

Adèle RELLIER

Les verrières de protection

Un exemple de conservation préventive appliquée
aux monuments historiques

Mémoire de stage
(2^{de} année de 2^e cycle)
en régie des œuvres et conservation préventive
présenté sous la direction
de M^{me} Florence BERTIN et de Mme Hélène VASSAL

Tutrice de stage : M^{me} Claudine LOISEL

Août 2018

Volume 1/TEXTE

Le contenu de ce mémoire est publié sous la licence *Creative Commons*

CC BY NC ND



Résumé

Les verrières de protection des vitraux sont un dispositif de conservation préventive appliquée aux monuments historiques qui consiste à supprimer l'apport en eau sur la face externe et d'empêcher la condensation¹ de se former sur la face intérieure du vitrail où se trouvent les grisailles², les peintures et les émaux. Il s'agit d'isoler un vitrail en lui ajoutant un verre supplémentaire à l'extérieur. À travers les questions qui président à leur installation, il est possible de mieux comprendre les contingences et les problématiques de la conservation préventive des monuments historiques.

La mise en œuvre de ces verrières dépend de trois éléments : un choix esthétique du modèle de verres, dicté par l'évolution de la déontologie de la restauration, l'adaptation parfaite des paramètres d'installation et du type de positionnement à l'architecture de la baie³ et enfin la nécessité absolue de la mise en place d'une maintenance et d'un suivi du dispositif.

Cette étude théorique coïncide avec la mise en place d'outils de recensement, destinés à permettre un recollement de toutes les verrières déjà installées en France et d'anticiper la collecte des données des futurs chantiers de pose.

¹ Cf. Glossaire

² Cf. Glossaire

³ Cf. Glossaire

Sommaire

Résumé	2
Remerciements.....	5
Avant-propos	6
Abréviations utilisées :	7
Introduction	8
1. Protection législative, déontologique et matérielle	10
1.1. Protection législative	11
1.1.1. Protéger les monuments historiques.....	12
1.1.2. Protéger le vitrail	14
1.2. Conservation préventive et protection déontologique	15
1.2.1. Émergence de la notion de conservation préventive	16
1.2.2. Esthétisme et déontologie de la conservation en France	19
1.3. Protection matérielle.....	21
1.3.1. Premières protections : les grillages.....	21
1.3.2. Dans les années 1970 : les films polymères	22
1.3.3. Verrières de protection.....	25
2. Projet de mise en place d'une verrière de protection : déroulé des opérations	28
2.1. Principaux facteurs d'altération.....	28
2.1.1. Altérations des panneaux en verre et en plomb.....	28
2.1.2. Altérations de la serrurerie métallique	30
2.2. Cadre d'intervention : la restauration	31
2.2.1. Chaîne opératoire de la conservation du patrimoine.....	31
2.2.2. Rôle d'expertise et d'accompagnement du LRMH dans le domaine du vitrail	33
2.3. Mise en œuvre des verrières de protection	34
2.3.1. Paramètres à prendre en compte pour l'installation	34
2.3.2. Type de positionnement	36
2.3.3. Modèle de verrière	37
2.3.4. Serrurerie	39

3. Enjeux contemporains de la gestion des Monuments Historiques	41
3.1. La cathédrale Notre-Dame de Strasbourg : un cas d'étude emblématique.....	41
3.1.1. <i>Présentation des différentes phases du chantier</i>	42
3.1.2. <i>Notre-Dame de Strasbourg : retour sur expérience</i>	46
3.2. Principe exemplaire de Conservation Préventive.....	52
3.2.1. <i>Gestion du climat</i>	52
3.2.2. <i>Anticipation des risques</i>	52
3.2.3. <i>Développement durable</i>	53
3.3. Suites et perspectives.....	54
3.3.1. <i>Limites des verrières de protection</i>	54
3.3.2. <i>Informier et collaborer avec les professionnels</i>	54
Conclusion.....	59
Table des illustrations	61
Bibliographie.....	62

Remerciements

Ce mémoire de stage n'aurait pu voir le jour sans le renfort des personnes que je voudrais remercier.

Il me faut d'abord exprimer mon éternelle reconnaissance à Claudine Loisel et Barbara Trichereau, respectivement ingénieure de recherche et ingénieure d'études, mes tutrices de stage et uniques membres du pôle scientifique Vitrail, pour la confiance qu'elles ont placée en moi, et l'expérience immense qui est la leur et qu'elles ont su essayer de me transmettre. Il me tient à cœur de les remercier pour l'investissement et la gentillesse dont elles ont fait preuve tout au long de mon travail de recherche.

Ma reconnaissance va également à mes directrices de recherche, Florence Bertin, responsable du service de la conservation préventive au Musée des Arts Décoratifs, et Hélène Vassal, Chef du service des collections au musée national d'art moderne Centre Georges Pompidou, qui ont su répondre à mes questions et à mes inquiétudes et ont toujours accueilli avec beaucoup d'enthousiasme mes propositions.

Il me faut ensuite remercier tous les maître-verriers qui ont accepté de collaborer à mon projet. J'adresse des remerciements particuliers à Laurence Cuzange, pour l'Atelier Debitus, dont l'expertise m'a été très précieuse ainsi qu'à Flavie Vincent-Petit et Emmanuel Serrière pour la Manufacture Vincent-Petit, avec qui j'ai pu dialoguer un long moment et qui ont soulevé un certain nombre de questions cruciales pour ma problématique.

Il me faut enfin remercier Léa Orlandi et Arnaud Trochet, tous deux chargés d'études documentaires au LRMH, sans qui ma recherche bibliographique eut été bien plus laborieuse. Je remercie également Michel Hérold, conservateur général du patrimoine, et Françoise Gatouillat, membre du Comité Français du Corpus Vitrearum pour leurs conseils toujours éclairants.

Je finirais par remercier Marie Morillon et Marguerite Héliot pour leur relecture patiente et leur enthousiasme sans failles ainsi que l'ensemble des agents du LRMH, et particulièrement mes camarades stagiaires, pour la bonne humeur et l'esprit d'entraide qu'ils inspirent en toutes circonstances.

Avant-propos

Ce mémoire de stage se présente de manière particulière. Mon stage au sein du pôle scientifique Vitrail du Laboratoire de recherche des monuments historiques s'inscrit dans un projet annuel de recherche de l'établissement portant sur les verrières de protections. Ma première tâche a été de me familiariser avec le sujet afin de pouvoir faire des recherches plus poussées. L'objectif de ce stage était la production d'outils nécessaires à un recensement des verrières de protection déjà posées et de celles qui le seront dans le futur. Il s'agit donc à la fois d'outils de documentation mais aussi d'outils de suivi de conservation.

Ce mémoire reflète l'approche pluridisciplinaire que j'ai eu à adopter durant ce stage en prenant à la fois le point de vue du chercheur, celui du scientifique et enfin celui du préventiste. Cela me semble cohérent avec l'objectif du Master 2 Régie des œuvres et conservation préventive, qui, en plus de nous former aux métiers de la régie des œuvres et de la conservation préventive, nous pousse à réfléchir sur ces disciplines qui s'entrecroisent et à toujours les remettre en question.

Abréviations utilisées :

ABF : Architecte des Bâtiments de France

ACMH : Architecte en Chef des Monuments Historiques

APD : Avant-Projet Détaillé

APS : Avant-Projet Sommaire

C2RMF : Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France

CRMH : Conservateur Régional des Monuments Historiques

CST : Contrôle Scientifique et Technique

DCE : Documents de Consultation des Entreprises

DDOE : Dossier Documentaire des Ouvrages Exécutés

DRAC : Direction Régionale des Affaires Culturelles

ECCO : Confédération Européenne des Organisations de Conservateurs-Restaurateurs

ICCROM : International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property

ICOM-CC : International Council Of Museums – Committee for Conservation

ICOMOS : Conseil International des Monuments et des Sites

LRMH : Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques

MOA : Maîtrise d’Ouvrage

MOE : Maîtrise d’Œuvre

Introduction

Le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH), aujourd'hui Service à Compétence Nationale⁴ a été créé en 1970 par Jean Taralon⁵, conservateur général du patrimoine. Ses missions, à nouveau définies dans la directive du 6 février 2012, adressée par la Direction Générale du Patrimoine, consistent à apporter une assistance scientifique et technique aux travaux de conservation et de restauration des monuments historiques tout en explorant des thématiques de recherche propres à ces monuments : connaissance des matériaux et de leurs mécanismes d'altération, optimisation et évaluation des techniques et produits de la conservation-restauration, développement de nouvelles instrumentations scientifiques. Il contribue au contrôle scientifique et technique de l'État sur la conservation des monuments historiques et diffuse le plus largement possible le résultat de ses études et de ses recherches.

Les recherches et activités de conseil du laboratoire sont réparties en neuf pôles scientifiques, qui correspondent à un matériau ou un support : Béton, Bois, Grottes ornées, Métal, Microbiologie, Peintures murales et Polychromie, Pierre, Textile et Vitrail. Le pôle scientifique Vitrail est actuellement composé de deux personnes : Claudine Loisel, ingénieure de recherche et responsable du pôle et Barbara Trichereau, ingénieure d'études.

Les vitraux sont un objet de contemplation et de fascination. En France, ils se trouvent essentiellement dans les édifices religieux et le plus ancien vitrail toujours conservé *in situ*, daté du XII^e siècle, se trouve à la cathédrale Saint-Julien du Mans⁶. Le rôle des vitraux au sein de ces édifices est double : ils sont à la fois des éléments d'architecture, séparant l'intérieur et l'extérieur et des éléments décoratifs, apportant lumière, couleur et atmosphère divine. Mais ces vitraux sont fragiles. Les verres peuvent s'altérer, se casser, perdre leur décor au fil du temps, soumis aux attaques des phénomènes météorologiques et des polluants atmosphériques. C'est pourquoi le pôle scientifique Vitrail mène des travaux de recherche sur les phénomènes d'altération des verres et des peintures dues aux facteurs environnementaux (pluies, pollution, vent, condensation, micro-organismes). Il étudie également les produits de restauration, à travers différents thèmes tels que le vieillissement des polymères ou les

⁴ En France, un service à compétence nationale ou SCN est une catégorie particulière de service administratif, que l'on pourrait situer à mi-chemin entre l'administration centrale et l'administration déconcentrée. Il exerce des missions opérationnelles sur l'ensemble du territoire national : fonctions de gestion, études techniques ou de formation, activités de production de biens ou de prestation de services. Les SCN ont été instaurés en 1997.

⁵ Jean Taralon (1909-1996) est nommé Inspecteur Général des monuments historiques en 1968. Créateur du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, il le dirige de 1968 à 1982.

⁶ Cf. Annexes, Figure 11

consolidants appropriés au refixage des grisailles. Enfin, le pôle scientifique Vitrail s'intéresse aux méthodes préventives de protection des vitraux, notamment la pose de verrières extérieures. Mettre en place un dispositif préventif permettrait de limiter les opérations de restauration et de rendre le verre plus pérenne sans avoir la nécessité d'intervenir directement dessus. Le principe de fonctionnement d'une verrière de protection est relativement simple. L'objectif principal est de supprimer l'apport en eau sur la face externe et d'empêcher la condensation de se former sur la face intérieure du vitrail où se trouvent les grisailles, les peintures et les émaux. Il s'agit d'isoler un vitrail en lui ajoutant un verre supplémentaire à l'extérieur. Le but est que la verrière de protection devienne la nouvelle clôture de l'édifice c'est à dire la nouvelle interface entre l'air intérieur et l'air extérieur, où pourra se faire la condensation, facteur principal d'altération de la face interne du vitrail. Mais la verrière de protection permet également de protéger la face externe des attaques directes des eaux de ruissellement ou des polluants atmosphériques.

Comment fonctionne ce dispositif ? Depuis quand l'utilise-t-on ? Dans quel contexte peut-il être mis en œuvre ? Les verrières de protection sont un dispositif de conservation préventive appliquée aux monuments historiques. À travers les questions qui président à leur installation, il est possible de mieux comprendre les contingences et les problématiques de la conservation préventive des monuments historiques.

Il convient d'abord de répondre aux questions de protections législatives, déontologiques et matérielles puis de replacer les verrières de protections dans le contexte d'un projet de restauration. Enfin, il est possible de les prendre comme exemple des enjeux de la gestion des monuments historiques.

1. Protection législative, déontologique et matérielle

Dans *Vitrail, Origines, Techniques et Destinées*⁷, paru en 1978, Jean Lafond⁸ décrit le vitrail comme « une composition décorative qui tire son effet de la translucidité de son support. N'essayons pas de préciser davantage : la définition risquerait de laisser de côté les plus anciennes, comme les plus récentes manifestations d'un art qui n'a pas encore dit son dernier mot »⁹. Louis Grodecki¹⁰, quant à lui, est l'auteur de l'article « vitrail » dans l'Encyclopédia Universalis. Il y dit du mot « vitrail » qu'il « a pris peu à peu un sens précis et désigne actuellement une clôture de baie, généralement de fenêtre, faite de verre à vitre découpé suivant une composition décorative ou figurative, et assemblée au moyen de plombs. Par ce principe d'assemblage, le vitrail se distingue des clôtures en vitres non découpées (vitrages), des assemblages, au moyen de ciment armé, des verres très épais (dalle de verre), des assemblages de verre collé, superposant plusieurs feuilles en épaisseur (« les gemmaux », verre collé). »¹¹.

