec une membrane imperméable après l'application de l'adhésif (Hansen *et al.*, 1993).

Les avantages et les inconvénients des colles

Plusieurs facteurs font en sorte que les adhésifs classiques à base de collagène, ou les colles, sont systématiquement utilisés pour le traitement des clivages entre les couches picturales et les couches de préparation des peintures. Les adhésifs à base de collagène comme la gélatine sont faciles à se procurer, faciles à préparer, ils ne sont pas toxiques, ils possèdent de bonnes propriétés de fluage, ils forment des joints forts et ils peuvent être réactivés par la chaleur. Fait plus important encore, bien des colles au collagène forment un gel lors du refroidissement, et elles ne sont pas déplacées des zones de clivage sous l'effet de la capillarité ou de la migration inverse (Michalski, 2008, p. 36). Il y a un avantage à choisir des matériaux adhésifs similaires à ceux qui ont été utilisés dans la production de la peinture, comme la colle utilisée pour encoller les toiles. Si on utilise les gélatines à la bonne concentration, leur comportement comme matériau « réparateur » dans la zone visée n'aura aucun impact négatif sur la façon dont les matières originales réagissent aux stimuli environnementaux, et ce matériau ne créera pas de nouvelles réactions. Les colles animales peuvent être choisies pour leurs caractéristiques particulières. Par exemple, la colle de peau de lapin possède une grande force de contraction qui peut ramener les éclats de peinture sur le substrat. L'isinglass, pour sa part, a une viscosité inférieure et une pégosité supérieure à ceux de la colle de peau de lapin; il s'agit souvent de l'adhésif de choix pour le traitement des icônes traditionnelles (Petukhova et Bonadies, 1993). Les colles peuvent également être réactivées à des températures beaucoup plus faibles que bien des adhésifs thermoplastiques synthétiques. Les principaux inconvénients des colles sont leur friabilité et la force de contraction qu'elles exercent quand le taux d'humidité est faible.

Les avantages et les inconvénients des gels thermosensibles et des autres adhésifs thermoplastiques

Les adhésifs pouvant être réactivés par la chaleur ou par des solvants ont un avantage clair par rapport à ceux qui ne peuvent être réactivés ainsi. Ils permettent de défaire des joints de manière sûre et cohésive dans le cas où d'autres interventions seraient nécessaires ou dans le cas où le joint céderait (Horie, 2010, p. 111). Le traitement efficace d'une peinture qui s'écaille, qui est craquelée ou qui se soulève en cuvette consiste à exposer l'œuvre à une chaleur, à une pression et à une humidité légère, et parfois à des solvants, ce qui favorise la relaxation des couches déformées. Les adhésifs qui réagissent à ces conditions forment des joints plus forts, du fait qu'ils permettent davantage de mouvement dans les zones de clivage. La température de réactivation varie selon l'adhésif. Les résines synthétiques ramollissent à des températures beaucoup plus élevées que les colles (65 à 68 °C dans le cas du BEVA 371, par rapport à 40 à 45 °C pour la plupart des colles animales). Les adhésifs thermoplastiques à base de solutions de résines dans des solvants organiques ne peuvent être utilisés que sur des peintures à l'huile entièrement polymérisées ou sur des peintures à la détrempe, car dans ces cas une exposition à un solvant suivie d'une exposition à la chaleur ne perturbera pas le liant.

La consolidation d'une peinture maigre

Il peut être très difficile de réparer l'écaillage et le clivage entre couches dans le cas d'une peinture maigre, car l'adhésif utilisé agira comme liant, et la peinture risque de devenir plus foncée ou plus lustrée. Le Klucel E, le Klucel G ainsi que la

carboxyméthylcellulose (CMC) font partie des adhésifs que l'on utilise traditionnellement en faible concentration pour traiter les peintures maigres (**figure 5**). Le *junfunori* a aussi été employé avec succès pour consolider la peinture mate; il donne de meilleurs résultats que les produits Klucel et la CMC à cet égard (Geiger et Michel, 2005). Malheureusement, le coût de cet adhésif et la difficulté à se le procurer limitent souvent son utilisation.

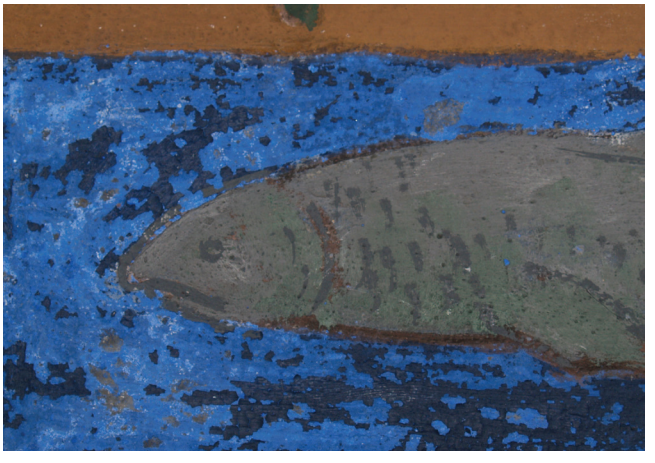


Figure 5. Consolidation d'une peinture maigre. Le repeint bleu foncé à l'huile et la couche de fresco-secco sous-jacente (détrempe mate sensible à l'eau) se soulèvent à partir d'une couche originale de fresque. Le Klucel E (à 2 % p/v dans l'isopropanol) est utilisé pour fixer la couche de détrempe sur le plâtre de la fresque sans assombrir la couche de tempéra.

La consolidation d'une peinture pulvérulente

Une peinture pulvérulente absorbe toute substance appliquée sur sa surface; on court donc le risque d'assombrir la surface si on utilise un agent de consolidation en quantité ou en concentration trop grande. L'application mécanique des adhésifs (p. ex. au pinceau) peut aussi entraîner la perte de pigments friables. Il faut utiliser une quantité d'agent de consolidation très faible, mais suffisante pour assurer un contact mécanique entre les particules (Horie, 2010, p. 107). La nébulisation à ultrasons d'adhésifs et de colles constitue un mode d'application efficace (Michalski *et al.*, 1998). Des solutions diluées de gélatine (0,5 à 1 % dans l'eau), de CMC (0,5 à 1 % dans l'eau) ou de Paraloid B-72 (0,5 à 1 % dans l'éthanol) ont été appliquées avec succès à l'aide d'un nébulisateur à ultrasons. Il est possible d'appliquer davantage d'agent de consolidation sur la surface de la peinture à l'aide de nébulisations répétées; les solutions diluées permettent toutefois de former des joints suffisamment forts. Il est possible d'appliquer de l'Aquazol 5 ou 50 par nébulisation à ultrasons afin de consolider une peinture pulvérulente. Cette méthode d'application est possible du fait que les molécules du produit sont assez petites pour permettre une nébulisation en concentrations plus grandes. L'Aquazol ne possède pas une pégosité élevée, mais les joints qu'il forme sont plus que suffisamment forts pour stabiliser une peinture pulvérulente (**figure 6**).

Figure 6. Consolidation d'une peinture pulvérulente. Nébulisation d'Aquazol 50 (à 5 % p/v dans l'eau) sur la surface d'une peinture friable et pulvérulente.

La consolidation de couches picturales sur des surfaces non poreuses

Les surfaces non poreuses qui sont habituellement dures posent des difficultés particulières lorsqu'il s'agit de corriger des problèmes d'adhésion, comme des difficultés d'introduction de l'adhésif, un écoulement capillaire réduit et la nécessité de faire évaporer le solvant ou l'humidité exclusivement à travers les couches picturales et les couches de préparation. Le clivage des couches picturales et des couches de préparation est un problème courant sur ce genre de surface, car il n'y a aucun point d'ancrage (joint mécanique). L'écaillage est un problème courant qui survient lorsqu'une peinture est appliquée sur un panneau dur, plus particulièrement sur le côté lisse; dans ce cas, la zone de clivage est grande (voir les **figures 3a** et **3b**). L'écaillage est également un problème courant dans le cas des supports en verre et l'adhésif est visible, étant donné qu'il est

introduit entre la peinture et le verre. L'adhésif doit être clair comme l'eau, il doit mouiller le verre et il doit s'écouler sur toute la zone de clivage, en ne laissant ni vides ni bulles d'air (**figures 7a** et **7b**). Normalement, le Paraloid B-72 (à 7 % dans le toluène) est privilégié comme adhésif dans ce cas. Le traitement de la peinture écaillée sur les supports sensibles à la corrosion comme le cuivre est lui aussi problématique. Les adhésifs à base d'eau ne s'écoulent pas bien sur le métal et ils peuvent le corroder. La réactivation des résines thermoplastiques comme le BEVA 371 accroît le risque d'aggraver le clivage. Les essais montrent que ce sont le Paraloid B-72 et le Paraloid B-48N (tous deux en solution dans le toluène), le Mowilith 20, le Plexisol P550 et le Bedacryl 122X qui donnent les meilleurs résultats (Horovitz, 1996).

La consolidation par le revers de la toile

Il est possible d'appliquer un adhésif ou un agent de consolidation par le revers d'une peinture (du côté de la toile). Cette méthode d'application permet une consolidation exhaustive, ou une imprégnation, mais elle ne doit être utilisée que si la zone de clivage est difficile à atteindre à partir de la surface, si l'ensemble des couches se détachent ou s'effritent, ou si une consolidation de la toile est nécessaire. Les traitements comprennent l'utilisation d'adhésifs dilués, tels que le Plexisol P550 ou le BEVA 371, qui sont appliqués au pinceau sur le revers de la toile. Les mélanges de cire et de résine, pour leur part, permettent de fixer (ou d'enrober) efficacement la peinture qui s'effrite. Cependant, leur utilisation comme adhésifs d'imprégnation est controversée, principalement à cause des cas de peintures ayant été visuellement et physiquement endommagées par ces traitements.

Les méthodes d'application utilisées pour le refixage des couches picturales et des couches de préparation

Il est possible d'appliquer un adhésif à l'aide d'un pinceau, d'une seringue ou d'un nébulisateur. La pénétration de cet adhésif peut être améliorée à l'aide d'un dispositif de succion localisée sous faible pression. Ce dispositif peut être placé derrière la peinture, sans qu'il soit nécessaire d'enlever celle-ci de son support auxiliaire. La succion localisée fait pénétrer l'adhésif dans les craquelures des couches picturales et des couches de préparation. Les colles thermosensibles et les résines ou les cires thermoplastiques peuvent être réactivées par traitement localisé à l'aide d'une spatule chauffée (**figure 8**) ou d'une table chauffante sous vide dotée

Figure 7a. Peinture sous verre avant nettoyage et consolidation. Le clivage de la peinture à partir du verre est visible au niveau du visage, de la collerette et d'une partie du bonnet.

Figure 7b. Après nettoyage et consolidation. Le Paraloid B-72 (à 7 % p/v dans le toluène) a été utilisé pour refixer la peinture à la surface.

Image de Ingeborg Nissen (1768-1862), né à Engelstoft, au Danemark. Arrière-grand-mère de Birgitte Rump (propriétaire de l'œuvre). Reproduite avec la permission de Birgitte Rump.

Figure 8. Application de chaleur et de pression. Lors de la réactivation d'une colle thermosensible, comme dans l'exemple ci-dessus, ou encore d'un adhésif à base de résine thermoplastique à l'aide d'une spatule chauffée, il faut toujours utiliser une couche de protection, ici une couche de papier, pour éviter d'endommager la couche picturale par contact direct avec la chaleur et avec une surface de polissage, comme une spatule en métal.

d'une source de chaleur intégrée ou auxiliaire (**figure 9**). Il est également possible d'utiliser une table multiusages à faible pression qui fournit simultanément le serrage, la chaleur et l'humidité. Lorsque les constituants de la peinture sont sensibles aux solvants et qu'un adhésif à base d'eau est employé, il est alors possible de recourir à des poids localisés pour maintenir en place les couches picturales et les couches de préparation pendant le traitement de consolidation. Dans ce cas, il faut utiliser des buvards entre les poids et la couche picturale afin de prévenir l'accumulation d'humidité,

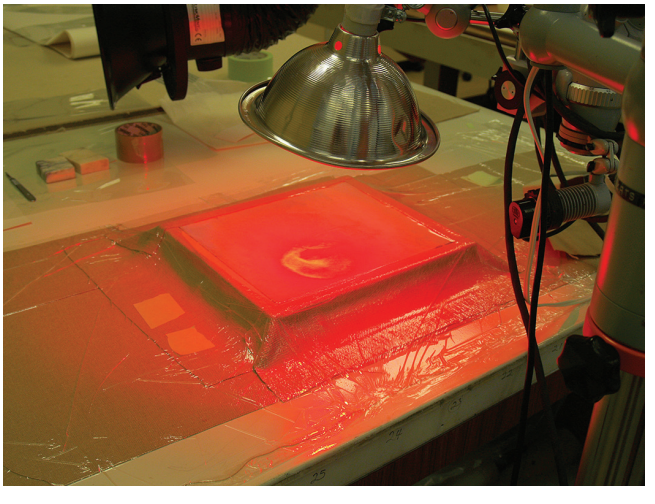


Figure 9. Application de chaleur et de pression. Exécution d'un doublage thermodurcissable sous vide. La chaleur vient du haut; elle est fournie par une lampe infrarouge.

laquelle pourrait endommager la peinture. Lorsque l'adhésif est en solution dans un solvant et que la libération du solvant est entravée par des poids localisés, cette contrainte peut causer de graves dommages aux peintures sensibles aux solvants. Dans ce cas, la consolidation ne doit être effectuée que par réactivation du solvant par la chaleur, une fois que tout le solvant s'est évaporé de l'adhésif.

Les cartonnages

L'utilisation de cartonnages pour stabiliser la peinture écaillée ou craquelée

Il est possible de poser un cartonnage en papier sur une partie ou sur l'ensemble de l'œuvre, selon la fonction recherchée. L'adhésif peut simplement servir à maintenir le cartonnage en place ou à acheminer, en partie ou en totalité, l'adhésif utilisé pour consolider une couche picturale craquelée. La consolidation d'ensemble à l'aide de colle de peau de lapin, d'isinglass ou de colle de parchemin peut être facilitée par l'emploi de cartonnages fixés à l'aide de ces produits (**figure 8**). S'il sert uniquement à fixer un cartonnage, l'adhésif ne doit pas empêcher le passage des autres matières employées pour traiter le problème de clivage. S'il faut préserver une couche de vernis, l'adhésif de cartonnage ne doit pas compromettre l'intégrité de ce vernis. Pour y arriver, il faut normalement employer un adhésif à base de gélatine. Au moins deux couches de cartonnage sont nécessaires si le traitement exige une manipulation intensive de la toile (enlèvement d'un ancien doublage et d'un ancien adhésif de doublage). Dans ce cas, les deux couches de cartonnages sont appliquées à l'aide d'adhésifs différents : l'un à base d'eau, l'autre à base de solvant. La nature des cartonnages sera différente; une pratique courante consiste à poser un cartonnage en papier directement sur la couche picturale à l'aide d'un adhésif à base de solvant, alors que le deuxième ou troisième cartonnage, habituellement fait de textile, est posé par-dessus le cartonnage en papier à l'aide d'une colle à base de collagène.

Les traitements effectués sur une table chauffante sous vide, dans le cadre desquels la peinture sera soumise à de la chaleur et à une pression, exigent la pose de cartonnages sur l'ensemble de l'œuvre. Ceux-ci sont fixés de manière lâche avec ou sans adhésif afin d'empêcher que la surface de la peinture ne devienne polie. Dans le cas des peintures sensibles aux adhésifs et nécessitant des cartonnages localisés et très temporaires, il est possible d'utiliser du cyclododécane, avec ou sans papier (Cagna et Riggiardi, 2008). Le cyclododécane a différentes utilisations en conservation en raison de sa capacité à sublimer à la température ambiante.

La pose de cartonnages comme traitement

Il est possible d'exploiter la force de contraction du collagène en conjonction avec des cartonnages pour aplatir délicatement des soulèvements en cuvette et des écaillements superficiels. Il peut s'agir d'un traitement d'ensemble ou d'un traitement localisé. Les traitements visant à enlever une peinture murale ou une fresque font appel à la force de contraction des colles à base de collagène. Lorsque la surface d'une peinture murale ou d'une fresque est entièrement revêtue d'un cartonnage fait de tissu imprégné de colle ne contenant pas d'agent plastifiant, comme le miel utilisé traditionnellement, il est possible d'enlever l'œuvre de son support de plâtre par pelage (cette technique est appelée *strappo*). Si un agent plastifiant est ajouté à l'adhésif de cartonnage, la peinture reste attachée au plâtre, et une couche de plâtre se détache avec la peinture (cette technique est appelée *stacco*).

LA RÉPARATION STRUCTURALE

Lorsqu'une toile est détériorée, une intervention structurale d'envergure variable peut être pratiquée. Les bords de la toile cèdent d'abord au niveau de l'arête. Ces zones peuvent être réparées ou renforcées à l'aide d'un textile de doublage fixé avec un adhésif (souvent du BEVA 371 Film ou la formulation originale). Ce procédé est connu sous le nom de « doublage à l'aide de bandes ». Lorsque la toile entière est affaiblie au point de ne plus supporter la couche picturale ou lorsque la présence de déchirures importantes nécessite une intervention importante, il est alors préférable de procéder à un doublage intégral.

Par le passé, le doublage à l'aide de bandes enduites de colle ou de mélanges de colle et d'amidon était couramment utilisé comme moyen de renforcement structural, tout comme le doublage à l'aide de cire et le doublage à l'aide d'un mélange de cire et de résine. L'utilisation de ces deux types de doublage remonte au milieu du XIX^{e} siècle et leur popularité s'est accrue à partir des années 1950 après l'apparition des tables chauffantes sous vide (Phenix, 1995, p. 26). L'utilisation de la cire comme adhésif de doublage a ses avantages. La cire est une matière hydrophobe qui imprègne complètement la toile lors du doublage; elle peut donc ralentir l'absorption ou la perte d'humidité dans la toile (Young et Ackroyd, 2001, p. 99). Les travaux de recherche de l'Institut canadien de conservation montrent que l'utilisation de mélanges de cires et de résines pour imprégner une toile (doublage ou support original) accroît la tension du textile, du moins à court terme, ce qui en fait un support plus efficace pour les couches picturales et les couches de préparation. Ces mélanges peuvent également aider à prévenir l'apparition de craquelures et empêcher le soulèvement en cuvette de s'aggraver (Michalski et Daly-Hartin, 1996). Les formulations à base de cire ont cependant de sérieux inconvénients, notamment des températures d'activation potentiellement élevées (54 à 80 °C) qui entraînent un transfert de l'armure, un accroissement de la transparence de la couche picturale et des couches de préparation, ainsi qu'un assombrissement, un durcissement et une possible dégradation des toiles par l'acide.

La conférence sur la comparaison des techniques de doublage, organisée en collaboration avec le National Maritime Museum à Greenwich, en 1974 (Villers, 2003), a été l'occasion d'examiner les problèmes relatifs au doublage et leurs solutions; les conclusions tirées de cette conférence servent toujours de référence dans le choix des matériaux et des techniques de doublage. La philosophie actuelle prône une intervention minimale (Phenix, 1995; Ackroyd, 2004). Une intervention minimale suppose l'utilisation d'un matériau de doublage non adhésif ou de bandes de doublage, ainsi qu'un doublage sous faible chaleur ou à froid visant à obtenir un joint sans pénétration de l'adhésif dans les fibres de la toile plutôt qu'une imprégnation complète de la toile. Le doublage n'est plus considéré comme une solution en une étape pour réparer des dommages.

Lorsqu'un doublage est nécessaire, diverses solutions sont envisageables. Les feuils préfabriqués de BEVA 371 ou de BEVA (fixables à chaud ou réactivés par un solvant) demeurent très prisés en Amérique du Nord. S'il est appliqué sous forme liquide, l'adhésif peut être vaporisé ou appliqué au pinceau sur le textile de doublage; il est alors possible de former un joint fort sans imprégnation à l'aide d'une table chauffante sous vide à des températures allant de 65 à 68 °C (Berger et Russell, 2000). Les techniques de doublage à froid, élaborées dans les années 1970, sont conçues pour limiter les impacts. Mehra (1975) a mis au point une technique de doublage à froid à l'aide d'un adhésif acrylique en dispersion épaissi, le Plextol B500, appliqué à travers un grillage sur la toile de doublage seulement. La peinture est placée par-dessus la toile de doublage ainsi apprêtée, et le montage est mis à sécher sur une table avec circulation d'air sous faible pression. D'autres types de doublage à froid ou de doublage par fixage à chaud à basse température ont été effectués à l'aide de copolymères acryliques, le Plextol D360 et le Plextol D498, sur une table multiusages sous faible pression (Hacke, 1978). Le BEVA Gel permet d'obtenir un doublage très fortement lié (Cser, 2002). Les doublages à froid, s'ils permettent d'éviter bien des dangers et des

effets secondaires des doublages à chaud, ont comme inconvénient d'obliger à contrôler l'exposition de la toile originale à l'humidité lorsque l'adhésif employé est en dispersion. La toile peut être protégée contre le transfert d'humidité en recouvrant le revers de la toile de la peinture d'une barrière contre l'humidité composée d'un feuil adhésif activé par un solvant ou par la chaleur (Cser, 2002, p. 4) ou encore en réactivant par un solvant l'adhésif utilisé pour le doublage à froid; on procède alors au « doublage à froid à l'aide d'un feuil sec » (Mehra, 1981, p. 13).

Les traitements structuraux qui utilisent des adhésifs permettent également le refixage des toiles peintes sur le mur ou le support solide sur lequel elles se trouvaient à l'origine. Les grandes murales, qui sont des toiles peintes collées sur des murs en plâtre, sont sujettes à un clivage partiel au fil du temps. L'adhésif employé à l'origine pour fixer la toile sur les murs en plâtre est habituellement une colle animale ou une pâte d'amidon; il est donc préférable de réactiver l'adhésif original à l'aide d'humidité ou d'injecter un adhésif facilement réversible pour refixer les sections de la toile qui se soulèvent du mur. Dans le cas d'une peinture sur toile collée par l'artiste sur un support auxiliaire de contreplaqué à l'aide d'époxy, la solution retenue pour refixer la toile soulevée a été d'injecter un adhésif (BEVA D8) dans des trous percés à travers le support en bois dans les zones de clivage (**figure 10**). L'ancienne résine époxy a scellé le bois, l'empêchant ainsi de réagir à l'humidité dans l'adhésif, tandis que cette même humidité a contribué à assouplir la toile, les couches picturales et les couches de préparation pour qu'elles reprennent leur place sur le support auxiliaire (Cyr et Baker, 2010).

Figure 10. Refixage de supports soulevés. Du BEVA D8 est injecté à travers un support auxiliaire en contreplaqué dans une zone de clivage entre le bois et le support principal de toile. La toile, qui avait été collée à l'origine par l'artiste à l'aide d'une résine époxy, se soulevait du contreplaqué et formait des bosses à de multiples endroits.

La réparation de déchirures

La réparation invisible des déchirures évite d'avoir à poser des pièces ou de recourir au doublage ou au marouflage, traitements que l'on utilisait autrefois pour réparer ce genre de dommages (Heiber, 2005). La technique de réparation des déchirures consiste à réintégrer les fils cassés dans la structure de la peinture; elle permet à la zone endommagée de réagir comme le reste de la toile aux variations des conditions ambiantes. Cette technique élimine le recours au rapiéçage localisé et l'inévitable problème du chevauchement (formation de bosses dans la toile au-dessus de la pièce). L'adhésif utilisé pour la réparation des déchirures est un mélange de colle d'esturgeon (à 20 % p/v dans l'eau) et de pâte d'amidon de blé (PAmB) (à 10 % p/v dans l'eau) combinées en parties égales en volume (Heiber, 2005, p. 87). La colle d'esturgeon a une pégosité et une force élevées, tandis que la PAmB agit comme matière de charge ou agent gonflant (**figure 11**). Une fois en place, l'adhésif est soudé de manière localisée à très faible température avec les extrémités des fils cassés. Le joint est fort et facilement soluble dans l'eau, et il peut être retravaillé ou défait au besoin. Le Jade R, une dispersion de PACV réversible dans l'eau, a également été utilisé avec succès pour la réparation invisible de déchirures. Lorsqu'il s'agit de réparer des déchirures nettes, sans fils qui se chevauchent, une résine époxy à prise rapide peut être utilisée. Ce produit permet de bien tenir ensemble les extrémités de fils coupés, et il est suffisamment fort pour supporter les contraintes exercées par les mouvements de la toile environnante. D'autres adhésifs, comme la résine thermoplastique Polyamide Welding Powder, peuvent aussi être employés, mais leur température de fusion est beaucoup plus élevée que celle de la colle d'esturgeon et de la PAmB, et ils ne sont pas réversibles dans l'eau.

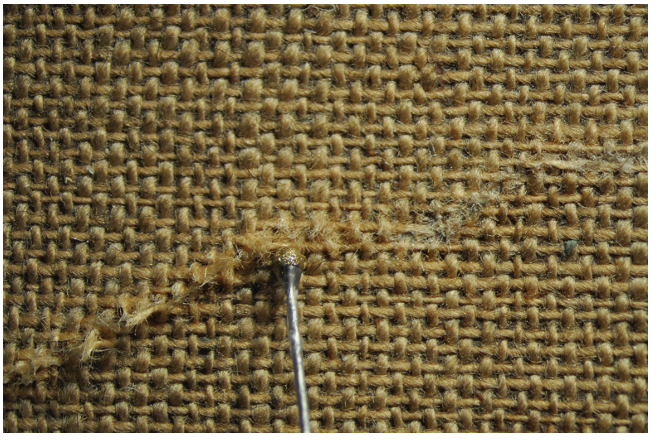


Figure 11. Réparation invisible d'une déchirure. Une goutte minuscule de colle d'esturgeon combinée à de la PAmB est déposée au point de rencontre des fils déchirés. L'adhésif est ensuite soudé à la chaleur avec les fils, ce qui permet d'obtenir une réparation solide.

L'os et l'ivoire archéologiques

Tara Grant, Institut canadien de conservation

Les adhésifs ou les agents de consolidation sont utilisés sur l'os ou l'ivoire principalement dans deux cas : pour recoller un fragment qui s'est détaché de son morceau d'origine ou encore, pour recoller un élément décoratif qui s'est détaché de son substrat (fait de bois par exemple). Les adhésifs servent également à consolider une structure affaiblie et détériorée dont la surface est poreuse ou pulvérulente. La présente section porte sur l'os et l'ivoire archéologiques. Il faut souvent consolider l'os archéologique et l'os brûlé afin de préserver leur cohésion structurelle.

Les polymères utilisés comme adhésifs pour le traitement de l'os et de l'ivoire servent parfois d'agents de consolidation sous forme diluée. Comme l'utilisation d'agents de consolidation constitue une solution plus drastique que celle des adhésifs, leur choix est plus complexe. Les adhésifs sont donc abordés dans le contexte de l'utilisation des agents de consolidation. Seules les différences importantes relatives aux adhésifs seront indiquées.

Propriétés de l'os et de l'ivoire influant sur le choix des agents de consolidation

L'os et l'ivoire sont constitués d'une matrice organique de fibres de collagène dont les interstices sont remplis d'un composé inorganique de phosphate de calcium cristallin, appelé hydroxyapatite. Le constituant minéral procure de la force, tandis que le collagène procure de la flexibilité. Un agent de consolidation doit procurer non seulement de la force, mais aussi de la flexibilité, afin de refléter la double nature de l'os et de l'ivoire.

La structure de l'os comprend deux parties : la partie centrale est constituée d'une matrice d'os ayant l'aspect de la dentelle, appelée os spongieux, alors que la partie périphérique est constituée d'os compact, dense et solide, appelé os lamellaire. L'os lamellaire est dur, rigide et relativement non poreux. Il est difficile d'y faire pénétrer un agent de consolidation. L'os spongieux, quant à lui, est léger, friable, extrêmement poreux et plus susceptible d'être en mauvais état. Il est beaucoup plus facile d'y faire pénétrer un agent de consolidation. Il faut choisir des adhésifs et des agents de consolidation de faible viscosité, peu concentrés, et dont les particules sont assez petites pour pouvoir pénétrer dans l'os lamellaire. Ils doivent procurer en même temps une force suffisante pour consolider adéquatement l'os spongieux. Le choix du solvant peut également avoir une incidence sur la viscosité et la pénétration.

L'ivoire est constitué de dentine, un matériau blanc qui est à la fois dur et dense. Contrairement à l'os, dont le centre est spongieux, l'ivoire possède un centre solide. L'ivoire est constitué de couches successives correspondant à des anneaux de croissance concentriques; il se détachera le long de ces anneaux, et il se fendra suivant l'axe longitudinal, à la suite de la contraction et de l'expansion de ses différentes couches à des rythmes différents. L'ivoire est beaucoup plus difficile à consolider que l'os en raison de sa densité et de son impénétrabilité.

Lorsque l'os est brûlé, la matière organique est détruite, ce qui ne laisse que la structure minérale. L'os devient alors plus léger, plus poreux et plus fragile. Sa couleur va d'un blanc crayeux au noir en passant par le gris.

Puisque l'os archéologique se détériore pendant son enfouissement, il est souvent d'une extrême fragilité, ce qui rend nécessaire sa consolidation. L'os et l'ivoire subissent une détérioration similaire pendant leur enfouissement, mais la détérioration de l'ivoire est plus lente en raison de sa structure plus dense et moins poreuse qui ralentit l'absorption de l'eau, des minéraux, des acides et des bases. Selon le milieu d'enfouissement, il peut se produire une détérioration sélective des composantes organiques ou inorganiques qui endommage et affaiblit gravement l'os et l'ivoire, ce qui rend nécessaire leur consolidation. Dans un milieu d'enfouissement acide (pH < 6), comme les tourbières, c'est la portion minérale qui est détruite; dans les cas extrêmes, l'os devient flexible, friable et très sensible aux variations de l'humidité. L'ivoire, quant à lui, se détache en lamelles, et sa surface se dépolit. Dans un milieu d'enfouissement alcalin (pH > 8), comme un amas coquillier ou une zone calcaire, l'hydroxyapatite est préservée, mais la portion organique détruite. Il en résulte de l'os en apparence robuste mais plus friable et moins sensible aux variations de l'humidité relative (HR). L'os est plus susceptible de se conserver dans

un milieu alcalin. Les composés organiques peuvent être remplacés par des composés minéraux, comme des silicates et des carbonates, ce qui perminéralise ou « fossilise » l'os, en accroissant sa friabilité et sa perte de cohésion. Cette perminéralisation augmente la probabilité qu'une consolidation soit nécessaire, tout en accroissant la densité de l'os et en le rendant moins poreux.

L'os et l'ivoire sont sensibles à l'eau, y compris aux variations de l'HR. Le collagène prend de l'expansion lorsqu'il est exposé à une HR élevée, tandis que la portion minérale demeure inchangée. Les deux matières sont anisotropes, c'est-à-dire qu'elles prennent de l'expansion et se contractent en réponse à l'HR selon trois directions : longitudinale, horizontale et diagonale. La densité plus élevée de l'ivoire ainsi que l'alternance d'anneaux de collagène et d'hydroxyapatite rendent cette matière particulièrement sensible aux variations de l'HR. Puisque ces matériaux, et en particulier l'ivoire, sont sensibles à l'eau, le choix d'un adhésif ou d'un agent de consolidation à base d'eau doit être considéré avec soin. Seul l'os en bon état peut être exposé à des adhésifs ou à des agents de consolidation aqueux. Dans le cas de l'ivoire, il est recommandé d'utiliser des adhésifs à base de solvants organiques. Les panneaux minces en ivoire qui se séparent, se fendent ou s'écaillent ne doivent pas être exposés à des adhésifs à base d'eau. Tous les objets archéologiques mouillés, cependant, peuvent être traités avec des matériaux à base d'eau.

De grandes quantités d'os dégradé peuvent être récupérées dans les sites archéologiques. Par exemple, au site de Windover, en Floride, les corps articulés et désarticulés de 168 personnes ont été exhumés sur une période de trois ans (Stone *et al*., 1990). Sur un site de fouille de taille moyenne, il est possible de récupérer de 5 à 20 kilogrammes d'os par jour (Koob, 1984). Pour traiter de telles quantités, il convient de choisir un adhésif facile à utiliser, non toxique et peu coûteux dont le temps de pénétration et de séchage est rapide. L'utilisation d'agents de consolidation à base de solvants organiques n'est pas nécessairement souhaitable.

Les agents de consolidation non aqueux présentent de nombreux inconvénients. Ils ne peuvent pas être employés sur des matières mouillées, car ils forment un précipité blanc qui cache la surface, presque comme une pellicule. L'eau présente dans un objet doit être remplacée par un solvant avant la consolidation. La plupart des solvants sont inflammables, toxiques et coûteux. De plus, ils doivent être éliminés adéquatement, et leur transport vers des sites éloignés n'est pas toujours possible. Afin d'utiliser les agents de consolidation en toute sécurité, il convient de porter de l'équipement de protection individuelle et d'utiliser un système d'évacuation des vapeurs approprié. L'exposition à long terme aux solvants organiques a des effets sur la santé. Les solvants ont une tension superficielle inférieure à celle de l'eau. De manière générale, les agents de consolidation à base de solvants organiques pénètrent plus profondément et plus rapidement que les agents de consolidation aqueux. Si le solvant s'évapore trop rapidement (p. ex. dans un climat très chaud ou si le solvant est très volatil), le produit pénètre mal, et une pellicule se forme à la surface. Cette pellicule masque les détails de la surface et peut piéger l'humidité, ce qui entraîne des contraintes qui font fissurer l'os. L'utilisation d'agents de consolidation à base d'eau peut occasionner un problème de croissance de moisissures dans la solution ou pendant le séchage.

Comme pour la plupart des matériaux, l'utilisation d'un polymère à pH neutre permet d'obtenir les meilleurs résultats lorsqu'il s'agit de coller ou de consolider l'os et l'ivoire. En raison de la double nature de l'os et de l'ivoire, c'est-à-dire la présence de composés organiques et inorganiques, ces matériaux seront affectés par les pH élevés tout comme par les pH faibles. Comme la partie minérale de l'os est plus imposante et plus résiliente que la partie organique, l'os a tendance à mieux se conserver dans un milieu d'enfouissement alcalin. Même si l'utilisation d'agents de consolidation légèrement alcalins est souvent considérée comme acceptable pour l'os, aucune étude n'a été menée pour le confirmer, d'où la recommandation d'écourter les temps d'immersion (Stone *et al*., 1990).

La température de transition vitreuse (T_v) est un facteur à considérer dans le choix des agents de consolidation pour l'os et l'ivoire. La T_v doit être suffisamment élevée pour procurer de la rigidité et de la force, sans pour autant perdre la flexibilité de la matière. De manière générale, les agents de consolidation utilisés ont une T_v de l'ordre de 40 °C. Un autre facteur à considérer est le lieu et les conditions d'entreposage de l'os. L'os conservé dans un endroit où le climat est très chaud et où le milieu d'exposition et d'entreposage n'est pas contrôlé devra être traité avec un adhésif dont la T_v est supérieure à la température ambiante. Un tel adhésif permet d'éviter que la surface soit collante, qu'il y ait affaissement ou que l'adhésif ou l'agent de consolidation perde de son efficacité (Koob, 1981).

Si les agents de consolidation sont appliqués en couche trop épaisse, la grande majorité d'entre eux

donneront un aspect lustré à l'objet traité, ce qui est indésirable du point de vue esthétique et donc à éviter. Dans bien des cas, l'utilisation de l'agent de consolidation en petite quantité et l'enlèvement de tout excès de produit permettent de mieux contrôler le degré de lustre. Puisque la corticale de l'os est lisse et impénétrable, elle a souvent un aspect lustré, tandis que l'os spongieux est mat.

La plupart des adhésifs et des agents de consolidation utilisés en conservation peuvent être solubilisés de nouveau, du moins en théorie, car ils demeurent solubles dans un solvant pendant une longue période. Cependant, en pratique, la plupart des agents de consolidation, une fois appliqués sur l'os ou l'ivoire, ne peuvent pas être entièrement réversibles. Les objets qui nécessitent une consolidation sont en général trop fragiles pour résister à l'enlèvement subséquent de l'adhésif ou de l'agent de consolidation. Une étude menée sur la terre cuite a démontré que 50 % du polymère (Paraloid B-72) restait sur la terre cuite après 8 heures d'extraction à l'aide d'un dispositif Soxhlet; ce même problème pourrait survenir dans le cas de l'os et de l'ivoire (Horie, 1982). Il ne faut jamais utiliser d'agent de consolidation dont les propriétés évoluent mal à long terme.

Il existe une tendance importante en archéologie selon laquelle il faut délaisser l'excavation au profit de l'étude et de l'analyse scientifiques de l'os archéologique. Cette démarche s'appuie entre autres sur l'examen morphologique, l'examen par microscopie électronique à balayage, l'analyse isotopique, la datation au carbone 14 et l'analyse de l'ADN. L'os destiné à être analysé ne doit pas être consolidé puisque cela pourrait interférer avec les résultats. Des échantillons destinés à la datation ou à d'autres analyses doivent être choisis et prélevés avant le traitement (Johnson, 1994; Cassman *et al.*, 2006; Unruh, 1994; Nicholson *et al.*, 2002).

CHOIX D'UN ADHÉSIF OU D'UN AGENT DE CONSOLIDATION

Une multitude d'adhésifs ont été utilisés pour réparer des objets en os ou en ivoire. Dans la mesure où ils répondent aux conditions générales de stabilité et de réversibilité qui prévalent en conservation, la plupart des adhésifs dont l'utilisation est acceptée à des fins de conservation peuvent être employés. Les principales propriétés à considérer sont les suivantes : une force qui est suffisante pour permettre la réparation, mais qui ne dépasse pas celle de l'os ou de l'ivoire; une certaine flexibilité permettant de réagir adéquatement aux mouvements de l'objet; un pH neutre ou presque neutre; une transparence; une T_v convenant au milieu d'entreposage; et le choix d'un solvant aqueux ou non aqueux.

Les agents de consolidation doivent aussi posséder toutes les caractéristiques énumérées ci-dessus. Une bonne capacité de pénétration est particulièrement importante. Comme les agents de consolidation doivent être appliqués en plus grande quantité que les adhésifs, il faut considérer attentivement leur toxicité et leur facilité d'utilisation.

La plupart des restaurateurs ont tendance à choisir parmi un petit groupe d'adhésifs et d'agents de consolidation qui ont été mis à l'essai et qui sont reconnus pour conserver de bonnes propriétés à long terme.

ADHÉSIFS ET AGENTS DE CONSOLIDATION

Même si de nombreux agents de consolidation, dont certains sont décrits ci-après, sont utilisés pour l'os et l'ivoire, les restaurateurs ont surtout recours à trois d'entre eux : le Rhoplex AC-33, l'Acrysol WS-24 et le Paraloid B-72.

LES DISPERSIONS DE POLY(ACÉTATE DE VINYLE)

Les dispersions de poly(acétate de vinyle) (PACV) sont utilisées pour coller et consolider l'os et l'ivoire archéologiques depuis les années 1950, époque à laquelle les paléontologues ont fait connaître ces produits aux archéologues (Johnson, 1994). Les colles blanches communément vendues dans les quincailleries, qui sont habituellement des dispersions de PACV, sont encore abondamment utilisées par les archéologues, car elles sont faciles à utiliser et à se procurer. Ces adhésifs à base de dispersions de PACV offerts dans le commerce ne doivent jamais être utilisés comme agents de consolidation. Ils sont conçus pour être utilisés comme adhésifs; ils sont trop visqueux pour servir d'agents de consolidation dans le cas de l'os et de l'ivoire. Leurs inconvénients sont nombreux, notamment une faible T_v, une forte teneur en émulsifiants et en plastifiants, des particules de grande taille (diamètre moyen de 0,5 à 1,0 µm), une viscosité élevée, un caractère acide (pH de 3,0 à 6,0) et une mauvaise résistance à l'eau (Koob, 1984). Leur réversibilité est également problématique. Les additifs et les émulsifiants qui améliorent les propriétés d'utilisation peuvent aggraver la réticulation et conférer au produit un caractère irréversible.

Les résines de poly(acétate de vinyle)

Les résines de PACV ont été utilisées pour consolider et coller l'os et l'ivoire. La solubilité, la dureté, la force et la T_v sont autant de propriétés qu'il est possible de modifier en choisissant la masse moléculaire. Ces résines peuvent être facilement dissoutes dans des solvants moins toxiques (p. ex. acétone et éthanol) et elles sont stables et réversibles. Puisque l'agent de consolidation n'a pas une bonne résistance à l'eau, l'os continue d'absorber de l'eau, de prendre de l'expansion et de se contracter, ce qui cause inévitablement des craquelures. Les résines vieillies à la lumière peuvent être acides (pH ~ 4,5) (Down *et al*., 1996), ce qui peut avoir un impact sur l'os.

Les dispersions acryliques

Les dispersions acryliques sont utilisées en archéologie depuis la fin des années 1960 (Johnson, 1994) et elles sont considérées comme étant mieux adaptées à la consolidation que les dispersions de PACV. Leurs particules sont en général plus petites que celles des dispersions de PACV, ce qui leur procure une meilleure capacité de pénétration; de plus, les dispersions acryliques ne contiennent pas ou peu d'émulsifiants ou de stabilisants, et leur T_v ainsi que leur résistance à l'eau sont plus élevées que celles des dispersions de PACV (Koob, 1984). Elles ont aussi l'avantage d'être à base d'eau, non toxiques et faciles à appliquer. Un inconvénient important de certaines dispersions acryliques est leur pH élevé (jusqu'à 9,5) (Koob, 1984). Dans le cas de telles dispersions alcalines, le temps d'immersion doit être aussi court que possible (Stone, 1990).

La dispersion acrylique la plus couramment utilisée par le passé était le Rhoplex AC-33. Même si l'os consolidé au Rhoplex AC-33 semble bien vieillir (Stone, 1990), des analyses ont montré que le pH, après vieillissement, devient acide (3,7 à 4,4) (Down *et al*., 1996), ce qui peut être inacceptable pour l'os. De plus, même si le phénomène n'a pas fait l'objet d'études scientifiques, lorsque de l'os archéologique mouillé était immergé dans le Rhoplex AC-33, une odeur de lait aigri était constatée au bout de plusieurs heures ou plusieurs jours; par conséquent, la réutilisation de la solution n'était pas recommandée. La fabrication du Rhoplex AC-33 a cessé (CAMEO, 2007).

Dans les années 1980, d'autres dispersions acryliques sont apparues sur le marché; leur pH neutre (7,0 à 7,5) et leurs particules plus petites (0,03 µm) permettaient une meilleure pénétration. La gamme de produits Acrysol, en particulier l'Acrysol WS-24, est couramment utilisée aujourd'hui pour la consolidation de l'os.

Les résines acryliques

Le Paraloid B-72 est l'un des adhésifs les plus couramment utilisés en conservation étant donné sa stabilité éprouvée, son caractère incolore, sa force modérée, sa bonne adhésivité, sa viscosité adéquate, sa réversibilité et sa T_v modérément élevée (40 °C). De plus, le produit est imperméable à l'humidité. Le Paraloid B-72 est l'agent de consolidation à base de solvant le plus utilisé pour l'os et l'ivoire.

Les résines de poly(butyral de vinyle)

Les résines de poly(butyral de vinyle), en particulier le Butvar B-98 et le Butvar B-76, sont largement utilisées en paléontologie, mais elles ne servent qu'à l'occasion à coller ou à consolider l'os archéologique. Elles possèdent une bonne capacité de pénétration, une bonne force, une bonne stabilité et une bonne réversibilité, et elles sèchent rapidement (Kres et Lovell, 1995). La T_v de ces résines est élevée (entre 48 et 65 °C), ce qui les rend friables.

Le nitrate de cellulose

Le nitrate de cellulose (NC) est utilisé en archéologie et en conservation depuis 1899 (Horie, 2010). Même s'il a été constaté, dans les dix ans ayant suivi le début de son utilisation en conservation, que le NC était instable, son utilisation s'est maintenue parce qu'il était facilement disponible et qu'il possédait de bonnes propriétés d'utilisation. Le NC devient extrêmement friable, il se contracte beaucoup (au point d'amener des morceaux d'os à se détacher), il jaunit beaucoup et il est extrêmement acide. La colle-ciment Duco Cement et l'adhésif UHU Hart demeurent largement utilisés encore aujourd'hui comme adhésifs et agents de consolidation (en dilution dans l'acétone), et ce, malgré leurs inconvénients. L'adhésif HMG Heat and Waterproof Adhesive est une exception notable; il s'est montré stable (pendant environ 100 ans) dans les musées, où il est à l'abri des conditions extrêmes de température et d'HR (Shashoua *et al*., 1992), même si d'autres études indiquent qu'il jaunissait et qu'il devenait à la fois plus acide et plus inflammable dans des conditions muséales (Koob, 1982).

Les cyanoacrylates

Si les cyanoacrylates sont couramment utilisés en paléontologie pour la préparation des fossiles (Down, 2001), ils ne sont pas très répandus en archéologie ou en conservation pour le traitement de l'os et de l'ivoire. De manière générale, ils produisent un adhésif friable et peu durable qui résiste mal aux chocs. La plupart des cyanoacrylates utilisés en paléontologie ont une capacité de pénétration et une mouillabilité supérieures, ils sont faciles à utiliser

et ils sèchent extrêmement vite, ce qui explique leur utilisation abondante sur le terrain et en laboratoire. Cependant, les cyanoacrylates peuvent tacher les objets et ils sont tous difficiles à enlever.

LES POLYÉTHYLÈNEGLYCOLS

Les polyéthylèneglycols (PEG) de diverses masses moléculaires sont couramment utilisés pour remplir la structure cellulaire du bois et du cuir afin de prévenir le retrait et l'affaissement. Même si ces matières ont des propriétés physiques différentes, les PEG ont été employés comme agents de consolidation pour l'os et l'ivoire archéologiques mouillés. Ils sont peu efficaces comme agents de consolidation, car leur adhésivité est minime, leur résistance structurale est faible et ils sont hygroscopiques (Stone, 1990). Les PEG de faible masse moléculaire « transpirent » lorsque le taux d'humidité est élevé; les gouttelettes qui s'accumulent à la surface masquent les caractéristiques morphologiques et amassent la poussière et les saletés. Il a été constaté que l'extrémité de l'os devenait plus foncée à cause de la présence de PEG dans l'os spongieux.

LES POLYMÈRES DE SILICONE

Les polymères de silicone, conçus à l'origine pour la préservation des spécimens anatomiques, ont été utilisés pour consolider du bois archéologique mouillé, des textiles, de la corde et du verre, ainsi que de l'os et de l'ivoire récupérés dans des épaves. Ces produits ont une bonne capacité de pénétration, ils causent peu de variations dimensionnelles, la durée du traitement est relativement courte, et les objets traités ont un aspect agréable d'un point de vue esthétique. Toutefois, aucune étude n'a été faite sur leur stabilité à long terme, le traitement est irréversible et l'agent de consolidation est coûteux. Les objets mouillés doivent être asséchés dans l'acétone avant d'être traités à la silicone, ce qui est coûteux et potentiellement dangereux. Le traitement fait augmenter le poids de l'objet (d'environ 25 %), en plus de rendre l'os légèrement plus foncé et plus mou (De la Cruz Baltazar *et al*., 1996).

MÉTHODES DE TRAITEMENT

LES ADHÉSIFS

De manière générale, les adhésifs sont appliqués directement sur la surface sous forme de solution. Ils peuvent être appliqués à l'aide d'un pinceau, d'un bâtonnet ou d'une seringue. Ils doivent être suffisamment épais pour éviter une pénétration excessive dans l'os ou l'ivoire. Un épaississant (p. ex. de la silice sublimée comme le produit Cab-o-sil) peut être ajouté aux adhésifs pour en accroître la viscosité, mais cela peut en réduire la résistance et l'adhésivité. La résistance des adhésifs doit convenir à la taille et au poids des morceaux à assembler. Si le joint cède, cela doit se produire à l'interface entre l'os et l'adhésif. Les morceaux lourds ou de grande taille nécessitent des adhésifs ayant une résistance structurale élevée. Il est possible d'ajouter des pigments secs aux adhésifs afin de reproduire la couleur de l'ivoire.

LES AGENTS DE CONSOLIDATION

L'application en surface

Selon cette technique, une solution diluée de l'agent de consolidation est appliquée à l'aide d'un pinceau, d'une pipette ou d'une seringue à la surface de l'os. L'application en surface permet une bonne maîtrise du procédé. Cependant, les mouvements de pinceau risquent de perturber les surfaces pulvérulentes ou de détacher de petits fragments d'os. De plus, il peut être difficile pour le produit de pénétrer dans l'os spongieux; la couche superficielle de l'objet est alors consolidée, contrairement à l'intérieur, qui demeure fragile. Les différences dans les rythmes de contraction et d'expansion peuvent alors créer des contraintes qui peuvent fissurer ou écailler la surface. La pénétration des agents de consolidation aqueux appliqués au pinceau sera meilleure dans le cas de l'os mouillé que dans celui de l'os sec.

L'immersion totale

Sur les sites de fouille où sont présents de l'os mouillé ou humide ou de grandes quantités d'os, l'immersion totale dans l'agent de consolidation est souvent utilisée. L'immersion permet une application plus uniforme et une pénétration plus profonde que l'application au pinceau. Les os peuvent être placés sur des grillages ou placés en suspension dans des sacs-filets afin d'en faciliter la manipulation et de les protéger du contact avec les saletés qui tombent au fond du récipient. Les os de petite taille peuvent être immergés pendant quelques minutes, tandis que les os de plus grande taille et les os lamellaires peuvent devoir être immergés pendant plusieurs heures. L'excès d'agent de consolidation doit être enlevé de la surface à l'aide d'une éponge. Les os peuvent être laissés à sécher sur un support afin de réduire le plus possible le contact avec la surface et de permettre une circulation uniforme de l'air autour des os. Si les os sont laissés à sécher à plat sur une surface, il faut les tourner en cours de séchage pour s'assurer que celui-ci est uniforme. Le séchage des objets doit être lent afin d'éviter l'apparition de craquelures et de déformations (soit 24 à 48 heures dans le cas des os de petite taille, et plus pour les os de grande taille). Pour ralentir le séchage, l'HR peut être augmentée à l'aide d'humidificateurs ou de serviettes mouillées ou encore en recouvrant les objets de plastique. Il peut être nécessaire de faire subir une seconde immersion

aux os poreux ou de grande taille afin d'assurer une consolidation adéquate.

La pénétration par capillarité

La pénétration par capillarité est une forme moins extrême d'immersion. Elle permet à la fois une bonne pénétration et une bonne maîtrise du procédé. Lorsque l'os ou l'ivoire sec est immergé dans un liquide, des bulles d'air peuvent se former dans les fissures et les pores; quand ces bulles sont libérées, sous leur poussée, les fragments lâches à la surface peuvent finir de se détacher, ou encore, les bulles peuvent empêcher l'agent de consolidation de pénétrer dans l'objet. Une méthode de pénétration par capillarité consiste à placer l'os dans un récipient peu profond contenant l'agent de consolidation sous forme diluée, et celui-ci imbibe alors lentement l'objet, du bas vers le haut, par capillarité. Une autre méthode consiste à mouiller l'objet avec le solvant pur, après quoi l'on ajoute lentement du solvant jusqu'à ce que l'objet soit immergé; ensuite, il faut ajouter lentement l'agent de consolidation (Snow et Weisser, 1984).

L'immersion sous vide

L'immersion dans un agent de consolidation sous faible vide est une méthode peu courante dans le cas de l'os. Elle fonctionne bien pour les substrats moins poreux, comme le métal et les produits de corrosion métallique, mais l'os est en général suffisamment poreux pour absorber l'agent de consolidation sans aide additionnelle. Le fait de placer l'os sous vide peut le faire craquer si la pression interne ne s'équilibre pas assez vite. La consolidation est plus efficace si l'objet est mis sous vide lentement avant l'introduction de l'agent de consolidation ou si l'objet est immergé longtemps dans l'agent de consolidation avant d'être mis sous vide. Cela permet d'extraire l'air contenu dans l'objet (Horie, 2010, p. 111).

La méthode de Doyle

Doyle (1987) a mis au point une technique permettant de traiter des os peu fossilisés à l'aide d'un appareil de perfusion par gravité qui applique l'agent de consolidation sous forme diluée sur des os de grande taille en partie fossilisés. À l'origine, le PACV était utilisé, bien que la méthode ait également servi à appliquer des dispersions acryliques colloïdales. Les inconvénients sont que les os doivent être humidifiés (80 à 85 %) avant la consolidation (ce qui exerce des contraintes sur la structure et favorise la croissance de moisissures), qu'il faut utiliser un fongicide, et que l'imprégnation peut demander plusieurs semaines dans le cas des os de grande taille.

Les meubles et les objets en bois

Donald C. Williams, Smithsonian Museum Conservation Institute

Le choix et l'utilisation des adhésifs ne constituent qu'un élément du processus décisionnel dans le cadre de travaux visant à préserver et à restaurer des objets en bois historiques. Des articles de Williams (1998) ainsi que de Rivers et Umney (2003, p. 158-193) abordent divers aspects du choix et de l'application des adhésifs dans le contexte de la conservation des objets en bois. Les principes s'appliquant aux adhésifs, comme l'utilité, le caractère non perturbateur, la stabilité et la possibilité d'effectuer des traitements ultérieurs, n'ont pratiquement pas changé depuis l'avènement des adhésifs il y a plus d'une trentaine d'années (Down et Lafontaine, 1980).

Adhésifs utilisés pour le bois et leurs propriétés

Il existe deux grandes catégories d'adhésifs couramment utilisés pour la conservation des objets en bois : les matières naturelles, habituellement de nature protéinique, et les résines synthétiques. Les adhésifs naturels, comme la gomme-laque et les colles de caoutchouc, sont rarement utilisés. Même si un grand nombre de résines synthétiques entrent dans la composition des colles à bois, les restaurateurs n'utilisent en général qu'une infime partie des produits offerts [p. ex. dispersions de poly(acétate de vinyle), adhésifs à deux composantes réactives, résines synthétiques – en solution et en dispersion – et adhésifs thermofusibles sous diverses formes et en diverses formulations].

La section suivante donne un aperçu des adhésifs utilisés en conservation; elle vise d'abord et avant tout à familiariser les restaurateurs d'objets en bois avec la vaste gamme de produits mis à leur disposition.

La colle animale

L'adhésif le plus couramment utilisé pour le bois, du moins jusqu'à l'avènement des polymères synthétiques modernes, était la colle protéinique (colle animale). Pour la vaste majorité des objets en bois, la colle protéinique utilisée était la colle de peau animale. Pour plus d'information sur ce type de colles, prière de consulter la section du chapitre 6 intitulée *Les protéines*, ainsi que l'incontournable article de synthèse de Hubbard sur la nature et l'utilisation des colles animales (1977).

La résistance de Bloom des colles de peau, qui est déterminée à l'aide d'essais, reflète la masse moléculaire et la résistance sous contrainte (Rosser, 1939; DeBeaukelaer *et al.*, 1930; Fernbach, 1907). De manière générale, les produits utilisés pour le travail du bois ont une résistance de Bloom se situant entre 200 et 300; la gamme entière des produits adhésifs ont une résistance de Bloom de moins de 100 à plus de 500.

Lors de la préparation et de l'utilisation des colles de peau, la première étape consiste à faire tremper la colle sèche dans de l'eau froide afin de la faire gonfler au maximum. Ce gonflement facilite la préparation d'une solution lorsqu'elle sera chauffée plus tard en vue de son utilisation. Les chaînes de protéines plus longues, dont la résistance de Bloom est plus élevée, absorbent bien plus d'eau, pour une masse donnée, que les chaînes plus courtes. Ainsi, pour une viscosité donnée, une solution ayant une faible résistance de Bloom aura une teneur en solides supérieure à celle d'un mélange ayant une forte résistance de Bloom. Réciproquement, une colle possédant une résistance de Bloom élevée sera plus visqueuse qu'un mélange ayant une faible résistance de Bloom, pour un rapport solide-liquide identique. La proportion exacte de colle sèche par rapport à l'eau dépend de la pureté de la colle et des conditions d'utilisation de cette colle. Une fois que la colle a atteint la température (60 à 70 °C) et la viscosité appropriées, elle peut être appliquée sur les surfaces à coller.

La colle de peau chaude sèche et durcit en deux étapes. Tout d'abord, en refroidissant, elle forme un gel dès que son point de gélification est atteint. Selon la pureté de la colle, sa concentration et la température ambiante, cette transformation peut prendre de quelques secondes (p. ex. dans une pièce fraîche), à plusieurs minutes (p. ex. sur des surfaces chauffées). Après la gélification, la masse semi-solide de colle durcit en raison d'un transfert d'eau vers le substrat ou l'atmosphère. Comme dans tous les procédés à libération de solvant, la diminution de volume, ou retrait, de la colle pendant le séchage sera égale au volume de solvant libéré.

La préparation de colle de peau froide liquide est semblable à celle de la colle chaude, sauf qu'elle comprend l'ajout de suppresseurs de gélification

(p. ex. du sel, de l'urée) qui empêchent la gélification à la température ambiante. La colle de peau froide ne durcit que par libération de son humidité, à laquelle est associée une diminution du volume. Les propriétés de la colle froide, une fois sèche, sont similaires à celles de la colle chaude séchée. Il existe des préparations commerciales de colles de peau froides, mais il est impossible de connaître leur composition, et surtout, leur durée de conservation.

Les colles animales peuvent être additionnées d'agents modifiants comme des agents de réticulation des protéines (pour obtenir un adhésif fixable à chaud hydrofuge) ainsi que des plastifiants hydrosolubles.

Si les colles de peau sont si abondamment utilisées pour la conservation des meubles historiques en bois, c'est surtout parce qu'elles sont presque complètement réversibles, tout en demeurant extrêmement efficaces dans des conditions environnementales raisonnables.

En raison des propriétés de gélification des colles de peau chaudes, le temps de travail peut être bref, mais cela ne constitue pas nécessairement un inconvénient; les joints peuvent être manipulés en chauffant les surfaces collées, en choisissant la pureté de la colle et sa teneur en solides ou en ajoutant des suppresseurs de gélification. Les colles dont la résistance de Bloom est élevée peuvent avoir une résistance à la traction intrinsèquement plus élevée, mais elles peuvent aussi se contracter davantage; les contraintes qui s'exercent, lors du séchage, accroissent le risque de fissuration de la ligne de colle. Pour une concentration donnée (en poids), ces colles ont également une viscosité plus élevée (capacité de pénétration et de mouillage inférieure) que les colles dont la résistance de Bloom est plus basse. En bref, s'il est vrai qu'une colle ayant une résistance de Bloom plus élevée peut être plus forte, elle peut former des joints plus faibles en raison du retrait (contrainte) et d'un mouillage incomplet. Si la gélification de la colle se produit avant que le travail ne soit terminé, il est possible de liquéfier la colle de nouveau en la chauffant.

Le temps de travail des colles de peaux froides peut aller jusqu'à une heure, ce qui permet d'exécuter des opérations de collage très complexes. Cependant, si la durée de conservation de la colle est dépassée, il est possible que l'adhésif ne durcisse pas correctement. L'expérience démontre que cela ne posait problème que pour les colles de peau froides liquides auxquelles on avait ajouté de l'urée comme suppresseur de gélification. Les colles additionnées de sel peuvent être utilisées plusieurs années après leur formulation.

La structure des colles animales laisse supposer une véritable affinité chimique pour le bois (Von Endt, 1986). Cependant, ces colles peuvent être extrêmement friables et se fissurer facilement une fois durcies. Il ne s'agit pas de matières particulièrement cohésives, surtout lorsqu'elles sont appliquées en couche épaisse. L'ajout de plastifiants hydrosolubles peut être utile, mais la meilleure pratique consiste tout simplement à faire une ligne de colle aussi mince que possible.

Enfin, la stabilité et les propriétés des colles de peau sont considérablement modifiées par les variations de l'humidité ambiante. À l'état déshydraté, la colle devient friable et elle peut céder sous l'effet de contraintes, même si elles sont faibles. Si l'humidité augmente, la colle ramollit et elle peut subir une déformation plastique.

Les résines naturelles

Les résines naturelles (p. ex. gomme-laque, colophane, dammar, bitume naturel) ne sont presque jamais utilisées à des fins de conservation, même si elles se retrouvent sur certains objets historiques (Koob, 1984b; Mantell, 1942). La résine la plus abondamment utilisée était probablement la gomme-laque, dont les propriétés dépendent de la source de la résine et de son procédé de raffinage (Bose *et al*., 1963; voir aussi la section du chapitre 6 intitulée *La gomme-laque*). La gomme-laque était surtout utilisée pour coller un placage non dérivé du bois sur un substrat de bois.

Les adhésifs de contact

Les adhésifs de contact, qu'ils proviennent de caoutchoucs naturels ou synthétiques, en solution ou en dispersion, sont rarement employés pour la conservation des objets en bois (Feller et Encke, 1982). Lorsqu'ils sont utilisés sur des objets comme adhésifs de laminage, les adhésifs de contact, qui sont souvent à base de caoutchoucs, sont de nature thermoplastique, du moins au début, et il est souvent possible de les ramollir par application de chaleur ou de solvants organiques.

Les adhésifs à base de résines synthétiques

Dans le domaine de la conservation du bois, il est plus facile de classer les adhésifs à base de résines synthétiques selon leur méthode d'application ou leur formulation, plutôt que leur nature chimique. Ce classement permet de définir quatre principaux types d'adhésifs : les dispersions, les solutions, les adhésifs thermofusibles et les adhésifs réactifs.

Les dispersions

Les adhésifs en dispersion, également appelés *adhésifs en émulsion* dans le domaine de l'artisanat, sont les adhésifs les plus couramment utilisés pour le travail du bois contemporain (p. ex. colle blanche Elmer's, colles jaunes Titebond). Leur fréquence d'utilisation dans le domaine de la conservation est modérée; ils servent surtout à réparer les éléments de bois cassés ou fracturés (p. ex. Jade 403, Rhoplex AC-234).

Il est possible de se procurer des dispersions spécialisées qui possèdent une variété de propriétés particulières, comme diverses masses moléculaires et caractéristiques de solubilité du feuil durci.

Les dispersions offrent plusieurs avantages. Il est facile de se les procurer et de les utiliser, leur temps de travail est d'une durée modérée, elles sont faciles à nettoyer avec de l'eau et elles ont une bonne durée de conservation. Elles n'exigent pour ainsi dire aucune préparation, et les produits offerts sur le marché sont prêts à l'emploi. Selon le type de préparation et les conditions environnementales, elles peuvent constituer des adhésifs durables, demeurant stables pendant de longues périodes. Elles demeurent aussi, dans une certaine mesure, sensibles aux solvants et réversibles. Comme dans le cas des autres colles, il est préférable que la ligne de colle soit mince.

Les solutions

L'utilisation d'adhésifs à base de résines synthétiques en solution n'est pas très répandue dans le domaine du travail du bois, alors que dans le domaine de la conservation des objets en bois, les applications y sont nombreuses.

Les résines pures et les mélanges de résines peuvent avoir des caractéristiques très précises, comme une solubilité dans divers solvants et une stabilité à long terme. Par exemple, les adhésifs à base de résine en solution peuvent être conçus pour traiter efficacement une zone précise de l'objet, sans affecter les zones avoisinantes. Comme ce sont des solutions thermoplastiques, elles sèchent par évaporation du solvant et, selon la formulation, elles peuvent demeurer solubles pendant longtemps. La stabilité de certaines solutions de résine est bien documentée dans les publications sur la conservation (voir les sections pertinentes du chapitre 6).

Les adhésifs thermofusibles

La plupart des matières thermoplastiques pourraient être classées comme des *adhésifs thermofusibles* si on les définissait au sens large du terme. Les adhésifs thermofusibles, tels qu'ils sont définis dans la présente section, sont des matières qui sont spécialement *conçues* pour être utilisées à l'état fondu, et qui durcissent exclusivement par refroidissement. Ces adhésifs peuvent être formulés de manière très précise afin de leur procurer certaines propriétés, non seulement à l'état solide, mais aussi à l'état liquide (Gutcho, 1983).

Les adhésifs thermofusibles existent principalement sous deux formes : des bâtons qui doivent être utilisés avec un pistolet à colle chauffé, ainsi que des feuilles ou feuils qui peuvent être utilisés dans tous les cas où la surface à coller peut être chauffée (p. ex. BEVA 371 Film). Un pistolet à colle est habituellement utilisé pour injecter l'adhésif à l'état fondu ou l'appliquer sur une surface. Les feuilles d'adhésif, quant à elles, sont placées entre deux surfaces laminaires qui seront chauffées ou pressées.

Les adhésifs thermofusibles occupent une place de plus en plus importante dans la conservation des objets en bois lorsqu'il est souhaitable que le produit utilisé puisse combler les vides tout en étant souple.

Les adhésifs réactifs

Dans le domaine de la conservation, les adhésifs thermodurcissables à composants multiples sont utilisés comme agents de consolidation lorsque la matrice de fibres de bois a subi de graves dommages. Les différences entre les caractéristiques propres à chaque produit ne sont pas pertinentes dans la présente section.

Les adhésifs réactifs comprennent les résines époxy, l'urée formaldéhyde, les uréthanes, les résines phénoliques et les composés apparentés. Leur utilisation comme adhésifs pour la conservation du bois est problématique en ce sens que ces produits sont pratiquement insolubles et irréversibles une fois durcis, et qu'ils sont habituellement beaucoup plus durs que le bois qui les entoure.

Le cyanoacrylate, un adhésif réactif à un composant, est un produit fort utilisé, surtout dans la fabrication et la réparation antérieure d'instruments de musique. Il est rarement employé pour la conservation des objets en bois.

Les adhésifs réactifs ou thermodurcissables peuvent souvent résister – mais pas toujours – à une détérioration attribuable à des phénomènes thermiques, physiques et chimiques dans des conditions d'utilisation réelle. Les variations dimensionnelles lors du durcissement sont généralement insignifiantes. Ces adhésifs pourraient donc servir de produits de comblement des vides, à l'état brut ou en mélange avec des agents gonflants.

Cependant, ils ont tendance à être moins flexibles que le bois.

Dans le domaine de la conservation, l'utilisation d'adhésifs réactifs n'est généralement pas recommandée pour des opérations routinières de collage du bois. Puisqu'il s'agit, à la base, de polymères réticulables, ils ne sont pas facilement réversibles. Certains peuvent être enlevés en les faisant gonfler à l'aide d'un solvant, mais, en général, il faut recourir à des moyens mécaniques pour les enlever complètement, avec les risques que cela suppose pour le substrat ou les surfaces adjacentes. En outre, ils peuvent se décomposer en très peu de temps (quelques années), surtout en présence de rayons ultraviolets.

Choix et utilisation des adhésifs pour la conservation des meubles

L'adhésif idéal en conservation de meubles est un adhésif qui demeure parfaitement stable au fil du temps, qui est facile à appliquer et à manipuler, et facile à enlever au cas où un traitement ultérieur serait nécessaire. Il forme un joint assez fort pour permettre à l'objet de remplir sa fonction, mais assez faible pour céder sous l'effet de contraintes. Évidemment, aucun matériau ne possède toutes ces propriétés et, par conséquent, il n'existe pas d'adhésif propre à la conservation des meubles. Le restaurateur doit plutôt faire appel à toute une palette d'adhésifs ayant des caractéristiques bien définies. Il doit prendre en compte les besoins spécifiques de l'objet à traiter, et choisir l'adhésif le plus susceptible d'y répondre. Sauf dans des circonstances extraordinaires, l'adhésif doit être une matière thermoplastique. Les adhésifs les plus couramment utilisés sont les colles de peau froides et chaudes ainsi que les produits synthétiques thermofusibles; les dispersions et les résines en solution sont peu utilisées. Les adhésifs réactifs réticulables et thermodurcissables ne sont presque jamais utilisés comme adhésifs de remplacement lorsqu'il s'agit de réparer des joints ayant cédé.

L'état et l'utilisation de l'objet ainsi que les contraintes structurales qui s'exercent sur l'objet pendant son utilisation revêtent une importance particulière. La première étape de l'évaluation de l'état d'un objet consiste à faire un bref examen visuel et tactile. Si l'objet est en plusieurs morceaux, il faut examiner les surfaces à coller pour évaluer leur solidité. La prochaine étape varie selon les réponses qui sont données aux questions suivantes : quelles pièces sont détachées (à quoi correspondent les morceaux et comment s'assemblent-ils)? Comment se sont-elles détachées? Pourquoi se sont-elles détachées?

Si l'objet est toujours intact ou si toutes les parties sont encore attachées les unes aux autres d'une manière ou d'une autre, les questions qu'il faut se poser lors de l'examen initial sont légèrement différentes. Certaines parties de l'objet sont-elles mal positionnées par rapport au reste de l'objet? Certains morceaux ont-ils l'air de mal tenir? L'objet bouge-t-il lorsqu'il est soumis à une contrainte et, si oui, comment et dans quelle mesure?

Il est également utile de distinguer les types de dommages à réparer. S'agit-il d'une ligne de colle ayant cédé sous l'effet du vieillissement, d'une fente séparant deux pièces qui demeurent toutefois dans une certaine mesure attachées l'une à l'autre, ou d'une rupture ayant entraîné une dissociation complète?

En prévision d'un traitement, il est essentiel d'évaluer la stabilité des parties adhérées ou des surfaces à coller. Évidemment, leur structure doit être intacte mais, comme le souligne Pine (2006) dans ses mises en garde sur l'adhésion ou le manque d'adhésion des finis, si les surfaces et la matrice de bois sont contaminées, leur adhésion risque d'être compromise.

Le traitement à utiliser pour les fractures dans le bois

Les fractures simples

Pour réparer une fracture longitudinale simple n'ayant causé qu'une déformation minime de l'objet et peu de dommages aux surfaces à coller, il suffit d'appliquer l'adhésif approprié, d'aligner les parties à coller et d'exercer une compression modérée. Le choix de l'adhésif dépend des contraintes auxquelles l'objet devra résister, de la sensibilité des éléments décoratifs sur les surfaces de l'objet, de la complexité des dommages ou de l'objet, de l'habileté du restaurateur, etc.

Dans le cas d'une fracture partielle, l'objet est encore en un seul morceau, même si les pièces tiennent parfois à peine ensemble, et la zone à coller n'est pas toujours facilement accessible. Il faut alors appliquer la colle en la faisant couler dans le vide à remplir ou en la forçant à s'y loger en exerçant une pression. Dans le premier cas, il est possible d'utiliser la gravité ou la capillarité mais, dans le second, il faut habituellement exercer une pression d'une manière ou d'une autre; la colle peut être insérée à l'aide d'une seringue ou poussée dans le joint du bout des doigts, en utilisant une pellicule de plastique transparent comme barrière. Cette dernière technique consiste

à faire pénétrer la colle chaude dans les fissures en surface du bout des doigts. Pour s'assurer qu'il y a assez de colle pour remplir les vides, une quantité généreuse de colle de peau chaude est appliquée. Tout de suite après l'application de la colle de peau, une pellicule de plastique transparente est placée par-dessus la colle. Cette pellicule, qui est une feuille très mince de polyéthylène ou d'une matière semblable, remplit plusieurs fonctions dans le procédé. Une fois que la pellicule transparente a été placée par-dessus la colle, il suffit de frotter la surface à travers cette dernière; ainsi, le mouvement de va-et-vient à l'aide des doigts fait pénétrer la colle dans les fissures, la pellicule agissant comme un piston malléable. Cette opération doit cesser lorsqu'il devient impossible de faire pénétrer plus de colle dans les vides. La pellicule transparente permet aussi d'allonger le temps de travail indéfiniment en retardant la perte d'eau et en appliquant de la chaleur à l'aide d'une lampe.

Les fractures complètes (l'objet compte plus de morceaux qu'à l'origine) ont l'avantage de permettre un accès facile et direct aux surfaces à coller. Les fractures à contrefil peuvent nécessiter l'emploi de dispersions ou de colles réactives, qui procureront une force suffisante au joint.

La dernière étape consiste à aligner les morceaux et à placer le tout dans un étau jusqu'à ce que la colle soit sèche. Souvent, l'utilisation d'un étau permet de faire sortir l'excès de colle, qui peut alors être tout de suite essuyé.

Les fractures complexes

Le cas de figure le plus contrariant est celui dans lequel les surfaces à coller ne permettent plus le réassemblage de l'objet, soit parce qu'elles sont déformées (ce qui empêche de les ajuster sans laisser de vides), soit parce que la surface à coller est endommagée en raison d'un déplacement (« écaillage » des fibres de bois). L'alignement et les vides dans le substrat ne sont pas des problèmes liés aux adhésifs, mais bien des problèmes d'ordre structural. Comme dans tous les cas où une surface à coller est endommagée, il faut décider jusqu'à quel point il faut intervenir.

La présence de vides dans le substrat, que ce soit dans la zone de fracture dans son ensemble ou le long de la ligne de colle en particulier, peut contribuer à l'instabilité globale actuelle ou future de l'objet; on en tient compte habituellement pour déterminer s'il faut combler ou non les vides.

Quand il est question de combler les vides, il faut considérer dans quelle mesure l'objet sera altéré pour faciliter le comblement. Si la surface à coller est déchiquetée ou dégradée, il est possible de la consolider ou de la tailler. S'il n'est pas possible ou souhaitable de modifier l'objet, l'opération doit être faite de façon à combler le vide de manière très exacte.

Les méthodes de comblement peuvent consister à placer une pièce de bois parfaitement ajustée au vide ou à couler une matière thermodurcissable dans le vide. À moins que le comblement ne soit effectué en encastrant étroitement une pièce de bois dans le vide, la surface à coller doit être isolée de l'agent de comblement à l'aide d'un feuil barrière facilement réversible [p. ex. colle animale, solution de résine synthétique, hydroxypropylméthylcellulose, poly(alcool de vinyle) de faible masse moléculaire].

Pour être efficaces, les réparations bois sur bois exigent généralement une surface à coller propre qui n'est ni déchiquetée ni ondulée. Si la surface est déchiquetée ou ondulée, des pièces de bois peuvent être utilisées, mais souvent en combinaison avec un adhésif gonflé ou un matériau de comblement – comme des formulations d'adhésifs liquides épaissies avec de la silice sublimée, des microbilles de verre, des microsphères phénoliques, etc. – qui est appliqué entre la surface à coller et la pièce, afin d'éliminer les vides dans la zone réparée (Anderson et Podmaniczky, 1990). Peu importe la méthode et les matières employées, il est primordial que la pièce soit plus faible que l'objet dans lequel elle s'insère. Si des contraintes causent des dommages ultérieurement, ceux-ci doivent toucher la réparation, et non l'objet.

LES TRAITEMENTS À UTILISER POUR LES ADHÉSIFS DÉGRADÉS

Les restaurateurs peuvent réaliser un ou plusieurs des traitements suivants pour réparer une rupture attribuable à la dégradation des adhésifs : 1) réactivation de l'adhésif par des solvants ou par d'autres moyens; 2) introduction d'un nouvel adhésif compatible avec l'ancien; 3) enlèvement de l'adhésif dégradé et recollage des substrats avec une nouvelle colle.

Les propriétés de l'ancien adhésif, l'utilisation probable de l'objet (basée sur le scénario de la pire éventualité) et les propriétés du traitement viennent limiter les stratégies de traitement.

Même si la rupture d'un système adhésif varie énormément d'un cas à l'autre, les réparations

à effectuer dépendent toujours des mêmes éléments : gravité de la rupture, cause de la rupture, stabilité du reste du système adhésif, adhésif ayant causé la rupture, traitement approprié pour réparer la rupture. Ces éléments, qui sont énumérés plus ou moins par ordre d'importance, sont loin d'être les seuls ou d'être immuables. Dans bien des cas, la nature précise de l'adhésif ayant cédé est moins importante que les *caractéristiques* de l'adhésif.

La réactivation des adhésifs

La réactivation des adhésifs déjà en place est l'intervention la plus minimaliste. Cette technique ne convient qu'aux matières thermoplastiques. Même lorsque l'adhésif est réactivé, cette technique produit rarement un joint structurellement fort, et il est possible que l'objet ne puisse plus remplir sa fonction dans des conditions d'utilisation normales. En raison de ces limites, cette technique n'est habituellement utilisée que pour les objets qui ne doivent supporter que leur propre poids.

Il est crucial de déterminer les *propriétés* de l'adhésif déjà en place. Il est possible de reformer un joint en réactivant l'adhésif ayant cédé, mais seulement au terme de plusieurs essais empiriques à l'aide de différents solvants combinés à une identification visuelle et à des suppositions raisonnables.

La réactivation de colle de peau vieillie est une technique courante. Les surfaces avoisinantes sont d'abord nettoyées pour les débarrasser des saletés et de tout autre contaminant. De l'eau tiède est ensuite introduite dans la zone à coller à l'aide d'une seringue, le long de la ligne de colle vieillie, la colle gonfle, puis les pièces sont serrées légèrement l'une contre l'autre jusqu'à ce que la colle durcisse de nouveau. Les fissures dans la colle vieillie peuvent se ressouder, mais il est peu probable que les joints se reforment complètement, ce qui exigerait d'appliquer une quantité excessive d'eau pendant plusieurs heures mais n'est pas souhaitable dans le cas des objets en bois. En raison de ces limites, le joint obtenu peut être assez faible. L'exemple le plus courant de l'application de cette technique concerne la réparation de marqueterie décollée, dans laquelle une pellicule transparente serait utilisée, comme il a été mentionné dans la section intitulée *Les fractures simples*.

Les solvants utilisés pour réactiver les adhésifs synthétiques en solution peuvent endommager les éléments décoratifs sur la surface de l'objet. Certains de ces adhésifs peuvent être plutôt réactivés par la chaleur, ce qui peut redonner de la plasticité au joint et lui permettre de se reformer. Le fait de chauffer un objet ou une partie de celui-ci pose bien entendu certains risques.

L'ajout d'un nouvel adhésif

Tout nouvel adhésif appliqué doit être compatible avec l'adhésif déjà en place. De plus, le nouvel adhésif doit pouvoir se lier à l'ancien. Si un adhésif approprié est introduit avec précaution, les chances de réussite sont plus grandes qu'avec la technique précédente.

L'introduction d'un nouvel adhésif peut aller du recollage d'éléments déjà détachés au recollage d'éléments qui ne peuvent bouger librement ou qu'il est impossible de séparer sans danger, même en exerçant une extrême prudence. L'application d'un nouvel adhésif s'effectue habituellement par injection à l'aide d'une seringue; il faut laisser l'adhésif s'écouler dans la fissure à partir d'un pinceau saturé de colle, ou l'appliquer sur la surface à coller à l'aide d'un pinceau, si l'objet est en morceaux.

L'utilisation d'adhésifs synthétiques thermofusibles pour ce type de traitement suscite un intérêt croissant. Les adhésifs thermofusibles s'écoulent bien, ils sont polyvalents, et certaines formulations sont facilement réversibles à l'aide de chaleur ou de solvants.

Comme dans le cas de la réactivation de colles déjà en place, au moment d'ajouter un nouvel adhésif, il est avantageux d'appliquer de petites quantités de solvant dans la zone à réparer avant le nouvel adhésif; celui-ci est ensuite introduit par application au pinceau, par pénétration par capillarité ou par injection. S'il n'y a pas d'ouverture adéquate pour introduire la colle, il faut créer un canal pour permettre l'injection de la colle à l'aide d'une seringue. Il ne faut procéder ainsi qu'après mûre réflexion, étant donné que cette technique implique l'enlèvement d'une partie de la matière constituant l'objet.

Les éléments qui sont déjà détachés et dont les surfaces à coller sont stables sont recollés à l'aide d'un procédé très simple. Pour les traitements nécessitant l'introduction d'un adhésif thermodurcissable réticulable, il est extrêmement important d'appliquer une couche de protection sur la surface des parties adhérées (Ellis et Heginbotham, 2003).

Le remplacement d'adhésifs existants

L'enlèvement complet de l'adhésif déjà en place n'est envisageable que si toutes les surfaces à coller sont accessibles et si le fait de laisser l'ancien adhésif risque de détériorer davantage l'objet.

Il est possible d'utiliser simultanément (et parfois à répétition) des moyens mécaniques et des solvants pour enlever l'ancien adhésif dégradé. Si l'adhésif est complètement insoluble, la situation se complique pour le restaurateur. Un bon exemple est un adhésif réticulé qu'il est impossible de ramollir. Le restaurateur doit alors évaluer les avantages que procurerait une surface à coller propre, ce qui nécessiterait le recours à des moyens mécaniques vigoureux, par rapport aux risques possibles associés à un tel nettoyage.

Après le nettoyage des surfaces à coller et la réparation de la structure de l'objet en prévision du recollage, l'objet doit être préparé en vue de son réassemblage.

Les cas complexes, comme celui du bois de placage ou de la marqueterie qui se soulève, exigent le recours à une combinaison des techniques présentées : réactivation, introduction d'un nouvel adhésif et remplacement des adhésifs antérieurs (Von Revenlow, 1988; Edwards, 1997).

Les adhésifs utilisés pour le comblement des vides

Les adhésifs peuvent également servir à combler les vides. Il en est question dans les publications du domaine de la conservation, et on continue à réaliser des progrès relativement à l'identification et à l'utilisation de nouveaux produits de comblement (Storch, 1994; Grattan et Barclay, 1988; Barclay et Grattan, 1987). Pourvu que les bordures de la ligne de colle soient recouvertes d'une couche de protection adéquate et que les propriétés rhéologiques de l'adhésif de comblement soient compatibles avec celles du bois adjacent, le restaurateur a beaucoup de latitude. Dans ce cas, des adhésifs réactifs, en particulier des résines époxy gonflées avec de la silice sublimée ou des microbilles, ou encore des caoutchoucs de silicone, peuvent et sont utilisés pour les traitements. Williams (2011) a discuté de ce sujet de façon plus détaillée, et en particulier de l'utilisation d'un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle à l'état fondu qui constituerait un adhésif flexible de choix pour le comblement des vides.

Le bois archéologique gorgé d'eau

David W. Grattan, Institut canadien de conservation

Le bois archéologique, c'est-à-dire le bois exhumé d'un site archéologique, est souvent mouillé ou gorgé d'eau et nécessite un traitement considérable pour le réparer ou le stabiliser avant qu'il soit intégré dans une collection de musée où il sera conservé ou exposé. Dans la plupart des cas, un traitement d'imprégnation est nécessaire pour le bois mouillé ou gorgé d'eau afin d'éviter que le matériau se désagrège ou se contracte, alors qu'un traitement de consolidation est nécessaire pour tous les types de bois fragiles. De plus, l'utilisation d'un adhésif peut être nécessaire pour coller des morceaux ou des fragments qui se sont détachés ou qui risquent de se détacher. Ce type d'opération exige toutefois un comblement des vides au préalable, étant donné que les surfaces propres et aptes à recevoir un adhésif sont rares. Rice (1990) a publié un article très éclairant à ce sujet. Le bois archéologique sec peut être collé, comme tout autre objet en bois ethnographique ou historique.

Propriétés et état de l'objet influant sur le choix de l'adhésif ou de l'agent de consolidation

Dans le cas du bois gorgé d'eau, la principale préoccupation consiste à préserver l'article dans une forme qui ressemble le plus à celle de l'objet original. Si l'immersion dans l'eau à long terme semble préserver le bois, c'est seulement son enveloppe extérieure qui est souvent préservée. Il n'est pas rare de constater qu'une détérioration considérable s'est produite, car la composante cellulosique du bois se décompose sous l'action de bactéries anaérobies. Plus le bois est vieux, plus le degré de détérioration est important. Paradoxalement, le bois très vieux et détérioré est parfois plus facile à traiter que le bois moins détérioré, car le produit d'imprégnation atteint plus facilement la structure cellulaire.

Comme le bois gorgé d'eau a tendance à se contracter ou même à se désintégrer lors du séchage, de nombreuses études ont été réalisées pour examiner le phénomène, et une très vaste gamme de matières organiques polymériques et parfois non polymériques ont été utilisées avec succès en tant que produits d'imprégnation. Le produit le plus couramment utilisé à cette fin est le polyéthylèneglycol (PEG), notamment en raison de sa solubilité et de sa compatibilité avec l'eau, de son faible coût et de sa simplicité d'utilisation, sans compter qu'il donne habituellement de bons résultats.

Le choix des adhésifs à utiliser sur le bois gorgé d'eau est problématique. Tout d'abord, il est difficile de faire adhérer quoi que ce soit sur du bois traité au PEG. La présence de PEG hydrosoluble et cireux peut nuire à la formation de joints adéquats au moyen d'un adhésif. Par conséquent, un adhésif ne doit être ni ramolli ni plastifié par le PEG afin de convenir à du bois gorgé d'eau traité.

Choix des agents de consolidation et des adhésifs pour le bois gorgé d'eau

Les agents de consolidation

Les produits d'imprégnation convenant au bois gorgé d'eau comprennent, sans toutefois s'y limiter, les matières organiques macromoléculaires qui se dissolvent dans l'eau. Les produits d'imprégnation hydrosolubles procurent une certaine réversibilité, ce qui est attesté dans les publications du domaine de la conservation (Cooke *et al.*, 1994). Les produits d'imprégnation hydrosolubles les plus couramment utilisés incluent des PEG de différents poids moléculaires, allant du PEG 200 liquide au PEG 3350 solide, divers types de saccharides, dont le sucrose, le mannitol, le lactitol et le sorbitol, ainsi que certaines celluloses hydrosolubles, notamment l'hydroxyéthylcellulose et la méthylcellulose. Les résines de condensation à la silicone sont fortement recommandées depuis quelques années. Le choix est régi par le coût et la facilité du traitement, par la capacité du produit d'imprégnation à se propager dans le bois, par sa capacité à empêcher le bois de se contracter et de se désagréger, ainsi que par l'aspect, la résistance physique et la stabilité du bois après le traitement. Même si ces questions font l'objet de discussions approfondies dans les nombreux articles et ouvrages consacrés au sujet, le produit d'imprégnation idéal n'a pas encore été trouvé (Hoffmann, 2005; 2002; 1991; Bonnot-Diconne et Hoffmann, 1999; Hoffmann *et al.*, 1997, 1994; Rice, 1990). Des considérations telles que le degré de

pénétration par rapport à l'hygroscopicité et à la durée du traitement, ainsi que plusieurs autres facteurs, ont une incidence sur le choix. Le PEG offre néanmoins les avantages suivants :

- il peut être utilisé en solution aqueuse ou en solution à base d'alcools tels que l'isopropanol ou le *t*-butanol, quoique la tendance soit actuellement d'éviter l'utilisation de solvants pour des questions de santé et de sécurité;
- il peut être utilisé dans le cadre d'un procédé de séchage à l'air ou de lyophilisation.

L'utilisation du PEG est critiquée en raison de son coût élevé, de son manque de stabilité par oxydation et de l'aspect médiocre qu'il confère au bois traité.

Le sucrose est avantageux du point de vue du coût, mais il n'empêche pas aussi bien le bois de se contracter que le PEG, et des préoccupations demeurent quant à sa biostabilité.

Le mannitol, le lactitol et le sorbitol sont des saccharides qui ont été étudiés et à l'occasion utilisés, avec plus ou moins de succès, mais ils ne sont pas aussi couramment utilisés que le PEG, du fait que les résultats obtenus avec ces produits sont plus imprévisibles.

Les dérivés de cellulose pénètrent mal dans le bois en comparaison du PEG, mais ils sont parfois utiles comme agents de consolidation de surface.

L'utilisation de silicones comme produits d'imprégnation pour traiter le bois gorgé d'eau a été étudiée; ces produits pourraient offrir des avantages qui ont été peu explorés, dont leur stabilité à long terme (Kavvouras *et al.*, 2009).

L'utilisation de PEG de diverses masses moléculaires constitue donc le meilleur compromis : parmi tous les produits offerts, c'est celui qui est le plus susceptible de donner des résultats satisfaisants, et c'est celui que les restaurateurs continuent d'utiliser le plus souvent. L'Institut canadien de conservation a mis au point un logiciel pour faciliter l'utilisation du PEG en combinaison avec la lyophilisation. Ce logiciel, appelé « PEGcon », permet de choisir et de contrôler le PEG (ICC, s.d.).

Les adhésifs

Un adhésif thermodurcissable tel qu'une résine époxy ou un polyuréthane est souvent considéré comme le produit le plus efficace pour coller du bois gorgé d'eau traité au PEG, mais des adhésifs en dispersion ordinaires, comme le poly(acétate de vinyle) (PACV), sont également utilisés (Rice, 1990). Jusqu'ici, la plupart des adhésifs au PACV ont été choisis de manière ponctuelle par essais et erreurs, et les travaux de recherche sur leur utilisation en vue du traitement du bois gorgé d'eau sont presque inexistants. Ces adhésifs agissent en pénétrant jusqu'à quelques millimètres dans le bois, et ils sont utilisés seulement une fois que le produit d'imprégnation (p. ex. du PEG) a été enlevé à proximité de la zone à coller à l'aide d'un solvant à base d'alcool. Comme le PEG est très susceptible de migrer dans la région du joint après l'application de l'adhésif, il faut privilégier un adhésif qui n'est pas sensible à des phénomènes tels que la plastification ou le ramollissement. Les propriétés adhésives devraient être conservées en présence de PEG. L'utilisation du résorcinol et des adhésifs époxy sur le bois gorgé d'eau traité au PEG est souvent mentionnée dans des articles traitant de la technologie du bois ainsi que dans des publications destinées aux artisans du bois; l'article de Leslie (1973) en est un bon exemple.

Les plastiques et les caoutchoucs

Julia Fenn, Musée royal de l'Ontario

En théorie, le choix d'un adhésif pour la réparation d'un objet en plastique ou en caoutchouc se fait selon les mêmes critères qu'un adhésif destiné à d'autres matériaux : l'adhésif doit avoir une force adéquate, mais pas excessive, et ses propriétés chimiques et physiques doivent être et demeurer compatibles avec le substrat de caoutchouc ou de plastique. Cependant, de nombreux élastomères et thermoplastiques ont des caractéristiques qui limitent considérablement le choix d'adhésifs pouvant être utilisés, tant sur le plan pratique que du point de vue de la conservation. En effet, ils se lient difficilement à d'autres matériaux et ils sont souvent incompatibles avec les matériaux utilisés pour l'adhésion, la consolidation et le comblement des lacunes. Par conséquent, on en est encore à la phase expérimentale initiale en ce qui concerne les adhésifs acceptables pour la réparation des objets historiques en plastique et en caoutchouc conservés dans les musées.

Les plastiques et les caoutchoucs sont très polyvalents et ils se présentent sous de nombreuses formes, allant des mousses flexibles aux stratifiés rigides. Ils sont combinés avec d'autres matériaux pour fabriquer des bateaux, des voitures, des œuvres d'art, des vêtements, des appareils électroménagers, etc. Le type de joint et la force d'adhésion nécessaires peuvent donc varier énormément lorsqu'il s'agit de réparer des matériaux aussi variés.

Les joints d'about exigent souvent un support additionnel, car beaucoup de plastiques sont formés de parois minces ou possèdent des rebords fragiles et déformés. Dans le cas des plastiques translucides ou transparents, tant l'adhésif que le support doivent être transparents et exempts de bulles afin d'empêcher autant que possible que le support ne forme des ombres. La flexibilité requise pour le drapé d'un textile est moins importante, car les vêtements fabriqués à partir de polymères en feuilles deviennent habituellement assez rigides. De manière générale, il est préférable de recourir à des techniques de couture et d'entrelacement pour réparer des textiles faits de fibres synthétiques.

La consolidation sert parfois à renforcer des objets qui s'effritent ou qui se fissurent sous l'effet de contraintes environnementales. La consolidation et le comblement semblent aider à protéger les mousses de polyuréthane fissurées contre l'exposition aux facteurs environnementaux, surtout si des antioxydants sont ajoutés à un agent de consolidation compatible (van Oosten, 2005). Cependant, ces techniques sont moins efficaces dans le cas des plastiques durs et translucides comme le polystyrène. L'agent de consolidation liquide peut aggraver les contraintes, former des plaques et causer des dommages d'ordre esthétique irréversibles.

L'application d'un agent de consolidation sous forme gazeuse semble occasionner moins de contraintes. Des échantillons de plastique dégradé du Musée royal de l'Ontario consolidés sous vide dans les années 1980 dans le cadre du projet sur le Parylene [poly(*para*-xylylène)] de l'Institut canadien de conservation se sont très bien conservés par rapport aux échantillons témoins. Les plastiques à surface acide constituaient l'exception : les échantillons d'acétate de cellulose et de nitrate de cellulose s'étaient décomposés beaucoup plus rapidement que les échantillons témoins, et le Parylene avait blanchi et s'était affaibli. Une chaussure de poupée en poly(chlorure de vinyle) (PCV) flexible qui exsudait du plastifiant, mais qui n'était pas acide, a cessé de suinter et peut maintenant être manipulée, alors que la chaussure témoin a continué de suinter, de rétrécir, de jaunir et de se déformer.

L'adhésion des plastiques pendant la fabrication

Des méthodes d'adhésion pour la fabrication des plastiques et des caoutchoucs sont utilisées depuis le XIX^{e} siècle, notamment les méthodes de collage par action de solvant ou de chaleur, dans lesquelles les matériaux constituant l'objet agissent comme adhésifs; les boucles collées au solvant et servant d'attaches pour des boutons fabriqués au début du XX^{e} siècle constituent un bon exemple. Un grand nombre de ces attaches sont encore solides et fonctionnelles aujourd'hui.

Malheureusement, dans la plupart des cas, il n'est pas envisageable de dissoudre ou de faire fondre un objet dans le cadre d'un traitement, non seulement pour des questions déontologiques, mais aussi parce que les paramètres de solubilité de bien des résines et élastomères synthétiques, tout comme leurs points

de fusion, changent au fil du temps, ce qui accroît considérablement les risques de dommages et de rupture des joints.

Les fabricants utilisent de nouveaux matériaux polymériques de composition connue qui renferment des adhésifs élaborés sur mesure afin de répondre à des besoins précis, et dont l'application réussie nécessite un équipement spécialisé. Les adhésifs industriels ne sont pas conçus pour être réversibles, et ils sont souvent trop forts pour les plastiques vieillis conservés dans les musées. Il n'est pas raisonnable de s'attendre à ce qu'ils soient compatibles avec des plastiques obsolètes et dégradés dont les propriétés sont imprévisibles. Ils constituent néanmoins un bon point de départ pour déterminer ce qui permet de lier un plastique ou un élastomère donné. Il existe plusieurs sources d'information sur les adhésifs industriels et les méthodes industrielles d'adhésion (Counsell, 1993; Shashoua, 2008, p. 213-220).

Propriétés et état de l'objet influant sur le choix de l'adhésif

Facteurs influant sur l'adhésion

De nombreux polymères synthétiques, tout particulièrement les caoutchoucs, les nylons, les fluoropolymères et les polyoléfines, ont une faible tension superficielle. Par conséquent, les adhésifs ne les mouillent pas suffisamment pour former des joints adéquats. Les fabricants modifient la tension superficielle par dégradation sélective à l'aide de moyens peu délicats, comme l'utilisation d'une flamme, de rayons ultraviolets (UV), de lasers, de décharge par effet couronne, de décharge de plasma, etc., qui s'accordent habituellement mal avec les pratiques de conservation. Si l'opérateur est inexpérimenté, les résultats risquent d'être inégaux ou encore de causer des déformations ou un changement de couleur. Le sablage, surtout dans le cas des polymères comme le nylon et le polyéthylène, peut nuire à l'ajustement des joints sans pour autant améliorer le pouvoir mouillant de l'adhésif.

Dans ce contexte particulier, le vieillissement naturel peut se révéler utile. Des peignes en nylon et des jouets en polyéthylène dégradé ont été réparés avec des adhésifs acryliques, tant en dispersion qu'en solution, alors que ces adhésifs n'auraient pas tenu sur du plastique non dégradé. La consolidation avec des solutions diluées de résines acryliques a été tentée. Les résultats permettaient une manipulation délicate, mais l'absorption inégale de l'agent de consolidation a entraîné une translucidité et un lustre inégaux.

Les additifs huileux ont aussi un impact sur l'adhésion. Les savons et les plastifiants stabilisateurs dans le PCV, les résidus d'agents de démoulage sur les plastiques moulés ainsi que les lubrifiants absorbés dans les phénol-formaldéhydes industriels, qui ont une affinité avec l'huile pour machines, peuvent tous migrer. Ils ont un impact non seulement sur les nouveaux joints, mais aussi sur ceux qui ont été formés avant que l'objet ne commence à se détériorer. Les adhésifs à base de cire-résine ne se sont pas révélés efficaces sur les plastiques huileux; cependant, les adhésifs à base de caoutchouc modifiés le sont davantage (Huys et van Oosten, 2005).

Les caoutchoucs traités, dans les années 1980, avec un produit à polir à la silicone pour améliorer la transparence et la résistance à l'oxydation sont particulièrement difficiles à coller. La silicone est très mobile; elle contamine donc d'autres parties de l'objet, et elle est difficile à enlever. Malheureusement, certains produits à polir commerciaux conçus pour être utilisés sur des plastiques durs contiennent aussi de la silicone destinée à masquer les égratignures superficielles. Ce genre de produits à polir est largement utilisé par les marchands et les collectionneurs, ce qui pourrait expliquer pourquoi des plastiques tels que les sculptures en acrylique et les bijoux en phénol-formaldéhyde coulé, qui ne possèdent pas une tension superficielle particulièrement faible, n'adhèrent pas. Un test utile consiste à appliquer une petite goutte d'eau juste à côté de la cassure; plus l'eau perle, plus la mouillabilité est faible.

La viscosité élevée de l'adhésif peut parfois être exploitée pour compenser une faible mouillabilité, *à condition de ne pas avoir besoin d'un joint trop fort*. Par exemple, les pâtes épaisses à base d'eau comme la méthylcellulose (MC) peuvent servir à recoller les étiquettes originales sur les surfaces non polaires, si le plastique peut tolérer sans dommage une exposition de courte durée à l'humidité. La MC adhère étonnamment bien aux objets en caoutchouc. Cependant, les éthers de cellulose ne constituent pas une barrière efficace contre les composants qui migrent à partir de substrats sous-jacents; les étiquettes en papier poreux recollées sur des objets en PCV ou en caoutchouc vulcanisé détérioré, par exemple, finiront par changer de couleur. De même, des dispersions acryliques visqueuses ont été utilisées pour recoller des décalcomanies sur des jouets de la gamme Transformers, faits en polyéthylène. Elles forment un joint faible, mais adéquat et réversible par des moyens mécaniques.

L'interaction potentiellement destructive avec les constituants de l'adhésif

Les réactions indésirables avec les solvants

Les plastiques présentent des vulnérabilités qui leur sont propres. Leur principale vulnérabilité concerne les solvants, surtout les solvants organiques, mais aussi d'autres substances comme l'ammoniac et les acides organiques utilisés comme émulsifiants dans les dispersions, auxquels de nombreux thermoplastiques sont sensibles. Le contact direct peut entraîner une dissolution, une perturbation ou un blanchiment immédiats de la surface si une partie de l'objet en plastique ou tout l'objet se dissout. Cet effet inesthétique est permanent.

La dégradation causée par le vieillissement peut accroître la sensibilité du polymère aux solvants. Il se produit une perturbation en surface (p. ex. fissuration) lorsque les objets en caséine formaldéhyde ou en ébonite ayant subi une photodégradation entrent en contact avec de l'eau. Ces deux polymères sont résistants à l'eau lorsqu'ils ne sont pas vieillis.

Les solvants peuvent entraîner une fissuration sous l'effet de contraintes, surtout dans le cas des plastiques durs; cette dégradation est déclenchée par une exposition à des vapeurs de solvant. Un réseau de microfissures interconnectées se forme dans le corps du plastique. Le phénomène est particulièrement visible dans le cas du polystyrène cristal et du poly(méthacrylate de méthyle) en raison de leur transparence et de leurs propriétés de transmission de la lumière, mais il peut toucher tous les plastiques durs et gravement compromettre leur résistance aux chocs. La fissuration sous l'effet de contraintes peut être déclenchée par une seule exposition à des vapeurs de solvant, même si le phénomène peut demeurer imperceptible pendant plusieurs semaines.

Chaque thermoplastique présente des vulnérabilités particulières par rapport à différents solvants; l'une de ces vulnérabilités, soit la susceptibilité à la fissuration sous l'effet de contraintes, dépend principalement du degré de contrainte inhérent. Plus les contraintes sont importantes, plus le risque de fissuration est grand. Les contraintes peuvent découler des procédés de fabrication comme tels ou résulter des tensions qui s'exercent entre les différents constituants d'un objet composite. Toutefois, *le procédé de réparation peut lui aussi générer des contraintes* si l'objet en plastique est trop serré ou si un adhésif fort se contracte.

L'application d'une petite quantité de colle ou de solvant sur une zone peu visible du plastique à titre d'essai est potentiellement dangereuse et elle ne permet pas de produire des résultats concluants. Une telle méthode d'essai peut en fait entraîner des dommages irréversibles qui ne seraient autrement apparus que beaucoup plus tard. La question des dommages subis par les plastiques à la suite d'une exposition aux solvants est abordée plus en détail dans des articles publiés par Shashoua (2008, p. 209-212) et Fenn (1993).

Les plastiques acides

Certains plastiques sont très acides lorsqu'ils sont dans un état de détérioration avancée. Le PCV, le nitrate de cellulose et l'ébonite peuvent être à un tel point acides qu'ils affaibliront tout adhésif, en modifieront la couleur et finiront par le décomposer. Des acides organiques plus faibles sont produits par l'acétate de cellulose, le phénol-formaldéhyde et l'urée-formaldéhyde. Même si ces acides sont beaucoup moins puissants, ils peuvent quand même contribuer au changement de couleur de l'adhésif et à la rupture des joints. Il est recommandé de mesurer le pH des objets en plastique avant d'y appliquer un adhésif ou un agent de consolidation.

Autres critères influant sur le choix de l'adhésif

L'adhésion et la compatibilité chimique entre les plastiques et les adhésifs constituent les critères les plus importants par rapport au choix de l'adhésif; il existe toutefois d'autres critères, qui sont décrits ci-dessous.

La réponse aux variations de température

La plupart des thermoplastiques ont un coefficient de dilatation linéaire (CDL) élevé; ils réagissent davantage aux variations de température que les métaux. Les adhésifs thermodurcissables (p. ex. adhésifs à base de résine époxy) ont généralement un CDL plus faible du fait qu'ils sont réticulés. Des variations d'à peine quelques degrés peuvent générer d'importantes contraintes si les colles n'ont pas un CDL comparable à celui du substrat ou si elles ne sont pas assez flexibles pour s'adapter aux mouvements.

La température de transition vitreuse est un autre critère important. À la température ambiante, les adhésifs doivent posséder une certaine flexibilité et une certaine résistance aux chocs, mais ils ne doivent pas être mous au point de fluer. Les caoutchoucs et certains plastiques sont souvent entreposés à basse température afin de ralentir la détérioration chimique. À basse température, les acryliques, les nitrates de cellulose et de nombreux adhésifs à base

de caoutchouc deviennent très friables et peuvent céder lorsque les articles entreposés au froid sont manipulés.

L'indice de réfraction

Même si la transparence est une propriété importante dans le cas de certains objets, comme les sculptures en acrylique, il est probablement inutile d'essayer de trouver un adhésif dont l'indice de réfraction correspond à celui d'un plastique transparent, car la couleur et la translucidité du plastique ont tendance à s'altérer à long terme.

La réversibilité

Le concept de réversibilité est un incontournable pour les restaurateurs, mais il faut y renoncer *dans la plupart des cas pour l'adhésion* des caoutchoucs et des plastiques, et *dans tous les cas pour la consolidation de ces matériaux*.

L'identification

Les plastiques, même s'ils peuvent se ressembler entre eux, peuvent avoir des propriétés très différentes, d'où la nécessité absolue de déterminer la composition exacte du plastique avant de choisir un adhésif. Rémillard (2007) a préparé un guide très utile au sujet de micro-tests pouvant être utilisés à cette fin.

Adhésifs

Au cours des deux dernières décennies, beaucoup de progrès ont été réalisés par le secteur des adhésifs pour plastiques. Il se fait maintenant des adhésifs conçus spécialement pour les plastiques durs et les plastiques flexibles.

De manière générale, les *thermoplastiques* exigent des adhésifs dont la teneur en solvants (surtout organiques) est minime. La présence d'eau n'est pas souhaitable non plus, surtout si le pH a été modifié par l'ajout d'émulsifiants acides ou alcalins. Comme les plastiques *thermodurcissables* réticulés sont moins réactifs, la gamme d'adhésifs pouvant être utilisés sans danger pour ces plastiques est plus vaste. Cependant, si ces plastiques sont détériorés ou qu'ils renferment des matières de charge sensibles à l'humidité et faiblement liés, comme de la farine de bois, il faut éviter les adhésifs à base d'eau. À l'exception des deux cas mentionnés précédemment (le nylon et les polyoléfines détériorés), il n'est pas recommandé d'utiliser des adhésifs à base d'eau sur les plastiques fortement dégradés.

Les adhésifs qui suivent sont utilisés dans le cas des plastiques.

Les adhésifs à durcissement ultraviolet

Les adhésifs à durcissement ultraviolet sont généralement des acryliques et des résines époxy. Un rayonnement ultraviolet de la bonne intensité et de la bonne longueur d'onde doit atteindre l'adhésif à l'emplacement du joint afin de permettre le durcissement. Ces adhésifs sont transparents, ils collent sur divers types de surfaces, ils ne contiennent pas de solvant et ils ne produisent aucune émission volatile. À moins d'avoir été spécialement modifiés, ils ont un faible CDL et ils ne sont pas flexibles. Ils sont coûteux et nécessitent l'utilisation de lampes spéciales qui émettent un faisceau focalisé à la longueur d'onde appropriée.

Les adhésifs au polyuréthane à un composant

Les adhésifs au polyuréthane à un composant (p. ex. Excel et Gorilla Glue) durcissent par réaction avec l'humidité ambiante; le temps de séchage dépend donc de l'humidité relative. Ils prennent de l'expansion et moussent lors du durcissement et ils forment des joints solides possédant d'excellentes propriétés de comblement. Ils adhèrent à toute une gamme de plastiques et de caoutchoucs, y compris ceux au polyéthylène et à la silicone. Ils sont flexibles, ont une excellente résistance aux chocs et sont fabriqués avec divers CDL. Ils tolèrent bien les surfaces acides et les basses températures. Ils ont toutefois trois inconvénients : leur couleur initiale, leur changement de couleur au fil du temps et la nécessité de les maintenir dans un étau très serré afin de combattre l'expansion lors du durcissement.

Les cyanoacrylates

Les cyanoacrylates utilisés comme adhésifs pour les plastiques et les caoutchoucs ont été grandement améliorés. Certains sont conçus spécialement pour former des joints avec les surfaces problématiques comme le caoutchouc et le poly(tétrafluoroéthylène). Ils existent sous forme de liquides et de gels possédant différents degrés de flexibilité et différentes propriétés de comblement des vides. Cependant, nombre d'entre eux sont sensibles au pH et ne sont donc pas efficaces sur les substrats acides. Certains blanchissent ou corrodent les thermoplastiques. Ils ont une fâcheuse tendance à se durcir en bouteille, même s'ils sont entreposés au réfrigérateur dans un contenant bien étanche.

Les adhésifs thermofusibles

De nombreuses résines, allant du nylon aux polyuréthanes, sont utilisées comme colles thermofusibles et appliquées à l'aide d'un pistolet

à colle électrique. Les restaurateurs emploient habituellement des copolymères d'éthylène et d'acétate de vinyle en raison de leur couleur claire, de leur faible point de fusion et de leur capacité à adhérer aux mousses de polyéthylène. Ces produits sont résistants et chimiquement inertes, mais il est impossible de les enlever sans endommager le substrat, une fois le joint formé. Même si les colles à faible point de fusion sont plus sûres pour les thermoplastiques, elles prennent très rapidement, souvent avant même que l'adhésif ait mouillé complètement la surface.

Les adhésifs à base de résine époxy

Les adhésifs à base de résine époxy à deux composantes ne contiennent pas de solvant (mais ils peuvent produire des émissions), mais la résine non durcie attaque parfois les thermoplastiques. Le risque est moins grand dans le cas des résines époxy à durcissement rapide, même si elles réussissent habituellement à corroder les plastiques très sensibles, comme le polystyrène, et qu'elles deviennent parfois trop chaudes lors du durcissement. Les adhésifs à base de résine époxy sont forts et tenaces. Certains produits à usage industriel ont été modifiés pour leur conférer une flexibilité plus grande et un CDL plus élevé. Dans les années 1970, les joints en résine époxy étaient réputés pour se rompre dans le cas des résines de polyester renforcées avec de la fibre de verre. Les collectionneurs soutenaient que les adhésifs à base de résine époxy collaient mal les bijoux en bakélite; cependant, la nouvelle génération de résines époxy semble convenir dans ces deux cas. Les émissions provenant des plastiques en cours de dégradation semblent accélérer l'assombrissement des joints de résine époxy, mais le phénomène n'a pas été convenablement étudié. Lorsqu'il faut des joints de couleur pâle, il peut être préférable d'employer des résines époxy optiques.