Le *Manuel de conservation, restauration et création de vitraux*¹² édité par le Ministère de la Culture et le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, définit un vitrail comme « un ensemble de pièces de verre, généralement peu épaisses (de 2 à 4 mm), découpées en formes diverses selon un dessin préétabli, translucides ou transparentes, colorées ou non et maintenues entre elles par un réseau de plombs. »¹³. Ces pièces de verre peuvent parfois être décorées à la grisaille, au jaune d'argent, avec des émaux, de la gravure ou de la peinture à froid. Il faut distinguer le vitrail de la verrière, définie, elle, comme la « fermeture fixe, en verre, d'une baie ou d'une partie de baie, directement maintenue par une armature métallique ou par le cadre en maçonnerie de la baie. »¹⁴. Cette verrière n'est pas forcément réalisée suivant la technique du vitrail. Ne seront traitées ici que celles qui y font appel. L'armature de la verrière¹⁵ est le plus souvent constituée de fer ou d'acier et se compose d'un réseau de fers de section rectangulaire, les barlotières¹⁶, sur lesquelles sont fixés les panneaux¹⁷ à l'aide de fers plats, les feuillards¹⁸, maintenus par des clavettes¹⁹.

⁷ LAFOND 1978

⁸ Jean Lafond (1888-1975) est un archéologue et historien de l'art français, spécialiste du vitrail. Il a beaucoup œuvré au sein de la section française du Corpus Vitrearum pour leur protection.

⁹ LAFOND 1978, p.15

¹⁰ Louis Grodecki (1910-1982) est un historien de l'art, spécialiste de l'art médiéval et des vitraux. Il collabore avec Jean Taralon à la protection et à la conservation des vitraux.

¹¹ GRODECKI 1973, p.901-904

¹² PALLOT-FROSSARD 2004/1.

¹³ PALLOT-FROSSARD 2004/1, p.8.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ Cf. Glossaire

¹⁶ Cf. Glossaire

¹⁷ Cf. Glossaire

D'autres barres intermédiaires de section généralement circulaire, les vergettes²⁰, supportent les panneaux auxquels elles sont fixées par des attaches de plomb.

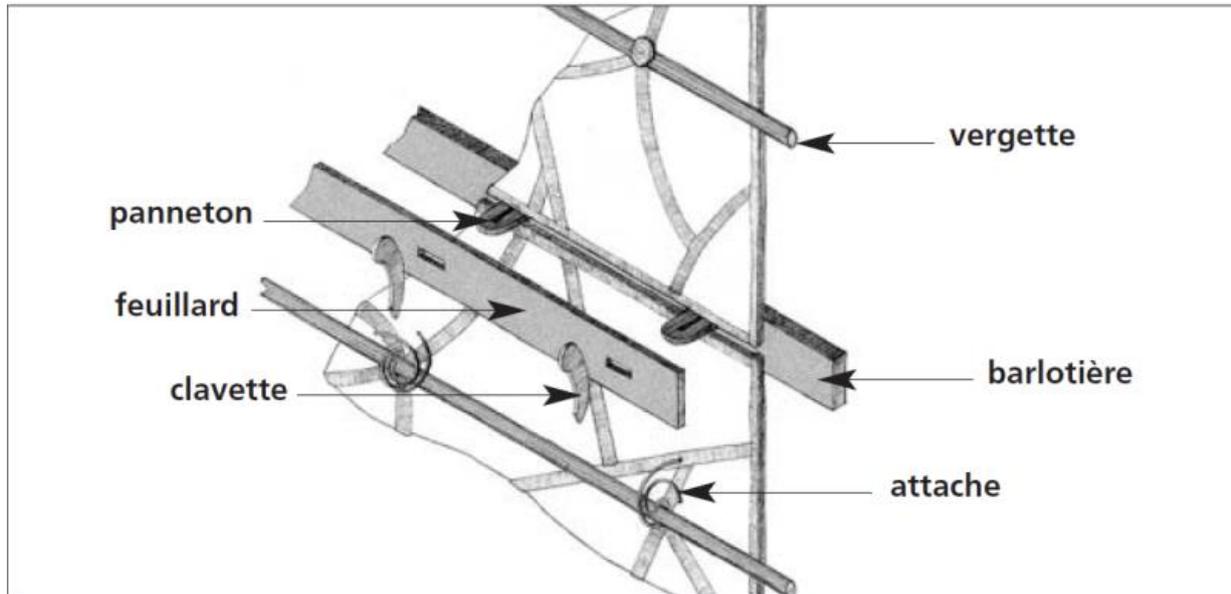


Figure 1 : schéma de composition d'une verrière

Source : Manuel de conservation, restauration et création de vitraux, Isabelle Pallot-Frossard, 2004, p. 60

Ces vitraux, qui subissent à la fois les phénomènes météorologiques, les attaques des polluants atmosphériques et la malveillance de l'homme, ont besoin d'être protégés. Au fil des époques, ils ont connus différents types de protections, à la fois législatives, déontologiques et matérielles qui ont évoluées au fil des siècles.

1.1. Protection législative

Le vitrail possède par essence une double fonction : il est à la fois cloison étanche d'un édifice et élément de décor, fenêtre et œuvre d'art. C'est une dichotomie inhérente aux monuments historiques, qui caractérise le contexte dans lequel la plupart des monuments ont été construits. Cette fonction, cette utilité (religieuse, administrative, palatiale, commémorative...), qui est souvent la raison de leur construction, est aussi ce qui les rend difficile à conserver. Ainsi, le devoir liturgique peut parfois aller à l'encontre des recommandations de conservation ; c'est notamment le cas pour les dégagements de fumée produits par les cierges. L'enjeu est donc de conserver à la fois la matérialité du monument et son utilité, sa fonctionnalité et son importance patrimoniale.

¹⁸ Cf. Glossaire

¹⁹ Cf. Glossaire

²⁰ Cf. Glossaire

1.1.1. Protéger les monuments historiques

Pour mieux comprendre la place législative du vitrail et toutes les dispositions qui ont trait à sa protection, il faut prendre un peu de recul et considérer la protection des monuments historiques de manière générale. Celle-ci a été résumée par Gilles Wolkowitsch en 1993 dans les *Entretiens du Patrimoine*²¹. Pour savoir comment protéger un monument, que ce soit *via* un classement ou une inscription au titre des Monuments Historiques, il faut en connaître la « qualité », c'est-à-dire la nature. Gilles Wolkowitsch distingue trois « qualités » différentes : « le droit commun a distingué les meubles, les immeubles par nature et les immeubles par destination ».

1.1.1.1. Meubles et immeubles par nature

Le Code Civil définit les meubles par nature comme « les corps qui peuvent se transporter d'un lieu à un autre, soit qu'ils se meuvent par eux-mêmes, comme les animaux, soit qu'ils ne puissent changer de place que par l'effet d'une force étrangère, comme les objets inanimés. »²². Ainsi est considéré comme meuble par nature tout élément pouvant être transporté.

Pour ce qui est des immeubles par nature, le Code Civil ne fait que les énumérer : « les fonds de terre et les bâtiments, les moulins à vent ou à eau fixés sur piliers, les récoltes et les fruits avant d'être coupés ou cueillis, les coupes de bois jusqu'à l'abattage, les animaux livrés au fermier pour la culture d'un fonds et les tuyaux servant à la conduite des eaux. ». Les bâtiments sont l'ensemble des constructions qui ne peuvent être déplacées. Sont compris dans le bâtiment tous les éléments dont il est formé. Lors de son classement ou de son inscription au titre des monuments historiques, un bâtiment est protégé « clôt et couvert », c'est-à-dire avec son toit (et les éléments qui le composent) et les éléments qui permettent la clôture de ses ouvertures (portes, fenêtres). Si le démontage ou l'enlèvement d'un élément est préjudiciable à l'ensemble de l'édifice ou si cet élément n'était pas un objet mobilier avant d'être ajouté au bâtiment²³, on peut le considérer comme immobilier par nature. Selon Gilles Wolokowitsch, « un objet dépourvu de lien physique avec le corps d'un bâtiment [...] ne peut en aucun cas être considéré comme immeuble par nature. »²⁴.

²¹ WOLKOWITSCH 1993

²² Code Civil, Livre II, Chapitre II « Des meubles », art.527 à 536

²³ Comme c'est le cas pour une fresque ou une peinture murale.

²⁴ WOLKOWITSCH 1993, p. 27

1.1.1.2. *Immeubles par destination*

Le Code Civil accorde une définition aux immeubles par destination en les désignant comme « les objets que le propriétaire d'un fonds y a placés pour le service et l'exploitation de ce fonds » ainsi que « tous les effets mobiliers que le propriétaire a attaché au fonds à perpétuelle demeure. ». Le principe d'immeuble par destination est en réalité une « fiction juridique » comme l'explique Gilles Wolkowitsch. Aucun bien n'est immeuble par destination ou par nature. Il s'agit d'objets mobiliers dont l'immobilisation est conditionnée. En tant qu'accessoires d'un immeuble par nature, ils se voient conférer cette qualité d'immeuble par destination. En ce qui concerne les monuments historiques, ils correspondent seulement au deuxième type décrit par le Code Civil, les objets que leur propriétaire a attachés à perpétuelle demeure à un immeuble. Il existe trois cas spécifiques détaillés par la législation : « le scellement de l'objet ou l'impossibilité de le détacher sans le détériorer lui-même ou sans détériorer son support immeuble ; l'incorporation des glaces, des tableaux et des autres ornements dans la boiserie ; l'existence d'une niche pratiquée exprès pour recevoir une statue, même si cette dernière n'est pas fixée. »²⁵. En dehors de ces trois possibilités, il convient de juger suivant le contexte.

Un bien est donc par nature meuble ou immeuble et c'est la législation qui a créé une qualité intermédiaire, celle d'immeuble par destination. Cette création reflète les dérives, notamment administratives²⁶ dues à la distinction meuble-immeuble. Cette distinction est le fer de lance des différentes lois relatives à la protection des monuments historiques qui se sont succédé.

1.1.1.3. *Législations successives*

Dès 1887, on distingue meuble et immeuble au sein des monuments historiques. Cette distinction est maintenue mais modifiée dans la législation de 1913 qui fait encore aujourd'hui référence. Ce texte rattache les immeubles par destination aux meubles par nature. Cependant, à la fin du XX^e siècle, les problématiques deviennent différentes et alors qu'il était difficile, au début du siècle, pour des propriétaires d'objets mobiliers de voir leur propriété classée en tant qu'immeuble (avec les obligations qui y sont liées), il est aujourd'hui plus facile de protéger meubles et immeubles de manière analogue car la protection s'est ancrée dans les mœurs. Gilles Wolkowitsch soutient que l'existence de deux régimes autonomes est aujourd'hui injustifiée et qu'un régime unique de protection serait tout aussi efficace.

²⁵ WOLKOWITSCH 1993, *op.cit.*, p. 27

²⁶ Les commissions de classement et d'inscription étant déconcentrées et confiées aux régions, il arrive que toutes les régions n'appliquent pas les mêmes normes. D'où la nécessité de légiférer.

La loi LCAP de 2016²⁷ a cependant pris un autre chemin puisque, plutôt que d'amalgamer les régimes, elle a créé une nouvelle catégorie juridique spécifique permettant de sauvegarder des ensembles composés à la fois de meubles et d'immeubles.

1.1.2. Protéger le vitrail

Lorsqu'il s'agit de protéger un vitrail ou un ensemble de vitraux au titre des monuments historiques (classement ou inscription), il existe deux possibilités. La première est de le classer en tant qu'objet mobilier. La clause est détaillée aux articles L.622-1 (pour le classement) et L.622-20 (pour l'inscription) du Code du Patrimoine. L'autre possibilité est celle de protéger les vitraux avec l'architecture qui les abrite, en tant qu'élément immeuble par nature. En effet lorsqu'un édifice est protégé, il est protégé « clôt et couvert ». Or le vitrail assure la clôture étanche de l'édifice et son retrait est préjudiciable à l'édifice. Ainsi, dans le premier cas, un édifice non protégé peut posséder des vitraux classés, dans le second la protection de l'édifice et des vitraux est indissociable.

Pourquoi alors ne pas simplement toujours protéger les vitraux en tant qu'immeuble par nature avec l'édifice qui les abrite ? La possibilité du classement des vitraux en tant qu'objet mobilier tient au fait qu'ils peuvent théoriquement²⁸ être déposés et peuvent donc correspondre à la définition des objets mobiliers proposée par le Code Civil. À ce titre, les vitraux conservés en musées ont le statut d'objet mobilier. Cela tient aussi au fait de ne vouloir protéger que les « chefs d'œuvre », les éléments les plus remarquables. Il peut être tentant en effet, dans une église à l'intérêt discutable mais abritant un vitrail particulièrement extraordinaire ou rare, de ne vouloir classer que le vitrail. Mais si seul le vitrail est classé, il n'y a aucune subvention pour restaurer, protéger et entretenir l'église. Or le vitrail subit tout ce que subit l'église. Protéger l'église est une première mesure de protection pour le vitrail. Certains vitraux protégés au titre des objets mobiliers ont ensuite obtenu la protection immobilière et possèdent aujourd'hui la protection à double titre. À partir du début des années 1990, la protection des vitraux au titre des objets mobiliers est déconseillée, hormis dans le cas de vitraux déposés dont on ignore l'origine ou dont l'édifice originel a été détruit. Depuis le début des années 2000, l'usage est de considérer le vitrail plat comme un immeuble par nature.

Mais se pose alors la question de la verrière de protection. On pourrait envisager qu'en remplaçant le vitrail dans sa feuillure et en prenant pour elle l'étanchéité de l'édifice, elle

²⁷ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000032854341&categorieLien=id>

²⁸ Cela dépend bien évidemment de la structure de la baie, de la pose des barlotières et du calfeutrement du vitrail lui-même.

perturberait le « clôt et couvert » qui donne sa nature au vitrail. Il n'en est cependant rien. En effet, la verrière de protection est indissociable du vitrail qu'elle protège et partage très souvent avec lui une même serrurerie. La nature du vitrail ne change donc pas car on a simplement ajouté un élément au monument. Le questionnement qui entoure les verrières de protection relève donc uniquement de la déontologie et de l'esthétisme et non de la législation.

1.2. Conservation préventive et protection déontologique

Protéger les vitraux n'est pas une pratique récente. Dans l'article intitulé « Petite histoire des verrières de protection »²⁹ paru dans *Monumental* en 2004, Isabelle Pallot-Frossard³⁰ explique qu'il « faut sans doute attendre, pour voir apparaître un [...] système [de protection], que le vitrail acquiert un véritable statut d'œuvre d'art, et non plus seulement de clôture « parlante » et enseignante ». La protection est corrélée à la nécessité de transmission. La volonté et l'acte de conservation et de restauration reflètent une prise de conscience d'une responsabilité, individuelle ou collective, à l'égard d'objets et de monuments dont l'existence et l'intérêt sont reconnus d'utilité publique. Le mot « monument » vient du latin *monumentum* et du verbe *monere*, qui peut être traduit par « avertir » ou « rappeler ». C'est alors qu'émerge la question de déterminer dans quel état transmettre le monument historique. La préservation de ce patrimoine commence à devenir un enjeu au XIX^e siècle, corollairement au développement de la notion de monument historique telle qu'elle existe actuellement. Aujourd'hui, le ministère de la Culture définit un monument historique comme « un immeuble ou un objet mobilier recevant un statut juridique particulier destiné à le protéger, du fait de son intérêt historique, artistique, architectural mais aussi technique ou scientifique. »³¹. Le vitrail rayonne au cœur de cette problématique et, par son statut à la fois d'œuvre et d'élément d'architecture, se pose comme un laboratoire d'expériences pour la conservation préventive des monuments historiques.

²⁹ PALLOT-FROSSARD 2004.

³⁰ Isabelle Pallot-Frossard, née en 1955, a été directrice du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques de 1992 à 2015. Elle est aujourd'hui présidente du Comité scientifique international pour la conservation des vitraux (ICOMOS-Corpus Vitrearum) et directrice du Centre de recherche et de restauration des Musées de France.

³¹ Le statut de « monument historique » est une reconnaissance par la Nation de la valeur patrimoniale d'un bien. Cette protection implique une responsabilité partagée entre les propriétaires et la collectivité nationale au regard de sa conservation et de sa transmission aux générations à venir.

1.2.1. Émergence de la notion de conservation préventive

La conservation préventive est une pratique qui entend agir sur l'environnement d'une œuvre et non sur l'œuvre elle-même dans le but de la préserver. Sa définition a évolué au fil du temps, corollairement à sa théorisation et à sa mise en œuvre.

1.2.1.1. Définition générale

En 1966, lors d'une conférence, Gaël de Guichen³² disait de la conservation préventive qu'elle est « toute action directe ou indirecte ayant pour but d'augmenter l'espérance de vie d'un élément ou ensemble d'éléments du patrimoine. ». Il donne une définition très large en parlant « d'éléments du patrimoine », expression qui englobe aussi bien les musées que les monuments historiques et qui peut, au-delà du patrimoine culturel, s'appliquer au patrimoine naturel. Après avoir intégré l'International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM) en 1969, il précise sa pensée lors du congrès de 1975 en déclarant que « La conservation préventive est l'ensemble des actions qui permettront d'augmenter la durée de vie des biens culturels. ». Si le patrimoine naturel n'est plus inclus dans la définition, cette dernière englobe toujours à la fois les musées et les monuments historiques. Ses déclarations ont ensuite été reprises par le comité pour la conservation du conseil international des musées (ICOM-CC)³³ et le centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) pour définir la conservation préventive en musées.

1.2.1.2. Conservation préventive en musées

En 2008, lors de la conférence triennale de l'ICOM tenue à New Delhi, une définition présente la conservation préventive comme « l'ensemble des mesures pour freiner la dégradation d'une œuvre ou d'une collection en contrôlant son environnement physique et humain. ». Validée à la 16^{ème} conférence triennale de 2011 à Lisbonne, cette définition est rédigée et orientée pour une application dans le cadre des musées et privilégie les termes « œuvres » et « collections » à celui de « biens culturels » employé par Gaël de Guichen. Cette direction est reprise par le C2RMF, service à compétence nationale dédié aux musées de France, qui propose sa propre définition : « La conservation préventive intervient sur

³² Gaël de Guichen est ingénieur chimiste de formation. Un temps responsable de la conservation de la Grotte de Lascaux, il entre à l'ICCROM – Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels – en 1969.

³³ International Council Of Museums – Committee for Conservation. L'ICOM est une organisation non-gouvernementale internationale qui vise à proposer une réflexion globale sur les musées et la conservation-restauration des œuvres à l'intérieur de ceux-ci.

l'ensemble des domaines qui peuvent avoir des incidences et des effets sur l'intégrité d'une collection, d'un objet ou d'une œuvre d'art, et menacer à terme son existence. »³⁴.

1.2.1.3. *Conservation préventive et monuments historiques*

Du côté des monuments historiques, il faut se pencher sur les chartes produites par Le conseil international des monuments et des sites (ICOMOS) et l'ICCROM. Ces deux associations sont elles aussi des organisations non gouvernementales, qui entendent rassembler la réflexion de la communauté internationale autour des problématiques inhérentes aux monuments historiques, de la même manière que le fait l'ICOM pour les musées. Cette réflexion partagée doit pouvoir amener à une décision d'action globale, plus bénéfique à long terme pour la sauvegarde du patrimoine que les initiatives isolées.

Dans la Charte de Venise³⁵, adoptée en 1965 par l'ICOMOS, il n'est nulle part fait mention de conservation préventive en ces termes. Dans l'article 4, il est dit : « *La conservation des monuments historiques impose d'abord la permanence de leur entretien* ». Il faut prendre soin des biens culturels avant qu'ils soient endommagés. L'idée d'anticipation, omniprésente dans les problématiques de conservation préventive est donc déjà mentionnée en 1965.

La première mention explicite de conservation préventive dans un texte de l'ICOMOS apparaît dans les « Principes pour la préservation et la conservation / restauration des peintures murales », adoptés par l'ICOMOS à la 14^{ème} assemblée générale à Victoria Falls en 2003. L'article 4 s'intitule : « Conservation préventive, entretien et gestion de site ». Il y est dit que :

« L'objectif de la conservation préventive est de créer des conditions favorables pour limiter le délabrement et éviter le recours à des traitements curatifs inutiles afin de prolonger la durée de vie des peintures murales. Une surveillance compétente et le contrôle de l'environnement sont tous deux des composantes essentielles de la conservation préventive. »

Les idées d'anticipation et de maintenance, déjà évoquées dans la Charte de Venise, sont déjà présentes et résumées quelques lignes plus loin : « L'entretien régulier du bâtiment ou de la structure est la meilleure garantie pour la sauvegarde des peintures murales. ».

Lors de la même assemblée, sont adoptés les « *Principes pour l'analyse, la conservation et la restauration des structures du patrimoine architectural* ». Le troisième chapitre affirme que « la meilleure thérapie pour la conservation est l'entretien préventif. ».

³⁴ Centre de recherche et de restauration des musées de France 2006 p.6.

³⁵ Texte approuvé par le II^{ème} Congrès International des Architectes et des Techniciens des Monuments Historiques, réuni à Venise du 25 au 31 mai 1964. C'est le premier texte ratifié par une commission internationale concernant le traitement et la conservation des Monuments Historiques depuis la Charte d'Athènes en 1931.

Louis Grodecki précise dans l'Histoire de la Sainte Chapelle royale du palais, que Saint Louis, déjà à l'époque de la construction avait demandé la demande que soient assurées des opérations d'entretien régulier sur les vitraux de la Sainte-Chapelle³⁶. La conservation préventive, définie comme une action sur l'environnement du bien culturel afin d'assurer sa pérennité, notamment en retardant ou empêchant le plus possible sa dégradation pour éviter la nécessité d'un traitement curatif, se met donc progressivement en place dans les monuments historiques. Cependant, s'il semble y avoir des textes de référence recommandant l'application des principes de conservation préventive aux monuments historiques, cette prise de conscience demeure surtout théorique et leur mise en place se fait à deux vitesses.

1.2.1.4. Musées et monuments historiques : une disparité d'application

Les grands principes matériels de la conservation préventive sont d'agir principalement sur la température, l'humidité relative, les polluants et la lumière pour empêcher la dégradation des œuvres par des phénomènes physiques, chimiques ou microbiologiques. Ces principes sont plus facilement applicables aux musées qu'aux monuments historiques. La principale raison de cette disparité réside dans la possibilité ou non de réguler l'environnement et le climat de l'édifice. Dans beaucoup de musées, le bâtiment sert d'écrin, de bouclier, aux œuvres présentées à l'intérieur. Il est fait pour les protéger du vol et du climat et il est souvent facile de transformer le bâtiment, de toucher à sa structure³⁷ pour mettre en place des mesures de conservation préventive. Dans le cas d'un monument, le bâtiment lui-même est l'œuvre et il est donc impossible de le transformer. Les musées sont ainsi plus avancés en termes d'application des préceptes de conservation préventive que les monuments historiques et cela se ressent à travers les moyens institutionnels qui leur sont dédiés. Ainsi, le C2RMF possède un département de conservation préventive, au service des musées de France alors que son pendant pour les monuments historiques, le laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH), n'en possède pas officiellement³⁸. Plusieurs musées ont également ouvert leur propre service de conservation préventive, notamment ceux qui possèdent les collections les plus fragiles, comme le musée du Quai Branly-Jacques Chirac ou le musée des Arts Décoratifs quand les services de proximité dédiés aux entretiens des monuments historiques tendent à disparaître. On peut citer

³⁶ AUBERT/GRODECKI/LAFOND/VERRIER 1959

³⁷ Installation d'une Centrale de Traitement d'Air par exemple.

³⁸ La conservation préventive est intégrée dans les missions des différents pôles scientifiques mais pas budgétée comme un pôle à part entière.

à ce titre les ateliers des cathédrales dont il ne reste aujourd'hui qu'un seul représentant, la fondation de l'Œuvre Notre-Dame à Strasbourg.

Enfin cette disparité se retrouve jusque dans la législation. Dans le code du patrimoine, la loi LCAP de 2016, consolidée en 2018, ajoute au Titre V du Livre IV, portant sur les musées de France, un chapitre 2, intitulé « Conservation et Restauration ». Il n'y a pas d'ajout similaire au Livre VI, dédié aux monuments historiques, sites remarquables et à la qualité architecturale.

Il existe donc un certain déséquilibre d'application des principes de conservation préventive qui provient essentiellement de la non-régulation qui caractérise par essence les monuments historiques. Et au sein de ceux-ci, le vitrail a une place particulière.

1.2.1.5. Conservation préventive et vitraux

Des textes plus précis que les chartes internationales parlent de la conservation préventive appliquée aux vitraux. Ils sont généralement rédigés par des institutions spécialisées. C'est le cas notamment des « Directives pour la conservation et la restauration des vitraux », extrait du XXIIème colloque du Corpus Vitrearum³⁹. Ce texte établit des principes déontologiques dans le traitement du vitrail ancien et définit la conservation préventive comme la création d'un environnement sain et stable qui s'accompagne de la mise en place d'un entretien régulier. Le *Manuel de conservation, restauration et création de vitraux*⁴⁰, édité par le LRMH et le ministère de la Culture en 2004 parle de la conservation préventive comme « toutes les actions indirectes sur le cadre architectural et l'environnement de la verrière destinées à prévenir les dommages sur l'œuvre en créant les conditions optimales pour assurer sa préservation dans le temps. ». Les principes d'anticipation et d'action sur l'environnement, les deux fers de lance de la conservation préventive, sont à nouveau présents dans toutes ces définitions et l'étaient déjà à l'époque des premières protections appliquées sur les vitraux de France.

1.2.2. Esthétisme et déontologie de la conservation en France

Les premiers exemples documentés de conservation préventive des vitraux en Europe, datent de la seconde moitié du XIX^e siècle avec la pose de verrières à la cathédrale de York. Les cinq verrières principales sont protégées avec des verres blancs. Viennent ensuite la cathédrale d'Orvieto (Italie) en 1886 et celle de Lindena (Allemagne) en 1897. Ces dispositifs

³⁹ Le Corpus vitrearum, appelé aussi Corpus vitrearum Medii Aevi, est un organisme international regroupant des historiens du vitrail. Fondé en 1952, il travaille au recensement et à l'étude des vitraux datant d'avant le XIX^e siècle dans les pays d'Occident.

⁴⁰ PALLOT-FROSSARD 2004, *op.cit.*

restent rudimentaires, les verres blancs étant positionnés à l'extérieur des verrières, sans soucis de ventilation, mais sont précurseurs d'un système qui se pérennise et se complexifie durant la deuxième moitié du XX^e siècle pour répondre aux critères de conservation préventive.