Les rubans de silicone sensibles à la pression

Au cours de la dernière décennie, des avancées intéressantes ont été réalisées dans le domaine des rubans de silicone conçus pour les surfaces à très faible tension superficielle. Les fabricants affirment que certains d'entre eux sont réutilisables, ce qui laisse supposer qu'ils sont faciles à enlever. Cependant, l'évolution de leurs propriétés avec le vieillissement n'est pas connue, et les restaurateurs se méfient, avec raison, des rubans sensibles à la pression. Les silicones ont une fâcheuse tendance à absorber les vapeurs d'acides organiques, ce qui signifie qu'elles ne sont pas nécessairement chimiquement inertes. Il faut vérifier les caractéristiques de chaque ruban avant de l'utiliser.

Il existe des rubans de silicone autofusibles (p. ex. ruban Rescue), conçus à des fins militaires, qui ne contiennent pas d'adhésif. Ils se lient à eux-mêmes, mais pas à l'objet. Ils peuvent être utilisés comme étaux ajustables pour les plastiques ou encore pour « faire tenir » temporairement des réparations afin de prévenir les pertes ou les déformations jusqu'à ce qu'un adhésif convenable soit trouvé.

Les colles de type gecko

L'adhésion de type « gecko » constitue un système d'adhésion prometteur (Fenn, 2011). Les geckos adhèrent aux plafonds grâce à une myriade de poils fins de nature kératinique, appelés sétules, qui sont présents sous leurs pattes et qui assurent un contact étroit avec diverses textures de surfaces. Cette adhésion serait attribuable aux forces de Van der Waals, en combinaison peut-être avec des forces capillaires qui interagissent avec l'eau absorbée par la surface. Les sétules du gecko créent un joint sec, directionnel et instantanément réversible qui développe une force surprenante, ne nécessite aucune sécrétion et ne laisse aucun résidu.

Les colles de type « gecko » sont encore à l'étape de la recherche, mais des rubans munis de nanofibres adhésives directionnelles ont déjà été produits à l'échelle expérimentale (Jeong *et al.*, 2009; Lee et Fearing, 2008). Les sétules des geckos ont été reproduites avec diverses matières synthétiques, dont des acryliques, de la silicone et du polypropylène. Il pourrait s'agir, pour les restaurateurs, de l'adhésif parfait, du fait qu'il est ajustable, transparent, sans solvant, facile à repositionner, capable de se lier avec des surfaces problématiques, fabriqué à partir de polymères chimiquement inertes, réversible avec peu de contraintes et qu'il ne laisse aucun résidu.

La réparation des plastiques précieux, en particulier des thermoplastiques, à l'aide d'adhésifs de spécialité est extrêmement risquée, les variables inconnues étant trop nombreuses. Puisqu'il est difficile de prévoir les problèmes et d'éviter les embûches ainsi que les conséquences irréversibles des erreurs, il faudrait procéder avec une extrême prudence. Il est souvent plus sûr de prévenir les pertes et les déformations différentielles en plaçant les morceaux cassés ou fissurés sur des supports sur mesure jusqu'à ce que des adhésifs plus appropriés soient trouvés.

Le verre et la céramique

Stephen P. Koob, Corning Museum of Glass

Même si le verre et la céramique peuvent différer considérablement du point de vue de leur composition, leur histoire, leur technique de fabrication, leur détérioration et leur conservation, les critères utilisés pour choisir un agent de consolidation ou un adhésif en vue du traitement de ces matériaux sont similaires. Les principes de base selon lesquels il faut limiter le plus possible l'intervention et favoriser la réversibilité demeurent valables pour le choix d'un agent de consolidation ou d'un adhésif, au même titre que les approches modernes d'*intervention passive* et de *gestion des risques*. Un entreposage adéquat, dans des conditions contrôlées et sous surveillance, constitue également un facteur important pour la préservation à long terme des objets en verre et en céramique.

Raisons justifiant l'utilisation d'un agent de consolidation ou d'un adhésif

Les principales raisons justifiant une intervention active comprennent le besoin de stabiliser l'objet, d'empêcher une détérioration plus grave ou de renforcer l'objet en vue d'autres traitements, comme le nettoyage ou le collage (assemblage de fragments). Le collage de fragments, ou assemblage, est l'un des objectifs les plus courants, car des fragments, pris individuellement, ne sont pas nécessairement présentables ou interprétables. De plus, un traitement de consolidation peut être jugé nécessaire simplement pour permettre la manipulation d'un fragment ou d'un objet. Il va sans dire que, avant de pratiquer une intervention, il faut prendre en considération la façon dont l'objet ou le groupe d'objets sera disposé, et savoir si l'objet ou le groupe d'objets sera placé en entreposage, étudié ou exposé, ou s'il fera l'objet d'une publication. Le temps consacré au traitement et son coût doivent aussi être pris en compte, étant donné qu'ils peuvent être considérables. Les objets assemblés exigent un espace d'entreposage plus vaste (étagères ou armoires) que des fragments individuels, qui peuvent être placés dans un sac ou dans un tiroir.

Consolidation

La consolidation efficace d'un objet en verre ou en céramique exige que les vides et les pores de l'objet soient accessibles ou perméables. Une brique vernissée peut bien être poreuse, mais il est impossible de la consolider tant que la glaçure est intacte (Grimshaw, 1971). D'un autre côté, sa consolidation n'est pas forcément nécessaire tant que la glaçure est solide et intacte. Les céramiques cuites à haute température, comme la porcelaine, ainsi que les verres pleins ne sont pas perméables, et leur porosité est minime (< 1 %), ce qui élimine le besoin de consolidation.

Les agents de consolidation les plus couramment utilisés sont des résines synthétiques sous forme diluée (p. ex. Paraloid B-72 à 5 à 10 % p/v dans l'acétone). Les résines à base de solvants sont très efficaces, même si, dans certains cas, une dispersion colloïdale dans l'eau peut convenir.

La consolidation des objets en terre cuite

La consolidation est surtout nécessaire pour renforcer les objets en céramique ou en argile cuits à très faible température, comme les objets friables en terre cuite, qui peuvent être facilement endommagés par des manipulations de tout genre. Le caractère affaibli de ces objets peut être attribuable à une mauvaise fabrication (p. ex. cuisson à faible température) ou à une détérioration postérieure à la fabrication (p. ex. à cause de l'utilisation ou d'une mauvaise utilisation, de l'enfouissement, d'attaques chimiques ou d'une contamination par des sels solubles). La surface de ces céramiques peut avoir un aspect semblable à celui de l'argile non cuite : sèche, pulvérulente, douce au toucher et s'effritant ou s'écaillant à la suite d'une manipulation ou d'un mouvement, y compris les mouvements de l'air. La surface peut comporter des craquelures ou des éclats presque détachés, et il peut y avoir des dépôts de poussière, de saletés et de cristaux de sels incrustés dans les renfoncements.

La consolidation est nécessaire quand les signes de détérioration énumérés ci-dessus sont visibles et que l'objet ne peut être entreposé sans danger dans l'état d'affaiblissement dans lequel il se trouve. Cependant, la consolidation est une intervention sérieuse et permanente, car il est impossible d'enlever l'agent de consolidation après le traitement. De plus, l'enlèvement de l'agent de consolidation est

susceptible d'entraîner la perte de détails en surface ou de causer des dommages encore plus graves.

Il est également probable que la consolidation modifie l'apparence d'une céramique affaiblie à cause de la saturation de la surface. La surface peut paraître assombrie ou plus colorée après la consolidation. Il ne s'agit pas nécessairement d'un effet indésirable : les surfaces endommagées, comme les glaçures blanchies ou détériorées des céramiques archéologiques, ont une meilleure apparence après leur consolidation. Une consolidation efficace permet de remplir les craquelures et les vides; elle peut également rétablir la capacité de réfraction d'une glaçure. Une consolidation excessive (trop de résine en surface) donne à l'objet un aspect lustré et peu esthétique.

LE CHOIX D'UN AGENT DE CONSOLIDATION

Idéalement, l'agent de consolidation doit être suffisamment dilué pour pénétrer dans un substrat affaibli (p. ex. structure en argile) et le renforcer. Dans le cas des résines polymériques en solution, cela se traduit par un rapport solides-solvant assurant une faible viscosité. Une solution dont la concentration en résine est trop faible pénétrera bien, mais elle ne renforcera que très peu l'objet ou pas du tout, tandis qu'une solution dont la concentration en résine est trop élevée procurera un meilleur renforcement, mais ne pénétrera pas en profondeur. Une mauvaise pénétration n'assurera qu'une consolidation de la *surface*, ce qui ne vaut pas mieux que l'application d'un revêtement. Le choix du solvant et de la méthode d'application peut avoir une incidence importante sur l'efficacité de la consolidation. Les résines à base de solvants, de par leur nature, pénètrent mieux que les émulsions ou les dispersions aqueuses, mais leur application est plus délicate et nécessite l'adoption de mesures de sécurité additionnelles. Les agents de consolidation à base d'eau ont leur utilité, surtout lorsqu'il faut consolider des objets en céramique ou des ouvrages en brique de grande taille et à grains très grossiers, et que l'utilisation de solvants est presque impossible.

Le Paraloid B-72

Il existe de nombreuses résines à base de solvants; beaucoup d'entre elles ont été utilisées à des fins de consolidation, mais le Paraloid B-72 constitue le meilleur choix. Ce produit est stable et réversible, il ne jaunit pas, et sa solubilité est bien connue. Sa viscosité en solution est très faible, surtout en faibles concentrations (5 à 15 %). Sa température de transition vitreuse (T_v) est modérément élevée (40 °C), et le produit peut être utilisé sans danger dans des solvants non toxiques. Il possède une très bonne force d'adhésion, tout en étant perméable à l'eau, ce qui est utile lorsque la consolidation est un traitement préalable à un dessalement.

Le choix du solvant est important, non seulement du point de vue de la capacité de pénétration de la résine, mais aussi pour des questions de santé et de sécurité. Dans le passé, il était recommandé d'utiliser des solvants à évaporation très lente, comme le toluène et le xylène, pour la consolidation, mais il faut éviter cette pratique pour deux raisons. D'une part, ces solvants sont hautement toxiques et, d'autre part, les solutions qu'ils produisent ont une viscosité considérablement plus élevée que celle d'autres solutions (Röhm et Haas, 1983). Il est préférable d'utiliser des solutions dans l'acétone ou dans l'acétone et l'éthanol, car elles sont moins toxiques et pénètrent mieux. Par exemple, le Paraloid B-72 dans l'acétone (à 5 %) est moitié moins visqueux que le Paraloid B-72 dans le toluène (à 5 %), ce qui signifie que l'agent de consolidation devrait pénétrer deux fois plus profondément. En réalité, bien des facteurs influent sur le degré de pénétration de l'agent de consolidation, notamment la méthode d'application ainsi que la température et l'humidité ambiantes. Parmi les méthodes d'application figurent l'application au pinceau, la vaporisation, l'immersion et la pénétration par capillarité (sous vide ou non); elles sont décrites plus loin dans le texte.

L'acrylique en dispersion colloïdale Acrysol WS-24

Un autre acrylique en dispersion colloïdale, l'Acrysol WS-24 (aussi connu sous le nom de Primal WS-24 ou Rhoplex WS-24), a également été utilisé avec succès pour la consolidation de verre et de céramique. Le produit est offert en base aqueuse (à 36 % p/v) et, visuellement, il est semblable aux autres acryliques en dispersion, mais il s'en distingue par plusieurs de ses propriétés (Koob, 1981; Warson, 1972). Ses particules chargées sont très petites, ce qui empêche la dispersion de se déposer, et sa viscosité est beaucoup plus faible que celles des autres acryliques en dispersion. Son pH neutre (7,0) constitue un autre avantage; en effet, les autres acryliques en dispersion ont un pH plus élevé (entre 8 et 10). Cette résine acrylique a une force et une T_v (40 °C) comparables à celles du Paraloid B-72. La dispersion blanche devient transparente après séchage, et elle est soluble dans l'acétone.

Il ne fait aucun doute que l'Acrysol WS-24 à base d'eau ne pénètre pas aussi bien que le Paraloid B-72 en solution; le produit a tout de même l'avantage de ne pas contenir de solvant (il est donc sans danger pour la santé), ce qui est particulièrement souhaitable pour les applications à grande échelle, et il est peu coûteux.

Puisqu'il pénètre moins bien, il est recommandé de l'utiliser sur les céramiques de grande taille et très poreuses, comme les objets en terre cuite et les ouvrages en brique à grains grossiers.

L'Acrysol WS-24 ne doit pas être utilisé comme traitement préalable à un dessalement; le produit gonflera en partie dans l'eau, même une fois qu'il est sec et transparent. Si la céramique est assez forte pour supporter l'application d'un acrylique à base d'eau, elle devrait être assez forte pour subir un dessalement, et celui-ci doit précéder la consolidation.

L'APPLICATION D'UN AGENT DE CONSOLIDATION SUR LA CÉRAMIQUE

Il existe plusieurs techniques différentes pour appliquer des résines en solution (p. ex. Paraloid B-72) ou des dispersions colloïdales (p. ex. Acrysol WS-24) sur de la céramique. La méthode d'application, la quantité d'agent de consolidation appliquée ainsi que le milieu ambiant ont tous un impact sur la pénétration et sur l'efficacité du traitement. Chaque méthode comporte son lot d'avantages et d'inconvénients, et il revient au restaurateur de décider quelle méthode est la plus appropriée dans chaque cas.

Avant d'entreprendre tout traitement de consolidation, il faut tout d'abord évaluer la force de la céramique et déterminer pour quelle raison sa consolidation est nécessaire. Il pourrait être nécessaire de consolider et renforcer des céramiques affaiblies en prévision d'un assemblage à l'aide d'un adhésif; cette mesure permet d'assurer que la force de la céramique correspond à celle de l'adhésif. Même le Paraloid B-72 est trop fort pour les céramiques extrêmement faibles et friables, et une consolidation simple, mais complète, s'avère bénéfique pour ces céramiques.

Il faut examiner attentivement la céramique, la documenter adéquatement (notamment à l'aide de notes ou de photographies) et obtenir toute permission requise avant d'exécuter l'intervention. Cela peut sembler non pertinent, mais l'omission de ces étapes a entraîné, par le passé, la perte de renseignements précieux. En outre, si la céramique est un spécimen important provenant d'un site archéologique ou anthropologique, il pourrait être nécessaire de rassembler de l'information et de prélever des échantillons en vue d'une analyse alimentaire, d'une caractérisation de l'usure et de l'utilisation, d'une analyse de datation et d'une détermination de la provenance. Comme un traitement de consolidation peut nuire à ces analyses, il ne doit pas être effectué avant que les étapes mentionnées ci-dessus ne soient terminées ou avant que des échantillons n'aient été prélevés à des fins d'analyse.

Les concentrations d'agent de consolidation

La solution d'agent de consolidation doit être préparée en fonction de l'objectif visé du traitement. En très faible concentration (< 3 % p/v), l'agent de consolidation ne conférera que très peu de force ou aucune force à l'objet, tandis qu'en concentration élevée (> 15 %), il pourrait ne pas pénétrer du tout dans l'objet. Cependant, il existe des céramiques très denses, comme les terres cuites très fines, pour lesquelles une solution entre 4 et 5 % est idéale; certaines grandes jarres de stockage et briques à grains très grossiers sont à un tel point poreuses qu'une solution de 15 à 20 % ou une dispersion colloïdale à base d'eau comme l'Acrysol WS-24 y pénétreront facilement. Il faut évaluer ces caractéristiques pour chaque classe ou groupe de céramiques à traiter, et de simples tests avec quelques solutions différentes permettront souvent d'éclairer le restaurateur.

Il faut préparer des solutions en différentes concentrations (5 %, 7,5 %, 10 % et 15 % p/v); si elles sont gardées dans des contenants scellés, elles peuvent être utilisées à de nombreuses reprises. Il est possible de préparer en peu de temps des solutions de Paraloid B-72 en pesant la résine, en la plaçant dans de l'étamine attachée avec une ficelle en coton, et en suspendant le tout dans un bocal d'acétone (contenant le bon volume d'acétone pour obtenir la concentration souhaitée). Aucune agitation n'est requise; même une quantité de 150 g de résine se dissoudra dans 1 litre d'acétone en 1 à 2 heures.

Dans les climats chauds ou très chauds, il est possible d'ajouter de l'éthanol (acétone-éthanol, 90:10). Il n'est pas recommandé d'utiliser une grande quantité d'éthanol, car le produit est extrêmement hygroscopique, ce qui fait qu'il absorbe de l'eau et en attire dans la solution de Paraloid B-72.

Afin de préparer des solutions d'Acrysol WS-24 à des concentrations données, il suffit de diluer l'Acrysol WS-24 dans de l'eau déionisée (p. ex. un mélange d'eau et de WS-24 selon un rapport de 9:1 donne une concentration de 3,6 %). Il faut utiliser ce produit en concentrations plus faibles que les solutions de Paraloid B-72 (3 %, 6 %, 9 % p/v) pour assurer une pénétration maximale.

Les méthodes d'application

Il existe de nombreuses méthodes permettant d'appliquer un agent de consolidation sur de la céramique, notamment l'application au pinceau, la vaporisation, l'application au goutte-à-goutte à l'aide d'une pipette,

l'immersion et la pénétration par capillarité. C'est habituellement l'état de la céramique qui détermine quelle méthode est préférable (p. ex. dans le cas d'une surface écaillée, de petites quantités de produit sont appliquées à l'aide d'un pinceau ou d'une pipette pour effectuer la consolidation).

La pénétration par capillarité, ou attraction capillaire, garantit presque toujours une pénétration maximale de l'agent de consolidation. Il est également possible d'effectuer la consolidation sous vide pour évacuer l'air emprisonné dans les pores de la céramique et pour assurer une pénétration en profondeur de l'agent de consolidation. La céramique doit être assez forte pour supporter l'évacuation de l'air à travers l'agent de consolidation.

Le séchage et l'enlèvement de l'excès d'agent de consolidation

Une fois la consolidation terminée, une céramique peut demeurer très faible tant que l'agent de consolidation n'a pas entièrement pris et que tout le solvant ne s'est pas évaporé. Cela peut nécessiter quelques heures ou quelques jours. La céramique peut être pesée afin de déterminer si le processus est achevé. Quand son poids devient constant, il est à supposer que le solvant s'est entièrement ou presque entièrement évaporé.

Dans le cas du Paraloid B-72, l'excès d'agent de consolidation peut facilement être enlevé à l'aide d'acétone et d'un pinceau flexible, en prenant soin de rincer constamment le pinceau avec de l'acétone fraîche. Il n'est pas recommandé d'utiliser un coton-tige ou un essuie-tout parce que ceux-ci peuvent perturber la surface.

Les conditions extrêmes de température et d'humidité

L'application d'un agent de consolidation à base de solvant ou même d'eau sera plus difficile dans des conditions climatiques extrêmes. Idéalement, la consolidation ou le collage doivent être effectués dans un endroit bien ventilé dont les conditions ambiantes sont contrôlées (18 à 24 °C, 35 à 55 % d'humidité relative). Un taux d'humidité élevé (> 55 %) peut perturber la pénétration ou le temps de prise de n'importe quel adhésif ou agent de consolidation, au risque de causer un blanchissement et de nuire à l'adhésion. Les températures très élevées (> 40 °C) entraîneront une évaporation très rapide du solvant (ou de l'eau), ce qui entravera la pénétration de l'agent de consolidation ou la formation adéquate d'un feuil. Les températures très basses (≤ 0 °C) ralentiront considérablement l'évaporation et la prise des résines à base de solvants, et feront geler les émulsions. Il pourrait être nécessaire de modifier les conditions de travail quand les conditions ambiantes sont extrêmes.

Il faut éviter d'effectuer des traitements de nature archéologique sur place, à moins que la surface de travail soit à l'ombre (**figure 1**). La température est plus fraîche à l'intérieur et à l'ombre, et les conditions de travail y sont plus confortables qu'au soleil; de plus, les conditions sont plus stables et mieux contrôlées, ce qui est plus propice à l'application d'un adhésif ou d'un agent de consolidation.

Figure 1. Assemblage d'un grand vase en céramique à l'extérieur à l'aide de Paraloid B-72.

La consolidation de la porcelaine et du verre

Les céramiques cuites à haute température, comme la porcelaine, peuvent être classifiées, à toutes fins utiles, comme des objets en verre au moment de choisir un adhésif ou un agent de consolidation en vue d'un traitement en raison de leurs propriétés physiques communes. La porcelaine et le verre sont presque non poreux, mais les surfaces détériorées ou abîmées par les intempéries peuvent nécessiter une consolidation. La porcelaine et le verre archéologiques dont certaines couches sont devenues fragiles ou friables ou qui se soulèvent à cause de l'exposition aux intempéries peuvent devoir être consolidés. Cependant, le verre lui-même ainsi que le corps des céramiques cuites à haute température comme la porcelaine ne sont pas poreux; l'application d'un agent de consolidation ne produit alors qu'un revêtement de surface.

Dans certains cas, les couches abîmées par les intempéries sont tellement minces et fragiles que

le simple fait d'en toucher la surface entraîne une perte; même l'exposition à un vent très faible ou au souffle d'une personne peut soulever et détacher les couches abîmées. Il est alors recommandé d'utiliser une solution diluée de Paraloid B-72 (entre 10 et 15 % p/v dans l'acétone ou dans un mélange d'acétone et d'éthanol selon un rapport de 90:10). L'agent de consolidation peut être appliqué au pinceau ou à l'aide d'une pipette. Il n'est pas recommandé de l'appliquer par vaporisation ni par immersion, car ces techniques peuvent entraîner la perte des couches abîmées. Dans bien des cas, il suffit d'appliquer une petite quantité d'agent de consolidation en bordure de la zone endommagée, et de laisser le produit se propager par capillarité. De cette manière, l'agent de consolidation atteint lui-même les couches ouvertes et perméables, les renforce et les lie à mesure qu'il sèche. Le Paraloid B-72 est également recommandé afin de consolider de la peinture pour verre détériorée se trouvant sur des vitraux (Chapman et Mason, 2003).

Il n'est pas recommandé d'effectuer une consolidation complète de l'objet; une telle opération aurait pour effet de sceller la surface de la porcelaine et du verre, ce qui pourrait emprisonner l'humidité à l'intérieur de l'objet et engendrer d'autres problèmes de stabilisation.

L'excès de produit peut être éliminé à l'aide d'acétone et d'un pinceau flexible, surtout si l'agent de consolidation s'écoule vers une zone de la céramique ou du verre qui n'a pas besoin de traitement. Le traitement n'est pas toujours réversible, étant donné que la zone consolidée pourrait gonfler et se déplacer. Le Paraloid B-72 constitue néanmoins un choix beaucoup plus logique qu'une résine moins stable, laquelle pourrait se décolorer au fil du temps.

L'acrylique en dispersion Acrysol WS-24 a été recommandé comme traitement de consolidation préalable dans le cas du verre gorgé d'eau (Roberts, 1984).

ADHÉSIFS POUR LE VERRE ET LA CÉRAMIQUE

Les adhésifs servent principalement à assembler des fragments de verre ou de céramique. Bien des adhésifs ont été recommandés, mais peu d'entre eux produisent des résultats uniformes. Les principes à suivre pour choisir un adhésif comprennent les suivants (Koob, 2006) :

- l'adhésif ne doit pas endommager le verre ou la céramique, que ce soit pendant l'application, le durcissement ou le vieillissement;
- l'adhésif doit bien se lier avec le substrat;
- l'adhésif doit être réversible ou pouvoir être enlevé sans causer de dommages;
- l'adhésif doit être clair comme l'eau;
- l'adhésif doit demeurer stable (résine de classe A – stable 100 ans);
- l'adhésif doit être facile à utiliser et doit donner des résultats uniformes.

Deux adhésifs complètement différents sont recommandés pour réparer le verre et la céramique : le Paraloid B-72 et les adhésifs à base de résines époxy. Il en existe bien d'autres, mais ceux-ci sont devenus les plus couramment utilisés et les plus connus. Le Paraloid B-72 est le copolymère acrylique dont il a été question auparavant dans la section sur la consolidation mais, dans le cas des réparations, il est utilisé sous la forme d'une solution de résine et de solvant plus épaisse, qui prend par évaporation du solvant. Sa force est modérée, ce qui est particulièrement bien adapté aux objets en terre cuite, mais elle convient aussi pour les objets en grès cérame, en porcelaine et en verre.

Les adhésifs à base de résines époxy sont des résines thermodurcissables plus complexes. Elles se composent de deux parties, une *résine* et un *durcisseur*, qui, une fois mélangées, forment avec le temps un polymère solide et insoluble par réticulation. Il existe bien des adhésifs à base de résines époxy de très bonne qualité qui peuvent être utilisés en conservation (**tableau 1**); leurs propriétés d'emploi, leur temps de prise et leur stabilité varient (Koob, 2006).

Le Paraloid B-72 et les résines époxy possèdent à la fois des avantages et des inconvénients. Ils se comportent très différemment, et leur maîtrise requiert beaucoup d'expérience. Parmi les avantages du Paraloid B-72 figurent sa stabilité, sa réversibilité, son temps de prise rapide et son faible coût, comme il a déjà été mentionné. De plus, comme le Paraloid B-72 est une résine thermoplastique, il est facile de déplacer les joints, après leur durcissement, à l'aide d'un simple sèche-cheveux. Son seul inconvénient notable, surtout pour le verre, est la formation de fines bulles d'air dans le joint pendant l'évaporation du solvant. Les résines époxy sont donc privilégiées pour traiter les verres transparents.

Les adhésifs à base de résines époxy possèdent entre autres les inconvénients suivants : ils peuvent jaunir, surtout lorsqu'ils sont fortement exposés à la lumière (Down, 1986), leur force d'adhésion est extrêmement élevée, leur temps de prise est très long, leur durée de conservation est courte, et leur est coût élevé (Skeist, 1962; **figures 2** et **3**). Les adhésifs à base de résines

Tableau 1. Adhésifs à base de résines époxy couramment utilisés en conservation

Résine époxy	Indice de réfraction	Viscosité (mPa.s)	Temps de travail (heures)	Temps de prise (heures)	Stabilité (années)
Hxtal NYL-1	1,52	200-300	8-12	48-96	≤ 100
Epo-Tek 301	1,539	100-200	2-4	4-8	≤ 50
Epo-Tek 301-2	1,564	300-600	6-8	16-24	≤ 100
Fynebond	1,565	modérément faible	8-10	24-35	≤ 50
Araldite 2020	1,553	130	6-10	16	≤ 50

Figure 2. Jaunissement d'une résine époxy utilisée comme adhésif et matériau de comblement.

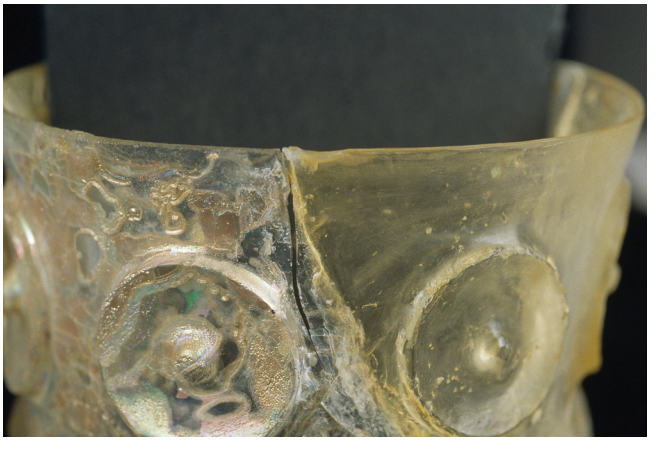


Figure 3. Dommages causés au verre par une résine époxy utilisée comme matériau de comblement.

époxy sont également presque insolubles une fois durcis, et il est très difficile de les enlever.

La préparation du Paraloid B-72 en vue de son utilisation comme adhésif

Plusieurs articles publiés sur la préparation et l'utilisation du Paraloid B-72 comme adhésif pour le verre et la céramique offrent des recettes et des instructions détaillées à ce sujet (Koob, 1986, 1996, 1999, 2006, 2009). Comme le Paraloid B-72 offert sur le marché a été modifié par l'ajout de nitrate de cellulose (Nel et Lau, 2009), il est fortement recommandé aux restaurateurs de ne pas préparer les solutions de Paraloid B-72 à l'avance, surtout dans le cas du verre et de la céramique.

La préparation des résines époxy en vue de leur utilisation comme adhésifs

De manière générale, les adhésifs à base de résines époxy ne nécessitent aucune préparation. Ils sont offerts sous forme de préparations à deux composantes. Il faut toujours prendre connaissance des recommandations du fabricant, de leur fiche signalétique et des indications relatives à leur durée de conservation et à leur entreposage avant de les utiliser. Puisque les résines époxy sont légèrement toxiques pendant leur manipulation, il faut porter des gants au moment de les mélanger. Une fois durcies, elles ne posent aucun danger pour la santé (Skeist, 1962, p. 327).

L'application du Paraloid B-72 et des adhésifs à base de résines époxy

Il faut soigneusement planifier les réparations et les assemblages avant de les entreprendre (Errett, 1972), peu importe l'adhésif qui est utilisé. Tous les fragments doivent être propres, secs et disposés selon l'ordre logique d'assemblage. Cela est particulièrement important pour les joints faits avec des adhésifs à base d'époxy, car il est impossible de les repositionner une fois que la résine a durci. Il est généralement recommandé de procéder à un « essai à blanc » pour déterminer dans quel ordre les morceaux doivent être assemblés. Il est alors possible d'utiliser du ruban adhésif, une cire collante (appliquée le long des joints) ou de très petites agrafes de métal placées en travers des joints et fixées à l'aide d'un adhésif à base de cyanoacrylate.

Les techniques d'assemblage

L'application du Paraloid B-72

Il existe plusieurs méthodes et techniques pour appliquer du Paraloid B-72 comme adhésif sur le verre et la céramique (**figure 4**). Une fois que l'ordre d'assemblage a été déterminé, les fragments sont disposés selon l'ordre dans lequel ils seront réunis. Il faut appliquer un apprêt ou un scellant sur les céramiques poreuses avant d'utiliser le Paraloid B-72, mais cette étape n'est pas nécessaire dans le cas des céramiques non poreuses et du verre. L'adhésif est ensuite appliqué sur l'un des bords du fragment à coller, et un assemblage « pièce par pièce » est effectué, en vérifiant chaque joint à mesure que l'assemblage progresse. Selon la taille et le poids des fragments à assembler, il est possible de soutenir les joints, de les faire tenir à l'aide de ruban adhésif ou de les positionner jusqu'à ce que l'adhésif ait pris. Le temps de prise du Paraloid B-72 varie considérablement (de quelques minutes à quelques heures) en fonction de la taille et de l'épaisseur des fragments assemblés ainsi que de la température ambiante. Les joints peuvent être examinés à l'aide d'un microscope binoculaire pour s'assurer qu'ils sont adéquats.

Une technique plus avancée, qui fonctionne bien pour la porcelaine et le verre très mince, mais pas pour la terre cuite, consiste à assembler tous les fragments à l'aide de ruban adhésif ou de petites brides chevauchant les joints, et à appliquer le Paraloid B-72 le long des fissures. Même s'il faut diluer l'adhésif (solution à 25 à 30 %), la technique peut s'avérer très efficace. Elle est couramment utilisée pour les applications de résines époxy (voir ci-dessous).

L'application d'adhésifs à base de résines époxy

En général, il n'est pas recommandé d'utiliser des adhésifs à base de résines époxy sur les céramiques poreuses, comme la terre cuite et la porcelaine émaillée à pâte tendre, car ces substances sont absorbées par les matières poreuses et produisent un assombrissement et des taches irréversibles. Ces adhésifs conviennent mieux aux céramiques cuites à haute température et au verre.

Comme les résines époxy sont très différentes des adhésifs à base de résines en solution dans des solvants, il faut apprendre de nouvelles techniques afin de pouvoir les appliquer (Koob, 2003). Bien qu'elles permettent de faire des réparations esthétiques et qu'il soit possible de choisir une résine époxy dont l'indice de réfraction correspond à celui du verre à réparer, leur préparation et leur utilisation exigent beaucoup de soin et de prudence (**figure 5**).

Les résines époxy peuvent être appliquées à l'aide de méthodes similaires à celles utilisées pour le Paraloid B-72 (décrites ci-dessus), par application directe « pièce par pièce » ou encore par pénétration par capillarité (la méthode qui est généralement préférée). La pesée et le mélange des éléments doivent être exacts pour obtenir des résultats fiables. Des résines époxy ont été utilisées avec succès pour stabiliser les craquelures dans des céramiques cuites à haute

Figure 4. Cruche hexagonale de l'époque romaine avant (image de gauche) et après (image de droite) traitement avec du Paraloid B-72.

Figure 5. Couvercle en verre antérieurement réparé avec du nitrate de cellulose (image de gauche), puis traité de nouveau avec du Hxtal NYL-1 (image de droite).

température ainsi que dans du verre. L'adhésif à base de résine époxy doit être utilisé dans l'heure qui suit son mélange, c'est-à-dire lorsque la viscosité est au plus bas.

Il faut enlever tout excès de résine époxy à la surface du verre ou de la céramique aussitôt que possible après l'application; sinon, il faudra utiliser des solvants très puissants ou des moyens mécaniques pour l'enlever, ce qui risque d'endommager la surface. Tant qu'il n'a pas durci, l'adhésif à base de résine époxy peut être enlevé facilement à l'aide d'acétone ou d'éthanol.

L'environnement de travail pour l'application des adhésifs

Même s'il a déjà été question des difficultés associées au travail dans un climat chaud, il faudrait préciser également que ni le Paraloid B-72 ni les adhésifs à base de résines époxy ne donneront des résultats uniformes et fiables si l'humidité ambiante est déraisonnablement élevée. Si le taux d'humidité dépasse 60 %, il devient alors difficile de travailler avec un adhésif, quel qu'il soit.

Les spécimens de vertébrés fossiles

Amy Davidson, Lisa Kronthal Elkin et Samantha Alderson, American Museum of Natural History

Les collections paléontologiques comprennent de nombreux types de fossiles. Dans la présente section, il sera question d'une catégorie de fossiles en particulier : les restes de vertébrés conservés dans les sédiments (ou matrice). Les vertébrés fossiles sont habituellement enchâssés dans une matrice; le fossile et sa matrice sont alors traités comme un seul spécimen. Les spécimens paléontologiques sont souvent traités en deux étapes : tout d'abord, sur le terrain, afin d'assurer leur stabilité pendant l'excavation et l'expédition, puis en laboratoire, où la matrice peut être partiellement ou complètement enlevée afin d'exposer le fossile à des fins de recherche ou en vue de son exposition. L'utilisation d'adhésifs est souvent une composante essentielle à l'efficacité du traitement sur le terrain et en laboratoire. Dans la plupart des cas, les adhésifs sont utilisés à des fins de consolidation, de collage et de comblement des vides.

Les adhésifs servent à de nombreuses tâches liées à la préparation des fossiles, et les propriétés des spécimens sur lesquels ils sont appliqués, notamment leur taille, leur densité et leur force, peuvent varier considérablement. Le choix de l'adhésif et la méthode d'application dépendent des propriétés physiques et chimiques du spécimen, du type de traitement nécessaire (p. ex. comblement des vides, consolidation, collage), des propriétés des adhésifs disponibles ainsi que des exigences du chercheur. En outre, la préparation nécessite dans bien des cas de retravailler des adhésifs utilisés sur les spécimens anciens et les spécimens fraîchement excavés; il faut donc en tenir compte au moment de choisir l'adhésif approprié.

Même si le traitement du fossile est souvent nécessaire, la présence d'adhésifs peut parfois nuire à la recherche scientifique. En fait, les adhésifs peuvent fausser les résultats d'analyse ou cacher certaines caractéristiques de surface (Tuross *et al*., 1994; Wittmeyer et Schweitzer, 2006, p. 140A; Fernández-Jalvo et Monfort, 2008). Les reconstitutions et les réparations cosmétiques peuvent induire les chercheurs en erreur. Pour éviter ces problèmes, les supports non adhésifs, la tomographie assistée par ordinateur, le prototypage rapide, le balayage de la surface et les reconstitutions numériques sont de plus en plus utilisés comme compléments ou substituts aux traitements classiques réalisés à l'aide d'adhésifs.

Propriétés du spécimen influant sur le choix de l'adhésif ou de l'agent de consolidation

La taille et la forme

La taille et la forme des spécimens de vertébrés fossiles varient considérablement, allant des énormes os de pattes de sauropodes aux minuscules osselets auriculaires de musaraignes. Ces différences ont une incidence importante sur le choix du traitement approprié. La consolidation et le collage de spécimens extrêmement petits présentent des difficultés particulières, qu'il est possible de surmonter à l'aide de solutions tout aussi particulières (Madsen, 1996). Ces traitements exigent l'application de quantités infimes d'adhésifs, puisque l'utilisation d'un excès de produit peut cacher les détails de la surface et peut être difficile à enlever sans endommager le spécimen. Les spécimens très lourds et de très grande taille exigent souvent l'utilisation d'adhésifs exceptionnellement forts, surtout pour les joints et les comblements. Les spécimens fragmentaires ou les éléments isolés d'un squelette, comme des côtes, des défenses, des saillies osseuses ou des collerettes, peuvent avoir des formes compliquées et difficiles à manier. Les contraintes inhérentes à ce genre de formes rendent les spécimens susceptibles de se rompre ou de se rompre de nouveau après avoir été réparés. Les stratégies de traitement peuvent comprendre la consolidation des parties à des fins de renforcement avant de les réunir, ou la formation d'un joint mobile ou d'un joint qui cédera sans causer d'autres cassures en privilégiant des adhésifs plus faibles et plus flexibles. Par ailleurs, il pourrait être préférable de construire un support permettant de maintenir les fragments en place plutôt que de les recoller avec des adhésifs.

La perméabilité et la densité du fossile et de sa matrice

La dureté, la force et la porosité des os fossilisés et de leurs matrices peuvent varier considérablement d'un spécimen à l'autre. Certains spécimens sont très fragiles à cause de leur porosité naturelle ou de la présence de craquelures ou de vides créés par l'érosion, tandis que d'autres sont extrêmement durs et denses. De manière générale, les spécimens

affaiblis et poreux nécessitent l'utilisation d'adhésifs plus mous et plus flexibles qui sont faciles à retravailler, ce qui assure une séparation continue de la matrice sans aucun risque de dommages. Les fossiles enchâssés dans des matrices très dures et très denses sont souvent récupérés par délogement, par réassemblage et par préparation au crayon pneumatique. Pour réassembler des pièces délogées, il faut utiliser un adhésif qui comblera les vides dans les parties manquantes de l'os, qui se comprimera pour former un feuil mince, et qui sera très fort une fois qu'il aura pris. Un tel adhésif permettra à l'os de supporter les forces et les vibrations auxquelles il sera soumis pendant le reste de la préparation. Les spécimens très denses ont souvent des fissures capillaires qui nécessitent l'utilisation d'un adhésif possédant une excellente capacité de pénétration par capillarité et une force élevée. Certaines matrices denses ne peuvent être séparées des os que par dissolution dans l'acide ou dans un autre produit chimique. Ce type de préparation exige l'utilisation d'agents de consolidation de surface ou de revêtements qui résisteront aux attaques susmentionnées et qui demeureront en place pendant des immersions répétées ainsi que pendant le rinçage (Lindsay, 1987).

La sensibilité à l'humidité et à l'humidité relative

Comme plusieurs types de fossiles sont instables, ils sont endommagés par les variations de la teneur en humidité et de l'humidité relative (HR); les fossiles particulièrement vulnérables sont ceux qui possèdent des structures stratifiées ou une composante organique, comme les défenses et les os peu fossilisés, les fossiles prélevés à l'état mouillé ou humide, les spécimens enchâssés dans des matrices hygroscopiques comme l'argile ou le schiste, ainsi que les fossiles contenant des sels ou de la pyrite. Les dommages qui peuvent être subis comprennent l'écaillage, le clivage, l'effritement et la cassure. L'application d'adhésifs est souvent utilisée, avec plus ou moins de succès, pour régler ces problèmes (Child, 1994; Newman, 1998; Rixon, 1976). Avant d'utiliser des adhésifs sur ce type de spécimens, il est essentiel d'éliminer à la source la cause des dommages et de l'instabilité en effectuant plusieurs interventions, comme enlever les sels solubles, sécher les spécimens à une vitesse appropriée et, surtout, entreposer les spécimens dans un milieu où les conditions sont stables.

Les traitements antérieurs

Dans bien des cas, les vertébrés fossiles faisant partie des collections ont subi une série de traitements. Il arrive souvent que les traitements antérieurs ne soient pas documentés, ce qui complique la réalisation d'un nouveau traitement à l'aide d'adhésifs. Les nouveaux traitements, comme l'application d'un revêtement en vue d'un moulage, peuvent perturber ou déstabiliser les traitements antérieurs; ce phénomène est particulièrement critique dans le cas des joints petits ou minces, qui peuvent facilement se dissoudre de nouveau. Les spécimens qui ont été moulés à de nombreuses reprises gardent souvent des traces de plasticine, de cire ou d'agents de démoulage qui peuvent nuire aux réparations ou aux nouveaux traitements. De plus, la contamination par d'anciens adhésifs à base de cire, notamment au niveau des joints et des vides, peut compromettre l'adhésion. Ces problèmes illustrent bien l'importance de documenter en détail tous les traitements auxquels sont soumis les fossiles, y compris les applications d'adhésifs.

Les conditions de traitement sur le terrain

Les fossiles sont souvent traités en dehors d'un laboratoire, sur le terrain. Le milieu extérieur pose des difficultés particulières, comme les rigueurs du climat (p. ex. températures élevées, HR élevée, froid, pluie, vent, etc.) et l'accès limité à certaines ressources (p. ex. adhésifs, solvants, outils). Ces facteurs peuvent avoir une incidence considérable sur le choix de l'adhésif et de la méthode d'application. La préparation du fossile peut nécessiter l'utilisation de différents adhésifs, selon qu'elle est effectuée en laboratoire ou sur le terrain.

Agents de consolidation et adhésifs utilisés pour les spécimens de vertébrés fossiles

La consolidation

Parmi les facteurs importants à retenir pour la consolidation des spécimens de fossiles figurent le degré de pénétration de l'agent de consolidation, la possibilité de le retravailler, sa force et sa stabilité. Le degré de pénétration dépend de plusieurs propriétés, dont la viscosité, le temps de prise et la capacité à mouiller la surface. Il peut être difficile d'obtenir une consolidation profonde et uniforme dont la force est adéquate. Une consolidation irrégulière et trop forte peut nuire davantage à un spécimen peu résistant que l'absence de consolidation. La préparation des fossiles exige

souvent une consolidation temporaire avant ou pendant l'enlèvement de la matrice, ce qui peut laisser une couche épaisse et lustrée à la surface. Il est primordial d'enlever l'excès de matrice consolidée ainsi que les produits appliqués en surface à mesure que le traitement progresse, en prenant bien soin de ne pas endommager l'os. La stabilité à long terme des agents de consolidation doit également être prise en compte puisque, même si les adhésifs sont utilisés à des fins de stabilisation temporaire pendant la préparation, ils laissent souvent des résidus sur le spécimen traité.

Pour ce qui est de la consolidation des fossiles, des solutions de résines synthétiques dans un solvant sont fréquemment utilisées, notamment des solutions de poly(butyrals de vinyle) (PBV) comme le Butvar B-76 ou le Butvar B-98 (**figure 1**), d'acryliques (le plus souvent du Paraloid B-72) et de poly(acétates de vinyle) (PACV), comme le McGean B-15 (autrefois appelé Vinac B-15). Ces résines sont toutes polyvalentes. Il est possible de modifier leurs propriétés en changeant le solvant, la concentration et la technique d'application. Comme elles demeurent solubles après la prise, elles peuvent être retravaillées ou enlevées facilement. La plupart d'entre elles se sont montrées stables au fil du temps, ce qui préserve la possibilité de les retravailler à long terme. Elles ont toutefois tendance à migrer vers la surface lors de la prise, ce qui rend difficile toute pénétration en profondeur. Les agents de consolidation de surface ayant une faible température de transition vitreuse (T_v), notamment certains PACV de faible masse moléculaire, peuvent devenir collants et accumuler la poussière, surtout lorsque la température d'entreposage est élevée (Horie, 1987, p. 92).

Pour traiter les spécimens mouillés ou humides, il faut employer des agents de consolidation aqueux, habituellement des acryliques en dispersion (p. ex. Acrysol WS-24, Primal WS-24, Rhoplex B-60A). Ces adhésifs ne sont pas solubles dans l'eau après la prise, ce qui les rend plus difficiles à retravailler. De plus, étant donné que leur durée de conservation est courte, il faut souvent remplacer les stocks de ces produits, ce qui peut être coûteux et peu pratique. Lorsqu'il est nécessaire d'utiliser une solution aqueuse, les acryliques en dispersion sont préférables aux dispersions de PACV, tout particulièrement les produits commerciaux comme Elmer's Glue-All, qui, en plus d'être acides, contiennent de nombreux additifs et sont susceptibles de mal vieillir (Down, 2009).

Les cyanoacrylates sont davantage utilisés comme agents de consolidation pour la préparation des fossiles que dans n'importe quelle autre spécialité du domaine de la conservation. Puisqu'ils ont une très faible viscosité, ces monomères liquides non dilués ont une meilleure capacité à pénétrer dans de nombreux

Figure 1. Consolidation avec du Butvar B-76.

substrats fossiles poreux et à imbiber par capillarité les fissures capillaires. Comme ils sont utilisés sans solvant, les cyanoacrylates laissent un dépôt plus important de polymère que les adhésifs en solution et, contrairement à ces derniers, leur migration n'a pas tendance à s'inverser. Cependant, la pénétration profonde qui caractérise les cyanoacrylates n'est pas toujours nécessaire et elle peut, dans certains cas, ne pas être souhaitable, notamment lorsqu'il faut éviter de contaminer l'intérieur des os (Tuross *et al*., 1994). Les cyanoacrylates ont beaucoup d'autres propriétés qui peuvent être indésirables, la principale étant leur persistance. Après la prise, il est très difficile, voire impossible de les enlever ou de les retravailler sans causer de dommages, et ils peuvent lier de manière irréversible la matrice et l'os. Ils sont extrêmement durs et peuvent se contracter après la prise; s'ils sont appliqués sur des spécimens très affaiblis et très poreux, ils peuvent les endommager (Vestergaard et Horie, 1996). Les cyanoacrylates de faible viscosité sont peu efficaces pour le comblement des vides et, parfois, ils peuvent pénétrer profondément sans toutefois assurer une consolidation efficace (comme chez les spécimens comportant des fissures ouvertes). Seuls quelques résultats de recherche ont été publiés sur les propriétés de vieillissement des cyanoacrylates appliqués sur les fossiles; selon les résultats qui sont disponibles, les cyanoacrylates se détérioreraient plus rapidement sur les substrats fossiles ayant un pH neutre ou alcalin (Down *et al*., 2006). L'utilisation d'accélérateurs pour cyanoacrylates, notamment sous forme de produits à vaporiser, afin de former un joint instantané n'est pas recommandée, car ces produits ont tendance à donner une vive couleur verte, jaune ou bleue aux fossiles, vraisemblablement par réaction avec le fer (Howie, 1984).

La formation de joints et le comblement des vides

Au moment de choisir un adhésif pour former un joint ou combler des vides dans le cas d'un vertébré fossile, il faut privilégier avant tout une force adéquate et une bonne stabilité à long terme. La résine acrylique Paraloid B-72, qui est utilisée pour former des joints sur une grande variété d'objets, y compris sur des fossiles, est un bon adhésif tout usage possédant une force modérée et d'excellentes propriétés de vieillissement (Koob, 1986). Elle peut également être mélangée à diverses matières pour obtenir une vaste gamme d'agents de comblement fort utiles (Larkin et Makridou, 1999; Wolf, 2009). Les PACV peuvent être utilisés pour former des joints, mais comme certains d'entre eux ont une T_v proche de la température ambiante, ils peuvent céder si le joint est soumis à des contraintes ou si le spécimen est entreposé dans un milieu chaud (Horie, 1987, p. 92). Les PBV peuvent être utilisés pour préparer des agents de comblement et des supports qu'il est facile de solubiliser de nouveau. La capacité d'enlèvement et la stabilité de toutes ces résines en solution constituent des avantages, car il est souvent nécessaire de réajuster ou de désassembler des fragments pour corriger des erreurs ou pour intégrer un nouveau fragment.

Les résines en solution ne conviennent pas toujours pour former des joints ou combler les vides dans le cas des fossiles. Afin de former des joints sur des spécimens lourds et de grande taille, il faut utiliser des matières plus fortes, comme des adhésifs à base de résines époxy, alors que le comblement des vides peut nécessiter l'utilisation de mastic époxy commercial. Malheureusement, les adhésifs à base de résines époxy peuvent être difficiles à enlever ou à retravailler. Pour éviter ce problème, une couche protectrice soluble (p. ex. Paraloid B-72) peut être appliquée. Il s'agit d'une technique très répandue pour coller la pierre, d'autant plus que sa résistance et son efficacité ne sont plus à prouver (Podany *et al*., 2001). Tout comme les dispersions, les adhésifs liquides à base de résines époxy ont une courte durée de conservation, ce qui est peu commode. De plus, la stabilité des adhésifs à base de résines époxy varie considérablement d'un produit à l'autre; il est donc important d'utiliser une résine époxy éprouvée et stable. Il faut éviter d'utiliser les produits commerciaux bas de gamme, comme les résines époxy à prise rapide, qui sont susceptibles de mal vieillir (Horie, 1987, p. 173; Down, 1986).

Pour ce qui est de la formation de joints, il est particulièrement important de tenir compte de caractéristiques comme la pégosité et le temps de prise au moment de choisir un adhésif. La résine Paraloid B-72 peut être préparée sous forme de solution dans l'acétone, ce qui lui procure une bonne pégosité et un temps de prise rapide; ces propriétés sont fort utiles pour l'assemblage rapide de fragments qu'il est difficile de supporter ou de placer dans un étau. Cependant, l'évaporation du solvant à partir des joints peut être lente lorsque les surfaces de liaison sont grandes. Le Paraloid B-72 peut mettre beaucoup de temps à prendre complètement, ce qui peut entraîner un affaisement, surtout dans le cas de joints en porte-à-faux réunissant des morceaux lourds et de grande taille. Les très petits joints offrent leur propre lot de difficultés. En gouttelettes minuscules, les adhésifs en solution ont une tension superficielle élevée et un temps de prise très rapide, ce qui les rend difficiles à contrôler sous forme de micropréparation. Il est souvent préférable de choisir un produit dont le temps de prise est plus lent pour les très petits joints.

En gouttelettes minuscules, les adhésifs à base de résines époxy possèdent un temps de prise assez long, ce qui permet d'effectuer des ajustements (Amaral, 1994). En pareil cas, il faut soupeser l'avantage que procurent les résines époxy (temps de prise moins rapide) par rapport à ses désavantages (force et insolubilité).

Méthodes d'application

Les méthodes d'application les plus courantes pour la consolidation consistent à utiliser un flacon compressible, un compte-gouttes ou un pinceau. La pénétration des adhésifs en solution peut être améliorée grâce à plusieurs méthodes d'application, notamment le mouillage préalable avec des solvants, le recouvrement pour retarder l'évaporation, et l'utilisation d'enceintes à vapeur. Plusieurs types de fossiles et de matrices s'affaiblissent une fois mouillés; par conséquent, il est peu courant de les immerger, y compris sous vide (Rixon, 1976). Un flacon compressible, un tube ou un pinceau peut être utilisé pour appliquer les adhésifs en vue de former des joints. Beaucoup de restaurateurs et de préparateurs utilisent des tubes autochargeables (appelés tubes « Koob », du nom de leur inventeur) pour appliquer des adhésifs en solution visqueuse comme le Paraloid B-72 (solution à 50 % dans l'acétone) (Koob, 1986). Il existe quelques méthodes pour appliquer avec précision des cyanoacrylates de faible viscosité. Une de ces méthodes consiste à utiliser des pinces fines imbibées de gouttelettes du produit; une autre consiste à gratter, à l'aide d'une aiguille, des fibres de carton également imbibées du produit (Amaral, 1994).

La plupart des mélanges utilisés pour le comblement des vides dans les vertébrés fossiles, qu'il s'agisse de produits commerciaux comme les mastics époxy ou de mélanges visqueux d'adhésifs liquides et d'agents gonflants, sont simplement versés et pressés à l'aide d'une spatule. Parfois, il est plus facile d'appliquer les produits de comblement en versant un agent gonflant sec dans les craquelures, puis en ajoutant l'agent de consolidation. À moins que le comblement ne soit temporaire (notamment pour stabiliser la matrice pendant la préparation), les surfaces sont habituellement travaillées pour leur procurer un aspect net et distinct de la véritable surface du spécimen. Parfois, le produit de comblement est coloré, mais il n'est généralement pas nécessaire de faire correspondre exactement les couleurs ou de procéder à des interventions cosmétiques poussées au moment de traiter des fossiles.

La pierre

George Wheeler[1], Programme de préservation historique, Université Columbia

Les adhésifs sont utilisés pour réparer la pierre depuis fort longtemps. Des matières naturelles telles que la gomme-laque, la colle animale, la caséine, la cire d'abeille et les résines de pin étaient couramment utilisées vers la fin du XVII^{e} siècle pour réparer des sculptures en pierre, une pratique qui s'est poursuivie jusque pendant la majeure partie du XX^{e} siècle. Une avancée majeure fut la mise au point, à la fin du XIX^{e} siècle, de matières naturelles modifiées par des procédés synthétiques, ainsi que de résines entièrement synthétiques. Au milieu du XX^{e} siècle, toutes les classes d'adhésifs qui sont actuellement utilisées pour la conservation de la pierre avaient déjà été formulées.