En France, si les grillages⁴¹ de protection sont bien ancrés dans le paysage monumental, les verrières de protection ont eu plus de difficultés à être acceptées et peuvent parfois encore poser des problèmes esthétiques aux architectes et aux conservateurs. L'administration française, lorsqu'il est question de déontologie de la restauration et de la conservation, a souvent eu des avis et des opinions différentes de ses voisines anglaises et allemandes. Au milieu du XIX^e siècle, Eugène Viollet-le-Duc confronte sa vision corrective de la restauration à celle, anti-interventionniste, de John Ruskin⁴². Ce conflit est une expression supplémentaire de la notion d'esthétisme si chère à la France. Une nouvelle page de ce désaccord s'est écrite au XX^e siècle, au sujet de la manière de protéger les vitraux. L'Angleterre a, dès le début du siècle, décidé d'appliquer des verrières de protection. Ainsi, lorsque la décision a été prise, en France, dans les années 1970-1980, d'utiliser des films de Viacryl® pour protéger les vitraux, Roy Newton⁴³, grand défenseur des vitraux anglais, a correspondu avec Jean-Marie Bettembourg, responsable du pôle scientifique Vitrail au laboratoire de recherche des monuments historiques. Pour les conservateurs et les architectes français, la verrière n'était pas un système assez discret et perturbait la lecture de l'architecture à l'extérieur du bâtiment. Pour les anglais, l'utilisation du Viacryl®, dont la durabilité et la réversibilité n'avaient pas encore été complètement testée, était une solution trop interventionniste.

Ces deux positions différentes renvoient aux principes de la déontologie de la restauration. Une restauration doit-elle être discernable ? Doit-elle être réversible ? Quels matériaux peut-on utiliser ? Jusqu'où aller dans la restitution ?

En 1854, Viollet-le-Duc donnait dans son *Dictionnaire raisonné de l'architecture*⁴⁴ une définition de la restauration qui est la suivante : « Restaurer un édifice, ce n'est pas l'entretenir, le réparer ou le refaire, c'est le rétablir dans un état complet qui peut-être n'a jamais existé à un moment donné. ». Les pratiques ont beaucoup évoluées en un siècle et demi puisqu'aujourd'hui, selon les règles professionnelles de l'ECCO⁴⁵, les grands concepts de restauration à respecter sont : intervention minimum, lisibilité, réversibilité, compatibilité et

⁴¹ Cf. Glossaire

⁴² John Ruskin (1819-1900) est un écrivain et critique d'art britannique. Il a écrit de nombreux traités traitant de la déontologie de la restauration.

⁴³ Roy G. Newton était un membre éminent du Corpus Vitrearum Medii Aevi – Grande-Bretagne. Il est l'auteur de nombreux textes sur la protection des vitraux.

⁴⁴ VIOLLET-LE-DUC 1868

⁴⁵ Confédération Européenne des Organisations de Conservateurs-Restaurateurs

conservation préventive. Une restauration doit donc être visible, le moins invasive possible et réversible. Elle doit également être réalisée avec des matériaux dont la réaction chimique avec les matériaux originaux a été étudiée et validée non dangereuse. Enfin, pour satisfaire à la clause de conservation préventive, une restauration doit être faite en anticipant les restaurations futures et en essayant de les faciliter.

1.3. Protection matérielle

La littérature retraçant l'histoire de la protection des vitraux est peu abondante. Si les sources ne manquent pas, elles ont été très peu traitées. Leur historique sera donc concis⁴⁶.

1.3.1. Premières protections : les grillages

L'une des premières occurrences littéraires parle d'une protection datant du XV^e siècle. Dans son article « Les pratiques d'entretien, de conservation et de restauration analysées d'après les comptes de la fabrique de l'église Notre-Dame de Mézières (Ardennes, XV-XVII^e siècle) »⁴⁷, Raphaëlle Chossenot⁴⁸ présente les méthodes de protection et d'entretien des vitraux pratiquées aux XV^e, XVI^e et XVII^e siècles à l'église Notre-Dame de Mézières. Sa recherche s'est fondée sur les comptes de la fabrique qui a subventionné la construction de l'église. Elle évoque, pendant la construction de l'édifice, la présence d'un treillis d'osier sur la face interne de la verrière des Rois mages pour la protéger des dangers du chantier. Puis, dès 1587, date de fin du chantier, la pose d'une grille métallique, installée sur la face extérieure du vitrail, pour le protéger du vandalisme, est mentionnée. Généralement réalisés en cuivre ou en laiton, on les retrouve encore sur de nombreux édifices en France. Leur but est de protéger les vitraux de la casse et notamment des projectiles lancés depuis l'extérieur de l'église. En plus de ces protections matérielles, un entretien régulier était effectué par des maîtres-verriers. Ils étaient chargés de remplacer et de réparer les pièces abîmées, de nettoyer les verrières, ainsi que les remplages et les grillages. Il y a donc, dès la construction de l'église, et tant qu'elle sert de lieu de culte, à la fois un entretien et une protection qui sont mis en place. Est pris en compte le fait que les vitraux s'abîment, qu'il faut les nettoyer régulièrement et qu'un grillage permette de les protéger de la casse et du vandalisme.

Mais au-delà d'un entretien leur permettant d'assurer leur fonction symbolique d'édification, et donc mémorielle, certaines baies se voient parfois appliquer des protections d'ambition plus

⁴⁶ Cette étude se concentre sur deux sources principales, citées plus bas.

⁴⁷ CHOSSENOT 2015.

⁴⁸ Raphaëlle Chossenot est docteure en histoire, spécialisée dans la technique du vitrail et les biographies de peintre-verriers. Elle est aujourd'hui chercheuse au CNRS.

pérenne. Isabelle Pallot-Frossard, dans un article pour *Monumental*,⁴⁹ cite à ce titre, l'exemple d'un vitrail du XV^e siècle à Cothele, au Royaume-Uni, dont la protection en verre losangé aurait été remplacée en 1534. C'est le premier exemple de verrière de protection cité dans la littérature.

La bibliographie concernant les grillages de protection est quasiment inexistante. Pour en savoir plus sur leurs usages et leur composition, il faudrait leur dédier une recherche. Cette méconnaissance entraîne parfois des questionnements quant aux datations de certains grillages et peut amener, dans le doute, à la repose des grillages, malgré la mise en place d'une verrière de protection.

Tableau 1 : avantages et inconvénients des grillages de protection

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Protection contre le vandalisme ➤ Durabilité ➤ Réversibilité ➤ Intervention minium sur le vitrail ➤ Lisibilité de l'intervention ➤ Retraitabilité 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aucune protection contre les polluants atmosphériques ➤ Aucune protection contre le ruissellement de l'eau ➤ Aucune protection contre la condensation ➤ Lisibilité complexe du vitrail

1.3.2. Dans les années 1970 : les films polymères

En Europe, dans les années 1970, des laboratoires spécialisés comme le laboratoire de recherche des monuments historiques ou le Fraunhofer-Institut für SilicatForschung⁵⁰ ont trouvé de nouvelles méthodes pour protéger les verres de l'agression de l'eau et de la pollution atmosphérique. Il s'agit de films polymères appliqués sur la face externe du vitrail. Ils se répartissent en deux familles : les films à base de résine polymère (Viacryl® ou similaire), très usitée en France⁵¹ entre 1975 et 1985 et les films à base de produits de type polysiloxane (Ormocer® ou similaire), utilisés en Allemagne dans les années 1980.

Le retour sur l'utilisation de ces produits de protection a fait l'objet d'un projet européen CONSTGLASS de 2007 à 2010⁵². Un article intitulé « Les techniques de restauration des

⁴⁹ PALLOT-FROSSARD 2004/2.

⁵⁰ L'Institut Fraunhofer pour la recherche sur les silicates (Fraunhofer ISC) est un centre de promotion de la recherche sur les matériaux, établi à Würzburg depuis 1971. Il traite de l'extension fonctionnelle des matériaux en utilisant notamment la nanotechnologie.

⁵¹ Notamment à Saint-Julien du Mans (baie XVI) et Notre-Dame de Chartres (baies 49, 50 et 51)

⁵² Projet européen n°044339, « Matériaux de conservation pour les vitraux – évaluation de la durabilité, de la réversibilité et de la reprise des traitements et performance des produits et stratégies de restauration »

vitraux à l'épreuve du temps. »⁵³ lui est consacré dans la revue *Monumental* en 2011. Il y est dit que :

Dans le domaine de la conservation des biens culturels, l'introduction de nouveaux procédés ou de nouveaux produits est lente et se heurte, bien souvent, aux réticences des conservateurs, des architectes et des restaurateurs. Ils pensent que l'efficacité et la durabilité des produits de l'industrie moderne sont insuffisantes en regard de la durée de vie de l'œuvre d'art elle-même et de sa valeur intrinsèque.⁵⁴

Au moment du lancement de ce projet, les acteurs de la conservation du patrimoine, et particulièrement des vitraux, estimaient que l'évaluation du rapport entre le risque et le bénéfice de tels produits de conservation était trop superficielle car réalisée à partir de tests de vieillissement artificiel. Ils dénonçaient également le manque de suivi et de maintenance qui permettrait de vérifier leur durabilité. Le projet CONSTGLASS avait donc pour objectif de faire un bilan sur les matériaux de conservation utilisés depuis les années 1950 et d'aborder la question de la retraitabilité. Plus précisément, il s'agissait d'évaluer l'efficacité, la durabilité et la réversibilité des produits utilisés pour la protection mais aussi la restauration des vitraux. Ce projet fédérait onze institutions européennes de sept pays différents⁵⁵. Les analyses ont été menées sur neuf sites pilotes : la cathédrale Saint-Julien du Mans, la cathédrale Saint-Etienne de Bourges, la cathédrale Notre-Dame de Chartres, la cathédrale Saint-Pierre de Cologne, la cathédrale de Canterbury, la collection Burrell à Glasgow ainsi que l'église paroissiale de Burgdorf en Suisse et l'église du Marché à Hanovre en Allemagne.

⁵³ PALLOT-FROSSARD/BELLENDORF/BRINKMAN/JACOBS/CAEN/TRÜMPLER/WARSCHEID 2011

⁵⁴ PALLOT-FROSSARD/BELLENDORF/BRINKMAN/JACOBS/CAEN/TRÜMPLER/WARSCHEID 2011

⁵⁵ L'institut Fraunhofer (Allemagne), Dombauverwaltung der Hohen Domkirche Köln (Allemagne), Cercle des Partenaires du patrimoine, LRMH (France), Faculty of Art Conservation, Academy of Fine Arts, Cracovie (Pologne), The Cathedral Studios, Canterbury (Grande-Bretagne), Centre Suisse de recherche et d'information sur le vitrail, Romont (Suisse), Hogeschool Antwerpen, Conservation Studies, Anvers (Belgique), Fyne Conservation Services, St. Catherine's Argyll (Grande-Bretagne), University of Gent, Gand (Belgique), Sincrotrone Trieste S.C.p.a, Trieste (Italie), Elettra (Italie), LBW-Bio Consult (Allemagne).

Tableau 2 : différents matériaux analysés dans le cadre du projet CONSTGLASS et leurs localisations. En jaune, le Viacryl® utilisé en film de protection. En vert, l’Ormocer® utilisé en film de protection.

	material	use	building	location	
Acrylic	Paraloid® B72	paint consolidation	Klausen, G	choir I	
	Paraloid® B72	paint consolidation	Canterbury, GB	NXVII	
	Viacryl®	protective coating	Bourges, F	bay 4	1981
	Viacryl®	paint consolidation	Chartres, F	bav 37.42.50	
	Viacryl®	protective coating, consolidation	Le Mans, F	bay XVI	1974
	Viacryl® (similar?)	protective coating	Canterbury, GB	SXXVIII	1975
Epoxy	Araldite® AY103	bonding and coating	Burgdorf, CH	vestry	
	Araldite® (unknown)	bonding, coating, doubling	Hannover, G	choir I	
	Epidian® (53?)	bonding	Krakau, P	staircase A1	
	Araldite® AY103	bonding	Glasgow, GB	museum	
Silicone	BS 31	protective coating	Cologne, G	sXXII	
	BS 31	paint consolidation	Cologne, G	NVI	
	Rhodia® CAF 3	bonding	Canterbury, GB	SXXVIII	
	Rhodia® CAF 3	bonding, doubling	Chartres, F	bay 37,42,50	
Hybrid-polymers	Ormocer®	paint consolidation	Klausen, G	choir I	
	Ormocer®	protective coating	Cologne, G	NVI	1988
	Ormocer®	paint consolidation	Canterbury, GB	NXVII	
	SZA	paint consolidation	Klausen, G	choir I	
	SZA	paint consolidation	Canterbury, GB	NXVII	
Wax	Wax	paint consolidation, coating	Canterbury, GB	sVII, nil, NXVII	
© Constglass.eu/Product Performance Picture Gallery					Date

Le Viacryl® avait été appliqué en film de protection sur les cathédrales Saint-Martin de Canterbury, Saint-Julien du Mans, et Saint-Etienne de Bourges. L’Ormocer®, quant à lui, avait été principalement utilisé en tant que système de protection sur la cathédrale Saint-Pierre de Cologne (tableau 2).

Chaque type de produits et chaque site a fait l’objet d’une fiche de synthèse, donnant son efficacité, sa durabilité, sa réversibilité théorique et sa « retraitsabilité ».

A Bourges, la baie 4⁵⁶, représentant le Jugement dernier⁵⁷ et datée du XIII^e siècle, avait été protégée. Au Mans, c’est la baie 16⁵⁸, verrière de l’Ascension, datée du XII^e siècle, qui a accueilli un film de protection. Enfin à Canterbury, ce sont les panneaux D8, C1, A16 et 8h de la baie S XXVIII⁵⁹ (qui représente les ancêtres du Christ) qui ont été recouverts de Viacryl® sous forme de film de protection.

De manière générale, l’état d’altération du film est très avancé. Au fil du temps, le film durcit, jauni et forme des écailles. Le film altéré ne remplit donc plus son rôle de barrière protectrice.

⁵⁶ La protection de cette baie a fait l’objet d’une discussion entre Ernst Bacher et Jean-Marie Bettembourg, détaillée dans le rapport CONSTGLASS 1/4.

EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012 1:1 p.4-5

⁵⁷ Cf. Annexes, Figure 10

⁵⁸ Cf. Annexes, Figure 11

⁵⁹ Cf. Annexes, Figure 12

Dans certains cas, comme à Bourges, les écailles peuvent retenir l'eau et créer un milieu favorable au développement de micro-organismes. Lors de l'élimination du film organique, il est important de bien ramollir les écailles avec un solvant adapté avant toute intervention. En effet, une technique de nettoyage mécanique peut entraîner avec elle une partie de la couche de verre altérée, celle qui était en contact avec le Viacryl®.

Il arrive cependant que les écailles s'éliminent progressivement avec les eaux de ruissellement, comme au Mans où le film a quasiment entièrement disparu sauf sur les bords et dans les cratères⁶⁰. A Canterbury, le film de Viacryl® est conservé grâce à la une double verrière.

Tableau 3 : avantages et inconvénients des films polymères

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Protection contre les eaux de ruissellement et les polluants - Protection des anciennes restaurations - Lisibilité du vitrail 	<ul style="list-style-type: none"> - Durabilité courte - Non-protection contre la condensation - Vulnérabilité à l'eau - Non-protection contre la casse - Intervention directe sur le verre

Le film de protection a fonctionné mais pendant une durée limitée (estimation à une dizaine d'années⁶¹). Le **tableau 3** résumé ses avantages et ses inconvénients.

Les films organiques de polymère sont donc une solution temporaire et qui ne résout qu'une partie du problème. En effet, comme pour les grillages de protection, le phénomène de condensation sur la face interne du vitrail, qui est un des facteurs les plus dommageable pour l'altération des peintures, des émaux et des grisailles, n'est pas traité. Aujourd'hui, le Viacryl® et l'Ormocer® ne sont plus utilisés comme moyen de protection. Les Ormocer® peuvent encore être employés en restauration comme consolidant des grisailles.

1.3.3. Verrières de protection

Alors qu'ailleurs en Europe les verrières de protection sont déjà utilisées depuis quelques dizaines d'années, elles commencent à être usitées en France à partir des années 80, au moment où des chantiers utilisant les films organiques de polymère sont encore en cours.

⁶⁰ Cf. Annexes, Glossaire

⁶¹ EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012

Le principe de fonctionnement d'une verrière de protection est relativement simple. Il s'agit d'isoler le vitrail en ajoutant une verrière de protection qui devient la clôture c'est à dire la nouvelle interface entre l'air intérieur et l'air extérieur⁶².

Les objectifs principaux⁶³ sont :

- protéger la face externe du vitrail des agressions de l'environnement : polluants atmosphériques et phénomènes météorologiques (pluie, vent, grêle, etc.)
- protéger la face interne des phénomènes de condensation
- limiter les chocs thermiques responsables de la dégradation des peintures et des verres
- protéger les armatures métalliques de la corrosion
- protéger les vitraux des chocs

La verrière protège également la face interne du vitrail des phénomènes de condensation et du développement de micro-organismes. Elle permet en effet de créer une circulation d'air ou ventilation naturelle autour du vitrail. L'air étant à la même température des deux côtés du vitrail, le phénomène de condensation est supprimé.

L'efficacité des verrières de protection a été prouvée grâce au projet européen VIDRIO qui s'est déroulé de 2002 à 2005. Son but était de déterminer les conditions optimales de fonctionnement des verrières de protection des vitraux, systèmes de conservation préventive couramment utilisés en France et en Europe depuis une vingtaine d'années et d'évaluer leur efficacité *in situ*. Dans les textes il s'agissait d'établir une « définition des conditions nécessaires pour prévenir les altérations des vitraux anciens dues à la condensation, au dépôt de particules et au développement de micro-organismes, à l'aide de protections par double verrières. »⁶⁴. Ce projet était piloté, pour la France, par Isabelle Pallot-Frossard (LRMH) et Marie-Pierre Etcheverry (Cercle des Partenaires du Patrimoine), en partenariat avec différentes institutions européennes : National Research Council Institute of Atmospheric Sciences and Climate à Padoue, Stazione Sperimentale del Vetro de Murano, Fraunhofer Institut für Silicatiforschung de Bronnbach, Micro and Trace Analysis Center d'Anvers, laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques de l'Université Paris XII – Créteil, Biotechnologiapark de Luckenwalde et Atelier Dombauverwaltung de Cologne.

Trois édifices européens ont été sélectionnés pour l'application de ce programme : la Sainte-Chapelle de Paris, la basilique Saint-Urbain de Troyes et la cathédrale de Cologne. Ils possédaient tous les conditions requises pour ce projet : des verrières datées du XIII^e siècle,

⁶² Cf. Annexes, Figure 13

⁶³ Ces objectifs sont récapitulés dans le *Manuel de conservation, restauration et création des vitraux*, PALLOT-FROSSARD 2004/1, p.80

⁶⁴ ETCHEVERRY 2004 & PALLOT-FROSSARD 2007

dont une partie seulement avait été protégée et situées dans un contexte urbain. Des données ont été recueillies à la fois sur les baies protégées et les baies non-protégées ainsi qu'à l'intérieur de l'édifice. Certaines baies ont reçu une instrumentation particulière, permettant de mesurer les phénomènes de dépôt, de condensation ou la prolifération de micro-organismes.

Tableau 4 : avantages et inconvénients des verrières de protection

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Intervention minimum sur le vitrail - Reversibilité - Protection contre les polluants atmosphériques - Protection des anciennes restaurations - Protection contre les eaux de ruissellement - Protection contre la condensation - Lisibilité du vitrail à l'intérieur - Durabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Opération d'entretien nécessaire sur du long terme - Intervention parfois lourde sur la serrurerie et la structure de pierre - Manque de lisibilité du vitrail à l'extérieur (suivant les différentes modèles de verrière)

Il a donc été possible, dans le **tableau 4** de faire la liste des avantages et des inconvénients de ces trois systèmes de protection en se basant sur ce qu'on attend, dans l'idéal de la protection d'un vitrail : de la durabilité, de la réversibilité, une intervention minimum sur le vitrail, une certaine lisibilité de l'intervention, une protection des anciennes restaurations et des grisailles, une protection contre les polluants atmosphériques, le ruissellement de l'eau et la condensation, une lisibilité conservée du vitrail, aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur de l'édifice ainsi qu'une certaine protection contre le vandalisme.

Il est extrêmement rare de monter un projet uniquement pour mettre en place des verrières de protection. Ces dernières sont le plus généralement, une mesure de conservation préventive qui s'ajoute au projet de restauration.

2. **Projet de mise en place d'une verrière de protection : déroulé des opérations**

Actuellement, un projet de restauration d'une verrière englobe la restauration de la maçonnerie, de la serrurerie et des panneaux composants la verrière. Dans ces projets peuvent s'ajouter la mise en place de la verrière de protection pour conserver les vitraux sur du long terme.

2.1. **Principaux facteurs d'altération**

Dans le cadre d'un projet de restauration de vitraux couplé de la mise en œuvre d'une verrière de protection, la première étape essentielle est celle de l'étude préalable. Cette première phase permet de déterminer l'état d'altérations et d'identifier les pathologies du vitrail. Elle peut être assurée par l'architecte et/ou une équipe de restaurateurs qualifiés qui peuvent être accompagnés par les scientifiques du LRMH.

Les conditions atmosphériques entraînent en effet l'altération des verrières au cours des siècles. Tous les matériaux subissent l'impact des conditions environnementales : la pierre de la maçonnerie, le métal de la serrurerie, le verre et le plomb des panneaux composants la verrière. De nombreux projets de recherche nationaux et internationaux se sont intéressés à poursuivre les recherches sur la connaissance des processus d'altération des différents matériaux pour optimiser leur conservation.

Le *Manuel de conservation, restauration et création des vitraux*⁶⁵ a été réalisé pour répondre aux questions des architectes, des conservateurs, des restaurateurs et regroupe les altérations principales rencontrées sur les vitraux. Parmi elles, il faut distinguer celles concernant les panneaux en verre et en plomb et celles concernant la serrurerie métallique. Il est également essentiel d'identifier la nature de ces altérations, qui peuvent être chimiques ou mécaniques et qui se produisent aussi bien en face interne qu'en face externe.

2.1.1. **Altérations des panneaux en verre et en plomb**

2.1.1.1. *Altérations des verres*

Les altérations chimiques sur les vitraux sont nombreuses et se produisent majoritairement en face externe, face fortement exposée aux intempéries mais également en face interne en raison du phénomène de condensation qui se produit. Elles sont dues en particulier à la composition des verres et aux conditions environnementales. Les verres

⁶⁵ PALLOT-FROSSARD 2004, *op.cit.*

anciens sont majoritairement composés de silice, d'alcalins tels que le potassium⁶⁶ ou le sodium⁶⁷ qui servent de fondant⁶⁸ et d'alcalino-terreux comme le calcium jouant un rôle de stabilisant.

Les verres à fondant potassique, caractéristique du Moyen Age, sont susceptibles de subir une dissolution sélective du potassium et du calcium dite lixiviation⁶⁹. Ce processus se produit sous l'effet de l'eau, présente sous forme de condensation en face interne ou de ruissellement en face externe. Ces mécanismes d'altération entraînent par conséquent un appauvrissement de la matrice vitreuse et le développement d'une couche d'altération hydratée dite « couche de gel » à la surface du verre. Tous ces phénomènes provoquent un obscurcissement des verres et touchent essentiellement les faces externes, plus exposées aux agressions environnementales. Les verres potassiques, plus réactif aux conditions environnementales, présenteront une altération par « cratères »⁷⁰, par « croûte uniforme »⁷¹, par piqûre. Les verres sodiques, beaucoup plus durables, peuvent présenter des phénomènes d'irisation, premier stade de l'altération d'un verre

Les verres sont donc particulièrement sensibles aux attaques chimiques mais peuvent également subir des altérations mécaniques parfois assez spectaculaires. La principale reste la casse, qui, en dehors d'acte de malveillance ou de conditions météorologiques⁷² particulièrement extrêmes, est souvent subordonnée à une défaillance de maintien de l'armature et à des altérations de structure.

2.1.1.2. Altérations des peintures

Pour ce qui est de la composition chimique des peintures cuites comme les grisailles, elles sont constituées d'un mélange de verre riche en plomb et d'oxydes métalliques. La grisaille est appliquée à l'aide de différents médiums : d'eau, de vinaigre et d'essence sur le verre, puis cuite à environ 630°C. Les altérations rencontrées sont similaires à celles des verres et peuvent entraîner des écaillages, des pulvérulences et donc des pertes de matières. Le phénomène de condensation est le principal responsable des pathologies rencontrées en face interne.

⁶⁶ Le potassium utilisé comme fondant pour la verrerie est issu de cendres de bois ou de fougères

⁶⁷ Le sodium utilisé en verrerie est issu de sels ou de végétaux marins.

⁶⁸ Cf. Glossaire

⁶⁹ LOMBARDO/GENTIAZ/LOISEL 2015

⁷⁰ Cf. Annexes, Figure 15

⁷¹ Cf. Annexes, Figure 14

⁷² L'exemple de la rose de la cathédrale de Soissons, détériorée lors d'une tempête en janvier 2017, est à ce titre très parlant.

2.1.1.3. Altérations des plombs

Certains métaux parmi ceux utilisés dans la création des vitraux, comme le plomb, l'aluminium, le zinc ou le chrome, exposés à l'air, s'oxydent de manière particulière : la fine couche d'oxydes qui se forme est assez cohésive et adhérente pour former une couche protectrice imperméable à l'oxygène et ralentir la cinétique de corrosion⁷³. Cependant les plombs sont tout de même sujets au vieillissement et aux altérations, à la fois mécaniques et chimiques. Ils subissent la pression répétée des vents sur la face externe des vitraux. Cela a pour conséquences de diminuer les propriétés élastiques du plomb. Ainsi le réseau peut se déformer jusqu'à la rupture des baguettes. Cette rupture peut également être causée par la corrosion active du métal induite par le ruissellement des eaux de pluie. Le plomb se corrode progressivement et perd ses propriétés métalliques.

2.1.2. Altérations de la serrurerie métallique

La serrurerie métallique sur laquelle repose un vitrail est généralement en acier ou en fer doux⁷⁴. Elle peut s'oxyder⁷⁵ sous l'effet du ruissellement combiné à un mauvais entretien. Les barlotières ne soutiennent alors plus correctement les panneaux, entraînant dans certains cas une déformation, voire la cassure ou le dessertissage de certains verres.