La réparation de la pierre à l'aide d'adhésifs englobe plusieurs interventions importantes, la plus courante étant la réunion de surfaces fracturées ou de surfaces irrégulières qui s'emboîtent les unes dans les autres. Cette intervention est toutefois mal documentée dans les publications du domaine de la conservation (Jorjani *et al*., 2009). Étonnamment, la tâche la moins courante, à savoir la consolidation de pierres fragiles à l'aide de matières généralement considérées comme étant des adhésifs, fait l'objet de nombreuses publications.

Les restaurateurs s'empressent toujours de signaler qu'il n'existe pas de frontière claire entre l'utilisation d'adhésifs pour coller ensemble des morceaux de pierre dont les surfaces sont bien ajustées, et l'utilisation d'adhésifs pour remplir les vides entre des surfaces mal ajustées de manière à coller ces surfaces ensemble. En fait, presque tous les adhésifs dont il sera question ci-après sont également employés pour remplir des vides, indépendamment de leur capacité d'adhésion.

Après examen des publications et consultation auprès des restaurateurs, force est de constater que la gamme d'adhésifs actuellement utilisés est relativement restreinte; les résines acryliques de type Paraloid, les adhésifs à base de résines époxy de diverses viscosités et, dans une moindre mesure, les résines de polyester et de poly(acétate de vinyle) (PACV), sont tous employés. Les formulations commerciales utilisées pour la consolidation de la pierre sont à base d'alcoxysilanes, alors que les formulations spécialement conçues à cette fin contiennent des résines acryliques ou des mélanges de résines acryliques et de résines de silicone.

Propriétés et état de l'objet influant sur le choix de l'adhésif

La force et la réversibilité

L'un des premiers facteurs à considérer, lorsqu'il s'agit de réparer de la pierre, est la force de l'adhésif. Les spécialistes en sciences des matériaux utilisent le terme de *ténacité* pour décrire la résistance à la propagation de fissures dans le cas des joints nouvellement formés. Évidemment, la ténacité ou la force est une qualité essentielle pour des matières denses comme la pierre, dont la densité se situe entre 1 600 et 3 000 kg/m^{3}. L'apparition des résines de polyester et des résines époxy, dans les années 1940, et leur adoption presque instantanée dans le domaine de la conservation, a semblé résoudre la question de la ténacité. Cependant, une autre caractéristique de ces adhésifs préoccupe les restaurateurs : leur réversibilité limitée, voire nulle. En effet, l'adoption rapide des résines de polyester et des résines époxy pour la conservation de la pierre pourrait être largement attribuable à l'utilisation généralisée de ces produits et à leur efficacité dans le secteur industriel et le secteur de la construction, où une force élevée est essentielle, mais où la réversibilité n'est ni importante ni souhaitable. Un produit, semble-t-il, peut être fort ou réversible, mais pas les deux.

Les mécanismes et le temps de prise

La préférence accordée aux adhésifs thermodurcissables très forts, comme les résines époxy et les résines de polyester, pour la réparation de la pierre pourrait susciter l'étonnement, dans la mesure où, pendant des centaines d'années, des adhésifs naturels comme la gomme-laque, la colle animale, la caséine, la cire d'abeille et les résines de pin ont été employés avec succès. Ces adhésifs sont en général réversibles,

[1] Nous tenons à remercier les restaurateurs suivants, qui ont bien voulu nous faire part de leur expérience et leurs connaissances en matière de conservation de la pierre : Kent Severson, Mark Rabinowitz, Trevor Proudfoot, Irving Slavid, John Griswold et Tom Roby.

certains plus difficilement que d'autres. La force supérieure des résines thermodurcissables est souvent mise en évidence, mais leur prise rapide est encore plus attrayante puisqu'elle réduit la durée pendant laquelle il faut soutenir les éléments de pierre pendant que l'adhésif durcit.

De nos jours, lorsque vient le temps de choisir un adhésif pour la réparation d'un joint, il faut d'abord se poser la question suivante : faut-il utiliser un adhésif thermodurcissable ou un adhésif thermoplastique? Dans le domaine de la conservation, la question est encore plus précise : faut-il utiliser une résine organique catalysée, qui prend relativement rapidement par réticulation et qui devient ainsi très forte, mais qui ne peut pas être dissoute à l'aide d'un solvant après la prise, ou faut-il plutôt utiliser une résine qui est dissoute dans un solvant au moment de l'application, qui a un temps de prise par évaporation du solvant relativement lent et peu de force, mais qui peut être dissoute de nouveau dans un solvant bien des années plus tard?

La configuration du joint

Pour réunir des morceaux de pierre, il faut former un joint parallèle au sol, perpendiculaire au sol ou en angle par rapport au sol. Selon le type de joint, les surfaces réunies subissent des contraintes de compression (p. ex. une statue cassée au niveau du genou), de traction (p. ex. une statue dont un bras sans support, orienté vers le bas, est cassé au niveau du coude), de flexion (p. ex. une statue dont le bras allongé est fracturé à la verticale au niveau du coude) ou de cisaillement (p. ex. une statue dont le genou est cassé à un angle de 45 degrés). Selon leur configuration, les joints peuvent nécessiter des adhésifs pouvant supporter différentes contraintes; les contraintes de cisaillement, de flexion et de traction nécessitent habituellement des adhésifs plus forts que les contraintes de compression. De plus, ces joints nécessitent souvent l'installation de goujons ou de tiges (voir la section intitulée *Les goujons et les tiges* ci-dessous). Le temps de prise peut également entrer en ligne de compte. Il est plus difficile de maintenir des morceaux de pierre en place pendant de longues périodes s'ils subissent des contraintes de cisaillement, de flexion ou de traction; une prise plus rapide est alors souhaitable.

Les solvants pour les résines thermoplastiques

Lorsque des résines thermoplastiques comme des résines acryliques ou des résines de PACV sont employées, les propriétés du solvant utilisé ont une incidence sur l'efficacité du joint à court terme et à long terme. Bien sûr, le premier élément à considérer est que le solvant puisse dissoudre la résine. Heureusement, bon nombre de résines acryliques et de résines de PACV sont solubles dans une vaste gamme de solvants (alcools, cétones, solvants de type Cellosolve, solvants chlorés ou aromatiques). Au cours des dernières décennies, les solvants aromatiques ont été presque entièrement délaissés (p. ex. xylènes et toluène) pour des résines comme le Paraloid B-72, principalement par souci de protection de la santé humaine. Les solvants aromatiques étaient privilégiés pour leur pression de vapeur basse ou leur taux d'évaporation lent, lesquels faisaient en sorte que les adhésifs pouvaient être travaillés pendant plus longtemps, ainsi que pour leur capacité à mouiller aisément les surfaces en raison de leur faible tension superficielle. Aujourd'hui, en conservation, ce sont les mélanges d'acétone et d'éthanol qui sont utilisés à leur place. Non seulement ces solvants sont moins nocifs pour la santé humaine, mais encore leur pression de vapeur élevée et leur taux d'évaporation rapide permettent de réduire les résidus de solvant dans la résine, lesquels peuvent entraîner un fluage de l'adhésif.

La viscosité

L'un des avantages que confère le mélange d'un solvant avec un adhésif à base de résine thermoplastique est que la viscosité de la solution peut être ajustée en fonction de l'utilisation prévue. Dans le cas de réparations, la formulation doit pouvoir mouiller la surface de la pierre. En ajoutant plus de solvant, il est possible d'obtenir des solutions assez diluées pour qu'elles puissent pénétrer les substrats moins poreux, comme le marbre et le granite. Les substrats plus poreux, comme le grès, le calcaire et le tuf volcanique, peuvent nécessiter moins de solvant ou encore l'ajout d'un agent gonflant, comme la silice sublimée, afin d'obtenir la viscosité désirée. Il faut également prendre en compte le taux d'évaporation du solvant. Dans le cas des solvants à pression de vapeur élevée, comme l'acétone, la viscosité initiale peut être idéale, mais la perte rapide du solvant par évaporation peut entraîner un accroissement rapide de la viscosité, ce qui limite le mouillage et donne un adhésif filandreux à forte tension superficielle.

Dans le cas des résines thermodurcissables catalysées, comme les résines époxy et les polyesters, la dilution dans un solvant peut compromettre le durcissement; d'ailleurs, la pratique n'est généralement pas recommandée par les fabricants. C'est pourquoi la limite inférieure de viscosité est régie par le choix du produit comme tel. Dans le cas des résines époxy, il existe quelques produits à faible viscosité, alors que les adhésifs à base de polyesters ont habituellement

une viscosité allant de celle du sirop à celle du beurre d'arachides. Les résines époxy comme les adhésifs à base de polyester peuvent être additionnés d'agents gonflants pour accroître leur viscosité.

La pression, l'épaisseur du joint et la couverture

Un autre élément qu'il faut considérer avec attention, au moment d'utiliser des résines organiques pour effectuer une réparation, est l'épaisseur du joint. Malheureusement, les publications dans le domaine de la conservation ne fournissent pas d'indications claires à ce sujet. Bradley (1984) a fixé à 30 µm la limite inférieure d'épaisseur d'un joint, affirmant que la quantité d'adhésif sera insuffisante si les joints n'ont pas cette épaisseur minimale. Aucune mention n'est faite des joints dont l'épaisseur est supérieure à 30 µm. Podany *et al*. (2001), quant à eux, indiquent que l'épaisseur généralement considérée comme acceptable pour un joint se situe entre 100 et 300 µm et que les joints moins épais ou plus épais comportent trop de vides, ce qui crée des faiblesses dans la couche d'adhésif. Pour les objets nécessitant de nombreuses réparations, comme une statue dont la jambe est cassée à plusieurs endroits, la formation de joints de cette épaisseur pourrait causer un déplacement de plus de 1 mm sur la longueur de la jambe. Pour leur part, Jorjani *et al*. (2009) ont déterminé par mesure directe que des joints d'une épaisseur de 20 à 50 µm étaient stables dans le cas de la réparation du marbre avec divers adhésifs thermoplastiques et thermodurcissables.

La pression appliquée sur les surfaces jointes à l'aide d'un adhésif aura une incidence sur l'épaisseur du joint et, par conséquent, sur la quantité d'adhésif qu'il peut retenir. Dans le cas du marbre, des pressions de 0,03 à 1,4 MPa ont été appliquées. À 1,4 MPa, il ne restait plus d'adhésif, et les surfaces de contact se sont tout simplement détachées. À 0,03 MPa, les surfaces de contact se détachaient facilement par une simple traction, tandis qu'à 0,7 MPa (la pression finalement choisie), il était difficile, mais toujours possible, de détacher les surfaces. La pression idéale dépend de la viscosité de l'adhésif et de la porosité du substrat, d'où le besoin, sur le terrain, d'ajuster la pression en fonction de ces deux paramètres.

Pour que l'efficacité de l'adhésif soit optimale, la couverture complète des surfaces de contact est essentielle. Tout manque d'adhésif représente un point faible où des fissures peuvent se produire facilement et se propager dans la couche d'adhésif. À l'inverse, il peut être souhaitable de former des joints qui n'optimisent pas la force ou la ténacité d'un adhésif donné. Dans ces circonstances, une couverture incomplète des surfaces de contact réduira la ténacité globale du joint.

Les considérations relatives à l'environnement

Dans la plupart des environnements intérieurs, les fluctuations de la température et de l'humidité relative (HR), tout comme l'exposition aux rayons ultraviolets (UV), auront peu d'effet sur les systèmes de réparation à l'aide d'adhésifs mentionnés jusqu'ici. Dans le cas d'exposition à des conditions extrêmes à l'intérieur ou d'exposition à l'extérieur, d'autres facteurs entrent en ligne de compte, les plus importants étant la stabilité en présence d'eau et la température de transition vitreuse (T_v). Étant donné que la majeure partie de l'adhésif utilisé pour réunir deux surfaces n'est pas exposée à la lumière, la stabilité aux rayons UV ou aux rayons solaires ne revêt pas une grande importance.

La stabilité en présence d'eau désigne la capacité d'une matière à ne pas être perturbée par une exposition à l'eau ou à une humidité élevée. Parmi les adhésifs mentionnés jusqu'à présent, ce sont les adhésifs à base de résines époxy qui sont les plus stables en présence d'eau, suivis des résines acryliques. Les résines de PACV et les résines de polyester, quant à elles, ne sont pas très stables en présence d'eau.

En ce qui concerne la T_v, il n'est pas surprenant que les résines thermodurcissables, comme les résines époxy et les résines de polyester, soient performantes; certaines résines acryliques ont néanmoins une T_v pouvant atteindre 105 °C. Les matières deviennent plastiques lorsque leur T_v est dépassée; le joint peut donc céder s'il est exposé à des températures élevées pendant de longues périodes.

Les goujons et les tiges

Afin de joindre des morceaux de pierre, un adhésif peut être utilisé en combinaison avec des goujons ou des tiges. Des goujons et des tiges sont souvent utilisés pour neutraliser les contraintes de cisaillement, de flexion et de traction que l'adhésif seul ne pourrait supporter. En fait, pendant des milliers d'années, pour joindre mécaniquement des morceaux de pierre de grande taille, des tiges de fer entourées de plomb, lequel avait été mis en place soit par coulage à l'état fondu, soit par martelage, ont été utilisées. Aujourd'hui, ce procédé est effectué à l'aide de laine de plomb, et les tiges sont fixées à l'aide de résines époxy ou de résines de polyester thixotropiques ou sous forme de mastic, ou encore, à l'aide de plâtre ou

de mortier de ciment. Pour assurer la réversibilité, il faut d'abord recouvrir la pierre de gomme-laque ou d'une résine thermoplastique qui sert de barrière contre la résine thermodurcissable ou le mortier inorganique (Podany *et al.*, 2001). Les matières les plus volumineuses sont employées pour combler les vides et fournir un support physique, plutôt que pour leurs propriétés adhésives particulières.

FACTEURS INFLUANT SUR LE CHOIX D'UN AGENT DE CONSOLIDATION

GÉNÉRALITÉS

Lorsque de nouveaux adhésifs ont fait leur apparition au XX^{e} siècle, ils ont d'abord servi à consolider les pierres fragiles. Au début du XX^{e} siècle, les opérations de consolidation de la pierre menées dans les musées faisaient appel à des huiles siccatives, comme l'huile de bois de Chine, ou encore à d'autres matières naturelles, comme la cire d'abeille. Cependant, ces produits ont rapidement cédé leur place à la cire de paraffine et, plus tard, à un large éventail de résines organiques. De nos jours, la gamme des produits utilisés se limite à quelques résines acryliques. À partir de la fin du XIX^{e} siècle, les ouvrages en pierre situés à l'extérieur étaient plus souvent traités avec des agents de consolidation de type alcoxysilane à base de silicate d'éthyle ou avec des mélanges de résines acryliques et de résines de silicone, une pratique qui se maintient encore de nos jours.

LA VISCOSITÉ ET LA PROFONDEUR DE PÉNÉTRATION

La viscosité de l'agent de consolidation utilisé pour la pierre est l'un des facteurs les plus importants à considérer. La pierre est constituée de réseaux poreux dans lesquels les agents de consolidation doivent pénétrer. La viscosité doit être inférieure à 2 à 3 x 10^{-6} m^2/s pour assurer une pénétration adéquate dans les pores les plus petits. La profondeur de pénétration devrait être d'au moins un centimètre mais, idéalement, toute la zone détériorée devrait être remplie.

Les résines thermoplastiques ont l'avantage de se dissoudre dans des solvants afin d'obtenir la viscosité désirée. Dans le cas des agents de consolidation, le facteur de dilution nécessaire pour assurer une pénétration adéquate est beaucoup plus élevé (1 à 10 % en volume). Les résines thermodurcissables, comme les résines époxy, ont aussi été utilisées pour la consolidation; toutefois, même les résines thermodurcissables les moins visqueuses doivent être diluées pour pénétrer adéquatement dans la pierre.

L'une des caractéristiques intéressantes des agents de consolidation à base d'alcoxysilane est que leur viscosité inhérente est assez faible, éliminant ainsi le besoin de les diluer. Les monomères peuvent avoir une viscosité d'à peine 0,4 x 10^{-6} m^2/s alors que les formulations commerciales d'oligomères ont une viscosité allant de 0,8 à 2 x 10^{-6} m^2/s.

LE CHOIX DU SOLVANT

Les agents de consolidant à base d'alcoxysilanes ont le net avantage de ne pas exiger de solvant. Dans le cas des résines organiques et des polymères, qu'ils soient thermoplastiques ou thermodurcissables, il faut choisir un solvant dont les paramètres de solubilité, la viscosité, la pression de vapeur et les conditions particulières de sécurité sont compatibles. Le solvant doit pouvoir dissoudre l'agent de consolidation, et la viscosité doit être assez faible pour que la profondeur de pénétration soit adéquate. De plus, à mesure que le solvant s'évapore, l'agent de consolidation doit demeurer en place après avoir pénétré à la profondeur voulue. Si le solvant se lie trop étroitement à la résine (les paramètres de solubilité du solvant et de la résine sont trop similaires) ou que la pression de vapeur du solvant est trop élevée, le solvant ramènera l'agent de consolidation à la surface lors de l'évaporation (migration inverse).

L'INCIDENCE DU TYPE DE PIERRE ET DES CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

L'un des avantages des polymères acryliques est qu'ils adhèrent bien à une vaste gamme de substrats. Les géologues distinguent souvent les pierres comme appartenant à deux principaux types : les roches constituées principalement de minéraux silicatés, comme le quartz et le feldspath, et les roches constituées de minéraux carbonatés, comme la calcite. Ainsi, un polymère comme le Paraloid B-72 est aussi efficace comme adhésif que comme agent de consolidation dans le cas du grès, du calcaire, du granite ou du marbre. Pour leur part, les agents de consolidation à base d'alcoxysilane conviennent mieux aux silicates qu'aux carbonates en raison de la compatibilité chimique entre les polymères silicatés et les minéraux silicatés. Ils sont néanmoins utilisés sur le calcaire et le marbre parce qu'ils sont stables en présence d'eau et de rayons UV (voir la section intitulée *Les agents de consolidation* ci-dessous).

LES CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'ENVIRONNEMENT

La consolidation de la pierre se fait tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Comme il a été mentionné précédemment, de nombreuses matières ont servi

à traiter des pierres fragiles dans des milieux où les conditions sont contrôlées, tels les musées. Au cours des dernières décennies, la gamme de matières utilisées pour effectuer des traitements s'est limitée considérablement, au point de n'inclure que des alcoxysilanes et des résines acryliques dissoutes dans différents solvants (les préoccupations à cet égard sont les mêmes que celles mentionnées précédemment). À l'extérieur, où les objets sont exposés aux rayons solaires, à des fluctuations de l'humidité et de la température ainsi qu'aux précipitations, les traitements de consolidation ne se font qu'avec une gamme limitée de formulations d'alcoxysilanes ou de mélanges de résines acryliques et de résines de silicone. L'avantage des agents de consolidation à base d'alcoxysilane, outre le fait qu'ils ont une T_v élevée, est que le gel résultant, essentiellement un gel de silice, est stable aux rayons UV, à l'hydrolyse ainsi qu'à d'autres formes de décomposition chimique dans une large gamme de pH. Les polymères organiques résistent moins bien à la dégradation en milieu extérieur, quoique certaines résines acryliques possèdent une bonne stabilité. Leur faible T_v est source de préoccupations, car le taux d'encrassement augmente lorsque la T_v est atteinte ou dépassée. On se demande souvent si les agents de consolidation devraient être hydrofuges tout en renforçant les objets. La plupart des restaurateurs préfèrent appliquer un traitement hydrofuge distinct plutôt que d'essayer de trouver un produit qui soit à la fois hydrofuge et consolidant.

LA CONSOLIDATION ET LA RÉVERSIBILITÉ

Comme pour tous les traitements, la question de la réversibilité doit être abordée. Les agents de consolidant à base d'alcoxysilane forment des réseaux de silicates réticulés semblables à ceux présents dans les silicates naturels. La stabilité du gel est attribuable à ces réseaux, qui sont inamovibles une fois formés. Les résines thermoplastiques, quant à elles, peuvent être dissoutes de nouveau dans un solvant après leur dépôt, même de nombreuses années après leur application en milieu extérieur. Cependant, comme les traitements de consolidation visent souvent des pierres fragiles, l'objet risque d'être endommagé encore plus en tentant d'enlever l'agent de consolidation. Le caractère irréversible des agents de consolidation à base d'alcoxysilane ainsi que les risques associés à l'enlèvement des résines thermoplastiques ont donné lieu à une nouvelle notion selon laquelle le traitement envisagé doit permettre des traitements ultérieurs avec la même matière ou une matière différente. Les deux types d'agents de consolidation ont montré qu'ils permettaient, dans une large mesure, des traitements ultérieurs.

FACTEURS INFLUANT SUR LE CHOIX DU MATÉRIAU DE COMBLEMENT

Griswold et Uricheck (1998) ont fait une excellente compilation, encore valable aujourd'hui, des méthodes et des matières utilisées pour combler les vides présents dans la pierre. Bon nombre des questions découlant des réparations faites à l'aide d'adhésifs et des traitements de consolidation sont également pertinentes dans le cas des réparations plastiques (comblements).

Pour ce qui est des applications faites à l'intérieur, la stabilité en présence d'eau et de rayons UV n'est pas aussi importante; cependant, même dans ce type de milieu, la couleur des polymères changera au fil du temps, en partie parce qu'une surface beaucoup plus grande est exposée lorsqu'utilisés comme matériau de comblement que lorsqu'utilisés comme adhésif ou agent de consolidation. Des résines thermoplastiques et des résines thermodurcissables ont été utilisées avec une vaste gamme de matériaux de comblement en milieu intérieur à des fins esthétiques. Puisque les conditions dans lesquelles un traitement est effectué sont contrôlées, le temps de prise est un facteur moins important.

Pour ce qui est des applications faites à l'extérieur, tous les facteurs mentionnés ci-dessus, c'est-à-dire la stabilité en présence d'eau, la stabilité aux rayons UV et le temps de prise, entrent en ligne de compte. Les résines de polyester à durcissement rapide peuvent être très avantageuses à l'extérieur. Il est toutefois surprenant que leur utilisation soit aussi répandue, étant donné leur sensibilité à l'eau et à la lumière. Plus récemment, les résines époxy sont devenues les produits de choix pour les réparations plastiques en raison de leur grande stabilité. Un peu comme dans le cas de la pose de goujons et de tiges, des couches protectrices de résines thermoplastiques sont souvent appliquées sur la surface des pierres avant de procéder aux réparations plastiques pour assurer la réversibilité du traitement; cette pratique ne se limite pas aux traitements réalisés à l'extérieur.

Il n'existe pas de distinction claire entre les matières utilisées strictement comme adhésifs et celles utilisées comme matériaux de comblement des vides. Cela est particulièrement vrai pour les objets archéologiques ou les sculptures et les monuments brisés se trouvant à l'extérieur, dont les surfaces de contact ont été altérées par les intempéries ou qui ont des morceaux manquants. Afin de combler ces vides, des particules inorganiques sont souvent ajoutées aux adhésifs pour leur donner plus de volume. Il est également possible

de modifier du ciment, du mortier à base de chaux hydraulique ou des matières de réparations plastiques avec de la caséine ou des dispersions acryliques compatibles avec l'eau afin d'assurer une meilleure adhésion lors de l'application initiale.

Sommaire des adhésifs et des agents de consolidation actuellement utilisés pour la conservation de la pierre

Les adhésifs et les matériaux de comblement

Les résines acryliques

Le Paraloid B-44, le Paraloid B-48N et le Paraloid B-72 ainsi que les mélanges de Paraloid B-48N et de Paraloid B-72, ont une force nettement supérieure à celle normalement associée aux résines thermoplastiques (Jorjani *et al.*, 2009; Koob, 1991). Le Paraloid B-72 possède une bonne résistance à la lumière, mais sa T_v est relativement basse (40 °C).

Les résines époxy

Les fabricants Abatron, Bonstone, AKEMI, Sika et Hilti proposent tous une vaste gamme d'adhésifs thixotropiques. Il existe également des produits à plus faible viscosité, notamment les résines Epo-Tek, Hxtal NYL-1, Ablebond et Araldite.

Les résines de polyester

Même si le produit AKEMI Marmorkitt 1000 a été utilisé, il est de moins en moins courant de recourir aux résines de polyester pour la conservation de la pierre.

Les produits hybrides

Plusieurs produits hybrides ont été utilisés, dont la caséine et la chaux hydraulique, des dispersions acryliques et du ciment (Edison Coatings), ainsi que de la cire d'abeille et de la résine de pin.

Les agents de consolidation

Plusieurs fabricants, notamment Wacker Chemie AG (Allemagne), Remmers Limited (Allemagne et Royaume-Uni), COLCOAT Co., Ltd. (Japon), Evonik (Allemagne et États-Unis) et PROSOCO, Inc. (États-Unis), proposent des agents de consolidation d'alcoxysilanes, principalement à base de silicate d'éthyle. Une version hydrophobe et une version hydrophile de ces agents de consolidation sont généralement proposées; Remmers propose des variétés élastomères et des variétés conçues spécifiquement pour la calcite. Le Paraloid B-72 et les variétés génériques de poly(méthacrylate de méthyle) sont les principales résines organiques utilisées pour la consolidation. Une préparation spéciale, souvent appelée « Bologna Cocktail », est constituée d'un mélange de Paraloid B-72 et d'une résine de silicone (Dri-Film 104; General Electric).

Références

Abréviations

AIC	American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
GCI	The Getty Conservation Institute
ICC	Institut canadien de conservation
ICOM	Conseil international des musées
ICOM-CC	Conseil international des musées – Comité pour la conservation
ICCROM	Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels
IIC	Institut international pour la conservation des oeuvres historiques et artistiques
IPC	Institute of Paper Conservation
JACCR	Journal de l'Association canadienne pour la conservation et la restauration
JAIC	Journal of the American Institute for Conservation
JIIC-GC	Journal de l'Institut international pour la conservation – Groupe canadien
SPNHC	The Society for the Preservation of Natural History Collections
SSCR	Scottish Society for Conservation and Restoration
UKIC	United Kingdom Institute for Conservation

Accumetric LLC. *Boss® 181 Cyano-Gel, Material Safety Data Sheet*, Elizabethtown (Kentucky), Accumetric LLC, 14 août 2000.

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). *TLVs® and BEIs® Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*, Cincinnati (Ohio), Signature Publications, 2011.

Ackroyd, P. « Glue-Paste Lining of Paintings: An Evaluation of the Bond Performance and Relative Stiffness of Some Glue-Paste Linings », dans *Lining and Backing: The Support of Paintings, Paper and Textiles. UKIC Conference Proceedings, 7–8 November 1995*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1995, p. 83-91.

Ackroyd, P. « Glue-Paste Lining of Paintings: An Evaluation of Some Additive Materials », dans *ICOM-CC 11th Triennial Meeting, Edinburgh, Scotland, 1–6 September 1996: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1996, p. 231-238.

Ackroyd, P. « Recent Structural Conservation Treatments for Canvas Paintings at the National Gallery, London », dans *Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti: Atti del convegno, Thiene (VI), 29-30 ottobre 2004, Secondo congresso internazionale, Colore e conservazione materiali e metodi nel restauro delle opere policrome mobili* (sous la direction de CESMAR7), Saonara (Italie), Il Prato, 2005, p. 45-51.

Adams, A. *The Story of Animal Glue: How It Is Made and Graded*, Staffordshire (Royaume-Uni), Alfred Adams & Co., vers 1980.

Adhesives Digest, 9e éd., Englewood (Colorado), International Plastics Selector, 1997, p. A-2-A-17.

Agnew, N. « The Use of Silicones in the Preservation of a Field Site – The Lark Quarry Dinosaur Trackways », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 87-91.

Agrawal, O.P. *Conservation of Manuscripts and Paintings of South-East Asia*, Londres (Royaume-Uni), Butterworths, 1984.

AIC Textile Specialty Group. « Consolidation/Stabilization – Adhesive Methods », *Textile Conservation Catalogue, Part VI*, Washington (D.C.), AIC Textile Specialty Group, 2011.

AkzoNobel. *Bermocoll E481 FQ* (en ligne). Sur Internet : <URL : http://talasonline.com/photos/instructions/Ethulose_INFO.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Albright, G.E., J.-J. Chen et K. Jennings. « Treatment Options for Paper Negatives », *Topics in Photographic Preservation*, 10 (2003), p. 19.

Alderson, S., J.L. Down et G. Young. « The Poly(vinyl acetate) Resin Project » (non publié), 2012.

Al-Khawam, E.M., D.M. Brewis et M.D. Glasse. « Cyanoacrylate Adhesives of Potential Medical Use », dans *Adhesion 7: 20th Annual Conference on Adhesion and Adhesives*, Londres (Royaume-Uni), Applied Science Publishers, 1983, p. 109-133.

Allard, D., et K.B. Katz. « Quantitative Study: The Effect of Sized Materials and "Drying Time" in the Use of Lascaux 360 HV as a Lining Adhesive », *JAIC*, vol. 26, nº 1 (1987), p. 19-26.

Allen, N.S., J.P. Binkley, B.J. Parsons, G.O. Phillips et N.H. Tennent. « Spectroscopic Properties and Photosensitivity of Epoxy Resins », *Polymer Photochemistry*, vol. 2, nº 2 (1982), p. 97-107.

Allen, N.S., J.P. Binkley, B.J. Parsons, G.O. Phillips et N.H. Tennent. « Photofading of Anthraquinone Disperse Dyes in Epoxy Resin Films: Photoreduction, Energy Transfer and Photostabilization Processes », *Dyes and Pigments*, vol. 4, nº 1 (1983), p. 11-24.

Allington, C. « Consolidation of Cellulosic Fibre Materials », dans *Symposium 86 : L'entretien et la sauvegarde des matériaux ethnologiques* (sous la direction de R. Barclay *et al.*), Ottawa (Ontario), ICC, 1986, p. 192-199.

Altibrandi, M.G., et M.C. Sclocchi. « Preservation of Miniature Painting: Microbiological Research on a Few Adhesives », dans *International Conference on Conservation*

and Restoration of Archival and Library Materials, Erice (Italy), CCSEM, 22nd–29th April, 1996, Erice (Italie), Istituto centrale per la patologia del libro, 1996, p. 261-274.

Amaral, W.W. « Microscopic Preparation », dans *Vertebrate Paleontological Techniques, vol. 1* (sous la direction de P. Leiggi et P. May.), Londres (Royaume-Uni), Cambridge University Press, 1994, p. 129-140.

Anastassiades, A. « The Conservation of Moosehair Embroidered Birch Bark Souvenirs », *JIIC-GC*, vol. 26 (2001), p. 15-26.

Anderson, M.J., et M.S. Podmaniczky. « Preserving the Artifact: Minimally Intrusive Treatment at the Winterthur Museum », dans *Wooden Artifacts Group Preprints 1990* (en ligne), Washington (D.C.), AIC, 1990. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/wag/1990/WAG_90_anderson.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Angus, A., et S.-V. Joram. « The Conservation of Some Leather Upholstery from Brodsworth Hall », dans *Interim Meeting on the Treatment of and Research into Leather, in Particular of Ethnographic Objects, ICOM-CC Working Group No. 10, Amsterdam, 5–8 April 1995* (sous la direction de P.B. Hallebeek et J.A. Mosk), Amsterdam (Pays-Bas), Central Research Laboratory, 1995, p. 96-98.

Angus, A., T. Sturge et A. Arponen. « Phillip Webb Settle », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 325-328.

Anonyme. « Saving the Titanic », *Adhesives Age*, vol. 42, nº 6 (1999), p. 45-47.

Appelbaum, B. « Criteria for Treatment: Reversibility », *JAIC*, vol. 26, nº 2 (1987), p. 65-73.

Ardis, A.E. *Preparation of Monomeric Alkyl Alpha-cyano-acrylates*, brevets des États-Unis numéros 2 467 926 et 2 467 927, 1949.

Arslanoglu, J. « Using Aquazol: A Brief Summary », *AIC Paintings Specialty Group Postprints*, vol. 17 (2005), p. 107-110.

Arslanoglu, J., et C. Tallent. « Evaluation of the Use of Aquazol as an Adhesive in Paintings Conservation », *WAAC (Western Association for Art Conservation) Newsletter*, vol. 25, nº 2 (2003), p. 12-18.

ASTM D907-05. « Standard Terminology of Adhesives », dans *Annual Book of ASTM Standards*, Conshohocken (Pennsylvanie), ASTM International, 2006, p. 36-45.

ASTM D1583-01. « Standard Test Method for Hydrogen Ion Concentration of Dry Adhesive Films », dans *Annual Book of ASTM Standards*, Conshohocken (Pennsylvanie), ASTM International, 2006, p. 101-102.

ASTM D1729-96. « Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences in Diffusely-Illuminated Opaque Materials », dans *Annual Book of ASTM Standards*, Conshohocken (Pennsylvanie), ASTM International, 2006, p. 217-220.

ASTM D2244-05. « Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates », dans *Annual Book of ASTM Standards*, Conshohocken (Pennsylvanie), ASTM International, 2006, p. 239-248.

ASTM E313-05. « Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates », dans *Annual Book of ASTM Standards*, Conshohocken (Pennsylvanie), ASTM International, 2006, p. 867-871.

Atsuhisa, O., T. Horikoshi et H. Hoshiro. « Polyvinylalcohol Fiber Reinforced Cement-based Composites », *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 12, nº 2 (2006), p. 101-108.

Augerson, C.C., et J.M. Messinger II. « Controlling the Refractive Index of Epoxy Adhesives with Acceptable Yellowing After Aging », *JAIC*, vol. 32, nº 3 (1993), p. 311-314.

Baer, N.S., N. Indictor et A. Joel. « An Evaluation of Glues for Use in Paper Conservation », dans *Conservation and Restoration of Pictorial Art*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 1976, p. 182-190.

Baer, N.S., N. Indictor et W.H. Phelan. « An Evaluation of Poly(vinyl acetate) Adhesives for Use in Paper Conservations », *Restaurator*, vol. 2 (1975), p. 121-138.

Baer, N.S., N. Indictor, T.I. Schwartzman et I.L. Rodenberg. « Chemical and Physical Properties of Poly(vinyl acetate) Copolymer Emulsions », dans *ICOM-CC 4th Triennial Meeting, Venice, 13–18 October 1975: Preprints*, Paris (France), ICOM, 1975b, p. 75/22/5-1-19.

Bainbridge, T. « Making BEVA® 371 Hot-melt Glue Sticks » (affiche), dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Baker, C.A. « Methylcellulose and Sodium Carboxymethylcellulose: An Evaluation for Use in Paper Conservation », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 55-59.

Baker, W., et G. Hill. *Treatment of a 1913 Photographic Panorama on Cloth*, Ottawa (Ontario), Ottawa Conservation Studio, 1987.

Baldwin, A. « Predicting Failure in Hinges: Measurement of a Lap/Shear Bond Between Japanese Tissue, Wheat Starch Paste and Oil-saturated Newsprint », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 17 (1998), p. 9-27. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v17/bp17-03.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Ballard, M.W. « The Removal of Crosslinked Synthetic Latex from Carpets: Preliminary Results », dans *ICOM-CC 8th Triennial Meeting, Sydney, Australia, 6–11 September 1987:*

Preprints (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), GCI, 1987, p. 331-338.

BALLARD, M.W. « Hide Glue: Traditional Advantages and Disadvantages », dans *The Conservation of 18th-Century Painted Silk Dress*, New York (New York), Metropolitan Museum of Art, 1995, p. 134-145.

BANZA, H. « Weissleim in der Papierrestaurierung [La colle blanche en restauration du papier] », Maltechnik Restauro, vol. 83, nº 3 (1977), p. 179-182.

BANTOCK, K. *A Study of Two Heat-Activated Lining Adhesives*, 1980. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

BARCLAY, R.L., et D.W. GRATTAN. « A Silicone Rubber/ Microballoon Mixture for Gap Filling in Wooden Objects », dans *ICOM-CC 8th Triennial Meeting, Sydney, Australia, 6–11 September 1987: Preprints* (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), GCI, 1987, p. 183-187.

BARROW, W.J. *Permanence/Durability of the Book – IV, Polyvinyl Acetate (PVA) Adhesives for Use in Library Bookbinding*, Richmond (Virginie), W.J. Barrow Research Laboratory, 1965.

BARTON, A.F.M. *Handbook of Solubility Parameters and Other Cohesion Parameters*, 2e éd., Boca Raton (Floride), CRC Press, 1991, p. 95-119.

BARTON, G. « The Conservation of the Maori Birdman Kite in the Auckland Museum, New Zealand », dans *Symposium 86 : L'entretien et la sauvegarde des matériaux ethnologiques* (sous la direction de R. Barclay *et al.*), Ottawa (Ontario), ICC, 1986, p. 186-191.

BASS, S.C. *An Experiment to Determine the Suitability of Six Synthetic Resins as Protective Coatings for Archival Papers*, 1976. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

BASTA, A.H. « Performance of Improved Polyvinyl Alcohol as an Ageing Resistance Agent », *Restaurator*, vol. 25, nº 2 (2004), p. 129-140.

BAUMANN, M.G.D., et A.H. CONNER. « Carbohydrate Polymers as Adhesives », dans *Handbook of Adhesive Technology* (sous la direction de A. Pizzi et K.L. Mittal), New York (New York), Marcel Dekker, 1994, p. 299-313.

BAYNES-COPE, A.D. « The Dismounting of Dry Mounted Photographic Prints », *Restaurator*, vol. 2, nº 1 (1972), p. 1-3.

BAYNES-COPE, A.D. « An Organic Solvent for Dissolving Old Flour Paste », *Restaurator*, vol. 2, nº 1 (1972b), p. 25-27.

BEAUMONT, I. « Alum Tawed Gloves, Having Belonged to Oliver Cromwell », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royame-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 293-295.

BEAUMONT, I., et T. STURGE. « Dining Chairs », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 287-292.

BEDE, D. « Ethylene Vinyl Acetate Emulsions », communication présentée au *Symposium on the Use of Adhesives and Consolidants in Textile Conservation*, New York (New York), 1993.

BEENTJES, G. « Mouth Glue: An Old Fashioned Remoistenable Adhesive », *PapierRestaurierung*, vol. 6, nº 2 (2005), p. 13-15.

BÉGIN, P.L., et E. KAMINSKA. « Thermal Accelerated Ageing Test Method Development », *Restaurator*, vol. 23, nº 2 (2002), p. 89-105.

BELARD, R., H. HIGUCHI et J. PERRY. « Furunori (Aged Wheat Starch Paste): Challenges of Production in Non-traditional Settings », *Journal of the Institute of Conservation*, vol. 32, nº 1 (2009), p. 31-51.

BELAYA, I.K. « Glue for the Restoration of Leather Bindings », dans *Collection of Materials on the Preservation of Library Resources*, Jérusalem (Israël), Israel Program for Scientific Translation, 1958, p. 168-179.

BELLOLI, L. « Fieux Linings from the 1980s », dans *Mechanical Behaviour of Paintings: Experiences and Theory, Gerry Hedley Memorial Forum, October 23, 1993*, s.l., IIC-Groupe canadien, 1993.

BELLUCI, R., P. CREMONESI et G. PIGNAGNOLI. « A Preliminary Note on the Use of Enzymes in Conservation: The Removal of Aged Acrylic Resin Coatings with Lipase », *Studies in Conservation*, vol. 44, nº 4 (1999), p. 278-288.

BEMILLER, J.N., et R.L.WHISTLER. *Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives*, 2e éd., New York (New York), Academic Press, 1973.

BENNETT, G., J. KLINGEN, P.L. GEISS et T. NEEB. « Structural Bonding Tape: An Innovation in Adhesive Bonding », *Adhesives Age* (septembre 1996), p. 19-23.

BENTLEY, D.J. « Making It Stick – Defining and Using Permanent PSAs », *Paper Film & Foil Converter* (avril 1997).

BERGER, G.A. « Testing of Adhesives for the Consolidation of Paintings », dans *IIC-American Group Technical Papers From 1968 Through 1970*, New York (New York), Conservation Center of the Institute of Fine Arts of New York University, 1970, p. 63-71.

BERGER, G.A. « Formulating Adhesives for the Conservation of Paintings », dans *Conservation of Paintings and the Graphic Arts* (sous la direction de N. Brommelle et P. Smith), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1972, p. 613-630.

BERGER, G.A. « Testing Adhesives for the Consolidation of Paintings », *Studies in Conservation*, vol. 17, nº 6 (1972b), p. 173-194.

BERGER, G.A. « Heat-seal Lining of a Torn Painting with BEVA 371 », *Studies in Conservation*, vol. 20, nº 3 (1975), p. 126-151.

BERGER, G.A. « Formulating Adhesives for the Conservation of Paintings », dans *Conservation and Restoration of Pictorial Art* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), Butterworths, 1976, p. 169-181.

BERGER, G.A. « Letter to the Editor », *The Abbey Newsletter*, vol. 13, nº 5 (1989), p. 89.

BERGER, G.A., et W.H. RUSSELL. *Conservation of Paintings: Research and Innovations*, Londres (Royame-Uni), Archetype Publications, 2000.

BERNSTEIN, B. « Collaborative Strategies for the Preservation of North American Indian Material Culture », *JAIC*, vol. 31, nº 1 (1992), p. 23-30.

BETTEMBOURG, J.M. « Essais de collage des vitraux brisés », dans *Compte rendu du 8e colloque du Corpus Vitrearum Medii Aevi, York-Cambridge-Canterbury, 25 septembre-1 octobre 1972*, Champs-sur-Marne (France), Laboratoire de recherche des monuments historiques, 1972, p. 53.

BETTEMBOURG, J.M. « Étude de mastics élastomères – Le masticage des panneaux de vitraux anciens », dans *Conservation in Archaeology and the Applied Arts, Preprints of the Contributions to the Stockholm Congress, IIC, 2–6 June 1975*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 1975, p. 137-138.

BHAT, S., M.J. ASKEW, G. NJUS et D.J. SMITH. « Alkyl Cyanoacrylates as Space Filling Bone Adhesives », *Journal of Applied Biomaterial*, vol. 3, nº 3 (1992), p. 207-210.

BICCHIERI, M., et B. MUCCI. « Hydroxypropyl Cellulose and Polyvinyl Alcohol on Paper as Fixatives for Pigments and Dyes », *Restaurator*, vol. 17, nº 4 (1996), p. 238-251.

BICCHIERI, M., M. BORTOLANI et E. VECA. « Characterization of Low-molecular-weight Polyvinyl Alcohol for Restoration Purposes », *Restaurator*, vol. 14, nº 1 (1993), p. 11-29.

BISHARA, S.E., R. AJLOUNI et J. LAFFOON. « Effect of Thermocycling on the Shear Bond Strength of a Cyanoacrylate Orthodontic Adhesive », *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, vol. 123, nº 1 (2003), p. 21-24.

BLACKSHAW, S.M., et S.E. WARD. « Simple Tests for Assessing Materials for Use in Conservation », dans *Resins in Conservation: Proceedings of the Symposium, Edinburgh 1982*, Édimbourg (Royaume-Uni), SSCR, 1983.

BLANK, S., et C. STAVROUDIS. « Solvents and Sensibility Part I: No Teas-ing, Part II: Teas-Busters », *WAAC (Western Association for Art Conservation) Newsletter*, vol. 11, nº 2 (mai 1989), p. 2-7.

BLÜHER, A., G. BANIK, K. MAURER et E. THOBOIS. « The Application of Carbopol™ Gels and Enzyme Containing Methylcellulose Gels for Removal of Starch Based Adhesives in Albums », dans *Erice 96: International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials Preprints, vol. 1 and 2*, Rome (Italie), Istituto centrale per la patologia del libro, 1996, p. 791-809.

BLÜHER, A., G. BANIK, K. MAURER et E. THOBOIS. « The Application of Enzyme-containing Methylcellulose Gels for the Removal of Starch-based Adhesives in Albums », dans *ICOM-CC 11th Triennial Meeting, Edinburgh, Scotland, 1–6 September 1996: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1996b, p. 494-499.

BLUM, D. « An Evaluation of Some Uses of Synthetic Resins in Textile Conservation », dans *Resins in Conservation, SSCR Proceedings of the Symposium Edinburgh*, Édimbourg (Royaume-Uni), SSCR, 1982, p. 8-1-8-8.

BØGH, L., A. KETNATH et M. THORVILDSEN. « Experiments with Vinnapas Dispersion EP1 », *Meddelelser om Konservering*, 5 (1975), p. 135-144.

BONET, M., S. MUÑOZ-VIÑAS et F. CASES. « A Note on the Reversibility of Cellulose Ethers: Detection on Artwork Surfaces Using Modified FTIR », *Restaurator*, vol. 28, nº 1 (2007), p. 29-38.

BONET, M., C. QUIJADA, S. MUNOZ et F. CASES. « The Roles of the Degree of Substitution and the Degree of Polymerization on the Behaviour of Cellulose Ethers Applied as Adhesives for Artwork in Conservation », *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 19, nº 2 (2005), p. 95-108.

BONNOT-DICONNE, C. « La restauration des jazz-bands du musée d'Art et d'Industrie de Roubaix », dans *Instruments pour demain : conservation et restauration des instruments de musique : 9es journées d'études de la Section française de l'IIC, Limoges, 15-16 juin 2000*, Champs-sur-Marne (France), Section française de l'IIC, 2000, p. 143-147.

BONNOT-DICONNE, C., et J.-P. FOURNET. « Study & Restoration of a Gilt Leather Venetian Shield », dans *Préoccupations récentes concernant le textile, le cuir et la législation : publications concernant le cuir, Athènes (Grèce), 21 au 24 avril 2004* (sous la direction de T. Sturge), s.l., ICOM-CC Groupe de travail « Cuir et matériaux associés », 2007, p. 61-63.

BONNOT-DICONNE, C., et P. HOFFMANN (directeurs de publication). *Actes de la 7e Conférence du Groupe de travail Matériaux archéologiques organiques humides de l'ICOM-CC, Grenoble 1998*, Grenoble (France), ARC-Nucléart, 1999.

BORCH, J., M.B. LYNE, R.E. MARK et C.C. HABEGER. *Handbook of Physical Testing of Paper, vol. 2*, 2e éd., New York (New York), Marcel Dekker, 2002.

BOSE, P., Y. SANKARANARAYANAN et S. SENGUPTA. *Chemistry of Lac*, Namkum (Inde), Indian Lac Research Institute, 1963.

BOUILLON, N., et F. FOHRER. « Study of Pest Infestation of Glue-Paste Lined Easel Paintings: Characterization of Traditional Glue-Paste Recipes and Their Relevant Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry », dans *ICOM-CC 15th Triennial Conference, New Delhi, 22–26 September 2008: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), New Delhi (Inde), Allied Publishers PVT, 2008, p. 660.

BOULTON, A. « The Examination, Treatment and Analysis of a Pair of Boots from the Aleutian Islands Including a Note About Possible Pesticide Contamination », *JAIC*, vol. 25, nº 1 (1986), p. 1-13.

BOUSTEAD, W. « La conservation et la restauration des peintures de chevalet », dans *La préservation des biens culturels*, Paris (France), UNESCO, 1969, p. 205-224.

BRACCI, S., et M.J. MELO. « Correlating Natural Ageing and Xenon Irradiation of Paraloid® B72 Applied on Stone », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 80, nº 3 (2003), p. 533-541.

BRADLEY, S. « Strength Testing of Adhesives and Consolidants for Conservation Purposes », dans *Adhesives and Consolidants*: *IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 22-25.

BRADLEY, S. « Evaluation of Hxtal NYL-1 and Loctite 350 Adhesives for Glass Conservation », dans *ICOM-CC 9th Triennial Meeting, Dresden, German Democratic Republic, 26–31 August 1990: Preprints* (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), ICOM-CC, 1990, p. 669-674.

BRADLEY, S. « Evaluation of Loctite 350 Adhesive for Glass Conservation », *The British Museum Report*, nº 4 (1990b).

BRADSHAW, L. « Silicone Adhesives Removal », *Conservation News*, 48 (1992), p. 11-12.

BRANDIS, R.L. « Animal Glue », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 123-134.

BRAUER, G.M., J.W. KUMPULA, D.J. TERMINI et K.M. DAVIDSON. « Durability of the Bond Between Bone and Various 2-Cyanoacrylates in an Aqueous Environment », *Journal of Biomedical Materials Research*, vol. 13, nº 4 (1979), p. 593-606.

BREWIS, D.M. « Selection and Performance of Adhesives », dans *Industrial Adhesion Problems* (sous la direction de D.M. Brewis et D. Briggs), New York (New York), Wiley, 1985, p. 128-147.

BROCK, D. « Board Reattachment », *Abbey Newsletter*, vol. 24, nº 6 (avril 2001), p. 97.

BRÜCKLE, I. « Update: Remoistenable Lining with Methyl Cellulose Adhesive Preparation », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 15 (1996), p. 25-26. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v15/bp15-03.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

BRÜCKLE, I. « Update: Remoistenable Lining with Methyl Cellulose Adhesive Preparation », *Topics in Photograph Preservation*, 7 (1997), p. 88-90.

BS EN 1245:2011 – Adhesives. Determination of pH, Londres (Royame-Uni), British Standards Institute, mai 2011.

BUCH, K., M. PENNING, E. WÄCHTERSBACH, M. MASKOS et P. LANGGUTH. « Investigation of Various Shellac Grades: Additional Analysis for Identity », *Drug Development and Industrial Pharmacy*, vol. 35, nº 6 (2009), p. 694-703.

BUCK, S.L. « A Study of the Properties of Commercial Liquid Hide Glue and Traditional Hot Hide Glue in Response to Changes in Relative Humidity and Temperature », dans *AIC Wooden Artifacts Group Session*, Richmond (Virginie), AIC, 1990.

BURKE, J. « Solubility Parameters », dans *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 3 (1984). Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v03/bp03-04.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

BUTVAR. *Butvar®: Polyvinyl Butyral Resin, Properties and Uses* (en ligne), 2006. Sur Internet : <URL : www.butvar.com/pdfs/en/Butvar_Properties_and_Uses.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

BUYS, S., et V. OAKLEY. *The Conservation and Restoration of Ceramics*, Oxford (Royame-Uni), Butterworth-Heinemann, 1993, p. 190.

BUZZEGOLI, E., L. LANDI et D. MINOTTI. « The Phenomenon of Diffusion of Materials Used for Painting Consolidation in a Porous Support », dans *The Care of Painted Surfaces, Materials and Methods for Consolidation and Scientific Methods to Evaluate Their Effectiveness, Proceedings of the Conference, Milan, November 10–11, 2006, Third International Conference. Colour and Conservation Materials and Method in the Conservation of Polychrome Artworks* (sous la direction de CESMAR7), Padoue (Italie), Il Prato, 2008, p. 79-87.

CAGLE, C.V. (directeur de publication). *Handbook of Adhesive Bonding*, New York (New York), McGraw-Hill Book Company, 1973.

CAGNA, M., et D. RIGGIARDI. « Control of Sublimation Time of Cyclododecane Used as a Temporary Fixative », dans *The Care of Painted Surfaces, Materials and Methods for Consolidation and Scientific Methods to Evaluate Their Effectiveness, Proceedings of the Conference, Milan, November 10–11, 2006, Third International Conference. Colour and Conservation Materials and Method in the Conservation of Polychrome Artworks* (sous la direction de CESMAR7), Padoue (Italie), Il Prato, 2008, p. 89-94.

CAINS, A. « In-situ Treatment of Manuscripts and Printed Books in Trinity College, Dublin », dans *Conservation and Preservation in Small Libraries* (sous la direction de N. Hadgraft et K. Swift), Corpus Christi College, Cambridge (Royaume-Uni), Parker Library Publications, 1994, p. 127-129.

CAINS, A. « Binding Solution to Old Problems », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 225-230.

CALDARARO, N. « Point of View », *Paper Conservation News,* nº 55 (1990).

CALNAN, C. « Conservation of Leather Upholstery on the 1894 Panhard-Levassor Motor Car at the Science Museum, London », dans *Conservation of Leather in Transport Collection*s (sous la direction de C. Calnan), Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1991, p. 31-34.

CALNAN, C. « The Conservation of Spanish Gilt Leather - An Introduction », dans *Conservation of the Iberian and Latin American Cultural Heritage, Preprints of the Contributions to the Madrid Congress, 9–12 September 1992* (sous la direction de H. Hodges, J.S. Mills et Perry Smith), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1992, p. 23-25.

CALNAN, C., R. SELM et B. HAINES. *The Conservation of Automobile and Carriage Leathers*, Londres (Royaume-Uni), Science Museum, 1991.

CALNAN, C., R. SELM et B. HAINES. « Conservation of Automobile and Carriage Leathers », *UKIC Conservation News*, 11 (1991b), p. 1-30.

CAMEO (Conservation & Art Material Encyclopedia Online). *Museum of Fine Arts, Boston, Material Record: Rhoplex B-60-A* (en ligne), 2007. Sur Internet : <URL : http://cameo.mfa.org/wiki/Rhoplex_B-60-A>. Page consultée le 7 janvier 2015.

CAMEO. *Museum of Fine Arts, Boston, Material Record: Cellulose Acetate* (en ligne), 2010. Sur Internet : <URL : http://cameo.mfa.org/wiki/Cellulose_acetate>. Page consultée le 7 janvier 2015.

CAMEO. *Museum of Fine Arts, Boston, Material Record: Paraloid* (en ligne), 2010b. Sur Internet : <URL : http://cameo.mfa.org/wiki/Paraloid>. Page consultée le 7 janvier 2015.

CAMEO. *Museum of Fine Arts, Boston, Material Record: Paraloid B-72* (en ligne), 2013. Sur Internet : <URL : http://cameo.mfa.org/wiki/Paraloid_B-72>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Cameron, E., J. Spriggs et B. Wills. « The Conservation of Archaeological Leather », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Londres (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 244-263.

Campo Francés, G., A. Nualart Torroja, M. Oriola Folch et C. Ruiz Recasens. « A Study of the Effects of PVAC on Works of Art on Paper and Wood: pH and Colour Changes », dans *Holding It All Together: Ancient and Modern Approaches to Joining, Repair and Consolidation* (sous la direction de J. Ambers *et al.*), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2009, p. 157-163.

Cannon, A. « Interactions Between Adhesives From Natural Sources and Paper Substrates », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Carretti, E., L. Dei et P. Baglioni. « Solubilization of Acrylic and Vinyl Polymers in Nanocontainer Solutions. Applications of Microemulsions and Micelles to Cultural Heritage Conservation », *Langmuir*, vol. 19, nº 19 (2003), p. 7867-7872.