Le vitrail est généralement fixé au cadre de la baie dans une feuillure⁷⁶ ou une rainure. Pour assurer l'étanchéité de la verrière, un calfeutrement⁷⁷ au mortier de chaux est réalisé. Ce calfeutrement est susceptible de se détériorer et lorsque l'étanchéité n'est plus assurée, cela peut provoquer des infiltrations d'eau susceptibles de nuire à la conservation des vitraux et en particulier de la serrurerie (réseau de plombs, vergettes, feuillards, pannetons⁷⁸, etc.). De cette détérioration du calfeutrement peut ainsi découler une déformation des panneaux⁷⁹ due à un mauvais maintien par l'armature métallique. Il arrive également que les mortiers de chaux aient été remplacés par des mortiers de ciment, plus durs, qui compliquent les déposes⁸⁰ ultérieures.

Tous ces facteurs d'altérations sont autant de raisons qui nécessitent l'installation d'une verrière de protection pour tenter de limiter leur impact. Une fois les altérations caractérisées,

⁷³ CUZANGE 1999, p.25

⁷⁴ Le fer doux désigne en réalité un acier avec un faible taux de carbone (dit « doux »).

⁷⁵ Cf. Annexes, Figure 16

⁷⁶ Cf. Glossaire.

⁷⁷ Cf. Glossaire.

⁷⁸ Cf. Glossaire

⁷⁹ Cf. Annexes, Figure 17

⁸⁰ Cf. Glossaire

il est possible de déterminer les opérations de restauration à mener et les paramètres de mise en œuvre de la verrière de protection.

2.2. Cadre d'intervention : la restauration

Lorsqu'il s'agit d'édifices classés ou inscrits au titre des Monuments Historiques, un certain nombre de protagonistes interviennent et le projet puis le chantier obéissent à une logique particulière.

2.2.1. Chaîne opératoire de la conservation du patrimoine

Le maître d'ouvrage est le propriétaire de l'édifice ou celui qui a en charge l'édifice⁸¹. Pour les monuments appartenant à l'État, la conservation régionale des monuments historiques (CRMH) au sein de la Direction Régionale des Affaires Culturelles (DRAC) remplit cette mission essentielle⁸². Le centre des monuments nationaux tient également ce rôle pour un ensemble de 90 monuments en France. Les communes ont en charge le patrimoine de leur localité.

La maîtrise d'œuvre est confiée à un architecte spécialisé, le plus souvent architecte en chef des monuments historiques (ACMH) ou architecte des bâtiments de France (ABF). Il est en charge des différentes étapes de l'avant-projet : avant-projet sommaire (APS), avant-projet détaillé (APD)⁸³ et documents de consultation des entreprises (DCE) qui permettent de lancer l'appel d'offre⁸⁴. Dans le cas des monuments gérés par l'État, un architecte en chef des monuments historiques (ACMH) est nommé et suit le projet jusqu'à son départ en retraite. Dans l'avant-projet, l'architecte peut s'appuyer sur les compétences d'un restaurateur de vitraux qui sera à même de proposer des solutions de restauration et de conservation préventive des vitraux. Une fois l'avant-projet terminé, l'appel d'offre peut être lancé. Tous les lots sont pourvus et budgétés.

Au début du chantier toutes les actions sont validées en réunion de chantier par le maître d'œuvre (Architecte) et le maître d'ouvrage. Le restaurateur de vitraux propose alors des prototypes qui seront validés ou améliorés par le comité scientifique en charge du suivi du chantier. Une fois les prototypes validés, la restauration puis la pose peuvent avoir lieu. Avant la fin du chantier, le maître d'ouvrage procède à une réception des travaux⁸⁵ en inspectant toutes les réalisations. Il peut exiger des modifications qui lui semblent nécessaires avant de

⁸¹ Les rôles du maître d'ouvrage sont détaillés dans une circulaire du Ministère de la Culture, datée de 2009.

⁸² Cf. Glossaire

⁸³ Cf. Glossaire

⁸⁴ Cf. Glossaire

⁸⁵ L'article 1792-6 du Code civil énonce que la réception est l'acte par lequel le maître d'ouvrage déclare accepter l'ouvrage avec ou sans réserves. C'est une décision prise unilatéralement par le maître d'ouvrage, qui apprécie si l'exécution des travaux est conforme aux stipulations du marché et aux règles de l'art.

signer la réception des travaux. Cette signature marque la fin du chantier et transfère la garde de l'ouvrage au maître d'ouvrage. Cette chaîne opératoire est synthétisée dans le logigramme ci-dessous (**figure 2**).

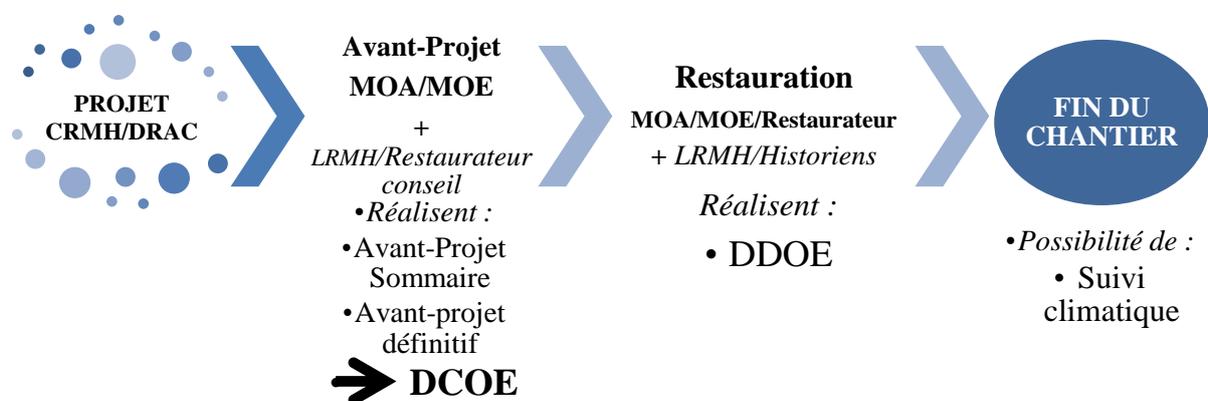


Figure 2 : logigramme de la chaîne opératoire d'un projet de restauration

En plus de résumer le processus décrit auparavant, ce logigramme présente en fin de parcours à la fois la nécessité pour les entreprises lauréates de l'appel d'offre, de produire un dossier documentaire des ouvrages exécutés (DDOE)⁸⁶ et la possibilité d'effectuer un suivi climatique sur les vitraux restaurés.

Le dossier documentaire des ouvrages exécutés est un élément essentiel pour transmettre les détails des travaux réalisés. Il compile l'ensemble des interventions des différentes entreprises et peut s'avérer très utile pour des travaux de recherche mais aussi et surtout dans l'éventualité de futures interventions. Ces dossiers ont un rôle essentiel de transmission de l'information aux générations futures. Plusieurs exemplaires sont réalisés et envoyés notamment au maître d'ouvrage et à la Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine, dans la perspective d'être archivé.

Ce processus est donc séparé en deux phases bien distinctes, le projet et le chantier, qui sont placées toutes les deux sous l'égide du maître d'œuvre, qui est la figure de référence durant tout le temps où des interventions sont prévues sur l'édifice. Il assure ainsi une unité déontologique entre le projet hypothétique et les interventions réalisées.

La bonne entente de tous les acteurs du projet est nécessaire dans une optique de conservation. En effet si les entreprises mandatées dans le cadre du chantier jouent un rôle important sur le terrain, l'implication de relais locaux tels que la DRAC ou la municipalité est

⁸⁶ Produits par les maîtres d'œuvres en collaboration avec les prestataires ayant œuvré sur le chantier, ces dossiers ont pour but de documenter en détail le projet et le chantier et contiennent de nombreux détails techniques.

essentielle pour les missions de suivi, de maintenance et de valorisation qui doivent nécessairement suivre un projet de restauration.

2.2.2. Rôle d'expertise et d'accompagnement du LRMH dans le domaine du vitrail

La maîtrise d'ouvrage comme la maîtrise d'œuvre peuvent être aidés dans leur tâche par les équipes scientifiques du LRMH, service à compétence nationale du ministère de la Culture. Dans le cas d'une restauration de vitraux, le pôle scientifique vitrail assure une mission d'expertise et peut-être amené à travailler conjointement avec les autres pôles scientifiques du laboratoire. En particulier, les expertises Métal, Pierre, Béton et Microbiologie sont souvent sollicitées.

Lors d'un projet de restauration ou de conservation sur des vitraux protégés au titre des monuments historiques, elles peuvent être appelées dans le cadre du contrôle scientifique et technique de l'État (CST) :

- au moment de l'élaboration du projet, pour donner un avis, dans un rôle de conseil et d'expertise auprès du conservateur,
- lors de l'avant-projet pour réaliser un bilan sanitaire sur les vitraux à restaurer. Ce constat permet de définir le niveau d'intervention qui sera demandé aux équipes de restauration.
- lors du chantier de restauration, le LRMH participe au suivi des opérations et peut proposer des solutions de restaurations ou de conservation préventive. Parfois des observations sous microscopes ou des analyses complémentaires peuvent être demandées aux scientifiques du LRMH pour identifier la composition chimique des verres, la nature des pathologies, la composition d'anciens produits de restauration, etc.

Ces scientifiques de la conservation travaillent le plus souvent en étroite collaboration avec les historiens d'art du centre André Chastel sur les questions de critique d'authenticité et d'identification d'anciennes restaurations. Historiens et scientifiques spécialisés dans le vitrail peuvent également être membres du Corpus Vitrearum Medii Aevi⁸⁷ (CVMA).

Même si l'expertise du LRMH n'est pas obligatoire, elle est fortement recommandée dès le début du projet. Le pôle scientifique Vitrail peut ainsi suivre le projet du début à la fin et adapter son expertise suivant sa connaissance du dossier. C'est notamment lui qui peut donner

⁸⁷ Il s'agit de la première entreprise internationale de recherche en histoire de l'art dédié aux vitraux. Né en 1952 à l'occasion du colloque international d'histoire de l'art d'Amsterdam, il a été porté en France par Louis Grodecki et Jean Lafond notamment. Son activité principale consiste en un recensement de toutes les verrières présentes sur le territoire européen. Ce recensement est né du travail d'inventaire réalisé pendant la Seconde Guerre Mondiale, lorsque les vitraux de certaines églises avaient dus être déposés pour être mis à l'abri.

des recommandations quant aux paramètres à choisir pour la mise en œuvre des verrières de protection. Cette expertise, gratuite car prise en charge par l'État est accessible à tous les gestionnaires de monuments historiques de droit public.

2.3. Mise en œuvre des verrières de protection

Il est difficile de parler de typologie de verrières car la différence joue sur une multitude de paramètres qu'il est possible de combiner. En effet, chaque verrière de protection doit s'adapter à la baie qui la reçoit et c'est le respect de l'architecture qui doit primer. Il est donc impossible de créer une verrière parfaite en elle-même. Il est toutefois possible de créer une verrière la plus adéquate possible pour chaque baie, en définissant de manière optimale les paramètres de positionnement.

2.3.1. Paramètres à prendre en compte pour l'installation

Il est possible de détailler ces principaux paramètres matériels et de conseiller certaines pratiques. Certains sont cependant immuables dans l'optique d'un fonctionnement optimal du dispositif, c'est le cas pour la distance inter-verrières, l'étanchéité et le système d'évacuation des eaux.

2.3.1.1. Distance vitrail-verrière et ventilation naturelle

Ce paramètre correspond à la distance entre le vitrail et la verrière de protection qui peut être appelé inter-espace. Une étude menée à l'École Centrale de Nantes⁸⁸ montre qu'une distance minimale de 25 mm est nécessaire pour que la lame d'air puisse circuler tout le long d'un vitrail, évitant ainsi la condensation. Cependant, la complexité d'entretien de ces œuvres impose une distance minimale de 35 mm afin de prendre en compte l'empoussièrement et les hauteurs de certaines verrières. Cette recommandation a été validée dans les conclusions du projet européen VIDRIO⁸⁹.

La ventilation naturelle est un élément essentiel dans la mise en place d'une verrière de protection. Il existe deux possibilités : une ventilation par l'extérieur ou une ventilation par l'intérieur.

⁸⁸ FILTZ 1997, p 105.

⁸⁹ EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012

➤ Ventilation par l'extérieur :

Dans certains édifices, la ventilation se fait par l'air extérieur. Ce système est cependant déconseillé par le LRMH puisqu'il ne règle pas le problème de la condensation. Cela a été expérimenté en Suisse, notamment à l'église de Wettingen⁹⁰.

➤ Ventilation par l'intérieur :

La ventilation peut se faire par l'intérieur (avec l'air intérieur de l'édifice). Elle nécessite que ce soit la verrière de protection qui assure l'étanchéité de l'édifice. Elle permet une faible variation de température et d'humidité relative et surtout une suppression de la condensation sur le vitrail. L'air des deux côtés du vitrail est à la même température. La condensation se forme donc sur la face interne de la verrière de protection qui devient la nouvelle interface entre l'air intérieur et l'air extérieur.

Cette ventilation s'effectue par le haut et le bas de la baie, pour créer une circulation verticale de l'air. Les solutions sont multiples pour aménager les passages de ventilation et dépendent à la fois de la configuration du panneau de vitrail, du choix de l'emplacement du vitrail (dans sa feuillure d'origine ou non), et du type de ventilation. Les ouvertures peuvent simplement être faites au-dessus et en-dessous des panneaux supérieurs et inférieurs. L'absence de calfeutrement au moment de la repose peut parfois suffire à faire circuler l'air. Cependant il est souvent nécessaire de transformer un peu la structure de la pierre ou de faire basculer ou décaler légèrement quelques panneaux voire quelques pièces de verre.

2.3.1.2. Etanchéité

Ce paramètre correspond à la manière dont est assurée l'étanchéité de la verrière. Que ce soit le verre de protection ou le vitrail qui assure la clôture étanche de l'édifice, il existe deux techniques principales pour en assurer l'étanchéité. La technique habituelle de calfeutrement se fait au mortier. Elle reste toutefois très invasive. Il est également possible d'utiliser des joints en silicone, moins invasifs et plus réversibles mais dont l'interface avec la maçonnerie peut s'avérer complexe.

2.3.1.3. Évacuation d'eau

Ce paramètre concerne la façon dont l'eau de condensation est évacuée de la verrière de protection. Une fois condensée, il faut la drainer en dehors de la verrière de protection. Pour cela, il est possible d'installer un rejingot⁹¹ en plaque de plomb en partie basse de la

⁹⁰ PALLOT-FROSSARD 2004/2, p.96

⁹¹ Cf. Annexes, Figure 19

verrière de protection. L'objectif de ce système est de faire sortir les eaux de condensations sans faire rentrer les eaux de pluies.

2.3.1.4. Comblement des ajours latéraux

Ce paramètre concerne le comblement du jour en face interne qui peut découler d'un décalage du vitrail vers l'intérieur de l'édifice. Ces ajours peuvent perturber la lecture du vitrail. Pour s'en affranchir, la solution la plus simple consiste à appliquer une bavette de plomb (ou jupe de plomb) pour l'occulter.

2.3.2. Type de positionnement

Il est possible de distinguer deux positionnements types pour l'emplacement du vitrail par rapport à la verrière de protection :

Type 1 : le vitrail ancien est avancé vers l'intérieur de l'édifice et la verrière de protection est à la place du vitrail ancien.

Cela revient à installer la verrière de protection dans la feuillure originelle du vitrail et de décaler le vitrail vers l'intérieur de l'édifice. Ce positionnement peut être réalisé en allongeant la serrurerie ou en installant une nouvelle serrurerie. Le vitrail est alors sorti de son infrastructure d'origine pour être présenté en contexte quasi-muséal puisque défait de sa fonction de clôture. La serrurerie ancienne est donc utilisée pour la pose de la verrière de protection et n'est pas elle-même protégée. Cette solution a été utilisée à la cathédrale de Strasbourg, pour les baies du bas-côté nord de la nef⁹².

Type 2 : le vitrail ancien reste à sa place d'origine et la verrière de protection est placée vers l'extérieur de l'édifice.

La seconde possibilité consiste à laisser le vitrail dans sa feuillure d'origine et à installer la verrière de protection vers l'extérieur de l'édifice, dans une nouvelle serrurerie. Cela peut être une solution recommandable pour des vitraux ou des serrureries fragiles qui nécessitent le moins de manipulation possible. Cette solution permet de protéger également la serrurerie d'origine. Elle a été réalisée à l'église Saint-Etienne-du-Mont à Paris⁹³.

Il existe des cas particuliers dans lesquels il est possible de voir un troisième type :

Type 3 : nouvelle feuillure pour le vitrail et la verrière de protection.

Cette troisième solution consiste à déplacer le vitrail vers l'intérieur de l'édifice et à installer la verrière de protection vers l'extérieur, sans qu'aucun des deux ne se trouvent dans la

⁹² Cf. Annexes, Figure 24

⁹³ Cf. Annexes, Figure 20

feuillure originelle. Cela peut se faire si le réseau de pièce est refait à neuf, il est plus rare de le faire sur la structure des pierres d'origine, impliquant de trop lourdes modifications.

Le choix du type de positionnement se décide en tenant compte de l'épaisseur des meneaux⁹⁴ et la configuration d'éventuels chapiteaux⁹⁵. Il prend également en compte la fragilité de la serrurerie originelle.

La pose des vitraux restaurés et des verrières de protection peut se faire par l'extérieur ou l'intérieur de l'édifice. Dans le cas d'un édifice religieux, il est d'usage de poser les verrières des bas-côtés et des chapelles du chœur par l'intérieur (pour éviter le vol) et les verrières hautes par l'extérieur de l'édifice (l'accès est facilité par les coursives extérieures).

2.3.3. Modèle de verrière

Il convient également de se pencher sur le modèle de verrières utilisé pour réaliser la protection, paramètre non négligeable à la lumière des questionnements déontologiques qui animent le monde du vitrail. Il existe quatre grandes possibilités :

- *verre blanc mis en plomb* :

Le verre blanc mis en plomb se veut comme un vitrail transparent. Le panneau de protection reproduit le réseau de plomb du vitrail qu'il protège. Composé de verre soufflé blanc de quelques millimètres d'épaisseur pouvant être patiné ou recuit pour atténuer la brillance des verre et inséré dans un réseau de plomb, il a l'avantage, en plus de protéger, de proposer un aspect esthétique intéressant en imitant le vitrail, comme sur la **figure 3**, présentant un élément de la rosace de la cathédrale de Laon.



Figure 3 : cathédrale de Laon : Rose Est, XIII^e siècle, verre mis en plomb

Source : © LRMH, Dominique Bouchardon, 1991

⁹⁴ Cf. Glossaire

⁹⁵ C'est le cas à la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg où les chapiteaux sculptés de motifs végétaux sont débordants.

▪ *verre thermoformé* :

Le verre thermoformé est une technique mise au point et brevetée par Hervé Debitus, Atelier Debitus à Tours⁹⁶. Le procédé consiste à transférer l'aspect de la face externe des panneaux sur un verre moderne résistant. Dans une première étape, l'empreinte de la face externe de chaque panneau est transposée sur une surface en plâtre (lit de plâtre dans le four). Ensuite un verre moderne découpé suivant la forme du panneau est placé sur l'empreinte. Ce verre a pu être plus ou moins patiné, comme sur la **figure 4** pour redonner les nuances de la coloration des verres et le réseau de plomb a pu être repris pour guider la lecture. Lors de la montée en température, le verre se ramollit et prend donc la forme de la face externe du verre. Les panneaux sont ensuite remontés dans une serrurerie adaptée. Les plaques de verres sont des verres industriels sodo-calciques dit « floats », simples (6 mm) ou feuilletés (6 mm + 3 mm). Pour la fabrication des verres feuilletés, les deux plaques de verre sont thermoformées et ensuite associées par l'ajout d'une résine. Leur absorption lumineuse est négligeable (1 à 3%)⁹⁷.

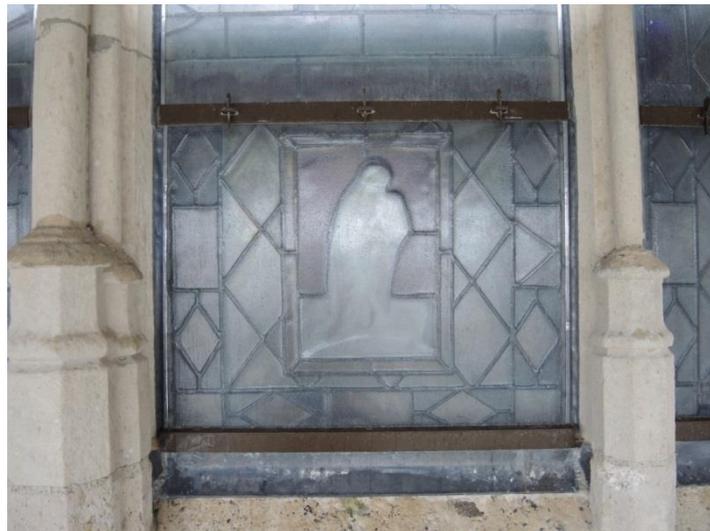


Figure 4 : cathédrale de Chartres, chapelle Saint-Piat, verres du XIV^e siècle
Repose des vitraux, verrière de protection déjà mise en place, verre thermoformé

Source : © LRMH, Claudine Loisel 2018

⁹⁶ Brevets INPI : de base N°9403918, et de perfectionnement N°1351107.

⁹⁷ Données recueillies sur le site internet de l'Atelier Debitus www.debitus.com

▪ *verre blanc / incolore* :

Il s'agit d'une simple vitre de quelques millimètres d'épaisseur. Si elle assure une protection mécanique contre le vent et les eaux de ruissellement, elle présente néanmoins une certaine brillance. Cette brillance peut toutefois être atténuée par des patines et par l'empoussièrement et l'usure du temps. Les verres blancs / incolores peuvent être feuilletés pour être plus résistants. Ces verres stadip, sont produits par la manufacture de Saint-Gobain. Il existe également des verres dits « securit » produits également par la manufacture de Saint-Gobain depuis 1929⁹⁸ et L'atelier VitrailFrance les regroupe sous l'appellation V.P.S : Verrières de Protection Sécurisées.

Dans les établissements habilités à recevoir du public (ERP)⁹⁹, il est recommandé de choisir du verre trempé pour les ouvertures basses, par lesquelles on peut sortir en cas de danger mais il est interdit d'en utiliser pour des ouvertures situées en hauteur, à cause du risque de bris. En effet, lorsqu'il se casse, le verre trempé se fissure et se désagrège en petits morceaux¹⁰⁰. Le verre feuilleté lui, reste en place. Le deuxième est donc préféré au premier dans le cadre de la mise en place de verrières de protection.

Le choix d'une verrière de protection relève donc avant tout de l'esthétisme. L'ajout d'une verrière de protection peut avoir un effet de brillance en extérieur. Le verre blanc mis en plomb peut provoquer en intérieur un phénomène de parallaxe (visualisation d'un réseau de plomb double). Le verre thermoformé, même patinés, provoquent des reflets. Cette brillance est un des fers de lance des détracteurs des verrières de protection qui estiment qu'elle change l'apparence extérieure du bâtiment. Ainsi, chaque modèle de verrière à ses inconvénients mais ils offrent un choix non négligeable qui permet d'adapter vraiment chaque verrière de protection à son architecture.

2.3.4. Serrurerie

Enfin, il faut considérer les aménagements sur la serrurerie. Il existe trois possibilités principales : une serrurerie conservée et aménagée, une serrurerie partiellement neuve ou une serrurerie complètement neuve. Le choix s'effectue en fonction de l'état de la maçonnerie, de la taille du meneau, de la solidité de la serrurerie ancienne et est corrélé au choix concernant l'emplacement des verrières. Il faut également choisir le matériau métallique qui servira au nouvel aménagement. Il s'agit généralement d'acier doux ou d'un alliage cuivreux,

⁹⁸ Brevet INPI actuel : 98920599.2

⁹⁹ Cf. Annexes, Figure 22

¹⁰⁰ Il s'agit des mêmes vitres utilisées pour vitrer les arrêts de bus.

notamment du laiton¹⁰¹, le LRMH recommande d'éviter l'utilisation de métaux différents qui pourraient entraîner des effets de pile, corrosion galvanique des métaux)¹⁰².

Les choix concernant ces paramètres se font en concertation avec les acteurs principaux du chantier : le maître d'œuvre, le maître d'ouvrage, les restaurateurs et les ingénieurs du laboratoire de recherche des monuments historiques et sont détaillés dans les dossiers d'ouvrage exécutés. Ils dépendent des partis pris scientifiques de ces acteurs, des possibilités financières, du profil du bâtiment et de l'esthétisme recherché.

Un bel exemple de cette adaptabilité des paramètres de mise en œuvre se retrouve sur la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg qui a déjà bénéficié de trois campagnes de restauration et de mise en œuvre de verrières de protection depuis le début des années 2000.

¹⁰¹ Un laiton Haute Résistance dit BL2 est souvent employé mais aucune étude n'a pour l'instant été menée sur sa longévité.

¹⁰² PALLOT-FROSSARD 2004/1 p.9

3. Enjeux contemporains de la gestion des Monuments Historiques

L'exemple des verrières de protection au travers d'une étude du cas de la cathédrale Notre-Dame-de-Strasbourg, peut nous permettre de mettre en lumière, les points névralgiques de la conservation préventive des Monuments Historiques.

3.1. La cathédrale Notre-Dame de Strasbourg : un cas d'étude emblématique

La cathédrale Notre-Dame de Strasbourg est un des édifices religieux français les plus renommés. Fondée en 1220 et bâtie sur une église du début du XI^e siècle, elle est construite en grès rose, issu de carrières locales. C'est un chef d'œuvre du style gothique, avec quelques reliquats romans dans le chœur. L'unique tour est ajoutée en 1439. Cet édifice est aujourd'hui classé au titre des Monuments Historiques depuis 1862 et au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1988. La cathédrale est propriété de l'État depuis la Révolution mais une tradition remontant au XIII^e siècle veut que la ville de Strasbourg prenne part à son entretien *via* la Fondation de l'Œuvre de Notre-Dame. C'est le seul bâtiment religieux en France qui dépende à la fois de l'État et d'une municipalité.

La cathédrale Notre-Dame de Strasbourg abrite la deuxième plus grande superficie de vitraux médiévaux de France¹⁰³. La majorité de ses vitraux datent des XIII^e et XIV^e siècles et sont contemporains de la création de l'édifice.