Cassman, V., N. Odegaard et J. Powell. *Human Remains: Guide for Museums and Academic Institutions*, Lanham (Maryland), Altamira Press, 2006, p. 80-94.

Castro, E.A., et M.T. Doménech Carbó. « An Appraisal of the Properties of Adhesives Suitable for the Restoration of Spanish Medieval Ceramics », dans *The Conservation of Glass and Ceramics, Research, Practice and Training* (sous la direction de N.H. Tennent), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1999, p. 114-131.

Celina, M., K.T. Gillen et R.A. Assink. « Accelerated Aging and Lifetime Prediction: Review of Non-Arrhenius Behaviour Due to Two Competing Processes », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 90, nº 3 (2005), p. 395-404.

Chang, S.T. « Effect of Light Wavelength on the Surface Properties of Nitrocellulose Coatings », *Mokuzai Gakkaishi*, vol. 41, nº 11 (1995), p. 1053-1058.

Chapman, S., et D. Mason. « Literature Review: The Use of Paraloid B-72 as a Surface Consolidant for Stained Glass », *JAIC*, vol. 42, nº 2 (2003), p. 381-392.

Chapman, V. « The Conservation of a Group of North American Indian Moccasins: A Textile Conservator's Approach », dans *Recent Advances in the Conservation and Analysis of Artifacts, University of London Institute of Archaeology Jubilee Conservation Conference* (sous la direction de J. Black), Londres (Royaume-Uni), Summer School Press, 1987, p. 207-210.

Charola, A.E. « Silanes, siloxanes, silicones et esters de l'acide silicique », dans *La dégradation et la conservation de la pierre, texte des cours internationaux de Venise sur la restauration de la pierre* (sous la direction de L. Lazzarini et R. Pieper), Paris (France), UNESCO, 1988, p. 241-244.

Charola, A.E., A. Tucci et R.J. Koestler. « On the Reversibility of Treatments with Acrylic/Silicone Resin Mixtures », *JAIC*, vol. 25, nº 2 (1986), p. 83-92.

Charola, A.E., G.E. Wheeler et G.G. Freund. « The Influence of Relative Humidity in the Polymerization of Methyl Trimethoxy Silane », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 177-181.

Charola, A.E., R. Rossi-Manaresi, R.J. Koestler, G.E. Wheeler et A. Tucci. « SEM Examination of Limestones Treated with Silanes or Prepolymerized Silicone Resin in Solution », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984b, p. 182-184.

Chemquest. *Vinyl Acetate Ethylene (VAE) Copolymers (50%+Acetate) – European Adhesives* (en ligne), Cincinnati (Ohio), The Chemquest Group, Inc., s.d. Sur Internet : <URL : www.chemquest.com/store/vinyl-acetate-ethylene-copolymers-european-adhesives.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Chemtools. *8444 High Temperature Ethyl Cyanoacrylate Adhesive* (en ligne), feuille de données techniques, Australie, Chemtools Pty Ltd, s.d. Sur Internet : <URL : http://archive-au.com/page/4564112/2014-09-15/http://www.chemtools.com.au/index.php/adhesives/cyanoacrylate/638-8444-high-temperature-ethyl-cyanoacrylate-adhesive->. Page consultée le 7 janvier 2015.

Chen, J.-J., R. Herrera, P. Ravines, R. Wiegandt, S. Pénichon et M. Sirven. « Reversible Mounting Techniques for the Display of Large-Format Contemporary Photographs », *Topics in Photographic Preservation*, 12 (2007), p. 131-140.

Child, R.E. (directeur de publication). *Conservation of Geological Collections*, Londres (Royaume-Uni), Archetype, 1994.

Chiotasso, L., et C. Sarnelli. « Conservation of a Leather Antependium », dans *La conservation du cuir doré, ICOM-CC, Réunion intermédiaire, Groupe de travail « Cuir et matériaux associés », Bruxelles, 25 au 27 mars 1998* (sous la direction

de T. Sturge), Northampton (Royaume-Uni), Sturge Conservation Studio, 2007, p. 45-47.

CHLUDZINSKI, G.R. *BEVA 371 Reformulated in 2010* (en ligne), communiqué de presse, Conservator's Products Company, Flanders (New Jersey), 2010. Sur Internet : <URL : www.conservators-products.com/pr01.htm>. Page consultée le 7 janvier 2015.

CLARKE, T.F.E. « Cyanoacrylate Glue Burn in a Child – Lessons to be Learned », *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, vol. 64, nº 7 (2011), p. e170-e173.

CLAVIR, M. *Preserving What is Valued*, Vancouver (Colombie-Britannique), University of British Columbia Press, 2002.

CLIFTON, J.R. « Laboratory Evaluation of Stone Consolidants », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the IIC Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 151-155.

COCCA, M., L. D'ARIENZO, L. D'ORAZIO, G. GENTILE, C. MANCARELLA, E. MARTUSCELLI et C. POLCARO. « Water Dispersed Polymers for Textile Conservation: A Molecular, Thermal, Structural, Mechanical and Optical Characterisation », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 7, nº 4 (2006), p. 236-243.

COLUMBINI, M.P., et F. MODUGNO. *Organic Mass Spectrometry in Art and Archaeology*, Chichester (Royaume-Uni), John Wiley & Sons, 2009.

CONROY, T. « The Movement of the Book Spine », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 6 (1987), p. 1-30. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v06/bp06-01.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

COOKE, V., D. COOKE et D.W. GRATTAN. « Reversing Old PEG Treatments of Objects From the Ozette Site », dans *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland, Maine, 16–20 August 1993* (sous la direction de P. Hoffmann), Bremerhaven (Allemagne), Ditzen Druck und Verlags, 1994, p. 97-109.

COOPER, C. (directrice de publication). « Skin Carcinogenicity Noted for Some Epoxy Resins in TSCA Report », *Pesticide & Toxic Chemical News*, vol. 9, nº 23 (29 avril 1981), p. 11-12.

COOVER, H.W. « Cyanoacrylate Adhesives – A Day of Serendipity, A Decade of Hard Work », *Journal of Coatings Technology*, vol. 55, nº 706 (1983), p. 59-61.

COOVER, H.W., D.W. DREIFUS et J.T. O'CONNOR. « Cyanoacrylate Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 463-477.

COPE, B., A. MATTHEWS et N. GARRINGTON. « The Effects of Pigments and Other Additives on the Curing and Service Performance of Filling and Retouching Media: Initial Investigations on Epoxide Resins », dans *Resins Ancient and Modern* (sous la direction de M.M. Wright et J.H. Townsend), Édimbourg (Royaume-Uni), SSCR, 1995, p. 13-16.

COUNSELL, P.J.C. « Adhesives for Plastics Fabrication », dans *Plastics: Surfaces and Finishes* (sous la direction de W.G. Simpson), 2e éd., Londres (Royaume-Uni), Royal Society of Chemistry, 1993, p. 90-112.

COWAN, D.A. *Effects of Relative Humidity on Selected Properties of Polyvinyl Acetate Free Films*, 1977. Thèse de maîtrise en sciences, Pennsylvania State University.

CROLL, S.G. « The Origin of Residual Internal Stress in Solvent-cast Thermoplastic Coatings », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 23, nº 3 (1979), p. 847-858.

CRUICKSHANK, P. « The Conservation of a Model Eskimo Kayak Involving the Treatment of Gut », *Leather Conservation News*, vol. 4, nº 1 (1987), p. 1-12.

CRUICKSHANK, P., et H. MORGAN. « Lining a Banana Fibre Belt: A Cool Vacuum Table Technique », *SSCR Journal*, vol. 4, nº 2 (1993), p. 10-14.

CRUICKSHANK, P., et Z. TINKER (directeurs de publication). *Starch and Other Carbohydrate Adhesives for Use in Textile Conservation*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1995.

CRUICKSHANK P., V. DANIELS et J. KING. « A Great Lakes Pouch: Black-dyed Skin with Porcupine Quillwork », *The British Museum Technical Research Bulletin*, vol. 3 (2009), p. 63-72.

CRUICKSHANK, P., H. MORGAN et Y. SHASHOUA. « The Use of Temporary Facings in Lining a Fragmentary Ancient Egyptian Shroud », *Studies in Conservation*, vol. 44, nº 1 (1999), p. 29-38.

CSER, L. « Some Lining Techniques Using BEVA Solution and BEVA Gel: Notes from the Bench », *JACCR*, vol. 27 (2002), p. 3-5.

CYR, M.-C., et W. BAKER. « Marcelle Ferron for Conservators: The Artist, Her Materials and Techniques from 1953 to 1960 and the Treatment of an Untitled Oil Painting on Canvas and Plywood », *JACCR*, vol. 35 (2010), p. 29-45.

DALY-HARTIN, D., S. MICHALSKI et C. PACQUET. « Ongoing Research in the CCI Lining Project: Peel Testing of BEVA 371 and Wax-resin Adhesives with Different Lining Supports », dans *ICOM-CC 10th Triennial Meeting, Washington, DC, USA, 22–27 August 1993: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1993, p. 128-134.

DANIELS, V. « On the Use of Soluble Nylon », *Conservation News*, 28 (1985), p. 13-14.

DANIELS, V. « A Study of the Properties of Aged Starch Paste (*furu-nori*) », dans *The Conservation of Far Eastern Art: Preprints of the Contributions to the Kyoto Congress, 19–23 September 1988* (sous la direction de J.S. Mills, P. Smith et K. Yamasaki), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1988, p. 5-10.

DANIELS, V. « The Reversibility of Starch Paste », dans *Lining and Backing: The Support of Paintings, Paper and Textiles. Papers Delivered at the UKIC Conference, 7–8 November 1995*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1995, p. 72-75.

DANIELS, V. « Starch Adhesives », dans *Starch and Other Carbohydrate Adhesives for Use in Textile Conservation,* Londres (Royaume-Uni), UKIC Textile Section, 1995b, p. 11-13.

DANIELS, V. « Aging of Paper and Pigments Containing Iron and Copper: A Review », dans *The Broad Spectrum – Studies in the Materials, Techniques and Conservation of Color on Paper* (sous la direction de H.K. Stratis et B. Salvesen), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2002, p. 116-121.

DAVIDSON, R.L. *Handbook of Water-soluble Gums and Resins*, New York (New York), McGraw-Hill Book Company, 1980.

DAVISON, S. « A Review of Adhesives and Consolidants Used on Glass Antiquities », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 191-193.

DEAN, J.W. « Silicone Adhesive Sealants and Adhesives », dans *Handbook of Adhesives*, 3e éd. (sous la direction de I. Skeist), New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 522-535.

DEBEAUKELAER, F., J. POWELL et E. BAHLMANN. « Standard Methods (Revised) for Determining Viscosity and Jelly Strength of Glue », *Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 2, nº 3 (15 juillet 1930), p. 348-351.

DECOUX, S. « Enzymes Used for Adhesive Removal in Paper Conservation: A Literature Review », *Journal of the Society of Archivists*, vol. 23, nº 2 (2002), p. 187-195.

DE LA CRUZ BALTAZAR, V., W. LYONS et A. MURRAY. « Plastination as a Consolidation Technique for Archaeological Bone, Waterlogged Leather and Waterlogged Wood », dans *Twenty-second Annual AGPIC Conference of Graduate Training Programs in Conservation*, s.l., s.n., 1996, p. 4-10.

DEMUTH, P., H. VOGEL, C. NÄGLER et L. REUBER. « Review: Adhesives for Thread-by-Thread Tear Mending in Torn Fabric-Supported Paintings », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

DE WITTE, E. « The Protection of Silverware with Varnishes », *Bulletin de l'Institut Royal du Patrimoine Artistique*, vol. 14 (1973), p. 140-152.

DE WITTE, E. « Soluble Nylon as Consolidation Agent for Stone », *Studies in Conservation*, vol. 20, nº 1 (1975), p. 30-34.

DE WITTE, E. « Polyvinyl Alcohol: Some Theoretical and Practical Information for Restorers », *Bulletin de l'Institut Royal du Patrimoine Artistique*, vol. 16 (1976/77), p. 120-129.

DE WITTE, E., H. DE CLERCQ, R. DE BRUYN et A. PIEN. « Systematic Testing of Water Repellent Agents », *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen*, vol. 2, nº 2 (1996), p. 133-144.

DICUS, D. « Stabilization of a Large Rawhide Shadow Puppet. Ethics, Materials, Micro-environment », dans *Interim Meeting on the Treatment of and Research into Leather, in Particular of Ethnographic Objects, ICOM-CC Working Group #10, Amsterdam, 5–8 April 1995* (sous la direction de P.B. Hallebeek et J.A. Mosk), Amsterdam (Pays-Bas), Central Research Laboratory, 1995, p. 59-66.

DIGNARD, C. « La réparation des peaux d'un kayak », dans *Actes du 14e Congrès annuel de l'IIC-Groupe canadien* (sous la direction de Johanna G. Wellheiser), Ottawa (Ontario), Le Groupe torontois de l'IIC-Groupe canadien, 1989.

DIGNARD, C., et G. GORDON. « Metal Ion Catalysed Oxidation of Skin: Treatment of the Fur Trim and Collar on a Velvet Cape », *JACCR*, vol. 24 (1999), p. 11-22.

DIGNARD, C., et C. SCHLICHTING. « La réparation d'un panier au moyen d'un support temporaire et de torsades de papier », *JIIC-GC*, vol. 16 (1991), p. 35-40.

DIGNARD, C., R. DOUGLAS, S. GUILD, A. MAHEUX et W. MCWILLIAMS. « Ultrasonic Misting. Part 2, Treatment Applications », *JAIC*, vol. 36, nº 2 (1997), p. 127-141.

DOMASLOWSKI, W. « The Mechanism of Polymer Migration in Porous Stone », *Wiener Berichte über Naturwissenschaft ind der Kunst*, vol. 5, nº 5 (1988), p. 402-425.

DOMASLOWSKI, W. « Résines thermodurcissables pour la conservation de la pierre », dans *La dégradation et la conservation de la pierre, texte des cours internationaux de Venise sur la restauration de la pierre* (sous la direction de L. Lazzarini et R. Pieper), Paris (France), UNESCO, 1988b, p. 255-269.

DOMASLOWSKI, W., et A. STRZELCZYK. « Evaluation of Applicability of Epoxy Resins to Conservation of Stone Historic Monuments », dans *Case Studies in the Conservation of Stone and Wall Paintings: Preprints of the Contributions to the IIC Bologna Congress, 21–26 September 1986*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 1986, p. 126-132.

DORNING, D. « The Development of a Testing Method for Assessing Book Joint Repair », *Paper Conservator*, 29 (2005), p. 25-38.

DOW.COM. *Methocel A4C* (en ligne). Sur Internet : <URL : www.dow.com/products/product_detail.page?product-line=1120609&product=1123868>. Page consultée le 7 janvier 2015.

DOWN, J.L. « Adhesive Testing at the Canadian Conservation Institute, Past and Future », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 4-6.

DOWN, J.L. « The Yellowing of Epoxy Resin Adhesives: Report on Natural Dark Aging », *Studies in Conservation*, vol. 29, nº 2 (1984b), p. 63-76.

DOWN, J.L. « The Yellowing of Epoxy Resin Adhesives: Report on High-intensity Light Aging », *Studies in Conservation*, vol. 31, nº 4 (1986), p. 159-170.

DOWN, J.L. « Epoxy Resin Adhesives: Report on Shear Strength Retention on Glass Substrates », *JIIC-GC*, vol. 21 (1996), p. 28-35.

Down, J.L. « Swelling as an Indicator of Removability », dans *Proceedings of the Conference Reversibility – Does it Exist? British Museum Occasional Paper Number 135* (sous la direction de A. Oddy et S. Carroll), Londres (Royaume-Uni), British Museum, 1999, p. 111-127.

Down, J.L. « À la recherche d'un meilleur adhésif en émulsion pour la conservation – Rapport préliminaire sur les effets des modificateurs sur la stabilité d'un adhésif à base d'une émulsion de copolymère acétate de vinyle/éthylène (VAE) », *Rapport technique (ICC)*, 1 (2000).

Down, J.L. « A Literature Review of Cyanoacrylate Adhesives », *Reviews in Conservation*, vol. 2 (2001), p. 35-38.

Down, J.L. « Review of CCI Research on Epoxy Resin Adhesives for Glass Conservation », *Reviews in Conservation*, vol. 2 (2001b), p. 39-46.

Down, J.L. « Poly(vinyl acetate) and Acrylic Adhesives: A Research Update », dans *Holding It All Together: Ancient and Modern Approaches to Joining, Repair and Consolidation* (sous la direction de J. Ambers *et al.*), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2009, p. 91-98.

Down, J.L. « pH of Lascaux 303 HV », (non publié), Ottawa (Ontario), ICC, 2013.

Down, J.L. « Yellowing of Epoxy Resin Adhesives Research Update » (non publié), Ottawa (Ontario), ICC, 2013b.

Down, J.L. « The Effect of Modifiers on the Stability of a Vinyl Acetate/Ethylene Copolymer Dispersion », *Studies in Conservation* (en ligne) (publié en ligne 2014). Sur Internet : <URL : www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/2047058414Y.0000000130>. Page consultée le 23 janvier 2015.

Down, J.L. « The Evaluation of Selected Poly(vinyl acetate) and Acrylic Adhesives: A Final Research Update », *Studies in Conservation*, vol. 60, nº 1 (2015), p. 33-54.

Down, J.L., et D.H. Burgess. « pH Measurements of Various Starches » (non publié), Ottawa (Ontario), ICC, vers 1990.

Down, J.L., et E. Kaminska. « A Preliminary Study on the Degradation of Cyanoacrylate Adhesives in the Presence and Absence of Fossil Material », *Journal of Vertebrate Paleontology*, vol. 26, nº 3 (2006), p. 519-525.

Down, J.L., et R. Lafontaine. « Propriétés et stabilité des adhésifs employés pour le bois – Rapport préliminaire », dans *Symposium sur le mobilier et les objets en bois, comptes rendus, 2-3 juillet 1980*, Ottawa (Ontario), ICC, 1980, p. 59-69.

Down, J.L., J. Iraci et G. Hill. « Photographic Activity Tests of Various Adhesives Suggested for Use on Water-sensitive Photographs », *Topics in Photographic Preservation*, vol. 15 (2013), p. 475-483.

Down, J.L., M.A. MacDonald, J. Tétreault et R.S. Williams. « Adhesive Testing at the CCI – An Evaluation of Selected Poly(vinyl acetate) and Acrylic Adhesives », *Studies in Conservation*, vol. 41, nº 1 (1996), p. 19-44.

Down, J.L., R.S. Williams, S. Tse et S. Guild. « The CCI Tapes and Heat-set Tissues Project », *Papier Restaurierung*, vol. 7, nº 1 (2006), p. 13-17.

Down, J.L., G.S. Young, R.S. Williams et M.A. MacDonald. « Analysis of the Archimedes Palimpsest », dans *Works of Art on Paper: Books, Documents and Photographs, Techniques and Conservation, Contributions to the Baltimore IIC Congress, 2–6 September 2002*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 2002, p. 52-58.

Down, J.L., S. Guild, G. Hill, C. McNair, D. St. Jacques et K. Westbury. « Evaluation of Selected Adhesive Tapes and Heat-set Tissues - a final update », *JACCR*, vol. 38 (2013b), p. 14-25.

Down, J.L., S. Guild, G. Hill, D. St-Jacques, K. Westbury, E. O'Loughlin, E. Kaminska, R.S. Williams, J. Iraci et S. Tse. « Update on the CCI Adhesive Tape and Heat-set Tissues Project », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Doyle, A.M. « The Conservation of Sub-fossil Bone », *Geological Curator: The Conservation of Geological Material*, vol. 4, nº 7 (1987), p. 463-465.

Doyle, B. « A Stitch in Time: Repairing the Original Sewing Structure on Bound Materials: A View from General Collections Conservation », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 23 (2004), p. 67-69. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v23/bp23-11.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Drain, K.F., J. Guthrie, C.L. Leung, F.R. Martin et M.S. Otterburn. « The Effect of Moisture on the Strength of Steel-Steel Cyanoacrylate Adhesive Bonds », *Journal of Adhesion*, vol. 17, nº 1 (1984), p. 71-82.

Drummond, G. « The Mending of Feather Vanes », *AICCM Bulletin*, vol. 19, nºs 3 et 4 (1994), p. 39-59.

Duffy, M.C. « A Study of Acrylic Dispersions Used in the Treatment of Paintings », *JAIC*, vol. 28, nº 2 (1989), p. 67-77.

Dumka, H. « The Conservation Treatment of Three Gutskin Parkas », *JIIC-GC*, vol. 16 (1991), p. 17-22.

Dumka, H. « The Re-treatment of an Inuit Beaded Skin Parka », *JACCR*, vol. 31 (2006), p. 23-32.

Dupont, A.-L., Z. Souguir, B. Lavédrine et H. Cheradame. « Deacidification and Strengthening of Degraded Papers with Aminosilanes: The Example of AMDES », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx> Page consultée le 7 janvier 2015.

Ďurovič, M., J. Dernovškova et M. Široký. « Dispersive Glues Used in Preservation », *Restaurator*, vol. 12, nº 1 (1991), p. 36-74.

Eastaugh, N. « Teas Time », *The Picture Restorer,* nº 5 (printemps 1994), p. 21-22.

Eastaugh, N. « Teas Time II », *The Picture Restorer*, nº 6 (automne 1994b), p. 10-11.

Eastaugh, N. « Teas Time III », *The Picture Restorer*, nº 7 (printemps 1995), p. 12-13.

Eastaugh, N. « Teas Time IV », *The Picture Restorer*, nº 8 (automne 1995b), p. 16-17.

Eastman, E.F., et L. Fullhart Jr. « Polyolefin and Ethylene Copolymer-based Hot Melt Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 408-422.

Ebnesajjad, S. (directeur de publication). *Adhesives Technology Handbook*, 2e éd., Norwich (New York), William Andrew, 2008.

Ecclestone, R., et V. Daniels. *Testing of Two Silicone Resins for Ceramics Conservation: Research Report 1998/22*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, Department of Conservation, 1999.

Edge, M. « Lifetime Prediction: Fact or Fantasy? », dans *Research Techniques in Photographic Conservation: Proceedings of the Conference in Copenhagen, 14–19 May 1995* (sous la direction de M.S. Koch *et al.*), Copenhague (Danemark), Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Conservation, 1996, p. 97-100.

Edmonds, P.C. « Fungi and Its Relationship with Aboriginal Painted Surfaces Containing the PVAC Emulsion Binder Aquadhere », dans *ICOM-CC 9th Triennial Meeting, Dresden, German Democratic Republic, 26–31 August 1990* (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), ICOM-CC, 1990, p. 151-156.

Edwards, P. « Current Trends in the Conservation of Marquetry Surfaces », dans *1997 Wooden Artifacts Group Postprints* (en ligne), Washington (D.C.), AIC, 1997, p. 27-36. Sur Internet : <URL : http:// cool.conservation-us.org/coolaic/sg/wag/1997/WAG_97_edwards.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Elder, A., C. Wenz et S.K. Madsen. « Understanding Cyanoacrylates and Their Use in Vertebrate Paleontology », *Dakoterra*, vol. 5 (1998), p. 140-143.

Elder, A., S. Madsen, G. Brown, C. Herbel, C. Collins, S. Whelan, C. Wenz, S. Alderson et L. Kronthal. « Adhesives and Consolidants in Geological and Paleontological Conservation: A Wall Chart », *SPNHC Leaflets*, vol. 1, nº 2 (1997), p. 1-4.

Eliazyan, G., G. Alaverdyan et Y. Keheyan. « Use of Polymers for Strengthening Dilapidated Museum Materials », dans *Metodi chimici, fisici e biologici per la salvaguardia dei beni culturali: 20° congresso nazionale, Roma, 18 dicembre 1998. Atti del workshop*, Rome (Italie), Abaco Edizioni, 2001, p. 119-122.

Elliot, F., et E. Harding. « A Modern Approach to Papyrus Conservation: Materials and Techniques as Applied at the British Museum », *The Paper Conservator*, vol. 11 (1987), p. 63-68.

Ellis, L., et A. Heginbotham. « An Evaluation of Four Barrier Coating and Epoxy Combinations in the Structural Repair of Wooden Objects », dans *2002 Wooden Artifacts Group Postprints – Miami, Florida* (en ligne), Washington (D.C.), AIC, 2003, p. 53-64. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/wag/2002/WAG_02_ellis.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Ellis, L., et A. Heginbotham. « An Evaluation of Four Barrier-coating and Epoxy Combinations in the Structural Repair of Wooden Objects », *JAIC*, vol. 43, nº 1 (2004), p. 23-37.

Emery, I. *The Primary Structures of Fabrics,* Washington (D.C.), The Textile Museum, 1966.

Engineering Toolbox. *Coefficients of Linear Thermal Expansion* (en ligne). Sur Internet : <URL : www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Erhardt, D. « Removal of Silicone Adhesives », *JAIC*, vol. 22, nº 2 (1983), p. 100.

Erickson, H.M. « Usage Recommendations for α-Amylases: Maximizing Enzyme Activity While Minimizing Enzyme-artifact Binding Residues », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 11 (1992), p. 24-33. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v11/bp11-04.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Errett, R.F. « The Repair and Restoration of Glass Objects », *IIC Bulletin of the American Group*, vol. 12, nº 2 (1972), p. 48-49.

Espinosa, R., et P. Barrios. « Joint Tacketing: A Method of Board Reattachment », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 10 (1991), p. 78-83. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v10/bp10-08.html >. Page consultée le 7 janvier 2015.

Etherington, D. « Split Joints on Leather Bindings », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 234.

Eusman, E., et K. Mensch. « Ink on the Run - Measuring Migration of Iron Gall Ink », dans *The Iron Gall Ink Meeting Postprints*, Newcastle upon Tyne (Royaume-Uni), The University of Northumbria, 2000, p. 115-123.

Fairbrass, S. « An Investigation Into the Adhesives Used for Dry-mounting (Laminating) Paper », dans *IPC: Conference Papers Manchester 1992* (sous la direction de S. Fairbrass), Londres (Royaume-Uni), IPC, 1992, p. 91-95.

Falcão, L.P.B. « Conservation of Chinese Shadow Puppets of Kwok On Collection - of Fundacao Oriente », dans *Préoccupations récentes concernant le textile, le cuir et la législation : publications concernant le cuir, Athènes* (Grèce), *21 au 24 avril 2004* (sous la direction de T. Sturge), s.l., ICOM-CC, Groupe de travail « Cuir et matériaux associés », 2007, p. 78-80.

Fan, T.-F. « Experimental Evaluation of Adhesives for Temporary Facing in Eastern Painting Conservation »

(affiche), dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Farmer, P.H., et B.A. Jemmott. « Polyvinyl Acetal Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 423-436.

Farnsworth, J. « Testing of Acronal 300D and 500D », *Conservation News*, nº 60 (1996), p. 56.

Favaro, M., R. Mendichi, F. Ossola, S. Simon, P. Tomasin et P.A. Vigato. « Evaluation of Polymers for Conservation Treatments of Outdoor Exposed Stone Monuments. Part II: Photo-oxidative and Salt-induced Weathering of Acrylic-silicone Mixtures », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 92, nº 3 (2007), p. 335-351.

Favaro, M., R. Mendichi, F. Ossola, U. Russo, S. Simon, P. Tomasin et P.A. Vigato. « Evaluation of Polymers for Conservation Treatments of Outdoor Exposed Stone Monuments. Part I: Photo-oxidative Weathering », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 91, nº 12 (2006), p. 3083-3096.

Feller, R.L. « Crosslinking of Methacrylate Polymers by Ultraviolet Radiation », *Preprints of Papers Presented at the New York Meeting, Division of Paint, Plastics and Printing Ink Chemistry, American Chemical Society*, vol. 17, nº 2 (1957), p. 465-470.

Feller, R.L. « Polymer Emulsions », *AIC Bulletin*, vol. 6, nº 2 (1966), p. 24-28.

Feller, R.L. « Speeding Up Photochemical Deterioration », *Bulletin de l'Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bulletin Miscellanea in Memoriam Paul Coremans (1908-1965)*, vol. 15 (1975), p. 135-150.

Feller, R.L. « The Relative Solvent Power Needed to Remove Various Aged Solvent-type Coatings », dans *Conservation and Restoration of Pictorial Art* (sous la direction de N. Brommelle et P. Smith), Londres (Royaume-Uni), Butterworths, 1976, p. 158-161.

Feller, R.L. « Stages in the Deterioration of Organic Materials », dans *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value* (sous la direction de J.C. Williams), Washington (D.C.), American Chemical Society, 1977, p. 314-335.

Feller, R.L. *Accelerated Aging: Photochemical and Thermal Aspects*, Los Angeles (Californie), GCI, 1994.

Feller, R.L., et M. Curran. « Solubility and Crosslinking Characteristics of Ethylene/vinylacetate Copolymers », *IIC Bulletin of the American Group*, vol. 11, nº 1 (1970), p. 42-45.

Feller, R.L., et D.B. Encke. « Stages in Deterioration: The Examples of Rubber Cement and Transparent Mending Tape », dans *Preprints of the IIC Washington Congress*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 1982, p. 19-23.

Feller, R.L., et M. Wilt. « Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation », *Research in Conservation*, vol. 3 (1990).

Feller, R.L., M. Curran et C. Bailie. « Photochemical Studies of Methacrylate Coatings for the Conservation of Museum Objects », dans *Photodegradation and Photostabilization of Coatings, American Chemical Society Symposium Series 151* (sous la direction de S.P. Pappas et F.H. Winslow),Washington (D.C.), American Chemical Society, 1981, p. 183-196.

Fenn, J. « The Conservation of Splint Baskets », *Ontario Museum Association Quarterly*, vol. 9, nº 3 (1980), p. 21-22.

Fenn, J. « Some Practical Aspects in the Choice of Synthetic Resins for the Repair of Ethnographic Skin and Gut », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 138-140.

Fenn, J. « La pose des numéros d'enregistrement sur les objets en plastique », dans *Sauvegarder le XXe siècle : la conservation des matériaux modernes* (sous la direction de D.W. Grattan), Ottawa (Ontario), ICC, 1993, p. 341-348.

Fenn, J. « Adhesion Without Adhesives: Gecko-Like Adhesives », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Fernández-Jalvo, Y., et M.D.M. Monfort. « Experimental Taphonomy in Museums: Preparation Protocols for Skeletons and Fossil Vertebrates under the Scanning Electron Microscopy », *GeoBios*, vol. 41, nº 1 (2008), p. 157-181.

Fernbach, R. *Glues and Gelatine: A Practical Treatise on the Methods of Testing and Use,* New York (New York), D. Van Nostrand Company, 1907.

Fieux, R.E. « Silicone Polymers for Relining of Paintings », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 46-49.

Finch, C.A. (directeur de publication). *Polyvinyl Alcohol: Properties and Application*, Londres (Royaume-Uni), John Wiley & Sons, 1973.

Fiorentino, P., et L.V. Borrelli. « A Preliminary Note on the Use of Adhesives and Fillers in the Restoration of Ancient Materials with Special Reference to Glass », *Studies in Conservation*, vol. 20, nº 4 (1975), p. 202.

Firnhaber, N., et D. Erhardt. « Hawaiian Oiled and *Mamaki* Tapa: Characterization and Conservation », dans *Symposium 86 : L'entretien et la sauvegarde des matériaux ethnologiques* (sous la direction de R. Barclay *et al.*), Ottawa (Ontario), ICC, 1986, p. 178-185.

Fischer, A., et M. Eska. « Joining Broken Wax Fragments: Testing Tensile Strength of Adhesives for Fragile and Non-polar Substrates », dans *ICOM-CC 16th Triennial Conference, Lisbon, 19–23 September 2011: Preprints* (sous

la direction de J. Bridgland), Lisbonne (Portugal), Critério, 2011.

Fisher, C.H. « Equations for Calculating Homolog Solubility Parameters », *Journal of Coating Technology*, vol. 54, nº 688 (1982), p. 67-71.

Fisher, P. « Hxtal NYL-1, an Epoxy Resin for Conservation of Glass », dans *Glass and Enamel Conservation*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1992, p. 6-9.

Florian, M.-L., D. Kronkright et R. Norton. *The Conservation of Artifacts Made From Plant Materials*, Marina del Rey (Californie), GCI, 1990.

Forest, E. *BEVA 371 Film Linings: Variables Affecting Bond Strength*, 1997. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Fox, L.A. *A Preliminary Study of Various Consolidants for Friable Ceramics*, 1979. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Fredericks, M., et E. Hellman (modérateurs). « Board Reattachment Discussion », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 20 (2001), p. 63-86. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v20/bp20-16.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Fries, J.A. « Pressure Sensitive Adhesive Performance: The Effect of Chemistry », *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 2, nº 3 (1982), p. 187-191.

Frigione, M., M. Lettieri et A.M. Mecchi. « Environmental Effects on Epoxy Adhesives Employed for Restoration of Historical Buildings », *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 18, nº 5 (2006), p. 715-722.

Fromageot, D., et J. Lemaire. « The Prediction of the Long-term Photo-aging of Soluble Polyamides Used in Conservation », *Studies in Conservation*, vol. 36, nº 1 (1991), p. 1-8.

Fuchs, R. « Glues in Paper Conservation – New Insights for Preparation and Application », dans *Care and Conservation of Manuscripts 10, Proceedings of the Tenth International Seminar on the Care and Conservation of Manuscripts Held at the University of Copenhagen 19th–20th October 2006*, Copenhague (Danemark), Museum Tusculanum Press, 2008, p. 235-248.

Fulton, S.E. *An Examination of Mixed Aqueous Adhesives*, 1988. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Funazaki, E. « A Method of Board Attachment », *New Bookbinder*, vol. 27 (2007), p. 52-54.

Gallo, F., C. Marconi et M. Montanari. « Experimental Studies on the Resistance to Biological Agents of Materials Used in Book Restoration », *Bollettino dell'Istituto centrale per la patologia del libro*, vol. 43 (1989), p. 105-120.

Gallo, F., P. Valenti, O. Maggi, A.M. Persiani et F. Vincenzoni. « Modified Starches: Tests on Biodegradability », dans *Erice 96: International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials Preprints, vol. 2*, Rome (Italie), Istituto centrale per la patologia del libro, 1996, p. 777-789.

Gardner Wilkinson, J. *A Popular Account of the Ancient Egyptians, vol. 2*, New York (New York), Harper & Brothers, 1854.

Gayer, J. *The Effects of Variables on the Strength of BEVA 371 Linings: Further Study*, 1992. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Gehman, D.R. « Acrylic Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 437-452.

Geiger, T., et F. Michel. « Studies on the Polysaccharide JunFunori Used to Consolidate Matt Paint », *Studies in Conservation*, vol. 50, nº 3 (2005), p. 193-204.

Geissinger, K., et C. Krekel. « Glue made of Pike and Carp Swim Bladders », *ICON Publi Technical* (en ligne), Nantes (France), Icon Network, 2009. Sur Internet : <URL : www.icon-network.org/Glue-made-of-pike-and-carp-swim.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Geller, E. (directrice de publication). *McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms*, 6e éd., New York (New York), McGraw-Hill, 2003.

Gilberg, M., et J. Grant. « The Conservation of a Birchbark Scroll: A Case Study », *JIIC-GC*, vol. 8-9 (1983-84), p. 23-27.

Gill, K., et F. Boersma. « Solvent Reactivation of Hydroxypropyl Cellulose (Klucel G®) in Textile Conservation: Recent Developments », *The Conservator*, vol. 21, nº 1 (1997), p. 12-20.

Gillen, K.T., R. Bernstein et D.K. Derzon. « Evidence of Non-Arrhenius Behaviour from Laboratory Aging and 24-year Field Aging of Polychloroprene Rubber Materials », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 87, nº 1 (2005), p. 57-67.

Ginell, W.S., P. Kotlik, C.M. Selwitz et G.S. Wheeler. « Recent Developments in the Use of Epoxy Resins for Stone Consolidation », dans *Materials Issues in Art and Archaeology IV: Symposium Held May 16–21, 1994, Cancun, Mexico*, Pittsburgh (Pennsylvanie), Materials Research Society, 1995, p. 823-829.

Goetz, P.W. (directeur de publication). *The Encyclopaedia Britannica*, vol. 9, Chicago (Illinois), University of Chicago, 1989.

Goetz, P.W. (directeur de publication). *The Encyclopaedia Britannica*, vol. 10, Chicago (Illinois), University of Chicago, 1989b.

Gómez-Carracedo, A., C. Alvarez-Lorenzo, J.L. Gómez-Amoza et A. Concheiro. « Chemical Structure and Glass Transition Temperature of Non-Ionic Cellulose Ethers », *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 73, nº 2 (2003), p. 587-596.

Gostling, K. « Bookworkers and Adhesives: Part 2 », *The New Bookbinder*, vol. 9 (1989), p. 30-39.

Gottsegen, M.D. *The Painter's Handbook: A Complete Reference, Revised and Expanded*, New York (New York), Watson-Guptill, 2006.

Grabow, N., C. Smith, C. Grissom et L. Brostoff. « Effectiveness of Organic Coatings on Silver Exposed to

Hydrogen Sulfide », dans *Metal 07: Interim Meeting of the ICOM-CC Metals Working Group, Amsterdam 17–21 September 2007*, Amsterdam (Pays-Bas), ICOM-CC, 2007, p. 44-50.

GRASSIE, N., M.I. GUY et N.H. TENNENT. « Degradation of Epoxy Polymers: Part 1 – Products of Thermal Degradation of Bisphenol-A Diglycidyl Ether », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 12, nº 1 (1985), p. 65-91.

GRASSIE, N., M.I. GUY et N.H. TENNENT. « Degradation of Epoxy Polymers: Part 2 – Mechanism of Thermal Degradation of Bisphenol-A Diglycidyl Ether », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 13, nº 1 (1985b), p. 11-20.

GRASSIE, N., M.I. GUY et N.H. TENNENT. « Degradation of Epoxy Polymers: Part 3 – Photo-Degradation of Bisphenol-A Diglycidyl Ether », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 13, nº 3 (1985c), p. 249-259.

GRASSIE, N., M.I. GUY et N.H. TENNENT. « Degradation of Epoxy Polymers: Part 4 – Thermal Degradation of Bisphenol-A Diglycidyl Ether Cured with Ethylene Diamine », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 14, nº 2 (1986), p. 125-137.

GRASSIE, N., M.I. GUY et N.H. TENNENT. « Degradation of Epoxy Polymers: Part 5 – Photo-Degradation of Bisphenol-A Diglycidyl Ether Cured with Ethylene Diamine », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 14, nº 3 (1986b), p. 209-216.

GRATTAN, D.W. « Les résines, durcisseurs pour bois dégradé et endommagé », dans *Symposium sur le mobilier et les objets en bois, comptes rendus, 2-3 juillet 1980*, Ottawa (Ontario), ICC, 1980, p. 31-46.

GRATTAN, D.W., et R.L. BARCLAY. « A Study of Gap-fillers for Wooden Objects », *Studies in Conservation*, vol. 33, nº 2 (1988), p. 71-86.

GREEN, L.R. « Cellulose Nitrate Problems », *Conservation News*, nº 33 (1987), p. 10.

GREEN, L.R., et S. BRADLEY. « A Re-evaluation of the Use of N-methyl 2 Pyrrolidone », *Restaurator*, vol. 9, nº 2 (1988), p. 82-95.

GREEN, L.R., et S. BRADLEY. « An Investigation into the Deterioration and Stabilization of Nitrocellulose in Museum Collections » dans *Preprints of Contributions to the Modern Organic Materials Meeting. Edinburgh, 14–15 April, 1988*, Édimbourg (Royaume-Uni), SSCR, 1988b, p. 81-95.

GRIMSHAW, R.W. *The Chemistry and Physics of Clays and Allied Ceramic Materials*, 4e éd. révisée, Londres (Royaume-Uni), Ernest Benn, 1971.

GRISWOLD, J., et S. URICHECK. « Loss Compensation Methods for Stone », *JAIC*, vol. 37, nº 1 (1998), p. 89-110.

GUTCHO, M. *Adhesives Technology: Developments Since 1979*, Park Ridge (New Jersey), Noyes Data, 1983.

HACKE, B. « A Low-pressure Apparatus for Treatment of Paintings », dans *ICOM-CC 5th Triennial Meeting, Zagreb, Croatia, 1–8 October 1978: Preprints*, Paris (France), ICOM-CC, 1978, p. 1-17.

HACKETT, J., et B. SZUHAY. « Facing the Future: The Use of Re-moistenable Tissue Paper in the Conservation of a Painted Silk Flag », dans *Tales in the Textile: The Conservation of Flags and Other Symbolic Textiles* (compilé par J. Vuori), Albany (New York), North American Textile Conservation Conference, 2003, p. 167-176.

HADDON, M.R., et T.J. SMITH. « The Chemistry and Applications of UV-cured Adhesives », *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 11, nº 3 (1991), p. 183-186.

HALDANE, E.-A. « Notes on a New Method of Application for Klucel G®: Substrate-free Adhesive Films Developed for Use on a Fragile Appliquéd and Embroidered Textile », *Conservation News*, nº 73 (2000), p. 64.

HAMRANG, A. *Degradation and Stabilisation of Cellulose Based Plastics and Artifacts*, décembre 1994. Thèse de doctorat, Manchester Metropolitan University.

HANNA, S.B., et N.J. LEE. « The Consequences of Previous Adhesive and Consolidants Used for Stone Conservation at the British Museum », dans *Early Advances in Conservation. British Museum Occasional Paper No. 65* (sous la direction de V. Daniels), Londres (Royaume-Uni), British Museum, 1988, p. 89-102.

Hansen Solubility Parameters Website (en ligne). Sur Internet : <www.hansen-solubility.com>. Page consultée le 7 janvier 2015.

HANSEN, C.M. « Some Answered and Unanswered Questions about Solubility Parameter », dans *Macromolecular Solutions – Solvent Property Relationships in Polymers* (sous la direction de R.B. Seymour et G.A. Stahl), New York (New York), Pergamon, 1982, p. 1-9.

HANSEN, C.M. *Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook*, 2e éd., Boca Raton (Floride), CRC Press, 2007.

HANSEN, E.F. « The Effects of Solvent Quality on Some Properties of Thermoplastic Amorphous Polymers Used in Conservation », dans *Materials Issues in Art and Archaeology IV: Symposium Held May 16–21, 1994, Cancun, Mexico*, Cancun (Mexique), Materials Research Society, 1995, p. 807-812.

HANSEN, E.F., E. SADOFF et R. LOWINGER. « Consolidation of Porous Paint in a Vapor-saturated Atmosphere: A Technique for Minimizing Changes in the Appearance of Powdering, Matte Paint », *JAIC*, vol. 32, nº 1 (1993), p. 1-14.

HANSEN, E.F., M.R. DERRICK, M.R. SCHILLING et R. GARCIA. « The Effects of Solution Application on Some Mechanical and Physical Properties of Thermoplastic Amorphous Polymers Used in Conservation: Poly(vinyl acetate)s », *JAIC*, vol. 30, nº 2 (1991), p. 203-213.

HARDING, E. « Further Experience in the Use of N-Methyl-2-Pyrrolidone as a Solvent for Old Flour Paste », *Paper Conservator*, vol. 2, nº 1 (1977), p. 6-8.

HARDY, K.A. *The Effects of Temperature and Adhesive Thickness on the Bond Strengths of BEVA 371 Linings*, 1992. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

HARRISON, A., H. TAYLER et M. PULLAN. « A Medieval Bishop's Travelling Cloak », dans *Big Issues* (sous la direction de F. Nuttgens et M. Jordan), Londres (Royaume-Uni), UKIC Textile Section, 2005, p. 16-21.

HARTLEY, E.J., et G.H. GROSSO. « Adhesives for Basketry Conservation: Preliminary Test », dans *ICOM-CC 6th Triennial Meeting, Ottawa, 21–25 September 1981: Preprints*, Paris (France), ICOM-CC, 1981, p. 1.1-1.10.

HARTOG, F., et Z. TINKER. « Sticky Dresses: The Re-conservation of Three Early 19th Century Dresses », dans *Adhesive Treatments Revisited* (sous la direction de J. Lewis), Londres (Royaume-Uni), UKIC Textile Section, 1998, p. 12-26.

HARVEY, M. *An Investigation into the Possibility of Using Enzymes to Reverse Insolubilized Nylon and Ultra-violet Aged Epoxy Resin*, Londres (Royaume-Uni), University College London, Institute of Archaeology, 1994.

HATCHFIELD, P., et M. MARINCOLA. « Compensating Losses: Tissue Paper Fills for Sculpture. Loss Compensation: Technical and Philosophical Issues », *AIC Object Specialty Group Postprints*, vol. 2 (1994), p. 57-72.

HAUPT, M., et D.A. DYER. « An Examination of Animal Glues », dans *Papers Presented by Trainees at the Fifteenth Annual Art Conservation Training Programs Conference, April 28–29, 1989.* s.l., s.n., 1990.

HAUPT, M., D.A. DYER et J. HANLAN. « An Investigation into Three Animal Glues », *The Conservator*, vol. 14 (1990), p. 10-16.

HAWKER, J.J. « The Bond Strengths of Two Hot Table Lining Adhesives – BEVA 371 and Plextol D360 », dans *ICOM-CC 8th Triennial Meeting, Sydney, Australia, 6–11 September 1987: Preprints* (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), GCI, 1987, p. 161-168.

HAY, J. « The Effect of Relative Humidity Fluctuations on PVA and Hide Glue Adhesives Applied to Wood Substrates », 1987. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

HAYAKAWA, N., R. KIGAWA, T. NISHIMOTO, K. SAKAMOTO, S. FUKUDA, T. KIMISHIMA, Y. OKA et W. JAWANOBE. « Characterization of *Furunori* (Aged Paste) and Preparation of a Polysaccharide Similar to *Furunori* », *Studies in Conservation*, vol. 52, nº 3 (2007), p. 221-232.

HAYES, J. « A Study of the Effects of Humidity on the Curing of Epoxy Resins, Hxtal NYL-1, Araldite 2020 and Fynebond », *Adhesives and Consolidants for Ceramics & Related Materials, Transcripts of Lectures Given at the Ceramics and Glass Conservation Group Meeting*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1987.

HEBRARD, M., et S. SMALL. « Experiments in the Use of Polyvinyl Alcohol as a Substitute for Animal Glues in the Conservation of Gilded Wood », dans *Gilded Wood: Conservation and History*, Madison (Connecticut), Sound View Press, 1991, p. 277-290.

HEDLEY, G. « Relative Humidity and the Stress/Strain Response of Canvas Paintings: Uniaxal Measurements of Naturally Aged Samples », *Studies in Conservation*, vol. 33, nº 3 (1988), p. 133-148.

HEIBER, W. « Riparazione di strappi e deformazioni dei supporti tessili nei dipinti [Réparations de déchirures et traitement de déformations de supports textiles de peintures] », dans *Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti: Atti del convegno, Thiene (VI), 29-30 ottobre 2004, Secondo congresso internazionale, Colore e conservazione materiali e metodi nel restauro delle opere policrome mobili* (sous la direction de CESMAR7), Saonara (Italie), Il Prato, 2005, p. 87-96.

HEINE, H. « Treatment of an Inuit Waterfowl Foot Skin Bag from Arctic Québec », *JACCR*, vol. 28 (2003), p. 16-26.

HENDRIKS, K.B., B. THURGOOD, J. IRACI, B. LESSER et G. HILL. *Fundamentals of Photograph Conservation: A Study Guide*, Toronto (Ontario), Lugus, 1991.

HENRY, W. « TeasTime », Technical Exchange, *WAAC (Western Association for Art Conservation) Newsletter*, vol. 11, nº 2 (mai 1989), p. 11-14.

HERCULES/AQUALON. *Blanose Cellulose Gum: Purified Sodium Carboxymethylcellulose* (en ligne). Sur Internet : <URL : www.in-cosmetics.com/__novadocuments/2239>. Page consultée le 7 janvier 2015.

HERCULES/AQUALON b. *Natrosol Hydroxyethylcellulose* (en ligne). Sur Internet : <URL : http://tinyurl.com/bqolknw>. Page consultée le 7 janvier 2015.

HERCZEG, A. « Egy szarmata kard restaurálása [Réparation d'une épée sarmate] », *Muzeumi kutatasok Bacs-Kiskun megyeben*, 1992, p. 239-240.

HERMANS, J. « Fans on Skin: Their Conservation and Storage », dans *ICOM-CC Conservation of Leathercraft and Related Objects Interim Symposium at the Victoria and Albert Museum, London, 24 and 25 June 1992* (sous la direction de P. Hallebeek, M. Kite et C. Calnan), Londres (Royaume-Uni), ICOM-CC, 1992, p. 42-44.

HESIS (HAZARD EVALUATION SYSTEM AND INFORMATION SERVICE). *Epoxy Resin Systems* (en ligne), Sacramento (Californie), California Department of Public Health, 1989. Sur Internet : <URL : www.cdph.ca.gov/programs/hesis/Documents/epoxy.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

HEUMAN, J., et K. GARLAND. « A Poultice Technique for the Removal of Cellulose Nitrate Adhesive from Textiles », *The Conservator*, vol. 11 (1987), p. 30-33.

HEY, M., et P. WATERS. « Heat-set Tissue » (non publié), s.l., Library of Congress, 27 mai 1977.

HEYN, C., K. HÄFNER, W.E. KRUMBEIN et K. PETERSEN. « Synthetische Polymere für die Festigung von Wandmalereien? Mikrobieller Befall in der Krypta von St. Maria im Kapitol [Polymères synthétiques pour la consolidation de peintures murales? Infestation microbienne dans la crypte de Sainte-Marie-du-Capitole] », *Restauro*, vol. 102, nº 4 (1996), p. 254-259.

HILL, L.K. « The Conservation of Eskimo Seal-gut Kagools », *SSCR Bulletin*, nº 7 (1986), p. 17-19.

HILLYER, L. « Re-evaluating Adhesives – Current Work in the UK », dans *Papers from the ICOM-CC Textiles Working Group Meetings, Amsterdam, 13–14 October 1994 and Budapest, 11–15 September 1995*, Londres (Royaume-Uni), Archetype, 1998, p. 18-22.

Hillyer, L. « Advances in Adhesive Techniques – The Conservation of Two Coptic Tunics at the Victoria and Albert Museum », dans *Textile Conservation: Advances in Practice* (sous la direction de F. Lennard et P. Ewer), Amsterdam (Pays-Bas), Butterworth-Heinemann, 2010, p. 181-188.

Hillyer, L., Z. Tinker et P. Singer. « Evaluating the Use of Adhesives in Textile Conservation: Part I, An Overview and Surveys of Current Use », *The Conservator*, vol. 21 (1997), p. 37-47.

Himmelstein, P., et B. Appelbaum. « The Use of Sprayed Polyvinyl Acetate Resin Mixtures in the Mounting of Deteriorated Textiles », dans *Preprints of Papers Presented at the 4th Annual Meeting of the AIC*, Dearborn (Michigan), AIC, 1976, p. 57-65.

Himmelstein, P., et B. Appelbaum. « The Use of Sprayed Polyvinyl Acetate Resin Mixtures in Mounting Textiles », *JAIC*, vol. 17, nº 1 (1977), p. 37-44.

Hincelin, E., et A. Roche. « Étude du comportement mécanique d'adhésifs synthétiques pour le montage d'œuvres à base de papier et de cire d'abeille blanchie », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-fra.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Hoechst AG, F. *Mowilith Handbook*, 5e éd., Francfort (Allemagne), Farbwerke Hoechst AG, 1972.

Hofenk-de Graaf, J. « Hydroxypropylcellulose, a Multipurpose Conservation Material », dans *ICOM-CC 6th Triennial Meeting, Ottawa, 21–25 September 1981: Preprints*, Paris (France), ICOM-CC, 1981, p. 81/14/9:1-7.

Hoffmann, P. (directeur de publication). *Proceedings of the 4th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Bremerhaven, 1990*, Bremerhaven (Allemagne), Ditzen, 1991.

Hoffmann, P. (directeur de publication). *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm 2001*, Bremerhaven (Allemagne), ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, 2002.

Hoffmann, P. (directeur de publication). *Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Copenhagen, 2004*, Bremerhaven (Allemagne), M. Hauschild, 2005.

Hoffmann, P., T. Daley et T. Grant (directeurs de publication). *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland, Maine, 1993*, Bremerhaven (Allemagne), Ditzen, 1994.

Hoffmann, P., T. Daley, T. Grant et J.A. Spriggs (directeurs de publication). *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, York, 1995*, Bremerhaven (Allemagne), ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, 1997.

Hofmann, A.B. « Flattening Cracks in Photographs », *Topics in Photograph Preservation*, vol. 4 (1991), p. 166-169.

Homburger, H., et B. Korbel. « Architectural Drawings on Transparent Paper: Modifications of Conservation Treatments », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 18 (1999), p. 25-33. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v18/bp18-06.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Honey, A. « The Conservation of Annotations in Libro Evangeliorum Using a Natural Cloth Hollow Over a Moulded Japanese Paper Spine-Former », *Paper Conservator*, vol. 27, nº 1 (2003), p. 5-11.

Horelick, L.A., K. McHugh et O. Madden. « What's Going on with Guts: Assessing Adhesives Used to Repair Cultural Objects Made of Gut Skin », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Horie, C.V. « Reversibility of Polymer Treatment », dans *Resins in Conservation, SSCR Proceedings of the Symposium, Edinburgh, 1982*, Édimbourg (Royaume-Uni), SSCR, 1982, p. 3-1-3-6.

Horie, C.V. *Materials for Conservation*, London (Royaume-Uni), Butterworths, 1987.

Horie, C.V. *AIC Adhesives for Conservation Workshop Presentation*, 2005.

Horie, V. *Materials for Conservation*, 2e éd., Londres (Royaume-Uni), Elsevier, 2010.

Horovitz, I. « The Consolidation of Paintings on Copper Supports », dans *ICOM-CC 11th Triennial Meeting, Edinburgh, Scotland, 1–6 September 1996: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1996, p. 276-281.

Horton-James, D., S. Walston et S. Zounis. « Evaluation of the Stability, Appearance and Performance of Resins for the Adhesion of Flaking Paint on Ethnographic Objects », *Studies in Conservation*, vol. 36, nº 4 (1991), p. 203-221.

Howatt-Krahn, A. « Treatment of Quillwork » (atelier en laboratoire), *Symposium 86 : L'entretien et la sauvegarde des matériaux ethnologiques*, Ottawa (Ontario), ICC, 1986.

Howells, R., et A. Burnstock. « Polymer Dispersions Artificially Aged », *The Conservator*, vol. 9 (1985), p. 46-49.

Howie, F.M.P. « Materials Used for Conserving Fossil Specimens Since 1930: A Review », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984.

Hoyas, G. (directeur de publication). *The Story of Shellac* (en ligne), Vernon Hills (Illinois), Zinsser, 2003. Sur Internet : <URL : www.naturalhandyman.com/iip/infpai/shellac.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Hubbard, J.R. « Animal Glues », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1977, p. 139-151.

Hurd, J. *Adhesives Guide*, Londres (Royaume-Uni), British Scientific Instrument Research Association, 1959.

Huys, F., et T.B. van Oosten. « The Aeromodeller 00-PL; The Conservation of a PVC Balloon », dans *ICOM-CC 14th Triennial Meeting, The Hague, 12–16 September 2005: Preprints* (sous la direction de I. Verger), Londres (Royaume-Uni), James & James, 2005, p. 335-342.

ICC. « Colle d'amidon de blé », *Notes de l'ICC* (en ligne), 11/4, Ottawa (Ontario), ICC, 1993. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/resources-ressources/ccinotesicc/11-4-fra.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

ICC. *Logiciel PEGcon* (en ligne), Ottawa (ON), ICC, s.d. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/resources-ressources/tools-outils/pegcon/landing-fra.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

IPC (Institute of Paper Conservation). « Starch Pastes », *Paper Conservation News*, no 49 (1989).

Ippoliti, R. « Ancient Waterlogged Wood Treatment by Using Starch Impregnation and D.I.C. Technology (Arkè Method) », dans *4e conférence de la Commission européenne – La recherche pour la protection, la conservation et la mise en valeur du patrimoine culturel : opportunités pour les entreprises européennes*, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes, 2002, p. 122-126.

ISO 18916:2007. *Matériaux pour l'image – Matériaux pour l'image traités – Essai d'activité photographique pour les matériaux de fermeture* (en ligne), Genève (Suisse), Organisation internationale de normalisation, 2007. Sur Internet : <URL : www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=31940>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Jacobi, E., B. Reissland, C. Phan Tan Luu, B. van Velzen et F. Ligterink. « Rendering the Invisible Visible », *Journal of Paper Conservation*, vol. 12, no 2 (2011), p. 25-34.

Jaffe, H.L., et F.M. Rosenblum. « Poly(Vinyl Alcohol) for Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 401-407.

Jaffe, H.L., F.M. Rosenblum et W. Daniels. « Polyvinyl Acetate Emulsions for Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 381-400.

Jahont, O. « On the Restoration Methods of Museum Stone Sculpture », dans *Problems of the Completion of Art Objects*, Veszprem (Hongrie), Institute of Conservation and Methodology of Museums, 1979, p. 87-93.

Jeong, H.E., J.-K. Lee, H.N. Kim, S.H. Moon et K.Y. Suh. « A Nontransferring Dry Adhesive with Hierarchical Polymer Nanohairs », *Proceeding of the National Academy of Sciences* (en ligne), vol. 106, no 14 (2009), p. 5639-5644. Sur Internet : <URL : www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0900323106>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Jirat-Wasiutynski, T. « Sprayed Poly(vinyl Acetate) Heat Seal Adhesive Lining of Pen and Iron Gall Ink Drawings on Tracing Paper », *JAIC,* vol. 19, no 2 (1980), p. 96-102.

Johnson, J.S. « Consolidation of Archaeological Bone: A Conservation Perspective », *Journal of Field Archaeology*, vol. 21, no 2 (1994), p. 221-233.

Jorjani, M., G. Wheeler, C. Riccardelli, W. Soboyejo et N. Rahbar. « An Evaluation of Potential Adhesives for Marble Repair », dans *Holding It All Together: Ancient and Modern Approaches to Joining, Repair and Consolidation* (sous la direction de J. Ambers *et al.*), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2009, p. 143-149.

Jürgens, M.C. *Silicone Rubber Face-mounting of Photographs to Poly(methyl methacrylate): Process, Structure, Materials and Long-term Dark Stability*, 2001. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Kalenda, P. « Diffusion of Acids Into Epoxy Resin Compositions », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 45, no 12 (1992), p. 2235-2238.

Kaminitz, M., et J. Levinson. « The Conservation of Ethnographic Skin Objects at the American Museum of Natural History », *Leather Conservation News*, vol. 5, no 1 (1988), p. 1-7.

Karpowicz, A. « A Study on Development of Cracks on Paintings », *JAIC*, vol. 29, no 2 (1990), p. 169-180.

Karsten, I.F. *The Light Stability of Silk Adhered to Sheer Silk and Polyester Backing Fabrics with Poly(vinyl acetate) Copolymer Adhesives*, 1998. Thèse de maîtrise, Université de l'Alberta.

Karsten, I.F. *Factors Affecting the Bond Strength of Textile Artefact/Adhesive/Support Fabric Laminates*, 2003. Thèse de doctorat, Université de l'Alberta.

Karsten, I.F., et J.L. Down. « The Effect of Adhesive Concentration, Reactivation Time and Pressure on the Peel Strength of Heat and Solvent-reactivated Lascaux 360/498 HV Bonds to Silk », dans *ICOM-CC 14th Triennial Meeting, The Hague, 12–16 September 2005: Preprints* (sous la direction de I. Verger), Londres (Royaume-Uni), James & James, 2005, p. 927-935.

Karsten, I.F., et N. Kerr. « Peel Strength and Reversibility of Adhesive Support Treatments on Textiles: The Nature of Bond Failure as Revealed by Scanning Electron Microscopy », *AIC Textile Specialty Group Postprints*, vol. 13 (2003), p. 69-82.

Karsten, I.F., et N. Kerr. « Peel Strength of Silk and Nylon Textiles Adhered to Sheer Support Fabrics », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Katz, K.B. « The Quantitative Testing and Comparisons of Peel and Lap/Shear for Lascaux 360 HV and BEVA 371 », *JAIC*, vol. 24, no 2 (1985), p. 60-68.

Kavvouras, P.K., C. Kostarelou, A. Zisi, M. Petrou et G. Moraitou. « Use of Silanol-terminated Polymethy-siloxane

in the Conservation of Waterlogged Archaeological Wood », *Studies in Conservation*, vol. 54, nº 2 (2009), p. 65-76.

Keene, S. « The Performance of Coatings and Consolidants Used for Archaeological Iron », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 104-106.

Kellar, S. « Case History: The Conserving of a Chained Binding », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 7 (1988), p. 23-27. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v07/bp07-04.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Kelleher, P.G., et B.D. Gesner. « Photo-oxidation of Phenoxy Resin », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 13, nº 1 (1969), p. 9-15.

Kenjo, T., et H. Arai. « Studies on Aged Starch Paste for the Traditional Mounting of Hanging Scrolls », dans *Biodeterioration of Cultural Property 3: Proceedings of the 3rd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property, July 4–7, 1995, Bangkok, Thailand*, Bangkok (Thaïlande), Office of Archaeology and National Museums, Conservation Science Division, 1995, p. 387-399.

Keskkula, H., et D.R. Paul. « Thermal Behavior of Polyethyloxazoline », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 31, nº 3 (1986), p. 941-950.

Keyserlingk, M. « The Question of Reversibility », dans *Silk: Harper's Ferry Regional Textile Group, 11th Symposium, November 12–13, 1992, National Museum of American History*, Harpers Ferry (Virginie-Occidentale), Harpers Ferry Regional Textile Group, 1992, p. 41-46.

Keyserlingk, M. « Case Histories of Textile Adhesive Treatments Using Acrylic Resins Poly(*n*-butyl methacrylate », présentation donnée au *Symposium on the Use of Adhesives and Consolidants in Textile Conservation*, New York (New York), 1993.

Kiefer, K. « Pneumatically Generated Mist for Adhesion Reactivation », *AIC Painting Specialty Group Postprints*, vol. 17 (2005), p. 111-112.

Kigawa, R., T. Strang, N. Hayakawa, N. Yoshida, H. Kimura et G. Young. « Investigation of Effects of Fumigants on Proteinaceous Components of Museum Objects (Muscle, Animal Glue and Silk) in Comparison with Other Non-chemical Pest Eradicating Measures », *Studies in Conservation*, vol. 56, nº 3 (2011), p. 191-215.

Kirby, D.P., N. Khandekar, J. Arslanoglu et K. Sutherland. « Protein Identification in Artworks by Peptide Mass Fingerprinting », dans *ICOM-CC 16th Triennial Conference, Lisbon, 19–23 September 2011: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Lisbonne (Portugal), Critério, 2011.

Kite, M. « A 1740's Horse Hair Hat, A Busby c.1827 and a Fur-lined Cape c.1936 », dans *ICOM-CC 9th Triennial Meeting, Dresden, German Democratic Republic, 26–31 August 1990* (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), ICOM-CC, 1990, p. 616-621.

Kite, M. « The Conservation of a Wet Weather Hat from the Uniform of a Marshal General of the Portuguese Army and a Chinese Fur-lined Kesi Robe c. 1800 », dans *Paper and Textiles: the Common Ground, Preprints of the Conference held at the Burrell Collection, Glasgow, 19–20 September 1991* (compilé par F. Butterfield et L. Eaton), Glasgow (Royaume-Uni), SSCR, 1991, p. 105-115.

Kite, M. « The Conservation of the 19th Century Japanese Ainu Barkcloth Kimono and the Papyrus Wrappings from a 3rd Century Egyptian Bottle », dans *Starch and other Carbohydrate Adhesives for Use in Textile Conservation* (sous la direction de P. Cruikshank et Z. Tinker), Londres (Royaume-Uni), UKIC Textile Section, 1995, p. 25-27.

Kite, M. « Gloves », dans *ICOM-CC 11th Triennial Meeting, Edinburgh, Scotland, 1–6 September 1996: Preprints, vol. 2* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1996, p. 735-741.

Kite, M. « The Conservation of a 19th Century Salmon Skin Coat », dans *ICOM-CC 12th Triennial Meeting, Lyon, France, 29 August–3 September 1999: Preprints, vol. 2* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1999, p. 691-696.

Kite, M., et R. Thomson (directeurs de publication). *Conservation of Leather and Related Materials*, Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006.

Kite, M., et P. Webber. « The Conservation of an English Embroidered Picture Using an Oriental Paper Method: A Joint Approach », *The Conservator*, vol. 19 (1995), p. 29-35.

Klug Conservation. *Albertina Poultice* (en ligne). Sur Internet : <http://www.klug-conservation.com/Products/Accessories/Albertina-Poultice/Albertina-poultice>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Knapen, E., et D. Van Gemert. « Microstructures in Mortars Modified with Water-soluble Polymers », *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 13, nº 3 (2007), p. 153-160.

Knight, E., et L. Borgioli. « A New Polymer for Consolidation », dans *The Care of Painted Surfaces, Materials and Methods for Consolidation and Scientific Methods to Evaluate Their Effectiveness, Proceedings of the Conference, Milan, November 10–11, 2006, Third International Conference. Colour and Conservation Materials and Method in the Conservation of Polychrome Artworks* (sous la direction de CESMAR7), Padoue (Italie), Il Prato, 2008, p. 180-181.

Koestler, R.J. « Polymers and Resins as Food for Microbes », dans *Of Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*, New York (New York), Kluwer, 2000, p. 153-166.

Kohler, S.A. « Preparation of Rice Starch Paste », *Abbey Newsletter*, vol. 5, nº 3 (1981), p. 41.

Kok, C.M., et A. Rudin. « Estimation of Solubility Parameters from Solution Properties of Polymers », *Journal of Coatings Technology*, vol. 55, nº 704 (1983), p. 57-62.

Kolbe, G. « Gelatine in Historical Paper Production and as Inhibiting Agent for Iron-gall Ink Corrosion on Paper », *Restaurator*, vol. 25, nº 1 (2004), p. 26-39.

KOOB, S.P. « The Removal of Aged Shellac Adhesive from Ceramics », *Studies in Conservation*, vol. 24, nº 3 (1979), p. 134-135.

KOOB, S.P. « Consolidation with Acrylic Colloidal Dispersions », dans *AIC Preprints of Papers Presented at the Ninth Annual Meeting, Philadelphia, PA, 27–31 May 1981*, Washington (D.C.), AIC, 1981, p. 86-94.

KOOB, S.P. « The Instability of Cellulose Nitrate Adhesives », *The Conservator*, vol. 6 (1982), p. 31-34.

KOOB, S.P. « The Consolidation of Archaeological Bone », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 98-102.

KOOB, S.P. « The Continued Use of Shellac as an Adhesive - Why? », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 1984*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984b, p. 103-104.

KOOB, S.P. « The Use of Paraloid B-72 as an Adhesive: Its Application for Archaeological Ceramics and Other Materials », *Studies in Conservation*, vol. 31, nº 1 (1986), p. 7-14.

KOOB, S.P. « The Use of Acryloid B-72 in the Treatment of Archaeological Ceramics: Minimal Intervention », dans *Materials Issues in Art and Archaeology II* (sous la direction de P.B. Vandiver, J. Druzik et G. Wheeler), Pittsburgh (Pennsylvanie), Materials Research Society, 1991, p. 591-596.

KOOB, S.P. « Using Acryloid B-72 for the Repair of Archaeological Ceramics », *Conservation Notes (Texas Memorial Museum)*, nº 21 (mai 1996).

KOOB, S.P. « Restoring High-fired Ceramics and Glass with Paraloid B-72 », dans *Adhesives and Consolidants for Ceramics and Related Materials, Transcripts of Lectures Given at the Ceramics and Glass Conservation Group Meeting, October 25, 1997*, Londres (Royaume-Uni), UKIC Ceramics and Glass Conservation Group, 1999.

KOOB, S.P. « New Techniques for the Repair and Restoration of Ancient Glass », dans *IIC Melbourne Congress*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 2000, p. 92-95.

KOOB, S.P. « Tips and Tricks with Epoxy and Other Casting and Molding Materials », dans *Objects Specialty Group Postprints, Proceedings of the 31st AIC Annual Meeting, Arlington, VA*, Washington (D.C.), AIC, 2003, p. 158-172.

KOOB, S.P. *Conservation and Care of Glass Objects*, New York (New York), Archetype, 2006.

KOOB, S.P. « Paraloid B-72®: 25 Years of Use as a Consolidant and Adhesive for Ceramics and Glass », dans *Holding It All Together: Ancient and Modern Approaches to Joining, Repair and Consolidation* (sous la direction de J. Ambers *et al.*), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2009, p. 113-119.

KOOB, S.P., S. BENRUBI, N.A.R. VAN GIFFEN et N. HANNA. « An Old Material, a New Technique: Casting Paraloid B-72 for Filling Losses in Glass », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

KOTLIK, P., et J. ZELINGER. « Penetrace roztoku epoxidovÿch pryskyric do piskovce [Pénétration de solutions de résine époxydique dans du grès] », *Sbornik Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, S6 Polymery – chemie, vlastnosti a zpracovani, konzervace a restaurování kulturních památek* (1981), p. 73-86.

KOTLIK, P., et J. ZELINGER. « Physical Properties of Sandstone on Impregnation with Organosilicon Consolidants and Epoxy Resin », *Sbornik Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, S10 Polymery – chemie, vlastnosti a zpracovani, konzervace a restaurování kulturních památek* (1983), p. 129-144.

KOTLIK, P., P. JUSTA et J. ZELINGER. « The Application of Epoxy Resins for the Consolidations of Porous Stone », *Studies in Conservation*, vol. 28, nº 2 (1983), p. 75-79.

KOTLIK, P., I. PICKOVÁ et J. ZELINGER. « Sitováni epoxidových pryskyric v pýitomnosti rozpoustedel [La réticulation de résine époxy en présence de solvants] », *Sbornik Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, S6 Polymery – chemie, vlastnosti a zpracovani, konzervace a restaurování kulturních památek* (1981), p. 82-109.

KOTZEV, D.L., Z.Z. DENCHEV et V.S. KABAIVANOV. « Adhesive Properties of Ethyl 2-cyanoacrylate Containing Small Amounts of Acetic Acid as Adhesion Promoter », *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 7, nº 2 (1987), p. 93-96.

KREMERPIGMENTS.COM. *Methocel A4M* (en ligne). Sur Internet : <URL : http://shop.kremerpigments.com/en/mediums--binders-und-glues/water-soluble-binders/methocel-a4m-63671:.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

KRES, L.A., et N.C. LOVELL. « A Comparison of Consolidants for Archaeological Bone », *Journal of Field Archaeology*, vol. 22, nº 4 (1995), p. 508-515.

KRONKRIGHT, D. « New Directions in Native American Basketry Conservation », *AIC Preprints* (1981), p. 95-108.

KRONTHAL, L. « Conservation of Chinese Shadow Figures: Investigations into their Manufacture, Storage and Treatment », *JAIC*, vol. 40, nº 1 (2001), p. 1-14.

KRONTHAL, L., J. LEVINSON, C. DIGNARD, E. CHAO et J. DOWN. « Beva 371 and Its Use as an Adhesive for Skin and Leather Repairs: Background and a Review of Treatments », *JAIC*, vol. 42, nº 2 (2003), p. 341-362.

KROSCHWITZ, J.I., H.F. MARK, N.M. BIKALES, C.G. OVERBERGER et G. MENGES (directeurs de publication). *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, vol. 1*, New York (New York), John Wiley & Sons, 1985.

KRUGER, L., et N. LACOURSE. « Starch Based Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 153-166.

Krutzel, L. « Solving Plasticizer Migration Problems », *Tappi Journal* (1989), p. 173-176.

Kulikov, V.S., A.D. Yakovlev et Y.P. Rozhkov. « Characteristics of Curing Epoxy Compounds in the Presence of Water », *Lakokrasochnye materialy i ikh primenenie*, nº 5 (1977), p. 51-53.

Kulkarni, R.K., H.J. Porter et F. Leonard. « Glass Transition Temperature of Poly(alkyl α-Cyanoacrylates) », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 17, nº 11 (1973), p. 3509-3514.

Kumar, R., et W.S. Ginell. « Evaluation of Consolidants for Stabilization of Weak Maya Limestone », dans *Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments: Preprints of the International Colloquium, Rome, 19–21 June 1995*, Rome (Italie), ICCROM, 1995, p. 163-178.

Kyi, C.P., et R.E. Drew. « Bioremediation of Soluble Nylon: Investigation of Genetic Information and Enzymatic Activities Associated with the Utilization of Soluble Nylon as a Nutrient Source », dans *Tradition and Innovation: Advances in Conservation. Contributions to the IIC Melbourne Congress, 10–14 October 2000*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 2000, p. 101-106.

Lafrance, J. *Treatment Record: 112 Leather Objects From the Old Songhees Reserve Site, Royal British Columbia Museum, #91313* (non publié), ICC, 2010.

Landi, S. « Three Examples of Textile Conservation in the Victoria and Albert Museum », *Studies in Conservation*, vol. 11, nº 3 (1966), p. 143-159.

Landi, S. *The Textile Conservator's Manual*, 2e éd., Londres (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 1992.

Lang, J. « Adhesives for Wax Artifacts: Investigation of Suitable Materials and Their Adhesion Properties via Tensile and Bending Tests », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Larkin, N.R., et E. Makridou. « Comparing Gap-fillers Used in Conserving Sub-fossil Material », *Geological Curator*, vol. 7, nº 2 (1999), p. 81-90.

Lascaux. *Lascaux Water-Soluble Acrylic Adhesives 360 HV, 498 HV, 498-20X* (en ligne), feuille de données 7050.02-99, Brüttisellen (Zurich), Lascaux Farbenfabrik, 1999. Sur Internet : < URL : http://talasonline.com/photos/instructions/lascaux_adhesives.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Lascaux. *Lascaux Adhesives and Adhesive Wax* (en ligne), feuille de données 58370.02-11.12, Brüttisellen (Zurich), Lascaux Colours & Restauro, 2012. Sur Internet : <URL : http://www.lascaux.ch/pdf/en/produkte/restauro/58370.02_Adhesive_and_Adhesive_Wax.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Lavaquerie, P., et C. Chahine. « Le traitement des cuirs de reliure "épidermés" », *Support Tracé*, nº 1 (2001), p. 13-16.

Lawrence, C. *The Effect of Solvent Variations on the Long Term Properties of Resin Coatings*, 1990. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Lazarus, D.M. « Adhesives Based on Starch », dans *Adhesion 7* (sous la direction de K.W. Allen), Barking (Royaume-Uni), Applied Science Publishers, 1983, p. 197-219.

Lechuga, K. « Aquazol-Coated Remoistenable Mending Tissues », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Lee, H., et K. Neville. *Handbook of Epoxy Resins*, New York (New York), McGraw-Hill Book Company, 1967.

Lee, H., et F.T. Watson. « Ultra Violet Resistance of Epoxy Resins », *20th Annual Conference, Society of Plastics Engineers*, s.l., s.n., 1964, p. 1-10.

Lee, J., et R.S. Fearing. « Contact Self-cleaning of Synthetic Gecko Adhesive from Polymer Microfibers », *Langmuir*, vol. 24, nº 19 (2008), p. 10587-10591.

Lefebvre, D.R., P.R. Elliker, K.M. Takahashi, V.R. Raju et M.L. Kaplan. « The Critical Humidity Effect in the Adhesion of Epoxy to Glass: Role of Hydrogen Bonding », *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 14, nº 7 (2000), p. 925-937.

Lemiski, S. « An Investigation of Poultice Materials for Textile Conservation », *Textile Conservation Newsletter Supplement* (1998).

Leonard, F., R.K. Kulkarni, G. Brandes, J. Nelson et J.J. Cameron. « Synthesis and Degradation of Poly(alkyl α-cyanoacrylates) », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 10, nº 2 (1966), p. 259-272.

Leslie, H.C. « PEG of the Woodworkers Heart », *Man/Society/Technology, A Journal of Industrial Arts and Technology*, vol. 33, nº 1 (1973), p. 13-16.

Letnar, M.Č., S. Grkman et J. Vodopivec. « The Effect of Surface Coating on the Stability of Leafcast Paper », *Restaurator*, vol. 27, nº 1 (2006), p. 46-65.

Letts, N. « PVA Glues Contain Suspect Carcinogen », *Art Hazard News*, vol. 13, nº 10 (1990), p. 1-2.

Levy, B. « The Restoration Rebinding of Speculum Naturale by Vincent of Beauvais and the Subsequent Development of Several Options for Conservation Rebinding Structures Based on Details Found During the Restoration », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 6 (1987), p. 79-84. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v06/bp06-08.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Lewis, J. (directrice de publication). *Adhesive Treatments Revisited*, Londres (Royaume-Uni), UKIC Textile Section, 1998.

LIDE, D.R. (directeur de publication). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 85e éd., Boca Raton (Floride), The Chemical Rubber Company, 2004.

LINDSAY, W. « The Acid Technique in Vertebrate Paleontology: A Review », *Geological Curator*, vol. 4, nº 7 (1987), p. 455-461.

LIOW, A., A. TEE et T. HAYES. « A Study of the Materials and Techniques of Two Dayak Longhouse Models », dans *ICOM-CC 14th Triennial Meeting, The Hague, 12–16 September 2005: Preprints*, Londres (Royaume-Uni), James & James, 2005, p. 103-109.

LISZEWSKA, W. « Japanese Polysaccharide Adhesives: Wheat Starch and Funori in Theory and Practical Conservation Treatments », *PapierRestaurierung*, vol. 6, nº 4 (2005), p. 23-30.

LOCHHEAD, V. « Conservation of Painted Trade Union Banners », dans *Lining and Backing: The Support of Paintings, Paper and Textiles*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1995, p. 96-101.

LODEWIJKS, J. *The Use of Synthetic Resins for Conservation of Ancient Textiles* (rapport), Washington (D.C.), ICOM Committee for Museum Laboratories, 1965, p. 6.

LONG, C. « Mending of Fiber Based Silver-gelatin Photographs », *Topics in Photograph Preservation*, vol. 3 (1989), p. 62-65.

LONG, D. « The Treatment of a 19th Century Buckskin Jacket », dans *AIC Objects Specialty Group Postprints*, vol. 8 (2001), p. 150-154.

LORD, A. « Modifying Commonly Used Adhesive Treatments for the Conservation of 17th-19th Century English Embroideries », dans *SFT Jubilee Conference: Silk – Different Aspects, Stockholm, 1–4 September 1997*, Suède, Svenska Föreningen för Textilkonservering, 1997.

LORD, A., et H. SUTCLIFFE. « Combining Cold Lining and Solvent Reactivation for the Treatment of an Embroidered Silk Picture: A Case Study », *The Conservator*, vol. 24 (2000), p. 89-95.

LOUDERMILK, K.J. *Adhesive Bond Strength Suitablility of BEVA D-8*, 2005. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

LUMEN DYNAMICS GROUP INC. *UVABC's: UV Bonding & Curing: Adhesives* (en ligne), s.d. Sur Internet : <URL : https://web.archive.org/web/20140115175258/http://www.ldgi.com/technology-learning-center/uv-bonding-curing/adhesives/>. Page consultée le 7 janvier 2015.

MACAUSLAND, J., et M. WARNES. « Correspondence on N-Methyl-2-Pyrrolidone », *Paper Conservation News*, nº 7 (1978), p. 3-4.

MADSEN, S. « Some Techniques and Procedures for Microvertebrate Preparation », dans *Techniques for Recovery and Preparation of Microvertebrate Fossils* (sous la direction de R.L. Cifelli), Norman (Oklahoma), Oklahoma Geological Survey, 1996, p. 25-36.

MAHEUX, A.F. « Persistent Dilemmas: The Conservation of Large Works of Art on Paper at the National Gallery of Canada », dans *Conference Papers Manchester 1992*, Londres (Royaume-Uni), IPC, 1992, p. 73-80.

MAHONEY, C.L. « Surface Preparation for Adhesive Bonding », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 81-92.

MANTELL, C.L. *Technology of Natural Resins*, New York (New York), John Wiley & Sons, 1942.

MANTELL, C.L. « Dextrin and British Gum: Modified Starches », *IIC Bulletin of the American Group*, vol. 11, nº 1 (1970), p. 52.

MARCHAND, C. *La restauration d'un kayak* (en ligne), Gatineau (Québec), Musée canadien de l'histoire, 1998. Sur Internet : <URL : http://www.museedelhistoire.ca/cmc/exhibitions/aborig/watercraft/kayak/kayak1f.shtml>. Page consultée le 7 janvier 2015.

MARSCHNER, H. « The Evaluation of Restoration Materials for Glass by Accelerated Testing », *O Vitral História Conservaçâa e Restauro, Encontro Internacional Mosteiro da Batalha 27-29 de Abril de 1995*, Lisbonne (Portugal), ministère de la Culture, 2000, p. 130-136.

MARXEN-WOLSKA, E. « Polyvinyl Acetate in the Conservation of the Wall Paintings », dans *Science, Technology and European Cultural Heritage, Proceedings of the European Symposium, Bologna, Italy, 13–16 June 1989* (sous la direction de N.S. Baer, C. Sabbioni et A.I. Sors), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 1991, p. 640-641.

MASON, J. *Treatment of Ceremonial Coat, No. 2005515* (non publié), ICC, 1996.

MASON, J. *Treatment of Mayor's Chair, No. 92907* (non publié), ICC, 2010.

MASSCHELEIN-KLEINER, L. « Conservation of Very Brittle Textiles », dans *Conservazione e restauro dei tessili. Convegno internazionale, Como, 1980. Conservation and Restoration of Textiles. International conference, Como 1980* (sous la direction de F. Pertegato), Milan (Italie), Centro Italiano per lo Studio della Storia del Tessuto-Sezione Lombardia, 1980, p. 245-250.

MASSCHELEIN-KLEINER, L. *Liants, vernis et adhésifs anciens*, 2e éd., Bruxelles (Belgique), Institut Royal du Patrimoine Artistique, 1992.

MASSCHELEIN-KLEINER, L., et F. BERGIERS. « Influence of Adhesives on the Conservation of Textiles », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 70-73.

MASUDA, K. « Vegetable Adhesives Used in the Workshop of the *Hyõgushi*, Restorer and Mounter of Japanese Paintings », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 127-128.

MATERO, F., et A.B. OLIVER. « A Comparative Study of Alkoxysilanes and Acrylics in Sequence and in Mixture »,

Journal of Architectural Conservation, vol. 3, nº 2 (1997), p. 22-42.

MATHIAS, C.G.T. « Penetrating Effects of Epoxy Resin Systems », *Occupational Health and Safety (*mai 1981), p. 42-44.

MAVROV, G. « Aging of Silicone Resins », *Studies in Conservation*, vol. 28, nº 4 (1983), p. 171-178.

MAYER, H. « The Chemistry and Properties of Silicone Resins », *Surface Coatings International*, vol. 82, nº 2 (1999), p. 77-83.

MCCRONE, W.C. « A Rapid Solubility Test », *IIC-American Group Annual Meeting*, Philadelphie (Pennsylvanie), IIC, 1965.

MCGLINCHEY, C. « Boundaries of the Teas Solubility Concept », *Western Association Art Conservation Newsletter*, vol. 24, nº 2 (2002), p. 17-19.

MCGLINCHEY, C., et B. YUAN. « The Development of Ultra-cool Melt Adhesives for Mounting Resin-coated (RC) Photographic Papers », dans *Materials Research Society Symposium Proceedings*, vol. 852 (2004), p. 321-330.

MCPHERSON, H. « A Medium Term Strategy for Dealing with Detached Book Boards », dans *Postprints of the First National Symposium, Conservation of Paper, Books and Photographic Materials, 23–25 March 2000, Canberra, Australia*, Canberra (Australie), The Australian Institute for the Conservation of Cultural Material, 2000, p. 99-103.

MCPHERSON, H., et D. MCPHERSON. « Rebinding of the Camera Work Collection », dans *Postprints of the First National Symposium, Conservation of Paper, Books and Photographic Materials, 23–25 March 2000, Canberra, Australia*, Canberra (Australie), The Australian Institute for the Conservation of Cultural Material, 2000, p. 87-91.

MEATH, A.R. « Epoxy Resin Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 347-358.

MECKLENBURG, M.F. « The Effects of Atmospheric Moisture on the Mechanical Properties of Collagen Under Equilibrium Conditions », dans *Preprints of Papers Presented at the Sixteenth Annual Meeting of the AIC, New Orleans, Louisiana, June 1–5, 1988*, Washington (D.C.), AIC, 1988, p. 231-244.

MECKLENBURG, M.F. « Some Mechanical and Physical Properties of Gilding Gesso », dans *Gilded Wood: Conservation and History*, Madison (Connecticut), Sound View Press, 1991, p. 163-170.

MECKLENBURG, M.F., et L. FUSTER LOPEZ. « Failure Mechnisms in Canvas Supported Paintings: Approaches for Developing Consolidation Protocols », dans *The Care of Painted Surfaces, Materials and Methods for Consolidation and Scientific Methods to Evaluate Their Effectiveness, Proceedings of the Conference, Milan, November 10–11, 2006, Third International Conference. Colour and Conservation Materials and Method in the Conservation of Polychrome Artworks* (sous la direction de CESMAR7), Padoue (Italie), Il Prato, 2008, p. 49-58.

MECKLENBURG, M.F., C.S. TUMOSA et D. ERHARDT. « Structural Response of Painted Wood Surfaces to Changes in Ambient Relative Humidity », dans *Painted Wood: History and Conservation: Proceedings of a Symposium Organized by the Wooden Artifacts Group of the AIC and the Foundation of the AIC, held at the Colonial Williamsburg, Williamsburg, Virginia 11–14 November 1994* (sous la direction de V. Dorge et F.C. Howlett) (en ligne), Los Angeles (Californie), GCI, 1998, p. 464-483. Sur Internet : <URL : www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/paintedwood.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

MECKLENBURG, M.F., C.S. TUMOSA et M.H. MCCORMICK-GOODHART. « A General Model Relating Externally Applied Forces to Environmentally Induced Stresses in Materials », dans *Materials Issues in Art and Archaeology IV: Symposium Held May 16–21, 1994, Cancun, Mexico. Materials Research Society Symposia Proceedings* (sous la direction de P.M. Vandiver *et al*.), Warrendale (Pennsylvanie), Materials Research Society, 1995, p. 285-292.

MEDINA, C., et C. ROGERSON. « Solvent Reactivation of Adhesives in Textile Conservation: Survey and Comparison with Heat Reactivation », *Conservar Património*, nos 3 et 4 (2006), p. 25-38.

MEHRA, V.R. « Nap-bond Cold-lining on a Low-pressure Table », dans *Maltechnik Restauro,* vol. 81, nº 2 (avril 1975), p. 87-95.

MEHRA, V.R. « The Cold-lining of Paintings », *The Conservator*, vol. 5 (1981), p. 12-14.

MELLOR, S.P. « The Exhibition and Conservation of African Objects: Considering the Nontangible », *JAIC*, vol. 31, nº 1 (1992), p. 3-16.

MELO, M.J., S. BRACCI, M. CAMAITI, O. CHIANTORE et F. PAICENTI. « Photodegradation of Acrylic Resins Used in the Conservation of Stone », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 66, nº 2 (1999), p. 23-30.

MENCER, H.J., et Z. GOMZI. « Swelling Kinetics of Polymer-solvent Systems », *European Polymer Journal*, vol. 30, nº 1 (1994), p. 33-36.

MESSIER, P., et T. VITALE. « Cracking in Albumen Photographs: an ESEM Investigation », *Microscopy Research and Technique*, vol. 25, nos 5/6 (1993), p. 374-383.

MESSIER, P., et T. VITALE. « Effects of Aqueous Treatment on Albumen Photographs », *JAIC*, vol. 33, nº 3 (1994), p. 257-278.

MESSINGER II, J.M., et P.T. LANSBURY. « Controlling the Refractive Index of Epoxy Adhesives », *JAIC*, vol. 28, nº 2 (1989), p. 127-136.

METZGER, C., M. BROWN et G. BOAL (modérateurs). « Use of Adhesives on Leather Discussion », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 22 (2003), p. 99-104. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v22/bp22-19.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

MEYER, F., et A. NEUMANN. « Recombinant Proteins: A New Material for the Chemical Stabilisation of Copper Pigment Corrosion on Paper? », *Restaurator*, vol. 30, nos 1/2 (2009), p. 96-130.

Michalski, S. « A Physical Model of the Consolidation Process, Particularly of Paintings », dans *The Care of Painted Surfaces, Materials and Methods for Consolidation and Scientific Methods to Evaluate Their Effectiveness, Proceedings of the Conference, Milan, November 10–11, 2006, Third International Conference. Colour and Conservation Materials and Method in the Conservation of Polychrome Artworks* (sous la direction de CESMAR7), Padoue (Italie), Il Prato, 2008, p. 27-47.

Michalski, S., et D. Daly-Hartin. « CCI Lining Project: Preliminary Testing of Lined Model Paintings », dans *ICOM-CC 11th Triennial Meeting, Edinburgh, Scotland, 1–6 September 1996: Preprints, vol. 1* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1996, p. 288-296.

Michalski, S., et C. Dignard. « Ultrasonic Misting. Part 1, Experiments on Appearance Change and Improvement in Bonding », *JAIC*, vol. 36, nº 2 (1997), p. 109-126.

Michalski, S., C. Dignard, L. van Handel et D. Arnold. « The Ultrasonic Mister: Application in the Consolidation of Powdery Paint on Wooden Artifacts », dans *Painted Wood: History and Conservation: Proceedings of a Symposium Organized by the Wooden Artifacts Group of the AIC and the Foundation of the AIC, held at the Colonial Williamsburg, Williamsburg, Virginia, 11–14 November 1994* (sous la direction de V. Dorge et F.C. Howlett) (en ligne), Los Angeles (Californie), GCI, 1998, p. 498-513. Sur Internet : <URL : www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/paintedwood.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Michel, F. « Funori and JunFunori: Two Related Consolidants with Surprising Properties », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Michel, F., T. Geiger, A. Reichlin et G. Teoh-Sapkota. « Funori, ein japanisches Festigungsmittel für matte Malerei [Funori, un adhésif japonais pour peinture mate] », *Zeischrift für Kunsttechnologie*, vol. 16, nº 2 (2002), p. 257-275.

Miller, B.F., et W. Root. « Long-term Storage of Wheat Starch Paste », *Studies in Conservation*, vol. 36, nº 2 (1991), p. 85-92.

Miller, C. *A Further Study on the Interaction Between Cyanoacrylate Adhesives and Epoxy Resins Used in the Conservation of Historic Glass*, 1996. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Miller, S. « Silicone in Modern Arts Part I: Basic Knowledge on Silicone Chemistry », *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, vol. 20, nº 2 (2006), p. 291-308.

Millet, G.H. « Properties of Cyanoacrylates - An Overview », *Adhesives Age* (octobre 1981), p. 27-32.

Millet, G.H., et M.J. Withee. « Cyanoacrylates for Fast, Strong Bonds », *Machine Design* (10 juin 1982), p. 66-69.

Mills, J.S., et R. White. *The Organic Chemistry of Museum Objects*, 2e éd., Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2003.

Monahan, V.J. *Interaction Between Epoxy and Cyanoacrylate Adhesives: An Examination of Stability in Two-part Adhesive Systems Used for Glass Repair*, 1994. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Moncrieff, A. « Problems and Potentialities in the Conservation of Vitreous Materials », dans *Conservation in Archaeology and the Applied Arts: Preprints of the Contributions to the Stockholm Congress, 2–6 June 1975* (sous la direction de D. Leigh *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1975, p. 99-104.

Montembault, V. « Treatments of Archaeological Leather in France », dans *Leather Wet and Dry: Current Treatments in the Conservation of Waterlogged and Desiccated Archaeological Leather* (sous la direction de B. Wills), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2001, p. 45-50.

Moran, D., et P.M. Whitmore. « The Development of Internal Stress in Films of Thermoplastic Polymers Cast from Solutions », *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 352 (1995), p. 293-303.

Morrison, L. « Some Suggested Materials for the Repair and Reconstruction of Archaeological Leather » dans *Preprints for the UKIC 30th Anniversary Conference* (compilé par V. Todd), Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1988, p. 107-111.

Morrison, P. « Mounting Large-format Photographs at the National Gallery of Victoria, Australia », *Topics in Photographic Preservation*, vol. 12 (2007), p. 141-142.

Morrison, R.C. « Aqueous Adhesives for Paper Conservation », *IICCM Bulletin*, vol. 6, nº 1 (1980), p. 51-68.

Morse, E. « Tape and Tape Stain Removal Course », Ottawa (Ontario), octobre 1998.

Moser, F. « Bonding Glass », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), Huntington (New York), Robert E. Krieger Publishing, 1962, p. 523-533.

Muir, N.T., et N.S. Yates. « The Treatment of Painted Flags and Banners at the National Maritime Museum, Greenwich », dans *ICOM-CC 8th Triennial Meeting, Sydney, Australia, 6–11 September 1987: Preprints* (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), GCI, 1987, p. 397-401.

Munnikendam, R. « Consolidation of Fragile Wood with Low Viscosity Aliphatic Epoxy Resins », dans *Conservation of Wood in Painting and the Decorative Arts: Preprints of the Contributions to the Oxford Congress, 17–23 September 1978*, Londres (Royaume-Uni), IIC, 1978, p. 71-73.

Nada, A.M.A., A.A. Abd El-Hakim et A.S. Badran. « Treatment of Deteriorated Paper with Emulsified Copolymer », *Restaurator*, vol. 20, nº 1 (1999), p. 30-38.

Nada, A.M.A., S. Kamel et M. El-Sakhawy. « Physiomechanical Properties of Paper Treated with Polymers », *Restaurator*, vol. 21, nº 4 (2000), p. 238-247.

NAGIN, D., et M. MCCANN. *Thymol and o-Phenyl Phenol: Safe Work Practices*, New York (New York), Center for Occupational Hazards, 1982.

NAPPER, D.H. *Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersions*, Sydney (Australie), Academic Press, 1983.

NAVARRO, J. « Reattaching Paper Labels to Ceramics and Glass », dans *Glass and Ceramics Conservation 2010, Preprints of the Interim Meeting of the ICOM-CC Working Group Glass and Ceramics* (sous la direction de H. Roemich), Corning (New York), ICOM-CC, 2010, p. 93-99.

NEEVEL, J.G., et C.T.J. MENSCH. « The Behaviour of Iron and Sulphuric Acid During Iron-gall Ink Corrosion », dans *ICOM-CC 12th Triennial Meeting, Lyon, France, 29 August–3 September 1999: Preprints, vol. 2* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1999, p. 528-533.

NEHER, A. « Radio Frequency Heating and the Reversibility of Animal Glue in Furniture Joinery », *Conservation News*, vol. 59 (1996), p. 35-37.

NEL, P., et D. LAU. « Identification of a Formulation Change in a Conservation-grade Adhesive », dans *Holding It All Together: Ancient and Modern Approaches to Joining, Repair and Consolidation* (sous la direction de J. Ambers *et al.*), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2009, p. 99-106.

NEL, P., D. LAU et C. BRAYBROOK. « A Closer Analysis of Old Cellulose Nitrate Repairs Obtained From a Cypriot Pottery Collection », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

NEW WORLD ENCYCLOPEDIA. *Silicone* (en ligne), 2008. Sur Internet : <URL : www.newworldencyclopedia.org/entry/Silicone>. Page consultée le 7 janvier 2015.

NEWEY, C., R. BOFF, V. DANIELS, M. PASCOE et N. TENNENT. *Adhesives and Coatings*, Science for Conservators, Conservation Teaching Series, vol. 3 (sous la direction de J. Ashley-Smith), New York (New York), Routledge, 1992.

NEWMAN, A. « Pyrite Oxidation and Museum Collections: A Review of Theory and Conservation Treatments », *Geological Curator*, vol. 6, nº 10 (1998), p. 363-371.

NEWTON, R., et S. DAVISON. *Conservation of Glass*, Cambridge (Royaume-Uni), Butterworths, 1989.

NGUYEN, T. « Gelatin as Adhesive », *PapierRestaurierung*, vol. 6, nº 4 (2005), p. 31-34.

NICHOLSON, G.J., J. TOMIUK, A. CZARNETZKI, L. BACHMANN et C.M. PUSCH. « Detection of Bone Glue Treatment as a Major Source of Contamination in Ancient DNA Analyses », *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 118, nº 2 (2002), p. 117-120.

NIEM, P.I.F., T.L. LAU et K.M. KWAN. « The Effect of Surface Characteristics of Polymeric Materials on the Strength of Bonded Joints », *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 10, nº 4 (1996), p. 361-372.

NIEUWENHUIZEN, L. « Synthetic Fill Materials for Skin, Leather and Furs », *JAIC*, vol. 37, nº 1 (1998), p. 135-145.

NIOSH. *Epoxy Wise Is Health Wise*, Cinncinnati (Ohio), U.S. Department of Health and Human Services, avril 1976.

NIOSH. « Glycidyl Ethers », *NIOSH Current Intelligence Bulletin* (en ligne), 29 (12 octobre 1978). Sur Internet : <URL : www.cdc.gov/niosh/docs/1970/79104_29.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

NISHIURA, T., M. FUKUDA et S. MIURA. « Treatment of Stone with Synthetic Resins for Its Protection Against Damage by Freeze-thaw Cycles », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 156-159.

NORLAND. R.E. « Fish Glue », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 2e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1977, p. 152-157.

NORMAN, A. « Select PSAs », *Labels and Labeling International*, vol. 23, nº 3 (2001), p. 76.

NORRIS, F.H., et P.M. DRAGETTI. « Polyvinyl acetate and Related Polymers for Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1962, p. 349-382.

NORTON. R. « The Stabilization, Mounting and Packing of a Tahitian Mourner's Costume », *ICCM Bulletin*, vol. 10, nº 1 (1984), p. 35-53.

NORTON, R. « Dyeing Cellulose-fibre Paper with Fibre-reactive Dyes », *The Paper Conservator*, vol. 26, nº 1 (2002), p. 37-47.

NOSKOV, A.M. « Photochemistry of Epoxy Films », *Zhurnal Prikladnoi Spektroskopii*, vol. 23, nº 6 (1975), p. 1067-1073.

NUNES DE SILVA, C. « Investigation of Fynebond and Hxtal NYL-1 », *Conservation News*, vol. 65 (1998), p. 26-28.

ODDY, A. « Does Reversibility Exist in Conservation? », dans *Conservation, Preservation and Restoration: Traditions, Trends and Techniques* (sous la direction de V. Pandit Rao), Hyderabad (Inde), Birla Archaeological & Cultural Institute, 1995, p. 299-306.

ODDY, W. « The Corrosion of Metals on Display », dans *Conservation in Archaeology and the Applied Arts* (sous la direction de D. Leigh *et al.*), Stockholm (Suède), IIC, 1975, p. 235-237.

ODEGAARD, N., et R. HARVEY. « Twisted Japanese Paper Threads » (affiche), *AIC 10th Annual Meeting*, Milwaukee (Wisconsin), AIC, 1984.

O'DONNELL, A.A. « No Object Is Frozen in Time: Revisiting Traditional and Non-traditional Leather Treatments as a Collaborative Effort », *Objects Specialty Group Post-prints 5*, Washington (D.C.), AIC, 1997, p. 142-151.

OLDFIELD, D., et T. SYMES. « Long Term Natural Ageing of Silicone Elastomers », *Polymer Testing*, vol. 15, nº 2 (1996), p. 115-128.

O'LOUGHLIN, E., et L.S. STIBER. « A Closer Look at Pressure-sensitive Adhesive Tapes: Update on Conservation Strategies », dans *IPC: Conference Papers Manchester 1992*, Worcester (Royaume-Uni), IPC, 1992, p. 280-287.

OMNEXUS. *Cellulose Acetate* (en ligne). Sur Internet : <URL : http://omnexus.specialchem.com/product/t-goodfellow-cellulose-acetate>. Page consultée le 7 janvier 2015.

ORMSBY, M. *Solvent Solver: A Calculator for Working with Teas Fractional Solubility Parameters* (en ligne), 2006. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/packages/solvent-solver/solvent_solver.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

PAPATHEOFANIS, F.J. « Contribution of Hydroxy Apatite to the Tensile Strength of the Isobutyl-2-Cyanoacrylate-Bone Bond », *Biomaterials*, vol. 10, nº 3 (avril 1989), p. 185-186.

Paper Conservation Catalog, Washington (D.C.), AIC Book and Paper Group, 1990, ch. 26.

Paper Conservation Catalog, 9e éd., Washington (D.C.), AIC Book and Paper Group, 1994.

PARIS, M., A.V. JERVIS et L. RISSOTTO. « The Restoration of a Gilt Leather Portière of the 16th Century: Study of a Magnet-based Support Structure », dans *ICOM-CC 15th Triennial Conference, New Delhi, India, 22–26 September 2008: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), New Delhi (Inde), Allied Publishers, 2008, p. 332-339.

PARK, H.S., S.R. KIM, H.J. PARK, Y.C. KWAK, H.S. HAHM et S.K. KIM. « Preparation and Characterization of Weather Resistant Silicone/Acrylic Resin Coatings », *Journal of Coatings Technology*, vol. 75, nº 936 (2003), p. 55-64.

PATAKI, A. « Remoistenable Tissue Preparation and its Practical Aspects », *Restaurator*, vol. 30, nos 1/2 (2009), p. 51-69.

PEACOCK, T. « Japanese Tissue – The Sequel », *Conservation News*, vol. 44 (1991), p. 33-34.

PÉNICHON, S., et M. JÜRGENS. « Two Finishing Techniques For Contemporary Photographs », *Topics in Photographic Preservation*, vol. 9 (2001), p. 85-96.

PERMABOND ENGINEERING ADHESIVES. *Permabond 2010 Technical Datasheet* (en ligne), 2013. Sur Internet : <URL : www.permabondllc.com/TDS/2010_TDS.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

PERRY, T.D. *Modern Wood Adhesives*, New York (New York), Pitman Publishing, 1944, p. 26-27.

PETRIE, E.M. « Maximizing the Efficiency of Adhesive Joint Designs », *SpecialChem* (en ligne), s.l., Specialchem S.A., 11 octobre 2005. Sur Internet : <URL : www.specialchem4adhesives.com/resources/articles/article.aspx?id=1348>. Page consultée le 7 janvier 2015.

PETRIE, E.M. *Handbook of Adhesives and Sealants*, 2e éd., New York (New York), McGraw-Hill, 2007.

PETSCHEK, C. « The Treatment of Painted and Embroidered Pictures (Klucel – Gee it Works) », dans *Starch and Other Carbohydrate Adhesives for Use in Textile Conservation* (sous la direction de P. Cruickshank et Z. Tinker), Londres (Royaume-Uni), UKIC Textile Section, 1995, p. 56-58.

PETUKHOVA, T. « A History of Fish Glue as an Artist's Material: Applications in Paper and Parchment Artifacts », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 19 (2000). Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v19/bp19-29.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

PETUKHOVA, T., et S. BONADIES. « Sturgeon Glue for Painting Consolidation in Russia », *JAIC*, vol. 32, nº 1 (1993), p. 23-31.

PHENIX, A. « Lining Without Heat or Moisture », *The Conservator*, vol. 9 (1985), p. 45-46.

PHENIX, A. « Solvents for Paraloid B-72 », *Conservation News*, vol. 48 (1992), p. 21-23.

PHENIX, A. « Solvents for Paraloid B-72 », *Conservation News*, vol. 49 (1992b), p. 23-25.

PHENIX, A. « Solvents for Paraloid B-72 », *Conservation News*, vol. 50 (1993), p. 39-40.

PHENIX, A. « Lining of Paintings: Traditions, Principles and Developments », dans *Lining and Backing: The Support of Paintings, Paper and Textiles*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1995, p. 21-33.

PHENIX, A., et G. HEDLEY. « Lining Without Heat or Moisture », dans *ICOM-CC 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 10–14 September 1984: Preprints* (sous la direction de D. de Froment), Paris (France), ICOM, 1984, p. 84.

PHILLIPS, G.O. « The Effects of Radiation on Carbohydrates », dans *The Carbohydrates, vol. 2b* (sous la direction de W. Pigman et D. Horton), 2e éd., New York (New York), Academic Press, 1980, p. 1101-1166.

PHILLIPS, M.W. « Acrylic Precipitation Consolidants », *Smithsonian Institution National Museum Act Grant #FC-506026 (85/257): Water-reducible Acrylic Consolidants Final Report* (non publié), 1 juin 1986.

PHILLIPS, M.W. « Alkali-soluble Acrylic Consolidants for Plaster: A Preliminary Investigation », *Studies in Conservation*, vol. 32, nº 4 (1987), p. 145-152.

PHILLIPS, M.W. « Aqueous Acrylic/Epoxy Consolidants », *APT Bulletin*, vol. 26, nos 2 et 3 (1995), p. 68-75.

PINE, S. « Adhesion Problems and Degradation of Epoxy Finishes on PEG Treated Wood », *2006 Wooden Artifacts Group Postprints, Providence, Rhode Island* (en ligne), Washington (D.C.), AIC, 2007. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/wag/2006/pine_06.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

PINTO, A.P.F., et J.D. RODRIGUES. « Stone Consolidation: The Role of Treatment Procedures », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 9, nº 1 (2008), p. 38-53.

PLASTICS HISTORICAL SOCIETY. *Ethylene vinyl acetate copolymers (EVA)* (en ligne), 2011. Sur Internet : <URL : www.plastiquarian.com/index.php?id=112>. Page consultée le 7 janvier 2015.

PLOSSI ZAPPALÀ, M. « Modified Starches for Library and Archive Conservation: Effect on Paper », dans *International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials, Erice, 22–26 April 1996*, Rome (Italie), Instituto central per la patologia del libro, 1996, p. 761-775.

PODANY, J., K.M. GARLAND, W.R. FREEMAN et J. ROGERS. « Paraloid B-72 as a Structural Adhesive and as a Barrier Within Structural Adhesive Bonds: Evaluations of Strength and Reversibility », *JAIC*, vol. 40, nº 1 (2001), p. 15-33.

POLYMER CHEMISTRY INNOVATIONS. *Aquazol* (en ligne), 2010. Sur Internet : <URL : http://www.polychemistry.com/aquazol/>. Page consultée le 7 janvier 2015.

POPINEAU, S., et M.E.R. SHANAHAN. « Simple Model to Estimate Adhesion of Structural Bonding During Humid Ageing », *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 26, nº 5 (2006), p. 363-370.

POTTER, W.G. *Epoxide Resins*, Londres (Royaume-Uni), Iliffe Books, Butterworth & Co, 1970.

PREISS, L., et I. COOK. « A Warning on the Use of Alpha-amylase in the Backing Removal of Starch Pasted Photographs », *ICCM (Institute for the Conservation of Cultural Material) Bulletin*, vol. 7, nº 1 (1981), p. 52-53.

PRETZEL, B. « Evaluating the Use of Adhesives in Textile Conservation, Part II: Tests and Evaluation Matrix », *The Conservator*, vol. 21 (1997), p. 48-58.

PRIMANIS, O. « Binding Repairs for Special Collections at the Harry Ransom Humanities Research Center », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 19 (2000), p. 115-121. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v19/bp19-30.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

PRINCI, E., S. VICINI, E. PEDEMONTE, V. ARRIGHI et I. MCEWEN. « New Polymeric Materials for Paper and Textile Conservation. Synthesis and Characterization of Acrylic Copolymers », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 98, nº 3 (2005), p. 1157-1164.

PRINCI, E., S. VICINI, E. PEDEMONTE, V. ARRIGHI et I. MCEWEN. « New Polymeric Materials for Paper and Textile Conservation. II. Grafting Polymerization of Ethy Acrylate/Methyl Methacrylate Copolymers onto Linen and Cotton », *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 103, nº 1 (2007), p. 90-99.

PUGLIA, A., et P. ANDERSON. « Solvent-set Book Repair Tissue », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 232-234.

PUISSANT, M.J. « Experiences in the Conservation and Restoration of Water-sensitive Bookbinding Leather », dans *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son : actes des deuxièmes journées internationales d'études de l'ARSAG (Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques), Paris, 16 au 20 mai 1994*, Paris (France), Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques, 1994, p. 197-200.

PULLEN, S. *The Effect of Variables on the Bond Strength of BEVA 371 Linings*, 1991. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

QUANDT, A. « The Documentation and Treatment of a Late 13th Century Copy of Isodore of Seville's Etymologies », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 10 (1991), p. 164-195. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v10/bp10-15.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

QUILLEN LOMAX, S., et S.L. FISHER. « An Investigation of the Removability of Naturally Aged Synthetic Picture Varnishes », *JAIC*, vol. 29, nº 2 (1990), p. 181-191.

QUYE, A., D. LITTLEJOHN, R.A. PETHRICK et R.A. STEWART. « Investigation of Inherent Degradation in Cellulose Nitrate Museum Artefacts », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 96, nº 7 (2011), p. 1369-1376.

RABIN, B. « A Poly(vinyl acetate) Heat Seal Adhesive for Lining », dans *Conservation of Paintings and the Graphic Arts*, Lisbonne (Portugal), IIC, 1972, p. 631-635.

RAE, A., et B. WILLS. « Love a Duck: the Conservation of Feathered Skins », dans *The Conservation of Fur, Feathers and Skin* (sous la direction de M.M. Wright), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2002, p. 43-61.

RAGAUSKIENE, D., G. NIAURA, E. MATULIONIS et R. MAKUŠKA. « Long-term and Accelerated Ageing of an Acrylic Adhesive Used as a Support for Museum Textiles », *Studies in Conservation*, vol. 51, nº 1 (2006), p. 57-68.

RAPHAEL, T. « The Completion of Missing Areas », dans *Recent Advances in Leather Conservation, Proceedings of a Refresher Course Sponsored by the Foundation of the AIC, June 1984* (sous la direction de S. Fogle), Washington (D.C.), Foundation of the AIC, 1985, p. 71-75.

RAPHAEL, T. « Mixtures of Paste and Acrylic Adhesives », dans Use of Adhesives on Leather Discussion*, The Book and Paper Group Annual* (modéré par G. Boal) (en ligne), vol. 22 (2003), p. 99-104. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v22/bp22-19.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

RAVINES, P., N. INDICTOR et D.M. EVETTS. « Methylcellulose as an Impregnating Agent for Use in Paper Conservation », *Restaurator*, vol. 10, nº 1 (1989), p. 32-46.

RAW MATERIALS INDEX. *Resins*, Washington (D.C.), National Paint & Coatings Association, 1981, p. 69.

REEDY, C.L., R.A. CORBETT, D.L. LONG, R.E. TATNALL et B.D. KRANTZ. « Evaluation of Three Protective Coatings for Indoor Silver Artifacts », *Objects Specialty Group Postprints*, vol. 6 (2000), p. 41-69.

REINHOLD, N. « An Investigation of Commercially Available Dry Mount Tissues », *Topics in Photograph Preservation,* vol. 4 (1991), p. 14-30.

Rémillard, F. « Adhésifs à base de résines époxy: étude de solubilisation », *JIIC-GC*, vol. 14 (1989), p. 12-17.

Rémillard, F. *Identification des plastiques et des élastomères: tests miniaturisés* (en ligne), Québec (Quebec), Centre de conservation du Québec, 2007. Sur Internet : <URL : www.ccq.gouv.qc.ca/fileadmin/images/img_centre-ress/microtest.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Rice, J.T. « Gluing of Archaeological Wood », dans *Archaeological Wood, Properties, Chemistry and Preservation*, Advances in Chemistry Series 225 (sous la direction de R. Rowell et R.J. Barbour), Washington (D.C.), American Chemical Society, 1990, p. 373-397.

Richardson, H. « The Conservation of Plains Indian Shirts at the National Museum of the American Indian, Smithsonian Institution », dans *The Conservation of Fur, Feathers and Skin* (sous la direction de M.M. Wright), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2002, p. 7-24.

Rickman, C., et J. McAusland. « Visit to the USSR », *Conservation News*, vol. 36 (1988), p. 19-21.

Rivers, S., et N. Umney. *Conservation of Furniture*, Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2003.

Rixon, A.E. *Fossil Animal Remains: Their Preparation and Conservation*, Londres (Royaume-Uni), Athlone, 1976.

Robert, P. *Le Nouveau Petit Robert* (remanié et amplifié sous la direction de J. Rey-Debove et A. Rey), Montréal (Québec), DICOROBERT Inc., 1993.

Roberts, J.D. « Acrylic Colloidal Suspensions as Pre-consolidants for Waterlogged, Archaeological Glass dans *ICOM-CC 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 10–14 September 1984: Preprints* (sous la direction de D. de Froment), Paris (France), ICOM, 1984, p. 84.20.21-84.20.22.

Robson, M.A. « The Use of Aqueous Polymer Emulsions in the Conservation of Ethnographic Materials: A New Method for Supporting Fragile Woven Fibre Decoration », dans *Symposium 86 : L'entretien et la sauvegarde des matériaux ethnologiques* (sous la direction de R. Barclay *et al.*), Ottawa (Ontario), ICC, 1986, p. 207-211.

Robson, M.A. « Glass Adhesives Investigation 1983–86, Final Report and Assessment », *Jubilee Conservation Conference Submission, Recent Advances in Conservation and Analysis of Artifacts, July 6–10, 1987*, Londres (Royaume-Uni), University of London, 1987.

Robson, M.A. « Early Advances in the Use of Acrylic Resins for the Conservation of Antiquities », dans *Manmade Fibers: Their Origin and Development*, Londres (Royaume-Uni), Elsevier, 1993, p. 208-213.

Roff, W.J., et J.R. Scott. *Handbook of Common Polymers: Fibres, Films, Plastics and Rubbers*, Londres (Royaume-Uni), CRC Press, Butterworths & Co., 1971.

Rogerson, C. « Casting Adhesive Films Using Organic Solvent and Water », *Conservation News*, nº 80 (2002), p. 30-31.

Rohm and Haas Company. « Rhoplex Acrylic Emulsions for Pressure-sensitive Adhesives », feuille de données, *Polymers Resins and Monomers*, Philadelphie (Pennsylvanie), Rohm and Haas Company, 1980.

Rohm and Haas Company. *Acryloid Thermoplastic Acrylic Ester Resins for Industrial Finishing*, Philadelphie (Pennsylvanie), Rohm and Haas Company, avril 1983.

Romig, C.A., et S.M. Bush. « Room Temperature Vulcanizing (RTV) Silicone Adhesive/Sealants », dans *Designing with Today's Engineering Adhesives, Papers Presented at the Spring Seminar, March 11–14, 1979,* Arlington (Virginie), The Adhesive & Sealant Council, 1979, p. 75-86.

Rooney, J.M., et B.M. Malofsky. « Anaerobic Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), 3e éd., New York (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 451-462.

Roper, H., et H.G. Poulos. « Glass-mat Reinforced Epoxy Backings for Building Stone Strengthening », dans *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites*, (sous la direction de P. Marinos et G. Koukis), Rotterdam (Pays-Bas), A.A. Balkema, 1988, p. 907-909.

Rosser, G.L. « Animal Glues and Their Use in Woodworking », *Dominion Forest Service Bulletin*, nº 96 (1939).

Rossi-Manaresi, R., A. Tattazzi et L. Toniolo. « Long Term Effectiveness of Treatments of Sandstone », dans *Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Stone Building Materials in Monuments: Preprints of the International Colloquium, Rome, 19–21 June 1995*, Rome (Italie), ICCROM, 1995, p. 225-244.

Rotunda Ltd. « Industrial Adhesive Tapes », *Engineering Materials & Design*, vol. 21, nº 5 (1977), p. 55-57.

Rousselot. Gelatine Bloom (en ligne). Sur Internet : <URL : http://www.rousselot.com/en/rousselot-gelatine/gelatine-characteristics/definitions/gelatine-bloom/?L=0>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Rudolph, S. *Büro für angewandte Mineralogie* [Bureau de minéralogie appliquée]: *Wetting – Wetting Angle* (en ligne), 2004. Sur Internet : <URL : www.a-m.de/englisch/lexikon/benetzungswinkel.htm>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Ruppel, J.R. « An Arctic Sealskin Float: To Inflate or Not To Inflate », *The Conservator*, vol. 26 (2002), p. 32-41.

Russell, R., et B. Strilisky. « Testing the Tensile Strength of Paraloid B-72 to Determine its Potential Applications as a Palaeontological Adhesive » (affiche), dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Ruzicka, G., P. Zyats, S. Reidell et O. Primanis. « Leather Conservation – Bookbinding Leather Consolidant », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p 230-232.

Sah, A. « Palm Leaf Manuscripts in the World: Material, Technology and Conservation », *Reviews in Conservation*, vol. 3 (2002), p. 15-24.

St. John, K. « Survey of Current Methods and Materials Used for the Conservation of Leather Bookbindings », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 19 (2000), p. 131-140. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v19/bp19-32.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Sakuno, T., et A.P. Schniewind. « Adhesive Qualities of Consolidants for Deteriorated Wood », *JAIC*, vol. 29, nº 1 (1990), p. 33-44.

Sale, D. « An Evaluation of Eleven Adhesives for Repairing Poly(methyl methacrylate) Objects and Sculpture », dans *Sauvegarder le XXe siècle : la conservation des matériaux modernes* (sous la direction de D.W. Grattan), Ottawa (Ontario), ICC, 1993, p. 325-339.

Sale, D. « Yellowing and Appearance of Conservation Adhesives for Poly(methyl methacrylate): A Reappraisal of 20-year-old Samples and Test Methods », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Samatha, P., T. Thimma Reddy, P.V.S.S. Srinivas et N. Krishnamurti. « Effect of Addition of Various Acrylates on the Performance of Ethyl Cyanoacrylate Adhesive », *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 39, nº 2 (2000), p. 381-392.

Santamaría, S.P., et S.C. Calatayud. « Behaviour of Stone Conservation Treatments on Fractured Specimens Filled with Resins », *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen*, vol. 3, nº 2 (1997), p. 137-150.

Sanya, E.A., S. Rezzoug et K. Allaf. « The Conservation of Archaeological Waterlogged Wood by Using Starch Impregnation Coupled with Thermal Treatment Process », *Science and Technology for Cultural Heritage*, vol. 14, nos 1-2 (2005), p. 39-53.

Saunders, D., et J. Kirby. « A Comparison of Light-accelerated Ageing Regimes in Some Galleries and Museums », *The Conservator*, vol. 25 (2001), p. 95-103.

Schaffer, E. « Water Soluble Plastics in the Preservation of Artifacts made of Cellulosic Materials », dans *ICOM-CC 5th Triennial Meeting, Zagreb, 1–8 October 1978: Preprints*, Paris (France), ICOM, 1978, p. 78/3/7/1-16.

Scheerer, S., M. Abraham et O. Madden. « Study of the Effects of Laser Radiation on Epoxy Resins and Epoxy Systems on Stone, Ceramic and Glass Surfaces », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 4, supplément nº 1, (2003), p. 223s-229s.

Schellmann, N.C. « Animal Glues: A Review of Their Key Properties Relevant to Conservation », *Reviews in Conservation*, vol. 8 (2007), p. 55-66.

Schellmann, N.C., et A.C. Taylor. « The Effect of Consolidants on the Mechanical Fracture Behaviour of Gesso-type Foundations in Multilayered Decorative Coatings », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Schenck, K., et C. McCabe. « Preliminary Testing of Adhesives Used in Conservation », *Topics in Photograph Preservation*, vol. 3 (1989), p. 52-61.

Scheper, K. « A Study of Evacon-R: Application and Behaviour of a White Glue », *CR: interdisciplinair vakblad voor conserving en restaurantie*, vol. 6, nº 1 (2005), p. 32-34.

Schilling, M.R. « The Glass Transition of Materials Used in Conservation », *Studies in Conservation*, vol. 34, nº 3 (1989), p. 110-116.

Schleuniger, J., et F. Michel. « JunFunori: A New Media for the Consolidation of Matt Paint », *International Association of Book and Paper Conservators Budapest Symposium, May 2005*, s.l., International Association of Book and Paper Conservators, 2005.

Schniewind, A.P. « On the Reversibility of Consolidation Treatments of Deteriorated Wood with Soluble Resins », dans *Papers Presented at the Wooden Artifacts Group Specialty Session: June 5, 1988 AIC Annual Meeting, New Orleans, Louisiana*, Washington (D.C.), AIC, 1988, p. 10.

Schniewind, A.P., et D.P. Kronkright. « Strength Evaluation of Deteriorated Wood Treated with Consolidants », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 146-150.

Schoenberg, J.E. « Cyanoacrylates », dans *Engineered Materials Handbook: Adhesives and Sealants, vol. 3*, Materials Park (Ohio), ASM International, 1990, p. 126-132.

Schönbohm, D., A. Blüher et G. Banik. « Enzymes in Solvent Conditioned Poultices for the Removal of Starch-based Adhesives from Iron Gall Ink Corroded Manuscripts », *Restaurator*, vol. 25, nº 4 (2004), p. 267-281.

Schultz, J., et K. Petersen. « Antibody-based Technique to Distinguish Proteins and Identify Sturgeon Glue in Works of Art », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Schwarz, I. « Academy of Art and Design, Stuttgart: The Book and Paper Conservation Program and Current Research. A Pre-packaged α-Amylase Poulticing System: Albertina-Kompresse », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 19 (2000), p. 97-104. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v19/bp19-26.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Schwarz, I., A. Blüher, G. Banik, E. Thobois et K.-H. Maurer. « The Development of a Ready-for-use Poultice for the Local Removal of Starch Paste by Enzymatic Action », *Restaurator*, vol. 20, nos 3 et 4 (1999), p. 225-244.

Scott, M. *An Experimental Project Aimed at Formulating a Solvent Which Will Attack a Broad Range of Epoxy Resins*, Research Report, Canberra College of Advanced Education, 1986.

Sease, C. « The Case Against Using Soluble Nylon in Conservation Work », *Studies in Conservation*, vol. 26, n° 3 (1981), p. 102-110.

Seiler-Baldinger, A. *Textiles:* A *Classification of Techniques*, Australie, Crawford House Publishing, 1994.

Sekisui. *Data Sheets for Selvol* (en ligne), Dallas (Texas), Sekisui Specialty Chemicals America, LLC, s.d. Sur Internet : <URL : www.sekisui-sc.com/productspecifications/index.html#selvol>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Selm, R.A. « The Conservation of a 17th Century European Padded Saddle », dans *International Leather and Parchment Symposium, ICOM-CC Leathercraft and Related Objects Working Group, Offenbach am Main, Germany, May 8–12 1989*, Offenbach-sur-le-Main (Allemagne), Deutsches Ledermuseum, 1989, p. 265-279.

Selwitz, C. « Cellulose Nitrate in Conservation », dans *Research in Conservation*, vol. 2, Los Angeles (Californie), GCI, 1988.

Selwitz, C. *Epoxy Resins in Stone Conservation*, Los Angeles (Californie), GCI, 1992.

Seves, A.M. « Aggressione microbica alle colle da rifodero [Attaque microbienne d'adhésifs de rentoilage] », dans *Dipinti su tela: metodologie d'indagine per i supporti cellulosici* (sous la direction de C. Giovanna), Fiesole (Italie), Nardini, 1993, p. 41-44.

Shashoua, Y. « Evaluation of Alginate-containing Starch Paste for Use as an Adhesive for Cellulose Materials », dans *The British Museum Report*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 1989.

Shashoua, Y. « Evaluation of Vinamul 3252 for Use as an Adhesive for Paint Flakes », dans *The British Museum Report*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 2 mai, 1989b.

Shashoua, Y. « Evaluation of the Suitability of Alginate-containing Starch Paste for Preparing Laminates and Coated Sheets of Japanese Tissue », dans *The British Museum Report*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 1990.

Shashoua, Y. « Evaluation of Primal N-580 (aka Rhoplex N-580 in Canada) Pressure-sensitive Adhesive for Textiles and Leather », dans *The British Museum Report 1992/27*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 1992.

Shashoua, Y. « Evaluation of Acrylic Dispersions for Use in the Conservation of Stone Artefacts and Wallpaintings », dans *The British Museum Report 1993/18*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 1993.

Shashoua, Y. « Mechanical Testing of Resins for Use in Conservation », dans *ICOM-CC 10th Triennial Meeting, Washington, DC, USA, 22–27 August 1993: Preprints*, Londres (Royaume-Uni), James & James, 1993b, p. 580-585.

Shashoua, Y. « Cellulose Ethers for Textile Conservation », dans *Starch and Carbohydrate Adhesives for Use in Textile Conservation*, Londres (Royaume-Uni), UKIC Textile Section, 1995, p. 1-5.

Shashoua, Y. « Resins in the Conservation of Three-dimensional Works of Art », dans *Plastics and Resin Compositions* (sous la direction de W.G. Simpson), Cambridge (Royaume-Uni), The Royal Society of Chemistry, 1995b, p. 304.

Shashoua, Y. *Conservation of Plastics*, Londres (Royaume-Uni), Elsevier, 2008.

Shashoua, Y., et W. Kawanobe. « Elvacite 2044 Acrylic Resin as a Replacement for Paraloid F10 », dans *The British Museum Report 1993/31*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 1993.

Shashoua, Y., et D. Ling. « A Comparison of Fynebond, Hxtal NYL-1 and Araldite 2020 Epoxy Adhesives for Use in the Conservation of Glass », *Conservation News*, vol. 66 (1998), p. 33-36.

Shashoua, Y., et A. Rugheimer. « An Evaluation of the Use of Cellulose Ethers in Paper Conservation at the British Museum », dans *IPC Conference Papers London 1997: Proceedings of the Fourth International Conference of the Institute of Paper Conservation, 6–9 April 1997*, Londres (Royaume-Uni), IPC, 1998, p. 150-159.

Shashoua, Y., S.M. Bradley et V.D. Daniels. « Degradation of Cellulose Nitrate Adhesive », *Studies in Conservation*, vol. 37, no 2 (1992), p. 113-119.

Shashoua, Y., C. MacKay et J. Zhang. « Evaluation of Starch Pastes and Cellulose Ethers used in Paper Conservation », dans *British Museum Conservation Research Report No. 1990/16*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 1990.

Shashoua, Y., J. Zhang et D.J. Lee. « Investigation into the Effect of Soluble Nylon on Naturally Aged Vegetable Fibres », dans *British Museum, Department of Conservation Report 1990 125*, Londres (Royaume-Uni), The British Museum, 1990b.

ShellacEPC (Shellac Export Promotion Council). *Shellac & Lac Based Products* (en ligne). Sur Internet : <URL : http://shellacepc.com/products/shellac-lac-based-products/>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Shibayama, N., et D. Eastop. « Removal of Flour Paste Residues from a Painted Banner with Alpha-Amylase », *The Conservator*, vol. 20 (1996), p. 53-64.

Shields, J. *Adhesives Handbook*, 2e éd., Londres (Royaume-Uni), Butterworths, 1976.

Shields, J. *Adhesives Handbook,* 3e éd., Londres (Royaume-Uni), Butterworths, 1984.

Shin-Etsu. *Tylose MH 2000 YP2: Technical Data Sheet* (en ligne), 2005. Sur Internet : <URL : http://www.setylose.

de/en/service/technical_data_sheets/index.vist>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Sichina, W.J. « A Practical Technique for Predicting Mechanical Performance and Useful Lifetimes of Polymeric Materials », *American Laboratory* (janvier 1988), p. 42-52.

Sigma-Aldrich. « A Glue for All Reasons. A 2707 Adhesive Protein from *Mytilusedulis* (Common Blue Mussel) », *SIGMA.COM Newsletter* (vers 1992), p. 6.

Sigma-Aldrich b. *Thermal Transitions of Homopolymers: Glass Transition and Melting Point* (en ligne). Sur Internet : <URL : www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Aldrich/General_Information/thermal_transitions_of_homopolymers.Par.0001.File.tmp/thermal_transitions_of_homopolymers.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Singh, V., et S.Z. Ali. « Acid Degradation of Starch. The Effect of Acid and Starch Type », *Carbohydrate Polymers*, vol. 41, nº 2 (2000), p. 191-195.

Sionkowska, A., A. Płanecka, J. Kozłowska et J. Skopińska-Wiśniewska. « Photochemical Stability of Poly(vinyl alcohol) in the Presence of Collagen », *Polymer Degradation and Stability*, vol. 94, nº 3 (2009), p. 383-388.

Skeist, I. « Epoxy Resin Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), New York (New York), Van Nostrand Reinhold Company, 1962, p. 323-332.

Skeist, I., et J. Miron. « Introduction to Adhesives », dans *Handbook of Adhesives* (sous la direction de I. Skeist), New York, (New York), Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 3-20.

Smith, C., et H. Winkelbauer. « Conservation of a Māori Eel Trap: Practical and Ethical Issues », dans *The Object in Context: Crossing Conservation Boundaries* (sous la direction de D. Saunders, J. Townsend et S. Woodcock), Londres (Royaume-Uni), IIC, 2006, p. 128-132.

Snow, C.E., et T.D. Weisser. « The Examination and Treatment of Ivory and Related Materials », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 141-145.

Soppa, K., T. Laaser et C. Krekel. « Visualizing the Penetration of Adhesives Using Fluorescent Labelling », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Spathis, P., E. Karagiannidou et A.-E. Magoula. « Influence of Titanium Dioxide Pigments on the Photodegradation of Paraloid Acrylic Resin », *Studies in Conservation*, vol. 48, nº 1 (2003), p. 57-64.

SpecialChem. *Adhesion Theory – Basics of Adhesion* (en ligne). Sur Internet : <URL : http://adhesives.specialchem.com/tech-library/article/adhesion-theory>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Spencer, L., T. Fourrier, J. Anderson et A.E. Hill. « Canvas Glue Removal Using a 248 nm Excimer Laser », dans *ICOM-CC 12th Triennial Meeting, Lyon, France, 29 August–3 September 1999: Preprints, vol. 1* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1999, p. 336-340.

Spicer, G. « Supporting Tears in Leather », *Leather Conservation News*, vol. 11, nºs 1-2 (1995), p. 4-6.

Spirydowicz, K.E., E. Simpson, R.A. Blanchette, A.P. Schniewind, M.K. Toutloff et A. Murray. « Alvar and Butvar: The Use of Polyvinyl Acetal Resins for the Treatment of the Wooden Artifacts from Gordion, Turkey », *JAIC*, vol. 40, nº 1 (2001), p. 43-57.

Spitzmueller, P. « A Stitch in Time: Repairing the Original Sewing Structure on Bound Materials: In-situ Repair Sewing of Parchment Text Blocks », *Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 23 (2004), p. 71-73. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v23/bp23-12.pdf>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Stein, R., J. Kimmel, M. Marincola et F. Klemm. « Observations on Cyclododecane as a Temporary Consolidant for Stone », *JAIC*, vol. 39, nº 3 (2000), p. 355-369.

Stewart, R., D. Littlejohn, R. Pethrick, N. Tennent et A. Quye. « The Degradation of Cellulose Nitrate Plastics », dans *From Marble to Chocolate: The Conservation of Modern Sculpture: Tate Gallery Conference 18–20 September 1995*, Londres (Royaume-Uni), Archetype, 1995, p. 93-97.

Stewart, R., D. Littlejohn, R. Pethrick, N. Tennent et A. Quye. « Analytical Studies of the Degradation of Cellulose Nitrate Plastics in Museums », *Polymer Preprints*, vol. 37, nº 2 (1996), p. 168-169.

Stewart, R., D. Littlejohn, R. Pethrick, N. Tennent et A. Quye. « The Use of Accelerated Ageing Tests for Studying the Degradation of Cellulose Nitrate », dans *ICOM-CC 11th Triennial Meeting, Edinburgh, Scotland, 1–6 September 1996: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1996b, p. 967-970.

Stone, J.L., et E.A. Morse. « A Method for Storing Additive-free Wheat Starch Paste », *Abbey Newsletter*, vol. 13, nº 8 (1989), p. 147-148.

Stone, T.T., D.N. Dickel et G.H. Doran. « The Preservation and Conservation of Waterlogged Bone from the Windover Site, Florida: A Comparison of Methods », *Journal of Field Archaeology*, vol. 17, nº 2 (1990), p. 177-186.

Storch, P.S. « Military Leather Objects in the South Carolina State Museum Collections: Manufacture, Condition and Treatment », dans *International Leather and Parchment Symposium, ICOM-CC Leathercraft and Related Objects Working Group, Offenbach am Main, Germany, May 8–12 1989*, Offenbach-sur-le-Main (Allemagne), Deutsches Ledermuseum, 1989, p. 221-227.

Storch, P.S. « Fills for Bridging Gaps in Wooden Objects », *JAIC*, vol. 33, nº 1 (1994), p. 71-75.

Strnadovà, J., et M. Durovic. « The Cellulose Ethers in Paper Conservation », *Restaurator*, vol. 15, nº 4 (1994), p. 220-241.

Stulik, D., D. Miller, H. Khanjian, N. Knadekar, R. Wolbers, J. Carlson et W.C. Peterson. « Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art. The Residue Question », dans *Research in Conservation* (sous la direction de V. Dorge), Los Angeles (Californie), GCI, 2004.

Sturge, T. *The Conservation of Leather Artefacts: Case Studies from the Leather Conservation Centre*, Northampton (Royaume-Uni), The Leather Conservation Centre, 2000, p. 12-13.

Sturge, T. « Court Gloves », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006, p. 296.

Sturge, T. « Jewellery Box », dans *Conservation of Leather and Related Materials* (sous la direction de M. Kite et R. Thomson), Oxford (Royaume-Uni), Butterworth-Heinemann, 2006b, p. 85-86.

SunMan Engineering. *PCB Glossary* (en ligne). Sur Internet : <URL : www.sunmantechnology.com/resources_gls_pcb.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Suryawanshi, D.G. « An Ancient Writing Material: Birch-bark and Its Need of Conservation », *Restaurator*, vol. 21, nº 1 (2000), p. 1-8.

Suryawanshi, D.G., P.M. Sinha et M.V. Nair. « Evaluation of Adhesives and Supporting Materials for the Process of Lamination of Old Documents », *Restaurator*, vol. 17, nº 4 (1996), p. 229-237.

Sweatt, H.B. « Animal Glue as a Paper Sizing and Coating Adhesive », *The Paper Industry and Paper World*, vol. 27, nº 5 (1945), p. 711-718.

Swierenga, H.J. *Evaluation of Two Photosensitive Adhesive for Use in Glass Repair*, 2000. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

Tabasso, M.L. « Acrylic Polymers for the Conservation of Stone: Advantages and Drawbacks », *APT Bulletin*, vol. 26, nº 4 (1995), p. 17-21.

Takagi, N., Y. Chudo et R. Maeda. « Report on the Project of Digitisation and Conservation of Rolled Palm Leaf Manuscripts and Related Activities in Nepal », *International Preservation News*, nº 38 (mai 2006), p. 8-14.

Takami, M., et D. Eastop. « The Conservation of a Korean Painted Silk Banner, c. 1800: Paint Analysis and Support via Solvent-reactivated Acrylic Adhesive », dans *ICOM-CC 13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22–27 September 2002: Preprints* (sous la direction de R. Vontobel), Londres (Royaume-Uni), James & James, 2002, p. 747-754.

Talas. *BEVA®371 Solution, Material Safety Data Sheet* (en ligne), s.d. Sur Internet : <URL : http://talasonline.com/photos/msds/Beva_371_solution.pdf >. Page consultée le 7 janvier 2015.

Talas b. *BEVA D-8 Dispersion, Product Description* (en ligne), s.d. Sur Internet : <URL : http://apps.webcreate.com/ecom/catalog/product_specific.cfm?ClientID=15&ProductID=23866>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Talas c. *BEVA Gel, Product Description* (en ligne), s.d. Sur Internet : <URL : http://apps.webcreate.com/ecom/catalog/product_specific.cfm?ClientID=15&ProductID=23862>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Talas d. *Talas Website* (en ligne), 1999. Sur Internet : <URL : www.talasonline.com>. Page consultée le 7 janvier 2015.

TAPPI T 435 om-11. « Hydrogen Ion Concentration (pH) of Paper Extracts (Hot Extraction Method), Test Method T 435 om-11 », *TAPPI* (en ligne), Norcross (Georgie), TAPPI, s.d. Sur Internet : <URL : www.tappi.org/Bookstore/Standards-TIPs/Standards/Paper-and-Paperboard/Hydrogen-Ion-Concentration-pH-of-Paper-Extracts-Hot-Extraction-Method-Test-Method-T-435-om-06.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

TAPPI T 509 om-11. « Hydrogen Ion Concentration (pH) of Paper Extracts (Cold Extraction Method), Test Method T509 om-11 », *TAPPI* (en ligne), Norcross (Georgie), TAPPI, s.d. Sur Internet : <URL : www.tappi.org/Bookstore/Standards-TIPs/Standards/Paper-and-Paperboard/Hydrogen-Ion-Concentration-pH-of-Paper-Extracts-Cold-Extraction-Method-Test-Method-T-509-om-06.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

TAPPI T 529 om-09. « Surface pH Measurement of Paper, Test Method T 529 om-09 », *TAPPI* (en ligne), Norcross (Georgie), TAPPI, s.d. Sur Internet : <URL : www.tappi.org/Bookstore/Standards-TIPs/Standards/Paper-and-Paperboard/Surface-pH-measurement-of-paper-Test-Method-T-529-om-09.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Teas, J.P. « Predicting Resin Solubilities », *Technical Bulletin*, nº 1206, Columbus (Ohio), Ashland Chemicals, 1971.

Tennent, N.H. « Clear and Pigmented Epoxy Resins for Stained Glass Conservation: Light Ageing Studies », *Studies in Conservation*, vol. 24, nº 4 (1979), p. 153-164.

Tennent, N.H. « The Influence of Additives in Epoxy Resin Stability and Rheology » (non publié), présentation donnée à la conférence de la SSCR, *Resins Ancient and Modern*, Aberdeen (Royaume-Uni), SSCR, 1995.

Tennent, N.H. « Polymer Conservation Treatments for Stained Glass in the Burrell Collection, Glasgow: An Assessment of 25 Years of Natural Aging », dans *ICOM-CC 16th Triennial Conference, Lisbon, 19–23 September 2011: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Lisbonne (Portugal), Critério, 2011.

Tennent, N.H., et J.H. Townsend. « Factors Affecting the Refractive Index of Epoxy Resins », dans *ICOM-CC 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 10–14 September 1984: Preprints* (sous la direction de D. de Froment), Paris (France), ICOM, 1984, p. 84.20.26-84.20.28.

Tennent, N.H., et J.H. Townsend. « The Photofading of Dyestuffs in Epoxy, Polyester and Acrylic Resins », dans *ICOM-CC 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 10–14 September 1984: Preprints* (sous la direction de D. de Froment), Paris (France), ICOM, 1984b, p. 84.16.8-84.16.11.

Tennent, N.H., et J.H. Townsend. « The Significance of the Refractive Index of Adhesives for Glass Repair », dans

Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984 (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984c, p. 205-212.

TENNENT, N.H., et J.H. TOWNSEND. « The Relevance of Preferential Surface Yellowing in the Light-aging of Polymers For Conservation », dans *ICOM-CC 8th Triennial Meeting, Sydney, Australia, 6–11 September 1987: Preprints* (sous la direction de K. Grimstad), Los Angeles (Californie), GCI, 1987, p. 829-832.

TÉTREAULT, J., et E. STAMATOPOULOU. « Determination of Concentrations of Acetic Acid Emitted from Wood Coatings in Enclosures », *Studies in Conservation*, vol. 42, nº 3 (1997), p. 141-156.

THOMPSON, J.C. « Use of BEVA 371 as a Lining Adhesive for Removal of Fragile Book Spines », dans *Contributions to the 3rd Pacific Region Conservator's Meeting*, s.l., s.n., 1978, p. 1-2.

THOMPSON, K. « Lascaux™ - Its Use as a Substrate-free Film », *Conservation News*, vol. 74 (2001), p. 45-46.

THOMSEN, F.G. « Mending Baskets », *Conserve O Gram*, Harper's Ferry (Virginie-Occidentale), National Park Service, 1976.

THOMSEN, F.G. « An Old Adhesive – Starch Paste. A New Technique – The Suction Table Offers New Horizons in the Treatment of Brittle Textiles », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 74-77.

THORN, A. « Safer Solubility », *Studies in Conservation*, vol. 37, nº 1 (1992), p. 12-21.

TÍMÁR-BALÁZSY, A., et D. EASTOP. *Chemical Principles of Textile Conservation*, Woburn (Massachusetts), Butterworth-Heinemann, 1998.

TINKER, Z. « Thermoplastic Adhesive », *Conservation News*, vol. 48 (1992), p. 39-41.

TINKER, Z. « Pragmatism with Past Adhesive Treatments », dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

TITUS, S., R. SCHNELLER, E. HUHSMANN, U. HÄHNER et G. BANIK. « Stabilising Local Areas of Loss in Iron Gall Ink Copy Documents from the Savigny Estate », *Restaurator*, vol. 30, nºs 1/2 (2009), p. 16-50.

TOMBLIN, J., P. HARTER, W. SENEVIRATNE et C. YANG. « Characterization of Bondline Thickness Effects in Adhesive Joints », *Journal of Composites Technology and Research*, vol. 24, nº 2 (2002), p. 332-344.

TORIUMI, D.M., W.F. RASLAN, M. FRIEDMAN et M.E. TARDY. « Histotoxicity of Cyanoacrylate Tissue Adhesives », *Archives of Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, vol. 116, nº 5 (mai 1990).

TORRACA, G. *Solubility and Solvents for Conservation Problems*, 4e éd., Rome (Italie), ICCROM, 1990.

TOUTLOFF, M. *The Effect of Intense Environmental Conditions on Butvar B-98*, 1999. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

TRUPIN, D.L. « The Conservation of Frederic E. Church's Leather Arm Chair », dans *The Textile Specialty Group Postprints*, vol. 12 (2002), p. 67-73.

TSAKALOF, A., P. MANOUDIS, I. KARAPANAGIOTIS, I. CHRYSSOULAKIS et C. PANAYIOTOU. « Assessment of Synthetic Polymeric Coatings for the Protection and Preservation of Stone Monuments », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, nº 1 (2007), p. 69-72.

TSE, S. *Lignes directrices pour la mesure du pH en conservation*, Bulletin technique nº 28, Ottawa (Ontario), ICC, 2007.

TSE, S., et S. GUILD. « Le développement des traitements aux enzymes à l'ICC », Montréal (Québec), IIC-Groupe canadien, 1996.

TSU, C.M.-A., D. FULLICK, V. TALLAND et B. MANGUM. « The Conservation of Gilt Leather Wall Hangings at the Isabella Stewart Gardner Museum. Part II », dans *ICOM-CC 12th Triennial Meeting, Lyon, France, 29 August–3 September 1999: Preprints, vol. 2* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1999, p. 708-713.

TURCHAN, C. « Tapa Cloth Repair Techniques » (atelier en laboratoire), *Symposium 86 : L'entretien et la sauvegarde des matériaux ethnologiques*, Ottawa (Ontario), ICC, 1986.

TUROSS, N., M.L. FOGEL, L. NEWSOM et G.H. DORAN. « Subsistence in the Florida Archaic: The Stable-Isotope and Archaeobotanical Evidence from the Windover Site », *American Antiquity*, vol. 59, nº 2 (1994), p. 288-303.

TWOREK-MATUSZKIEWICZ, B. « Restoration of Flexibility of Degraded Monocot Leaves Used in Artefacts », *ICCM (Institute for the Conservation of Cultural Material) Bulletin*, vol. 13, nos 3-4 (1987), p. 63-76.

UBBINK, K., et R. PARTRIDGE. « Preserving Letterpress Copybooks », *JACCR*, vol. 28 (2003), p. 38-45.

UNRUH, J.A. *The Removability and Potential for Isotopic Contamination of Five Consolidants Commonly Used on Archaeological Bone*, 1994. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

US DEPARTMENT OF DEFENSE. *Military Standardization Handbook, Adhesive Bonding* (en ligne). MIL-HDBK-691B 12 March 1987, Superseding MIL-HDBK-691A 17 May 1965, Washington (D.C.), Department of Defense, 1987. Sur Internet : <www.everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0600-0699/MIL-HDBK-691B_2468/>. Page consultée le 7 janvier 2015.

VALLET, J.M., S. SIMON, J.D. MERTZ et G. MARTINET. « Durability of Consolidants on a French Altered Limestone After Eighteen Years of Natural Aging », dans *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venice June 19–24, 2000*, Italie, Elsevier, 2000, p. 165-173.

Valverde, M.F. *Photographic Negatives: Nature and Evolution of Processes*, Rochester (New York), Mellon Advanced Residency Program in Photograph Conservation, 2003.

Valverde, M.F. « Mounting Medium and Large-format Photographs », *Topics in Photographic Preservation*, vol. 12 (2007), p. 143.

Van Kempen, D. « The Conservation of the Gilt Leather from the Former Dining Room of Maria-Louise van Hessen-Kassel in the National Ceramic Museum "Het Princessehof" in Leeuwarden, The Netherlands », dans *Préoccupations récentes concernant le textile, le cuir et la législation : publications concernant le cuir, Athènes, 21 au 24 avril 2004* (sous la direction de T. Sturge), ICOM-CC, Groupe de travail « Cuir et matériaux associés », 2007, p. 109-111.

van Oosten, T.B. « Conservation of Plastics », dans *Preprints of Australian Institute for Conservation of Cultural Material Objects Special Interest Group Symposium and Workshop* (sous la direction de A. Pagliarino), Melbourne (Australie), The Australian Institute for the Conservation of Cultural Material, 2005, p. 4-19.

Van Steene, G., et L. Masschelein-Kleiner. « Modified Starch for Conservation Purposes », *Studies in Conservation*, vol. 25, nº 2 (1980), p. 64-70.

Verdu, J., V. Bellenger et M.O. Kleitz. « Adhesives for the Consolidation of Textiles », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 64-69.

Vestergaard, I.K.L., et C.V. Horie. « A Comparison of the Interaction of Five Adhesives with Mastodon Tooth Adherends », dans *ICOM-CC 11th Triennial Meeting, Edinburgh, Scotland, 1–6 September 1996: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), Londres (Royaume-Uni), James & James, 1996, p. 938-943.

Vidler, K. « Conservation of a Tortoiseshell Book Cover », *The New Bookbinder*, vol. 26 (2006), p. 26-27.

Villers, C. (directrice de publication). *Lining Paintings, Papers from the Greenwich Conference on Comparative Lining Techniques, April 23–25, 1974*, Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2003.

Vischi, C., et G.J. Hill. « The Study of Two Humidification and Flattening Methods for Albumen Prints to Determine their Impact on the Evolution of the Cracks in the Albumen Layer », *Restaurator*, vol. 29, nº 2 (2008), p. 45-74.

Vodopivec, J., S. Grkman et M.Č. Letnar. « Leafcasting: The Influence of Starch and Methyl Cellulose Sizing on the Properties of Leafcasted Paper », *PapierRestaurierung*, vol. 6, nº 3 (2005), p. 30-36.

Volken, S., et M. Volken. « The Conservation of a Pair of Bucket Top Boots », *Leather Conservation News*, vol. 11, nºs 1-2 (1995), p. 1-4.

Von Endt, D.W. « Protein Adhesives », dans *Protein Chemistry for Conservators*, Washington (D.C.), AIC, 1984, p. 39-47.

Von Endt, D.W. Entretien avec D.C. Williams, 1986.

Von Reventlow, V. « The Conservation of Marquetry and Boulle Surfaces: An Alternative Approach », *Papers Presented at the Wooden Artifacts Group, New Orleans – 1988*, Washington (D.C.), AIC, 1988.

Vuori, J. « A Possible Adhesive for Native Tanned Skin », *Leather Conservation News*, vol. 2, nº 1 (1985), p. 6.

Wächter, O. « Zur Alterungs Methodik für synthetische Festigungs-und Klebemittel, die Prophylaxe auf dem Prüfstand [Critiques ayant trait aux tests de vieillissement d'adhésifs synthétiques] », dans *Schultz und Pflege von Kunst- und Baudenkmalern, Restauratorenblätter, Band 15*, Vienne (Autriche), Mayer & Comp, 1995, p. 193-196.

Wagner, S.S. « Conservation Tip: A Modified Dacron Lining Technique for Photographs », *Topics in Photograph Preservation*, vol. 4 (1991), p. 31-33.

Wagner, S.S. « Remoistenable Tissue, Part II: Variations on a Theme », *Topics in Photograph Preservation*, vol. 7 (1997), p. 91.

Wang, Y., et A.P. Schniewind. « Consolidation of Deteriorated Wood with Soluble Resins », *JAIC*, vol. 24, nº 2 (1985), p. 77-91.

Warson, H. *The Applications of Synthetic Resin Emulsions*, Londres (Royaume-Uni), Ernest Benn, 1972.

Watkins, S. « Origins and Development of Dry Mounting », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), 12 (1993), p. 66-73. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v12/bp12-15.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Watkins, S. (compilatrice). « Exhibition Guidelines for Photographic Materials: Hinging and Mounting Materials for Photographic Materials », dans *Photographic Materials Conservation Catalog* (en ligne), Washington (DC), AIC, juillet 2004. Sur Internet : <URL : www.conservation-wiki.com/wiki/PMG_Section_1.5.5_Hinging_and_Mounting_Materials>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Watkinson, D., et S. O'Connor (directeurs de publication). « Editorial », *Conservation News*, vol. 19 (1982), p. 1.

Watson, D. *Dow/Rohm & Haas Merger Analysis* (en ligne), février 2009. Sur Internet : <URL : www.coatingsworld.com/issues/2009-02/view_business-corner/dow-rohm-amp-haas-merger-analysis>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Weast, R.C. (directeur de publication). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 56e éd., Cleveland (Ohio), The Chemical Rubber Co., 1975.

Webb, M. « An Examination of Fill Materials for Use with Lacquer Objects », dans *Lacquerwork and Japanning: Postprints of the Conference Held by UKIC, London, May 1994*, Londres (Royaume-Uni), UKIC, 1994, p. 30-35.

Wei, W. « International Research on the Conservation and Restoration of Face-mounted Photographs dans *ICOM-CC 15th Triennial Conference, New Delhi, India, 22–26 September 2008: Preprints* (sous la direction de J. Bridgland), New Delhi (Inde), Allied Publishers, 2008, p. 709-718.

Welsh, E. « A Consolidation Treatment for Matte, Powdery Paint », *AIC Preprints*, 1980, p. 141-150.

WERNER, A.E. « La préservation du cuir, du bois, de l'os, de l'ivoire et des documents d'archives », dans *La préservation des biens culturels*, Paris (France), UNESCO, 1969, p. 288-289.

WHEELER, G. *Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone*, Los Angeles (Californie), GCI, 2005.

WHISTLER, R.L., J.N. BEMILLER et E.F. PASHALL (directeurs de publication). *Starch: Chemistry and Technology*, 2e éd., Orlando (Floride), Academic Press, 1984.

WHITE, S.J., et D.M. SULLY. « The Conservation of a Siberian Parka: A Joint Approach », dans *ICOM-CC Conservation of Leathercraft and Related Objects Interim Symposium at the Victoria and Albert Museum, London, 24 and 25 June 1992* (sous la direction de P. Hallebeek, M. Kite et C. Calnan), Londres (Royaume-Uni), Victoria and Albert Museum, 1992, p. 54-57.

WHITEFORD, J.M. *An Evaluation of Non-penetrating Protective Coatings for Stone*, 1982. Thèse de maîtrise en conservation d'œuvres d'art, Université Queen's.

WHITMAN, K., et R. WIEGANDT. « Case Study: Repair of a Broken Glass Plate Negative », *Topics in Photographic Preservation*, vol. 12 (2007), p. 175-181.

WHITMORE, P.M. (directeur de publication). *Contributions to Conservation Science: A Collection of Robert Feller's Published Studies on Artist's Paints, Paper and Varnishes*, Pittsburgh (Pennsylvanie), Carnegie Mellon University Press, 2002.

WHITMORE, P.M., D. MORAN et C. BAILIE. « Shrinkage Stresses in Art and Conservation Coatings Based on Synthetic Polymers », *JAIC*, vol. 38, nº 3 (1999), p. 429-441.

WILLIAMS, D.C. « A Survey of Adhesives for Wood Conservation », *The Structural Conservation of Panel Paintings*, Marina del Rey (Californie), GCI, 1998.

WILLIAMS, D.C. « Some Experiences with Flexible Gap-filling Adhesives for the Conservation of Wood Objects », dans *Facing the Challenges of Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments, and Training: Proceedings from a Symposium at the Gettey Centre, May 17–18, 2009* (sous la direction de A. Phenix et S.A. Chui), Los Angeles (Californie), GCI, 2011.

WILLIAMS, R.S. « IR Spectroscopy of Jade R, Possibly Jade R, PVA-R (Talas), BEVA D8 and Gamblin PVA Size, CCI Report No. 121362 » (non-publié), Ottawa (ON), ICC, révisé le 14 avril 2011b.

WILLIAMS, R.S. « Analysis of Lascaux 303 HV, Lascaux 360 HV and Lascaux 498 HV, CCI Report No. 73767 » (non-publié), Ottawa, (ON), ICC, 26 février 2013.

WILLIAMS, R.S. « IR Spectroscopic Analysis of BEVA 371 OF and BEVA 371b Films, BEVA 371 OF and BEVA 371b Solutions and BEVA Gel, CCI Report No. CSD 5017, CCI 123206 Revised » (non-publié), Ottawa (ON), ICC, 12 avril 2013b.

WILLISTON, S. « Epoxy Hxtal NYL-1 », *AIC Newsletter*, vol. 8, nº 2 (1983), p. 14.

WILLISTON, S., et M. MYERS. « Tricks with Epoxy », *Washington Conservation Guild Newsletter*, vol. 15, nº 1 (1991), p. 3.

WILLS, B. « Excavating Desiccated Leather: Conservation Problems on Site and After », dans *Leather Wet and Dry: Current Treatments in the Conservation of Waterlogged and Desiccated Archaeological Leather* (sous la direction de B. Wills), Londres (Royaume-Uni), Archetype, 2001, p. 51-62.

WILLS, P. « The Manufacture and Use of Japanese Wheat Starch Adhesives in the Treatment of Far Eastern Pictorial Art », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contribution to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 123-126.

WINDING, C.C., et G.H. HIATT. *Polymeric Materials*, New York (New York), McGraw-Hill, 1961.

WINTER, J. « Natural Adhesives in East Asian Paintings », dans *Adhesives and Consolidants: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2–8 September 1984* (sous la direction de N.S. Brommelle *et al.*), Londres (Royaume-Uni), IIC, 1984, p. 117-120.

WITTMEYER, J., et M. SCHWEITZER. « Collection and Handling Protocol for Molecular and Chemical Analyses of Well Preserved Fossil Specimens », *Journal of Vertebrate Paleontology*, vol. 26, nº 3 (2006), p. 140A.

WOLBERS, R. « Short-term Mechanical Properties of Adhesives: Solvent and Plasticizer Effects », dans *The Care of Painted Surfaces, Materials and Methods for Consolidation and Scientific Methods to Evaluate Their Effectiveness, Proceedings of the Conference, Milan, November 10–11, 2006, Third International Conference. Colour and Conservation Materials and Method in the Conservation of Polychrome Artworks* (sous la direction de CESMAR7), Padoue (Italie), Il Prato, 2008, p. 111-118.

WOLBERS, R., M. MCGINN et D. DUERBECK. « Poly(2-ethyl-2-oxazoline) », dans *Painted Wood: History and Conservation: Proceedings of a Symposium Organized by the Wooden Artifacts Group of the AIC and the Foundation of the AIC, held at the Colonial Williamsburg, Williamsburg, Virginia, 11–14 November 1994* (sous la direction de V. Dorge et F. Carey Howlett) (en ligne), Los Angeles (Californie), GCI, 1998, p. 514-527. Sur Internet : < URL : www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/paintedwood.html>. Page consultée le janvier 7 2015.

WOLF, J. « Effects of Bulking Paraloid B-72 for Marble Fills », *JAIC*, vol. 48, nº 2 (2009), p. 121-140.

WOUTERS, J. « A Comparative Investigation of Adhesives Used for the Restoration of Leather Objects », dans *International Leather and Parchment Symposium, ICOM-CC Leathercraft and Related Objects Working Group, Offenbach am Main, Germany, May 8–12, 1989*, Offenbach-sur-le-Main (Allemagne), Deutsches Ledermuseum, 1989, p. 43-54.

WOUTERS, J., G. GANCEDO, A. PECKSTADT et L. WATTEEUW. « The Conservation of the Codex Eyckensis: The Evolution of the Project and the Assessment of Materials and Adhesives for the Repair of Parchment », *The Paper Conservator*, vol. 16, nº 1 (1992), p. 67-77.

Yahl, K.R. « Light Microscope Techniques to Rate Starch Pastes and Testing of Sizing Solutions and Films », dans *AATCC 1983 National Technical Conference, October 5–7, 1983: Book of Papers*, Research Triangle Park (Caroline du Nord), American Association of Textile Chemists and Colorists, 1983, p. 152-167.

Young, C., et P. Ackroyd. « The Mechanical Behaviour and Environmental Response of Paintings to Three Types of Lining », *National Gallery Technical Bulletin*, vol. 22 (2001), p. 85-104.

Young, C., P. Ackroyd, R. Hibberd et S. Gritt. « The Mechanical Behaviour of Adhesives and Gap-fillers for Re-joining Panel Paintings », *National Gallery Technical Bulletin*, vol. 23 (2002), p. 83-96.

Young, G. « Thermal Microscopy of Vegetable-tanned Leather in Contact with BEVA 371, CCI Report 96080 » (non publié), Ottawa (Ontario), ICC, 2007.

Young, W.T. « A Working Guide to Glues », *Fine Woodworking*, nº 134 (1999), p. 60-66.

Zádor, M., G. Kollár et E. Tonk. « Hidrofobizáló szerek hatékonyságának követelményei [Exigences sur l'efficacité des agents hydrophobes] », *Müsemlékvédelem*, vol. 37, nº 3 (1993), p. 185-187.

Zappala-Plossi, M. « Indagine su Adesivi per il Restauro de Documenti Cartacei [Études sur les adhésifs pour la restauration de documents en papier] », *Bollettino dell Instituto Centrale per la Patalogia del Libro*, vol. 34 (1976/1977), p. 34-51.

Zappala-Plossi, M., et P. Crisostomi. « Consolidation de la couche picturale des enluminures avec polymères synthétiques purs », dans *ICOM-CC 6th Triennial Meeting, Ottawa, 21–25 September 1981: Preprints*, Paris (France), ICOM, 1981, p. 5.

Zielecka, M., et P. Rođciszewski. « Water-repellent and Structurally Strengthening Agents for Masonry Materials », dans *VIe Congrès international sur l'altération et la conservation de la pierre - Actes, Torun: Nicholas Copernicus University, 12 au 14 septembre, 1988*, Torun (Pologne), Université Nicolas Copernicus, 1988, p. 641-644.

Zimmern, F. « Academy of Art and Design, Stuttgart: The Book and Paper Conservation Program and Current Research, Board Slotting: A Machine-Supported Book Conservation Method », *The Book and Paper Group Annual* (en ligne), vol. 19 (2000), p. 91-96. Sur Internet : <URL : http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v19/bp19-25.html>. Page consultée le 7 janvier 2015.

Zorn, S., et S. Dobrusskin. « "Diasec" and Other Finishing Techniques », *Studies in Conservation*, vol. 56, nº 4 (2011), p. 257-265.

Zucker, J., M. Betlejeski et E. Moroney. « Nanoparticles to Tag Consolidants to Determine Depth of Penetration » (affiche), dans *Symposium 2011, Adhésifs et consolidants pour la conservation : recherche et applications* (en ligne), Ottawa (Ontario), ICC, 2011. Sur Internet : <URL : www.cci-icc.gc.ca/discovercci-decouvriricc/symposium/2011Symposium-eng.aspx>. Page consultée le 7 janvier 2015.

INDEX

3M Removable Magic Tape 95
3M VHB 96
5 Minute Araldite
  capacité d'enlèvement 124
849 Sta-flat 46

A-45K
  textiles 100
AB . . . . . *Voir* acrylate de butyle
Ablebond 114
  pierre 232
Ablebond 342-1
  capacité d'enlèvement 124
  indice de réfraction 120
  jaunissement 116
Abra, amidon 56
AC . . . . . *Voir* acétate de cellulose
A-C Copolymer 400 83
acétate de cellulose 66-67
  absorption d'eau 66
  caoutchouc 66
  caractéristiques, limites et études de vieillissement . 66-67
  céramique 66
  chimie et préparation 66
  coefficient de dilatation linéaire 26, 66
  historique et utilisation 66
  indice de réfraction 27, 66
  mécanisme de prise 66
  métaux 66
  paramètres de solubilité 7
  photographies 147, 149
  solubilité et capacité d'enlèvement 67
  verre 66
acétate de vinyle 74
  historique et utilisation 75
  questions de santé 77
acétobutyrate de cellulose
  coefficient de dilatation linéaire 26
acétylcellulose 66
achroodextrine 50, 52, 53
acide acétique 76
Acrifix 93
Acrifix 90
  objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
Acrilem 93
Acrilem 674
  textiles 100
Acrilem RP6005
  textiles 100
Acrilem ST 1997
  textiles 100
Acronal 93
Acronal 300D
  métaux 104
Acronal 500D
  métaux 104
acrylate 93, 94
acrylate d'éthyle 93
  paramètres de solubilité 7
acrylate de butyle 93
acrylate de *n*-butyle 93
acrylate de méthyle 93
  paramètres de solubilité 7
acrylique 93-105
  à durcissement ultraviolet 94-95, 212
  absorption d'eau 93
  adhésifs sensibles à la pression 95-96
  anaérobie 95
  arts décoratifs 101
  bois 85, 101
  caractéristiques, limites et études de vieillissement 94-104
  céramique 70, 102, 111, 121, 215-16, 218-21
  chimie et préparation 93
  cire 82-83, 91, 100
  coefficient de dilatation linéaire 93
  cuir et peau 56, 63, 81, 99, 165, 168, 169, 170
  enlèvement 32, 33
  feuil adhésif 137
  fossiles 224, 225
  historique et utilisation 94
  indice de réfraction 27, 93
  livres 157
  mécanisme de prise 93
  métaux 57, 64, 71, 104
  objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
  objets ethnographiques 101
  os et ivoire 197
  papier 98, 142
  peintures 84, 100-01, 185
  pH 93, 97
  photographies 56, 80, 99, 150, 151
  pierre 102-04, 123, 132, 133, 227, 229, 232
  plastiques et caoutchoucs 210, 212
  plâtre 101-02
  propriétés 94
  résistance microbienne 96
  solubilité et capacité d'enlèvement 104-05, 228
  température de transition vitreuse 93, 94
  textiles 82, 99-100
  vannerie 182, 183
  verre 95, 102, 119, 215-16, 218-21
  vieillissement 77, 96-98
  viscosité 93

Acryloid . . . . . *Voir* Paraloid
Acrysol 93
Acrysol WS-24
capacité d'enlèvement 105
céramique et verre 215-16
fossiles 224
métaux 104
os et ivoire 196, 197
plâtre 101
ACV . . . . . *Voir* acétate de vinyle
adhésif 1
enlèvement 29-33
adhésifs fixables à chaud 142, 144, 149
adhésifs pour l'ivoire 194-99
consolidation 198-99
traitement aux d'adhésifs 198
adhésifs pour l'os 194-99
consolidation 198-99
traitement aux adhésifs 198
adhésifs pour la céramique 24, 214-21
consolidation 214-18
traitement aux adhésifs 218-21
adhésifs pour la pierre 227-32
adhésifs pour la vannerie 178-83
adhésifs pour le bois 24, 200-06
colle de peau 43, 200-01
humidité relative 48
préparation des surfaces 17
adhésifs pour le bois gorgé d'eau 207-08
consolidation 207-08
traitement aux adhésifs 208
adhésifs pour le papier 141-46
cataplasme 145
comblement 144
consolidation 145-46
doublage 145
encollage 46, 145
pose de charnières 143-44
renforcement 144
réparation des déchirures 144
adhésifs pour le verre 214-21
consolidation 214-18
traitement aux adhésifs 218-21
adhésifs pour les caoutchoucs 209-13
consolidation 209
adhésifs pour les cuirs et les peaux 162-70
comblements 169-70
consolidation 170
doublage 164-69
réparation des bords d'une déchirure 169-70
adhésifs pour les fossiles 222-26
consolidation 223-24
formation de joints et comblement des vides 225-26
adhésifs pour les livres 155-61
cataplasme 160
consolidation 160-61
doublage 156-58
pose d'un dos nouveau 158-59
pose de charnières 159-60
recettes des relieurs 46
résistance microbienne 55
adhésifs pour les meubles 200-06
adhésifs dégradés 204-06
comblement des vides 206
fractures complexes 204
fractures simples 203-04
adhésifs pour les peintures 184-93
cartonnages 191-92
clivage entre les couches 185-88
consolidation 188-90
humidité relative 47-48
réparation de déchirures 48, 57, 193
réparation structurale 192-93
adhésifs pour les photographies 147-54
consolidation 153-54
doublage 153
montage à sec 151
montage frontal 151-52
montage par voie humide 151
pose de charnières 150-51
réparation 152-53
réparation des plaques de verre 152
adhésifs pour les plastiques 209-13
consolidation 209
adhésifs pour les textiles 24, 171-77
nouveau traitement 177
réactivation 177
revêtement 176-77
support 175-76, 177
adhésifs sensibles à la pression 95-96, 131, 142
Adhesil K1
maçonnerie 132
Adhesin 74
Adhesin A22 80
adhésion 2
rupture 3, 27
adsorption 1, 2, 187
adsorption chimique 2
AE . . . . . *Voir* acrylate d'éthyle
agar 50
Agateen 68
Agateen Air Dry Lacquer #27
métaux 71
agent gonflant
farine de seigle 57
agents de conservation 57
bromure de cétyltriméthylammonium 57
peroxyde d'hydrogène 57
phénol 57
agents de consolidation et consolidation 1, 14, 35-38, 54, 123, 129, 131, 139, 141,160
agents de consolidation réagissant avec la surface 37

bois gorgé d'eau 207-08
caoutchouc 209
capacité d'enlèvement 37-38
céramique 214-18
colle de parchemin 43
cuir et peau 170
fossiles 223-24
gélatine 43, 48
livres 160-61
migration inverse 36-37
os et ivoire 194-99
papier 145-46
peintures 48, 188-90
pénétration 35-36
photographies 149, 153-54
pierre 121-22, 123
plastiques 209
techniques 37
verre 214-18
agents de consolidation réagissant avec la surface 37
agents mouillants 5, 13
fiel de bœuf 57
peintures 57
vinaigre 57
agents renforçant la stabilité au cycle gel-dégel 12
éthylèneglycol 12
viscosité 14
Ahydrosil Z
maçonnerie 132
AJK, pâte 90
AKEMI Marmorkitt 1000 232
Akeogard P
pierre 133
Albertina Poultice 58
albumine 41, 42, 43, 147
alcoxysilane 127
pierre 133-34
Alfabond 41
alginate de sodium 55, 56
alkylphénol 116
alun 46
AM . . . . . *Voir* acrylate de méthyle
Ambroid 68
AMDES . . . . . *Voir* aminopropylméthyldiéthoxysilane
amidon . . . . . *Voir* polysaccharides
amidon d'arrow-root 50, 56
pH 50
propriétés 51
textiles 173
amidon de blé 50-65, 112
amidon de blé d'origine japonaise 52
capacité d'enlèvement 57
cuir et peau 56-57, 63, 64, 81, 164, 165, 169, 170
livres 46, 80, 157, 160, 161
métaux 57, 64, 85, 104
obtenu par hydrolyse acide 54, 57, 63
papier 46, 55, 56, 141-46
peintures 47, 48, 57, 84, 101, 193
pH 50
photographies 56, 80, 99, 148, 150, 151, 152, 153, 154
propriétés 51
recettes 52-53
solubilité 58, 64
textiles 54, 57, 63, 173, 174
vannerie 70, 180, 183
amidon de haricot vert 50
propriétés 51
amidon de maïs 50, 52, 54
capacité d'enlèvement 57
cuir et peau 63, 81
livres 157
papier 55, 56
propriétés 51
amidon de pomme de terre 50, 52, 54
capacité d'enlèvement 57
papier 56
propriétés 51
amidon de riz 50, 53, 54, 56, 98
capacité d'enlèvement 57
cuir et peau 81
livres 55, 157
pH 50
propriétés 51
recette 53
vannerie 180
amidon de sagou 52
amidon de seigle 50
propriétés 51
amidon de tapioca 50, 52
cuir et peau 56, 63
propriétés 51
aminopropylméthyldiéthoxysilane
mousse de polyuréthane 131
papier 130
amylase 32, 58
capacité d'enlèvement 57
amylopectine 50, 51, 52, 53
capacité d'enlèvement 57
amylose 50, 51, 52, 53, 54
angle de contact 13
application d'un adhésif liquide 137
Appretan 74
Appretan MB Extra 74, 78
Aquadhere 74
résistance microbienne 77
Aquadhere 501 78
Aquazol 112
peintures 113, 185
vannerie 183
Aquazol 5
peintures 189

Aquazol 50
peintures 187, 189
Aquazol 200
peintures 48
Aquazol 500 113
peintures 48, 113
Araldite 114
pierre.....232
Araldite 1253
bois 121
Araldite 2014
peintures 120
Araldite 2020.....219
température de transition vitreuse.....119
Araldite 502/HY951
verre 118
Araldite 502/HY956
capacité d'enlèvement 124
verre 118
Araldite 6010/HY951
verre 118
Araldite AY103/HY951
jaunissement 116, 117
Araldite AY103/HY956
capacité d'enlèvement 124
jaunissement 117
Araldite AY103/HY991
céramique.....121
pierre.....124
Archival Mount
photographies 80
AVE .....*Voir* copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène
AVMDB..... *Voir* copolymère d'acétate de vinyle et de maléate de dibutyle
AYAA.....78, 84
bois 85
cuir et peau 81, 164, 168, 170
paramètres de solubilité.....7
photographies 80
résistance microbienne.....77
textiles.....82
vieillissement.....79
AYAC.....74, 78, 84
bois 85
céramique.....85
cuir et peau 81, 168, 170
photographies 80
résistance microbienne.....77
textiles.....82
vieillissement.....79
AYAF 78
bois 85
capacité d'enlèvement 86
résistance microbienne.....77
vieillissement.....79
AYAT.....78
bois 85, 86
capacité d'enlèvement 86, 92
métaux 85
résistance microbienne.....77
vieillissement.....79
Aytex 50

Bayer LF
pierre.....133
Bedacryl 122X
peintures 190
Bermocoll.....59
Bermocoll E 481 FQ
viscosité 61
Best Test Paper 46
BEVA 74
BEVA 371.....75, 78
bâtonnets de colle 85
cire.....82, 91, 100
cuir et peau 63, 81, 166, 169, 170
livres 80
papier 142
peintures 48, 83-84, 185, 186, 187, 188, 190, 192
photographies 80
textiles.....81-82, 173, 174, 176
vieillissement.....79
BEVA 371 Film 84, 137
bois 202
cuir et peau 166, 169, 170
meubles 202
peintures 192
photographies 151, 153
textiles.....174
vannerie 183
BEVA 371b 83, 151
BEVA D8 84
peintures 185, 186, 187, 193
BEVA Gel.....84
peintures 192
Bexoid 66
bitume naturel
bois 201
Blanose.....59
Blanose 7HF
viscosité 61
Blanose 7LF
viscosité 61
Blanose 7MC
textiles.....63
BMP ..... *Voir* 2,6-di-t-butyl-4-méthylphénol
bois
gorgé d'eau ..... *Voir* adhésifs pour bois gorgé d'eau
meubles ..... *Voir* adhésifs pour meubles
objets..... *Voir* adhésifs pour bois

Bologna Cocktail 232
Bondfast 74
bois 84
capacité d'enlèvement 86
Butacite 90
Butvar 90
Butvar B-73
pierre 92
Butvar B-76
absorption d'eau 91
fossiles 224
indice de réfraction 91
os et ivoire 197
paramètres de solubilité 7
propriétés 91
solubilité 92
viscosité 91
Butvar B-98
absorption d'eau 91
bois 85, 86, 91, 120
capacité d'enlèvement 86, 92
fossiles 92, 224
indice de réfraction 91
métaux 92
os et ivoire 197
propriétés 91
solubilité 92
température de transition vitreuse 91
vieillissement 91
viscosité 91

Cab-o-sil
os et ivoire 198
Calaton 125
Canada Standard 41
Canus 1000/68
verre 118
caoutchouc 39
adhésifs sensibles à la pression 95
bois 201
indice de réfraction 27
caoutchouc styrène-butadiène 39
carbonate de calcium 12
Carboset-5141H 122
carboxyméthylcellulose 58, 59
degré de substitution 64
historique et utilisation 60
indice de réfraction 59
métaux 57, 64, 85, 104
papier 56, 61, 62
peintures 189
pH 59
photographies 61
propriétés et usages commerciaux 60
résistance microbienne 61
solubilité 64
textiles 57, 63, 173
vieillissement 62
caséine 41, 42, 43
propriétés 45
cataplasme 31, 58, 145, 160
Celacol 59
Celastoid 66
Cellastine 66
Cellofas 59
Cellofas B3500 56
vieillissement 62
Cellolyn 21 83
Cellomold 66
Cellosize 59
celluloïd 68, 69
cellulose acétylée 66
Cellulose Gum 59
Cellulose Gum 7H4
vieillissement 62
Cellulose Gum 7L1
aging 62
Cellulose Gum 9M8
vieillissement 62
Celvol 87
CIE L*a*b* 27
cire 21
peintures 190, 192
retrait lors de la prise 22
Clariant 74
Clariant T1601 . . . . . .74, 78
textiles 82, 173, 175
Clarifoil 66
Clear P-4 Silicone
photographies 152
CM Bond 74
CMC . . . . . *Voir* carboxyméthylcellulose
coalescence 12
coefficient de dilatation 26, 47
coefficient de dilatation cubique 26
coefficient de dilatation linéaire 26, 211
coefficient de dilatation thermique 26
cohésion 2
rupture 3
collagène . . . . . *Voir* protéines
colle à bouche 41, 42
colle animale . . . . . .21, 41, *Voir aussi* protéine, colle de peau
bois 48, 200-01
cuir et peau 169
enlèvement à l'aide de cataplasme 32
feuil barrière 204
fumigation 46
livres 46, 157, 158
peintures 188, 192, 193
pH 44
poly(acétate de vinyle) 45
poly(alcool de vinyle) 45

préparation 41
retrait lors de la prise 22
solubilité 49
textiles 82
vannerie 179, 182
colle au chrome 41, 42
propriétés 45
colle d'emballage 41
colle d'équarrissage 41, 42
colle d'esturgeon 41, 42, 43, 55, 57
livres 46
peintures 47, 48, 57, 84, 101, 113, 186, 193
produits de remplacement 45
résistance microbienne 45
colle d'os 41
force 43
force en gelée 44
livres 46
masse moléculaire 44
peintures 47, 57
pH 41
préparation 42
solubilité 49
viscosité 41
colle de caoutchouc
photographies 56, 80, 99
colle de parchemin 41, 42
agent de consolidation 43, 146
cuir et peau 56, 63, 169
papier 141
peintures 185, 191
colle de peau . . . . . 41, 112, *Voir* aussi protéine, colle animale
arts décoratifs 48, 84
bois 48, 200-01
enlèvement à l'aide de cataplasme 32
force 43, 45
force en gelée 44, 200
humidité relative et température 45
liquide 42, 200-01
masse moléculaire 44
papier 46
peintures 47, 48
pH 41
préparation 42
solubilité 49
viscosité 41
colle de peau de cerf 41
colle de peau de lapin 41
arts décoratifs 48
coefficient de dilatation 47
force 45
humidité relative et température 45
masse moléculaire 44
peintures 47, 185, 188, 191
pH 41
viscosité 41
colle de peau liquide . . . . . .42, 200-01, *Voir aussi* protéine
colle de poisson . . . . . 41, *Voir aussi* protéine
force 45
force en gelée 44
humidité relative et température 45
masse moléculaire 44
peintures 185
pH 41
propriétés 45
solubilité 49
viscosité 41
colle de type gecko
plastiques et caoutchoucs 213
colle perchlorovinylique
livres 46
colle-pâte 41, 54
capacité d'enlèvement 49
peintures 43, 47, 57
collodion 68, 69, 147, 148, 149
colloïde protecteur 5, 12, 74
colophane
bois 201
Comet 41
conception du joint 19-21
Conservare 127
Conservare H
pierre 133
résistance microbienne 130
Conservare H40
résistance microbienne 130
Conservare OH
résistance microbienne 130
contrainte de cisaillement 19, 20, 25
contrainte de clivage 19, 25
contrainte de pelage 19, 25
contrainte de traction 19, 25
coplymère d'acrylate d'éthyle, de méthacrylate de méthyle et de méthacrylate de 2,2,2-trifluoréthyle 100
coplymère d'acrylate d'éthyle et de méthacrylate de méthyle 100
copolymère 3-4, 76
copolymère d'acétate de vinyle et d'acrylique
cuir et peau 165
copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène 74
coefficient de dilatation linéaire 26, 74
cuir et peau 165
dispersions 76, 78
feuil adhésif 137
livres 157, 158, 159
peintures 185
textiles 82
vieillissement 79
copolymère d'acétate de vinyle et de maléate de dibutyle 74
dispersion 78

peintures 185
textiles 82
copolymère d'acétate de vinyle et de versatate de vinyle
papier 80
copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle 21, 74, 75, 77, 78
coefficient de dilatation linéaire 26
comblement des vides 206
cuir et peau 170
feuil adhésif 138
historique et utilisation 75
paramètres de solubilité 7
peintures 84, 185
photographies 150
plastiques et caoutchoucs 213
courbe contrainte-déformation 24-25
Culminal 56, 59
textiles 63
vieillissement 62
cyanoacrylate 106-11
bois 107, 202
caractéristiques, limites et études de vieillissement 107-11
céramique 70, 102, 111, 121
chimie et préparation 106-07
coefficient de dilatation linéaire 26, 106
dégradation 108-09
durée de conservation 106
époxy 120
fossiles 109-11, 224-25
historique et utilisation 107
indice de réfraction 106
mécanisme de prise 106
métaux 111
os et ivoire 197-98
papier 107
pierre 104
plastiques et caoutchoucs 212
poly(chlorure de vinyle) 107
polyéthylène 107
polypropylène 107
questions de santé 111
recherche médicale 108-09
solubilité et capacité d'enlèvement 111
température de transition vitreuse 106
verre 111
vieillissement 119
viscosité 14, 106
2-cyanoacrylate d'alkyle 106

dammar
bois 201
degré de polymérisation 59
degré de substitution 59, 66, 68
densité d'énergie cohésive 6
Devcon 114
Devcon-2-ton
pierre 104
verre 118
dextrine 46, 50, 52, 53
livres 46
papier 56
solubilité 58
Diasec 131, 152
Diatite 72
Dibond
photographies 151
dispersions 10-12
2,6-di-t-butyl-4-méthylphénol 117
Dow Corning 127
Dri-Film 104
pierre 103, 133, 232
Drisil 127
Drisil 773
pierre 132
Duco Cement 68
os et ivoire 197
vannerie 70
Dur-a-glaze 114
durcissement 21
durcissement chimique 21-22
durée de conservation 15
dureté 26
Durofix 68
Dur-O-Set 74
Dur-O-Set E-150
textiles 82
vieillissement 79
Duvilax 74
Duvilax BD-20
livres 80
Duvilax KA-1
livres 80
papier 98

Eastman 106
EAV .....*Voir* copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyle
EC-2216
force 119
jaunissement 117
Eccobond 114
Eccobond 24
verre 119
EHEC .....*Voir* éthylhydroxyéthylcellulose
Elascol MIC 55
cuir et peau 81
Elmer's, colle blanche
bois 202
Elmer's 74
bois 85

Elmer's Glue-All
fossiles .224
livres .80
Elvace .74
Elvace 45675
livres .157
Elvace 45675 CX
cuir et peau .81
Elvace n° 1874
photographies .80
vieillissement .79
Elvacite .93
Elvacite 2013
pH .97
solubilité .10
textiles .99
Elvacite 2028
pH .97
Elvacite 2044
céramique .102
cuir et peau .99
Elvacite 2045
capacité d'enlèvement .104
Elvacite 2046
capacité d'enlèvement .104
Elvamide .125
Elvanol .87
Elvax .74
Elvax 150 .83
émulsifiant .10
émulsions .10-12
encre ferro-gallique .58, 142, 144, 145
enzymes .32
EP. *Voir* époxy
EP2101 .122
épaississants .5, 12, 136, 204
amidon .12
méthylcellulose .12
microbilles .204
microsphères .204
os et ivoire .198
oxyde de polyéthylène .12
sels d'acide acrylique .12
silice sublimée .12, 204
Epikote 1001
paramètres de solubilité .7
Epojet .114
pierre .123
Epon .114
Eponex .114, 122
Eponex 1510 .122
Epo-Tek .114
pierre .232
Epo-Tek 301 .120, 219
capacité d'enlèvement .124
Epo-Tek 301-1
capacité d'enlèvement .124
jaunissement .117
Epo-Tek 301-2 .120, 219
capacité d'enlèvement .124
jaunissement .117, 118
photographies .152
Epoweld .114
Epoweld 3672
verre .118
époxy .4, 22, 30, 36, 95, 114-24, 136, 211
à durcissement ultraviolet .212
absorption d'eau .114
additifs .120
bois .120-21, 206
bois gorgé d'eau .208
caractéristiques, limites et études de vieillissement .115-23
céramique .70, 102, 111, 121, 218-21
chimie et préparation .114-15
coefficient de dilatation linéaire .26, 114
cyanoacrylate .120
durée de conservation .118
fossiles .109, 225
historique et utilisation .115
humidité relative .118
indice de réfraction .27, 114, 116, 120
jaunissement .116-18
mécanisme de prise .114
métaux .123
nitrate de cellulose .69
paramètres de solubilité .7
peintures .48, 120
photographies .150, 152
pierre .103, 104, 121-23, 132, 133, 227, 229, 232
plastiques et caoutchoucs .212, 213
plâtre .101, 121
questions de santé .123
résistance microbienne .115
rétention de la force .118-19
retrait lors de la prise .22
solubilité et capacité d'enlèvement .123-24
température de transition vitreuse .24, 114
verre .102, 111, 116-19, 218-21
vieillissement .122
viscosité .114
Epoxy Bond Putty
capacité d'enlèvement .124
Epoxybond .114
Epoxyglass .114
capacité d'enlèvement .124
jaunissement .117
équation d'Arrhenius .28, 116
ERL-4221 .122
essai de gonflement .30

essai de perte de poids 30
essai de solubilité de McCrone.....30
essai mesurant la force (de cohésion) 25
essais mécaniques 25
ester éthylique d'acide silicique.....129
esters d'acide silicique.....127
esters de cellulose.....66-71
acétate de cellulose ..... *Voir* acétate de cellulose
nitrate de cellulose ..... *Voir* nitrate de cellulose
esters de silicone.....127
EtC..... *Voir* éthylcellulose
éther de cellulose 54, 55, 56, 59-65
absorption d'eau 59
bois gorgé d'eau 207
caractéristiques, limites et études de vieillissement 60-64
carboxyméthylcellulose ..... *Voir* carboxyméthylcellulose
chimie et préparation 59-60
coefficient de dilatation linéaire 59
colloïde protecteur 74
cuir et peau 56, 63-64, 164, 165, 168-69, 170
durée de conservation 61
éthylcellulose..... *Voir* éthylcellulose
éthylhydroxyéthylcellulose..... *Voir* éthylhydroxyéthylcellulose
feuil adhésif 138
historique et utilisation 60
hydroxyéthylcellulose ..... *Voir* hydroxyéthylcellulose
hydroxypropylcellulose..... *Voir* hydroxypropylcellulose
hydroxypropylméthylcellulose ..... *Voir* hydroxypropylméthylcellulose
indice de réfraction.....27, 59
livres 55, 61-63, 157
mécanisme de prise 59
métaux 64
méthylcellulose ..... *Voir* méthylcellulose
méthylhydroxypropylcellulose ..... *Voir* méthylhydroxypropylcellulose
objets ethnographiques 101
papier 46, 61-63, 143, 144, 145
peintures 64, 185
pH 59
photographies 61-63, 150
plastiques et caoutchoucs 210
poly(acétate de vinyle).....76
résistance microbienne.....61
solubilité et capacité d'enlèvement 64-65
température de transition vitreuse.....59
textiles.....63, 82
thermostabilité 61
vannerie 179, 180-81, 183
vieillissement.....61
viscosité 59
Ethocel 59
pierre.....92
Ethocel HE10
papier 65
paramètres de solubilité.....7
Ethocel Medium 70
papier 65
Ethocel S-100
vieillissement.....62
Ethocel Standard 10
papier 65
Ethocel Standard 45
papier 65
Ethocel Standard 100
papier 65
Ethocel Standard 200
papier 65
Ethocel STD 20
paramètres de solubilité.....7
Ethulose.....59
Ethulose 400
vieillissement.....62
éthylcellulose 59
absorption d'eau 59
coefficient de dilatation linéaire 26, 59
degré de substitution 64
historique et utilisation 60
indice de réfraction.....59
livres 46
papier 62, 65
paramètres de solubilité.....7
propriétés et usages commerciaux.....60
résistance microbienne.....61
réversibilité 65
solubilité.....64
température de transition vitreuse.....59
vieillissement.....62
Ethylcellulose N-14
vieillissement.....62
éthylèneglycol.....12, 14
éthylhydroxyéthylcellulose 59
indice de réfraction.....59
pH 59
résistance microbienne.....61
solubilité.....64
vieillissement.....62
EVA 4055 SOL
paramètres de solubilité.....7
Evacon 74
livres 160
Evacon-R
livres 80
peintures 84

Everflex 74
Everflex A
livres 80
Everflex G
livres 80
Evostick Resin W
peintures sur bois 84
Excel
plastiques et caoutchoucs 212
Experimental Emulsion E-2014
plâtre 101

Fabri-Sil 130, 131
farine de blé
capacité d'enlèvement 57
peintures 47, 57
farine de bois 48
matériau de remplisssage 84
farine de noix de coco 48
matériau de remplissage 84
farine de seigle 48, 57, 120
matériau de remplissage 84
Fezandie 41, 47
Fisher 41, 47
Florsam 39
pierre 133
Fluka 87
fluorure
pierre 103, 132
force en gelée 44, 200
forces de dispersion 5, 8
forces de polarité 5
forces de Van der Waals 1, 5, 213
forces électrostatiques 2
Franklin's 41
Fredrix 41, 47
fulmicoton 69
Funcosil 127
funori 50, 51, 53, 54-55, 141, 146
furunori 50, 52, 53, 54
capacité d'enlèvement 57
Fynebond 114, 219
température de transition vitreuse 119

Ganes 41
Ganes Flexible Glue 46
GE Silicone 1048
résistance microbienne 130
Gelastoid 66
gélatine 32, 41, 54, 56, 57, 58, 157
agent de consolidation 43
cuir et peau 56, 63, 169
force 45
indice de réfraction 27, 41
jaunissement 45
livres 46, 157, 158, 159
masse moléculaire 44
papier 46, 141, 143, 144, 145, 146
peintures 47, 48, 57, 64, 113, 185, 186, 188, 189, 191
pH 41, 44
photographies 147, 148, 150, 151, 152, 154
préparation 41
propriétés 44
solubilité 49
température de gélification 44
viscosité 41
Gelva 74
Gelvatol 87
General Electric 127
pierre 232
gesso 48
Glustitch 106
fossiles 110
glycérine 12
viscosité 14
gomme adragante 42
gomme arabique 50, 141
gomme-laque 39, 72-73
bois 48, 201
caractéristiques, limites et études de vieillissement 73
chimie et préparation 72
coefficient de dilatation linéaire 26, 72
enlèvement à l'aide de cataplasme 32
gomme-laque blanchie 72
historique et utilisation 72
indice de réfraction 72
mécanisme de prise 72
pierre 73
plastifiants 72
solubilité et capacité d'enlèvement 73
température de transition vitreuse 72
gomme-laque citron (en paillettes) 72
gomme-laque en bâtons 72
gomme-laque en boutons noire 72
gomme-laque en graines 72
gomme-laque grenat 72
gomme-laque orange (en paillettes) 72
Gorilla Glue
plastiques et caoutchoucs 212
Gripper Superglue 120
Grumbacher 41, 47

HEC . . . . . *Voir* hydroxyéthylcellulose
Hewitt Reversible M218
cuir et peau 166
HMC . . . . . *Voir* hydroxyméthylcellulose
HMG 21, 68
HMG Heat and Waterproof Adhesive 70
métaux 71
os et ivoire 197

Holbein 41, 47
Holdtite ST3222 95
Homalite 114
Homalite 1100
  verre 118
homopolymère 3-4, 76
Hot Stuff 106
HPC ..... *Voir* hydroxypropylcellulose
HPMC ..... *Voir* hydroxypropylméthylcellulose
humectants 5, 12
  glycérine 12
  propylèneglycol 12
  sorbitol 12
  sucrose 12
Hxtal 114
Hxtal NYL-1 .....119, 120, 219
  capacité d'enlèvement 124
  indice de réfraction 120
  jaunissement 117, 118, 119
  objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
  photographies 152
  pierre 232
  température de transition vitreuse 119
  verre 95, 119
  vieillissement 119
hydroxyéthylcellulose 59, 61
  bois gorgé d'eau 207
  degré de substitution 64
  indice de réfraction 59
  papier 62
  pH 59
  propriétés et usages commerciaux 60
  résistance microbienne 61
  solubilité 64
  textiles 57, 63
  vieillissement 62
hydroxyméthylcellulose
  vieillissement 77, 82, 97
hydroxypropylcellulose 59, 61
  indice de réfraction 59
  livres 157, 161
  papier 61
  peintures 185
  pH 59
  photographies 61
  résistance microbienne 61
  solubilité 64
  température de transition vitreuse 59
  textiles 63, 173
  vannerie 181
  vieillissement 62
hydroxypropylméthylcellulose 59
  feuil barrière 204
  papier 62
  solubilité 64
  température de transition vitreuse 59
Hysol 114
Hysol TE6175/HD3561
  verre 118

Imedio Banda Azul
  céramique 70
indice de réfraction 27
  photographies 149
Instabond 120
interdiffusion 2
isinglass 41, 54, 55
  arts décoratifs 48, 84
  cire 46, 82, 100
  cuir et peau 169
  jaunissement 45
  masse moléculaire 44
  papier 141, 143, 146
  peintures 47, 185, 186, 188, 191
  pH 41
  viscosité 41, 44

Jade 74
Jade 403 .....21, 78
  bois 202
  cuir et peau 57, 64, 81, 166
  livres 80, 157
  métaux 57, 64, 85
  peintures 113, 185, 186
  solubilité 64
  vieillissement 79
Jade R
  livres 158
  peintures 185, 187, 193
jaunissement 27
Jeffamine T-403 122
jinnori 51
junfunori 48, 50, 51, 54-55
  peintures 185, 189

kanosjin 52
kaolin 12
Katki 72
Klucel 46, 59
  solubilité 63
Klucel E 55
  peintures 185, 187, 188
  vannerie 181
Klucel G 56
  cuir et peau 63, 81, 164, 167, 168, 170
  livres 157, 161
  papier 56, 144, 146
  peintures 185, 188
  photographies 152, 153
  textiles 63, 173, 174
  vannerie 181
  vieillissement 62

Klucel H
vieillissement 62
Klucel L
papier 56
textiles 63
vieillissement 62
Klucel M
vieillissement 62
Knox 41, 47
Kodapak 66
Krazy Glue 106, 120
Kusmi 72

Lansil 66
Laponite RD
livres 160
laque en boutons 72
Laropal K80 83
Lascaux 93
papier 142, 145
Lascaux 303 HV 98
photographies 150-51
Lascaux 360 HV 97, 98
cire 100
cuir et peau 99, 164, 165-66, 167
livres 157, 159
papier 142, 143, 144
peintures 83, 101
photographies 150
température de transition vitreuse 24
textiles 99, 173, 174, 177
Lascaux 498 20-X
papier 144
Lascaux 498 HV 98
cire 83, 100
cuir et peau 99, 164, 165-66, 167, 169
livres 157, 159, 160, 161
papier 144
peintures 101
photographies 150
textiles 99, 173, 174, 177
Lascaux Medium for Consolidation 101
arts décoratifs 48
Lascaux P 550-40 TB
textiles 99, 173
LePage 41, 114
LePage Cement 66
Lexan 121
pierre 92
liaison 1-2, 17-22
liaisons hydrogène 5, 8, 23, 50, 62
lien
contrainte 19-21, 25
épaisseur 18-19
essai mesurant la force 25
rupture 3
limite apparente d'élasticité 24-25
Lineco
peintures 84
lipase 32
Liquitex
livres 160
Liquitex Acrylic Gloss Medium
photographies 99
Loctite 93, 106
Loctite 350 95
Loctite 406 108
Loctite 420
fossiles 110
Loctite 460 108
Loctite 3492 95
Lucite 93, 94
Lucite 2042
paramètres de solubilité 7
Lucite 2044
paramètres de solubilité 7

M.S.W.2A
verre 131
MAB . . . . . *Voir* méthacrylate de *n*-butyle
MAE . . . . . *Voir* méthacrylate d'éthyle
MAiB . . . . . *Voir* méthacrylate d'isobutyle
Maida (pâte de farine) 56
MAM . . . . . *Voir* méthacrylate de méthyle
Maraglas 114
Maraglas R658/H558
verre 118
Maranyl Nylon 125
masse moléculaire
distribution 4
moyenne en nombre 4
moyenne en poids 4
Mastercraft Carpenter's Glue
bois 84
Mastercraft Superglue 120
matériaux de comblement et matières de charge 5, 12, 120
carbonate de calcium 12
farine de bois 48, 84
farine de noix de coco 48, 84
farine de seigle 48, 84, 120
kaolin 12
microbilles 84
poudre de cellulose 48
talc 12
MC . . . . . *Voir* méthylcellulose
McGean B-15 78
fossiles 224
métaux
préparation des surfaces 17
méthacrylate 93, 94
méthacrylate d'éthyle 93
paramètres de solubilité 7

méthacrylate d'isobutyle....93
méthacrylate de butyle....93
méthacrylate de *n*-butyle....93
méthacrylate de méthyle....93
paramètres de solubilité....7
Methocel....59
Methocel 311
papier....65
Methocel A345
papier....65
Methocel A4C
papier....146
vannerie....181
vieillissement....62
viscosité....61
Methocel A4M
papier....65
vannerie....183
vieillissement....62
viscosité....61
Methocel E4M
vieillissement....62
Methocel F
papier....65
Methocel J5MS
papier....65
Methocel J75MS
papier....65
Methocel K100LV
vieillissement....62
Methocel MC....55
méthylcellulose....55, 59, 112
bois gorgé d'eau....207
cuir et peau....57, 64
degré de substitution....64
épaississant....12
historique et utilisation....60
indice de réfraction....59
livres....80, 157, 158, 160
papier....55, 56, 61, 62, 65, 141, 142, 144, 145, 146
peintures....48, 64
pH....59
photographies....56, 61, 80, 99, 148, 150, 152, 154
plastiques et caoutchoucs....210
propriétés et usages commerciaux....60
résistance microbienne....61
réversibilité....65
solubilité....63, 64
solvant sous forme de gel....31
température de transition vitreuse....59
textiles....57, 63, 82, 173, 174
vannerie....70, 180-82
vieillissement....61, 62
méthylhydroxyéthylcellulose
cuir et peau....56, 63
textiles....57, 63
méthylhydroxypropylcellulose....59
vieillissement....62
méthyltriméthoxysilane
pierre....133
MHEC....*Voir* méthylhydroxyéthylcellulose
MHPC....*Voir* méthylhydroxypropylcellulose
microbilles....48, 84, 131, 204, 206
microémulsions....33
microsphères....204
migration inverse....36-37, 188
mise à l'essai....27-29
Modocoll....59
module d'élasticité....24
mouillage....13
angle de contact....13
tension superficielle....13
Mowilith....74
Mowilith 20
peintures....190
Mowilith 30
cire....83, 100
peintures....185
Mowilith 35/73
résistance microbienne....77
Mowilith 50
arts décoratifs....48, 84
cire....83
cuir et peau....168
paramètres de solubilité....7
peintures....185
pierre....85
Mowilith 60
peintures....185
Mowilith D50
peintures....84
Mowilith DM5
cuir et peau....56, 166
textiles....81
vieillissement....77
Mowilith DM22
vieillissement....77
Mowilith DM55
résistance microbienne....77
Mowilith DM155
vieillissement....77
Mowilith DM427
peintures....185, 187
Mowilith DMC2....74, 76, 78
arts décoratifs....48, 84
cire....83
cuir et peau....166
température de transition vitreuse....24
textiles....81, 82, 173, 174
vieillissement....77
Mowilith DMV1
textiles....81

Mowiol 87
Mowiol 3-83
arts décoratifs 48
Mowiol 28-99 89
Mowital 90
Mowital B 20 H
résistance microbienne 91
Mowital B 30 H
solubilité 92
vieillissement 91
Mowital B 60 HH
cire 91, 100
Multiwax #445 84

namajin 52
Natrosol 59
Natrosol 250 GR
viscosité 61
Natrosol 250 HHR
viscosité 61
Natrosol 250 HR
vieillissement 62
Natrosol 250 LR
vieillissement 62
Natrosol 250 MR
vieillissement 62
NC . . . . . *Voir* nitrate de cellulose
nébulisation à ultrasons 139
Neocryl 93
Neocryl A1044
objets ethnographiques 101
Neocryl BT-175
plâtre 101
Neocryl BT-520
plâtre 101
Neocryl-520 122
néoprène 39
nettoyage chimique 18
nettoyage mécanique 18
nitrate de cellulose 39, 68-71
absorption d'eau 68
caractéristiques, limites et études de vieillissement 66, 69-71
céramique 70-71, 102, 111, 121
chimie et préparation 68
coefficient de dilatation linéaire 26, 68
décomposition thermique 69
enlèvement à l'aide de cataplasme 32
époxy 69
feuil adhésif 69
historique et utilisation 66, 69
indice de réfraction 27, 68
mécanisme de prise 68
métaux 70-71
os et ivoire 197
paramètres de solubilité 7
photographies 147, 149
résistance au cisaillement 70
retrait lors de la prise 22
solubilité et capacité d'enlèvement 71
température de transition vitreuse 68
vannerie 70
nitrile
verre 119
nitrocellulose 68
Norland 41, 93
Norland NOA 61 95
Norland NOA 63 95
Norland OA65
objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
Norland OA68
objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
Novalac 114
nylon *n*-méthoxyméthylé 125
nylon soluble 39, 125-26
caractéristiques, limites et études de vieillissement 125-26
chimie et préparation 125
historique et utilisation 125
mécanisme de prise 125
solubilité et capacité d'enlèvement 126
température de transition vitreuse 125

organosiloxane 127
orthosilicates 127
oxyde de polyéthylène 12

PAB . . . . . *Voir* poly(acrylate de butyle); *Voir* poly(acrylate de *n*-butyle)
PACV . . . . . *Voir* poly(acétate de vinyle)
PAE . . . . . *Voir* poly(acrylate d'éthyle)
PaleoBond 106
Paleobond PB100
pierre 104
Paleobond PB1500
fossiles 110
PALV . . . . . *Voir* poly(alcool de vinyle)
PAM . . . . . *Voir* poly(acrylate de méthyle)
Panel Fix
capacité d'enlèvement 124
papier à revêtement de résine 148, 149
Paraloid 93
Paraloid B-44
paramètres de solubilité 7
pierre 232
Paraloid B-44S 97
pH 97
Paraloid B-48N
arts décoratifs 48
cuir et peau 168
métaux 104

peintures 190
pierre.....232
Paraloid B-48S
vieillissement.....97
Paraloid B-67.....97
bois 120
capacité d'enlèvement 104
céramique.....102
objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
pH 97
pierre.....103
vieillissement.....97
Paraloid B-72.....94, 97, 98, 112
arts décoratifs 48, 101
bois 85, 86, 101, 120
capacité d'enlèvement 105
céramique..... 70, 102, 111, 121, 214, 215, 216-17, 218-21
cire.....100
cuir et peau 99, 164, 168, 170
feuil barrière 124
fossiles 224, 225, 226
métaux 104
objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
os et ivoire 196, 197
papier 146
paramètres de solubilité.....7
peintures 83, 100, 185, 186, 190
photographies 99, 150, 152, 153
pierre.....92, 102, 103, 133, 230, 232
résistance microbienne.....96
solubilité et capacité d'enlèvement 86, 92, 104, 228
température de transition vitreuse.....24
textiles.....99
vannerie 183
verre 102, 214, 215, 216-17, 218-21
Paraloid B-82.....97
paramètres de solubilité.....7
pH 97
Paraloid B-99
pH 97
Paraloid C-10-LV 97
Paraloid F-10.....21
cuir et peau 99, 164, 169, 170
objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
peintures 48
pH 97
résistance microbienne.....96
textiles.....99, 173, 175
vieillissement.....97
Paraloid NAD-10 97
paramètre de cohésion 6
paramètre de solubilité de Hildebrand.....5-8
paramètres de solubilité 5-9
densité d'énergie cohésive.....6
paramètre de cohésion.....6
paramètre de solubilité de Hildebrand 5-8
paramètres de solubilité de Hansen.....8
paramètres de solubilité fractionnaires de Teas.....8-9
paramètres de solubilité de Hansen 8
paramètres de solubilité fractionnaires de Teas 8-9
graphique de Teas.....9
pâte d'amidon.....50, 54, 55
capacité d'enlèvement 57
enlèvement à l'aide de cataplasme.....32
livres 157-59, 160
papier 56, 142, 143, 144, 145
peintures 193
photographies 152
recettes 52-53
textiles.....177
vannerie 179, 180
PBV..... *Voir* poly(butyral de vinyle)
PEOX..... *Voir* poly(2-éthyl-2-oxazoline)
Permabond 106
Perspex.....93
pH 14-15
photographies
charnière en V modifiée.....20-21
phtalate de dibutyle.....12, 116
Pioloform.....90
Planatol 74
plastifiants.....5, 12, 23, 68, 72, 74, 116
ajouté à un homopolymère 76
camphre 68
dibenzoate de polyéthylèneglycol 12
huile de lin 57
mélasse 57
peintures 57, 192
phosphate de tricrésyle 68
phosphate de triphényle 68
phtalate de dibutyle 12, 68, 116
phtalate de ditridécyle 12
térébenthine de Venise.....57
Plexiglas.....93
photographies 151
Plexisol.....93
vieillissement.....97
Plexisol P550
cire.....100
peintures 48, 185, 190
Plextol 93
Plextol B500
objets ethnographiques 101
papier 98
peintures 101, 185, 186, 187
photographies 99, 150
vannerie 182
vieillissement.....96
Plextol D360
peintures 83
Pliantex 97
cuir et peau 170

PMAB. . . . . *Voir* poly(méthacrylate de butyle); *Voir* poly(méthacrylate de *n*-butyle)
PMAE. . . . . *Voir* poly(méthacrylate d'éthyle)
PMAiB . . . . . *Voir* poly(méthacrylate d'isobutyle); *Voir* poly(méthacrylate d'isobutyle)
PMAM . . . . . *Voir* poly(méthacrylate de méthyle)
poly(2-éthyl-2-oxazoline) 112-13
caractéristiques, limites et études de vieillissement 112-13
chimie et préparation 112
historique et utilisation 112
indice de réfraction. 112
mécanisme de prise 112
peintures 113
pH 112
solubilité et capacité d'enlèvement 113
température de transition vitreuse. 112
poly 2-éthyloxazoline 112
poly(acétal de vinyle)
indice de réfraction. 27
poly(acétate de vinyle) 22, 30, 74-86
absorption d'eau 74
arts décoratifs 84
bois 84-85
bois gorgé d'eau 208
caractéristiques, limites et études de vieillissement 75-85
céramique. 70, 85, 102, 111, 121
chimie et préparation 74-75
cire. 82-83
coefficient de dilatation linéaire 26, 74
colloïde protecteur 74
cuir et peau 56, 63, 81, 164, 168, 169, 170
dégradation 76
des colles animales 45
dispersions aqueuses 75
dispersions homopolymériques 78
durée de conservation 77
enlèvement à l'aide de cataplasme. 32
feuil adhésif 137
fossiles 109, 224, 225
historique et utilisation 75
indice de réfraction. 27, 74
jaunissement 77
livres 46, 80-81, 158, 159, 160
mécanisme de prise 74
métaux 57, 64, 71, 85
objets ethnographiques 101
os et ivoire 196-97, 199
papier 80, 98, 142
paramètres de solubilité. 7
parchemin 77
peintures 48, 77, 83-84, 101, 185, 186, 193
peintures sur bois 84
pH 74
photographies 56, 80, 99
pierre. 77, 85, 227, 229
questions de santé. 77
ramification pendant la polymérisation 76
résines homopolymériques 78
résistance microbienne. 77
retrait lors de la prise 22
solubilité et capacité d'enlèvement 85-86, 228
température de transition vitreuse. 24, 74
textiles. 57, 82-83, 99, 177
vannerie 70, 183
vieillissement. 79, 96, 97
viscosité 14, 74
polyacrylamide
pierre. 123, 133
poly(acrylate d'éthyle)
paramètres de solubilité. 7
température de transition vitreuse. 93
poly(acrylate de butyle) 93
pierre. 103
température de transition vitreuse. 93
poly(acrylate de *n*-butyle). 93
poly(acrylate de méthyle)
indice de réfraction. 93
livres 46
pierre. 103
température de transition vitreuse. 93
poly(alcool de vinyle) 12, 39, 87-89, 90
absorption d'eau 87
bois 89
caractéristiques, limites et études de vieillissement 88-89
chimie et préparation 87
coefficient de dilatation linéaire 26, 87
colloïde protecteur 74, 76
des colles animales 45
dorure 89
feuil barrière 204
historique et utilisation 87-88
hydroxyéthylcellulose 63
indice de réfraction. 27, 87
jaunissement 88
livres 46, 55
mécanisme de prise 87
papier 88-89
paramètres de solubilité. 7
pH 87
propriétés. 88
résistance microbienne. 88
solubilité et capacité d'enlèvement 88, 89
température de transition vitreuse. 87
textiles. 57, 82, 88-89
vieillissement. 77
viscosité 87, 88
polyamide
coefficient de dilatation linéaire 26
peintures 84

Polyamide Welding Powder
peintures .193
poly(butyral de vinyle) .90-92
absorption d'eau .90
bois .85, 91
caractéristiques, limites et études de vieillissement .90-92
chimie et préparation .90
cire .82, 91, 100
coefficient de dilatation linéaire .26, 90
fossiles .92, 224, 225
historique et utilisation .90
indice de réfraction .27, 90
livres .46
mécanisme de prise .90
métaux .92
os et ivoire .197
papier .91
paramètres de solubilité .7
pierre .92
résistance microbienne .91
solubilité et capacité d'enlèvement .92
température de transition vitreuse .24, 90
textiles .57, 82, 91
vieillissement .91
poly(chlorure de vinyle)
pierre .123, 133
polyester .39
photographies .147
pierre .123, 133, 227, 229, 232
verre .119
poly(éther de vinyle)
adhésifs sensibles à la pression .95
polyéthylène .13
indice de réfraction .27
polyéthylèneglycol
bois gorgé d'eau .207-08
os et ivoire .198
polyéthyloxazoline .*Voir* poly(2-éthyl-2-oxazoline)
polyisobutylène
adhésifs sensibles à la pression .95
polymères .3-4
copolymère .3-4
homopolymère .3-4
masse moléculaire .4
polymères thermodurcissables .4
polymères thermoplastiques .4, 22
polymérisation *in situ* .36-37
poly(méthacrylate d'éthyle)
indice de réfraction .93
température de transition vitreuse .93
poly(méthacrylate d'éthyle/acrylate de méthyle) .103
poly(méthacrylate d'isobutyle) .93
indice de réfraction .93
poly(méthacrylate de *n*-butyle) .93
poly(méthacrylate de méthyle) .7
coefficient de dilatation linéaire .93
indice de réfraction .93
paramètres de solubilité .7
photographies .151
pierre .102, 103, 232
température de transition vitreuse .24, 93
poly(*n*-propionyléthylèneimine) .112
polypropylène
indice de réfraction .27
polypropylène-glycol
vieillissement .82
poly(pyrrolidone de vinyle)
livres .55
polysaccharide .50-58, *Voir aussi* pâte d'amidon, autres amidons (p. ex. blé, maïs, pomme de terre, riz, seigle)
caractéristiques, limites et études de vieillissement .54-57
chimie et préparation .50-53
cuir et peau .56-57, 63
enlèvement à l'aide d'enzymes .58
épaississant .12
historique et utilisation .53-54
identification .53
indice de réfraction .27, 50
livres .55-56, 157-58, 159, 160
mécanisme de prise .50
métaux .57
objets ethnographiques .101
obtenu par hydrolyse acide .52, 55
papier .46, 55-56
peintures .57, 84, 192
pH .50
photographies .55-56
poly(acétate de vinyle) .76
recettes de pâtes .52-53
résistance microbienne .55
rôtissage .52
solubilité et capacité d'enlèvement .57-58
textiles .57, 82, 176, 177
vannerie .179-80, 183
vieillissement .52, 82
polysiloxane .127, *Voir* silicone
Polystik
capacité d'enlèvement .124
polyuréthane .39
adhésifs sensibles à la pression .95
bois gorgé d'eau .208
pierre .103, 132
Polyviol .87
Ponal .74
Post-It Notes .95
poudre de cellulose .48
Primal .93

Primal AC-33
plâtre 102
vieillissement 96
Primal AC-634
vieillissement 96
Primal CA-12
vieillissement 96
Primal N-580
cuir et peau 99
textiles 99
vieillissement 97
Primal WS-24
céramique et verre 215
fossiles 224
prise 21
mécanismes 21-22
retrait 22
temps de prise 22
prise par évaporation 21
prise par solidification 21
propylèneglycol 12
protéine . . . . . 41-49, 144, *Voir aussi* colle animale, colle de peau, colle de poisson
absorption d'eau 41
arts décoratifs 48
bois 48, 200-01
caractéristiques, limites et études de vieillissement 43-48
chimie et préparation 41-43
cire 46-47
cuir et peau 169
fumigation 46
historique et utilisation 43
identification 42
indice de réfraction 41
livres 46, 157, 158
mécanisme de prise 41
objets ethnographiques 101
papier 46, 141
peintures 47-48, 185, 188, 191, 192
pH 41
résistance microbienne 45-46
solubilité et capacité d'enlèvement 49
température de transition vitreuse 41
viscosité 41
protéine adhésive de moule 41, 42
propriétés 45
PUR . . . . . *Voir* polyuréthane
pyroxyline 68

R-2258
vieillissement 79
Rabin, mélange de 84
vieillissement 79
Randolph's 68
Rayt
céramique 85
réactivation au moyen d'un solvant 138-39, 142, 144, 149, 174
réactivation au moyen de vapeurs de solvant 138-39
réactivation par la chaleur 138
Resin W 78
vieillissement 77
résines époxyde 114
résines éthoxyliques 114
résines formaldéhyde 39
résistance de Bloom 44, 200
réversibilité 29-33
agents de consolidation 37
Rhodoid 66
Rhodorsil 127
Rhodorsil 224
pierre 133
Rhodorsil 3B
verre 131
Rhodorsil R893
pierre 133
Rhodoviol 87
Rhodoviol 4/125
bois 89
Rhoplex 93
Rhoplex AC-33 97
objets ethnographiques 101
os et ivoire 196, 197
peintures 101, 185
vannerie 182
Rhoplex AC-73
papier 98
peintures 185
photographies 99
Rhoplex AC-234 97
bois 202
peintures 101, 185, 186, 187
photographies 99
résistance microbienne 96
vannerie 182, 183
Rhoplex AC-235 97
Rhoplex B-60A
fossiles 224
vannerie 182
Rhoplex LC-40 97
Rhoplex ML 200
vannerie 182, 183
Rhoplex N-560 97
Rhoplex N-580 97
photographies 150
Rhoplex N-619 97
métaux 57, 64, 104
solubilité 65
Rhoplex N-1031 97

Rhoplex WS-24
céramique et verre .215
Rhovinal .90
Rhovinal B10-20
solubilité .92
textiles .91
ruban de silicone
plastiques et caoutchoucs .213
ruban Rescue
plastiques et caoutchoucs .213

Sandsteinverfestiger OH
pierre .132
Saran F310
pierre .92
SC6000
livres .160, 161
Scotch
céramique .111
Scotch Super Strength
vannerie .70
Scotch, colle .41, 42
Scotch, résine acrylique
céramique .102
Scotch-Weld .114
Seccotine .41
sels d'acide acrylique .12
Selvol .87
Seurasil 1503
verre .131
shinnori .50, 51, 52, 53
shofu .50, 55
SI .. *Voir* silicone
silane .127-34
pierre .122, 123, 132, 133
Silastic .127
Silastic RTV 1080
fossiles .131
Silex .127
silicate d'éthyle .129
pierre .123, 133
silicates d'alkyle .127
silice sublimée .12, 120, 204, 206
cuir et peau .170
os et ivoire .198
silicone .13, 127-134
absorption d'eau .127
bois .131
bois gorgé d'eau .207, 208
caoutchouc de silicone .128-129, 206
caractéristiques, limites et études de vieillissement .130-34
chimie et préparation .127-29
coefficient de dilatation linéaire .26, 127
fossiles .131
historique et utilisation .129-30
indice de réfraction .27, 127
maçonnerie .132
mécanisme de prise .127
moules d'objets .130
mousse de polyuréthane .131
os et ivoire .198
papier .130-31
peintures .131
photographies .131, 152
pierre .103, 131-34, 232
résine de silicone .129
résistance microbienne .130
solubilité et capacité d'enlèvement .134
température de transition vitreuse .24, 127
verre .119, 131
vieillissement .119
viscosité .14
vulcanisation à température ambiante .129, 130, 131, 134
Silicoset .127
Silygutt .127
verre .131
Sinocril .103
Smith's Patent American Composition .72
Sokrat .93
Sokrat 2403
papier .98
Sokrat 2802
papier .98
Sokrat 2804
papier .98
Sokrat 6492
papier .98
Solucryl .93
Solucryl 356
cire .100
solvants .10, 17, 30-33
bon .5
cataplasmes .31
consolidation .36
gels .31
immersion .32
mauvais .5
solvants posant moins de risque .10
vapeurs .31
VLE-LECD, limite d'exposition de courte durée .10
VLE-MPT, moyenne pondérée dans le temps .10, 11
VLE-VP, valeur plafond .10
sorbitol .12
stabilisants .106, 117
acides .106
hydroquinone .106
Strengthener H
pierre .133
substitution molaire .59

sucrose 12
Super Glue 106
céramique 111
surfaces, préparation et nettoyage 17-18

talc 12
technique de précipitation 36-37
Téflon 13
Tegosivin HL100 103
Tegovakon 127
Tegovakon V
résistance microbienne 130
température de gélification 44
température de transition vitreuse 22, 23-24, 136, 171, 211
Tenite 66
tension de surface 13
Tensol 93
Tensol 70
objets en poly(méthacrylate de méthyle) 102
TEOS . . . . . *Voir* tétraéthoxysilane
tétraéthoxysilane 129, 133
tétraéthylorthosilicate 129
Texicryl 93, 97
photographies 80
Texicryl 13-002
textiles 99
vieillissement 96
thymol 45
Titebond 74
bois 202
Titebond Liquid Hide Glue
bois 120
Tra-Bond 114
Tra-Cast 114
Tra-Cast 3012
verre 118
Triton X 58
Trolitul 66
Twin Release
photographies 80
Tylose 59
Tylose MH 300
cuir et peau 56, 63
Tylose MH 1000
peintures 48
Tylose MH 2000 YP2
viscosité 61

UHU 114
céramique 85
UHU All-Purpose Clear Adhesive
vieillissement 79
UHU Hart 68
os et ivoire 197
Ultramid 125
urée-formaldéhyde
peintures 48

Vani-sil 130
vaporisation 139
verre
indice de réfraction 27
verrouillage mécanique 2
vieillissement 27-29
vieillissement à la lumière 28
Vinac 74
Vinac B-15 78
fossiles 224
vieillissement 79
Vinacryl 93
Vinacryl 40224
plâtre 102
Vinamul 74
Vinamul 3252 78
bois 85
textiles 82, 173
vieillissement 77
Vinamul 3254
cuir et peau 81, 166
textiles 82
vieillissement 77
Vinamul 6515
textiles 81
Vinamul 6525
textiles 81
Vinamul 6815
vieillissement 77
Vinamul 9910
vieillissement 77
Vinarol 87
Vinarol DV 89
Vinnapas 74
vieillissement 77
Vinnapas Dispersion EP1
textiles 81, 82
Vinol 87
viscosité 13-14, 44

Wacker 290
pierre 133
Weldbond 74
vieillissement 79
West System 114

X 54-802
pierre 132
Xylonite 68

Yes Stikflat 46

Zap 106
Zytel 125