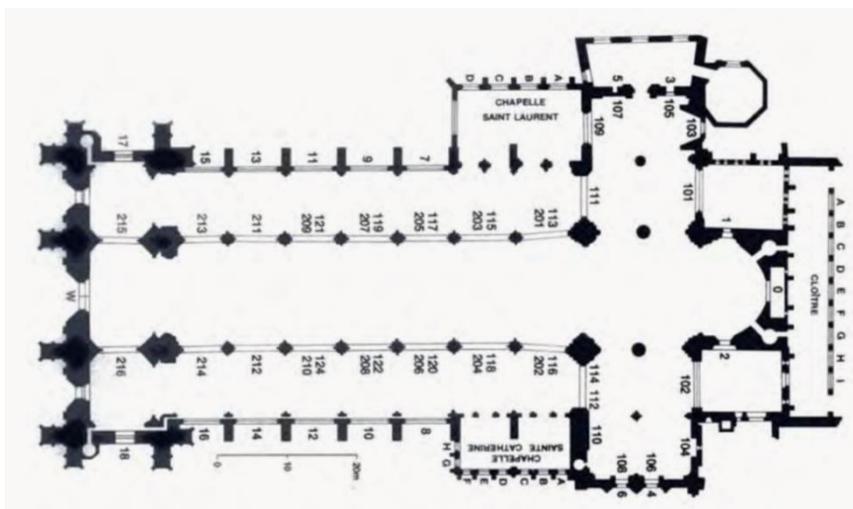


Figure 5 : plan de situation des vitraux de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg selon la numérotation établie par le Corpus Vitrearum.

Source : © Corpus Vitrearum

¹⁰³ Après la cathédrale Notre-Dame de Chartres.

Dans la **figure 5**, il est possible de voir que les baies du premier niveau sont ainsi numérotées de 0 à 99. Celles du deuxième niveau sont numérotées de 100 à 199 et celles du troisième niveau de 200 à 299.

La cathédrale a subi de nombreuses restaurations notamment après la guerre de 1870. L'édifice a également résisté aux deux guerres mondiales : la ville a été prise mais la cathédrale, trop importante, n'a pas été détruite. De grands projets de restauration sont menés depuis 1970¹⁰⁴ et sont couplés depuis l'an 2000 avec une volonté de protection pérenne qui se traduit sous la forme de verrières de protection. Ces nombreuses restaurations ont grandement participé à l'évolution des méthodes de conservation-restauration.

3.1.1. Présentation des différentes phases du chantier

Depuis le début des années 2000, les vitraux de la cathédrale de Strasbourg ont subi trois grands chantiers de restauration et de pose de verrières de protection. Ils ont concerné le bas-côté nord, le bas-côté sud et les roses du bras sud du transept. Pour les trois phases, la maîtrise d'ouvrage a été assurée par la DRAC Alsace (devenue DRAC Grand Est en 2015) et la maîtrise d'œuvre par les architectes en chef des Monuments Historiques Christine Schmukle-Mollard, de 2000 à 2012 et de Pierre-Yves Caillault depuis 2012.

3.1.1.1. Première phase : 2006-2009

La première phase s'est déroulée entre 2006 à 2009 et a concerné les baies 21, 23, 25, 27 et 29 du bas-côté nord. La restauration était assurée par l'Atelier Le Vitrail-Vinum et la mise en place de la verrière de protection par l'Atelier Parot.

Avant de choisir quels paramètres adopter pour la verrière de protection, il a été décidé de procéder à un banc d'essai, sur les quatre lancettes¹⁰⁵ de la baie 23. Différents paramètres ont donc été testés : le type de verre, l'emplacement de la verrière ainsi que la distance vitrail-verrière.

La lancette B a accueilli des verres blancs mis en plomb, réalisés par l'Atelier Parot. Le vitrail est resté dans sa feuillure d'origine et la verrière de protection a été installée vers l'extérieur. La distance entre le vitrail et la verrière était de 3 cm.

La lancette C a accueilli deux types de verre VPS, l'un au-dessus de l'autre, réalisés par l'atelier Alliou. Le premier (VPS1) est un verre dépoli d'aspect assez rugueux. Le second (VPS2) est un verre trempé avec un recouvrement antireflet de couleur verte. Le vitrail est resté dans sa feuillure d'origine et la verrière de protection a été installée vers l'extérieur. La

¹⁰⁴ Cf. Annexes, Figure 23

¹⁰⁵ Cf. Glossaire

distance entre le vitrail et la verrière était de 3,3 cm. Les textures et l'apparence de ces deux types de verre ont semblé peu adaptés, d'autant plus que selon la norme ERP, il est interdit de mettre du verre trempé en hauteur, pour parer à tout risque de bris et de chute de verre. Il convient de lui préférer du verre feuilleté.

La lancette D a accueilli un verre thermoformé, réalisé par l'Atelier Debitus à Tours. Le vitrail est resté dans sa feuillure d'origine et la verrière de protection a été installée vers l'extérieur. La distance entre le vitrail et la verrière était de 3,5 cm.

La lancette A, quant à elle, a accueilli les trois types de verres précédemment cités, les uns au-dessus des autres. Le vitrail était avancé vers l'intérieur de l'édifice et la verrière de protection prenait sa place dans la feuillure d'origine. La distance vitrail-verrière était de 3,5 cm.



Lancette A

Lancette B

Lancette C

Lancette D

Figure 6 : différentes propositions de verrières de protection sur la baie 23

Source : © LRMH Claudine Loisel - 2005

La **figure 6** synthétise ce banc d'essai qui avait pour but de voir comment les verres interagissaient, notamment avec le soleil. Il a ainsi été possible d'apprécier la brillance de chaque type de verre. ce prototype a également permis de déterminer l'emplacement idéal du vitrail et de la verrière de protection en s'accommodant des chapiteaux débordant qui caractérisent les meneaux de la cathédrale de Strasbourg. En effet, les verrières de type 2,

décalées vers l'extérieur ont posé des difficultés d'étanchéité, au niveau de la découpe des chapiteaux.

À partir de ce banc d'essai a été réalisé un choix définitif¹⁰⁶ pour les cinq baies du bas-côté nord. Le type 1¹⁰⁷ a été choisi pour l'emplacement des verrières, avec une aération par l'air intérieur de l'édifice, en parties haute et basse du vitrail. Ce décalage a été permis, malgré la présence de chapiteaux débordants, par l'épaisseur des meneaux. La verrière de protection, située à 4 cm du vitrail a été réalisée en verre mis en plomb et repose sur une nouvelle serrurerie en fer doux, traitée par une peinture anti-corrosion. Des petites gouttières ont été installées pour évacuer les eaux de condensation, sans perturber la ventilation.

3.1.1.2. Deuxième phase : 2009-2012

La deuxième phase s'est déroulée de 2009 à 2012 et a concerné les baies 26, 28, 30, 32 et 34 du bas-côté sud. La restauration était assurée par l'atelier Parot pour les baies 26, 30 et 32 et l'atelier Le Vitrail-Vinum pour les baies 28 et 34. Les verrières de protection ont été réalisées par l'atelier VitrailFrance à Neuville-sur-Sarthe.

Contrairement au bas-côté nord, c'est le type 2 qui a été choisi pour l'emplacement des verrières. Ce choix est dû à l'épaisseur des meneaux, qui est très fine et à la présence de chapiteaux débordants. Ces deux éléments empêchent le déplacement du vitrail d'origine. Pour aménager une aération, il a donc fallu faire basculer des panneaux hauts et des panneaux bas afin d'assurer une ventilation circulaire autour du vitrail. La verrière de protection est décalée de 3,5 cm vers l'extérieur et doit s'adapter aux détails des chapiteaux. Pour parer au manque d'étanchéité des verrières qui avait posé problème sur le bas-côté nord, l'atelier Parot a optimisé un procédé plus fin et plus fidèle à la découpe des chapiteaux, présenté en **figure 7**.

¹⁰⁶ Les détails de ce choix définitif sont synthétisés dans une fiche technique en annexes. Cf. Annexes, Figure 24

¹⁰⁷ Vitrail ancien avancé vers l'intérieur de l'édifice et verrière de protection à la place du vitrail ancien.



Figure 7 : détail de la verrière de protection entre les baies 28 et 30, autour du chapiteau, Cathédrale de Strasbourg

Source : © LRMH, Adèle Rellier, 2018

Le choix a été fait d'utiliser des verres mis en plomb pour conserver une unité esthétique avec le bas-côté nord¹⁰⁸.

3.1.1.3. Troisième phase : 2016-2017

La troisième phase s'est déroulée de 2016 à 2017 et a concerné les roses du bras sud du transept sous la maîtrise d'œuvre de Pierre-Yves Caillault. La restauration des vitraux ainsi que la confection et la mise en place ont été confiées à l'atelier Parot à Aiserey. Dans ce contexte, le positionnement type 2 a été choisi pour l'emplacement des verrières de protection, avec une aération par décalage et inclinaison de pièces de verre en partie basse et haute pour chaque panneau, comme il est possible de le voir sur la **figure 8**.

¹⁰⁸ Cf. Annexes, Figure 25

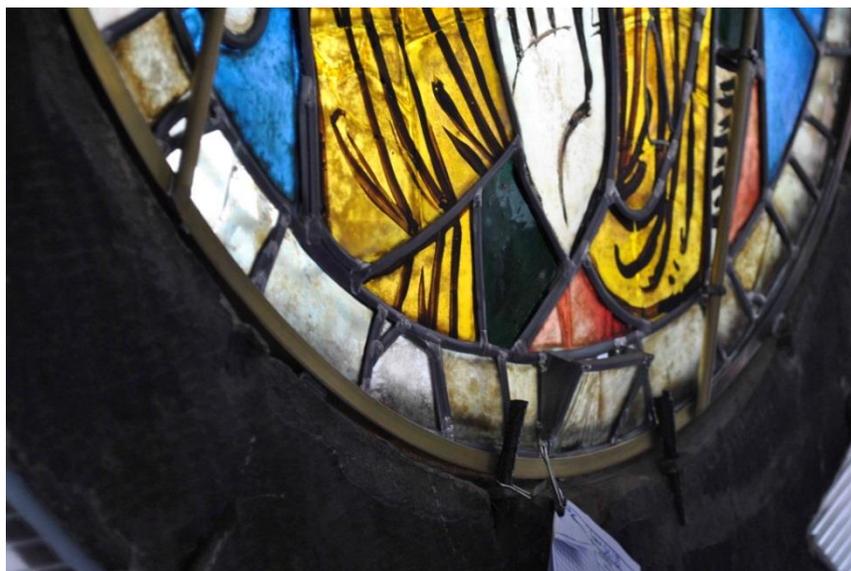


Figure 8 : panneau d'une des roses du bras sud du transept, Cathédrale Notre-Dame de Strasbourg

Source : © LRMH, Barbara Trichereau, 2017

La verrière de protection est réalisée avec du verre mis en plomb et positionnée dans une serrurerie en fer doux¹⁰⁹ et laiton patiné¹¹⁰. Le fait qu'il s'agisse d'une rose oblige la verrière de protection à prendre la forme de chaque panneau, en ajustant la serrurerie et la fixation. En effet, chaque panneau ancien a repris sa place d'origine dans les barlotières circulaires ou à la forme des panneaux. Le maintien se fait par la fixation des vergettes. La verrière de protection pour chaque panneau est positionnée dans un cadre en laiton fixé au moyen de patte vissée dans les joints de la maçonnerie. Un calfeutrement est réalisé sur le pourtour en face externe pour assurer l'étanchéité.

3.1.2. Notre-Dame de Strasbourg : retour sur expérience

Le cas de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg est particulièrement intéressant car il est représentatif des hésitations qui ont accompagné la démocratisation des verrières de protection. Les différentes phases de pose des verrières de protection sur les deux bas-côtés de la nef et les roses du bras sud du transept ont mis en avant deux éléments essentiels dans l'amélioration des dispositifs de protection des vitraux : la nécessité de trouver les bons paramètres d'aération et celle de procéder à un suivi climatique. Climatologie et typologie sont ainsi au centre de la réflexion sur les verrières de protection.

¹⁰⁹ Le terme fer doux est un synonyme pour acier doux.

¹¹⁰ La serrurerie originale est en fer doux. La nouvelle serrurerie qui accueille la verrière de protection est en laiton patiné.

3.1.2.1. *Suivi climatique*

Le suivi climatique opéré à la cathédrale de Strasbourg a permis de mettre en avant deux éléments. Le premier concerne la distance entre le vitrail et la verrière de protection. Les essais pratiqués dans le cadre du projet VIDRIO avaient conclu qu'une distance de 3,5 cm était nécessaire pour assurer une bonne ventilation. Il est évident que la distance dépend de la taille du panneau. En effet il est plus dur de créer une lame d'air le long d'un très haut panneau qu'autour d'un petit panneau carré. La création de la lame d'air dépend aussi de l'espace laissé entre les barlotières et l'entretoise, qui peuvent venir perturber le flux d'air. L'étude de climat à Strasbourg a permis de valider la distance de 3,5 cm comme étant satisfaisante pour la création d'une lame d'air.

Au moment de l'élaboration de ce projet, il a été décidé d'instrumenter une baie pour vérifier et ajuster si nécessaire le flux d'air de la ventilation naturelle.

Le projet proposait une possibilité d'inclinaison plus ou moins importante des panneaux pour augmenter le flux d'air de circulation. La baie 26, et plus particulièrement sa lancette c, dont la position permet d'éviter l'effet d'ombre, a été choisie pour installer quatre types de capteurs (tableau 5) : des anémomètres, des thermocouples, des hygromètres et des capteurs pour mesurer la condensation. Ils ont permis de mesurer la température de surface du verre, la température de l'air, la condensation et l'humidité relative. Les capteurs, installés en 2011, ont été placés à différentes hauteurs (3 niveaux : partie basse, milieu, haut) dans l'inter-espace et en surface des verres de la verrière de protection et du vitrail ancien¹¹¹. La centrale de mesure (Campbell CR1000), située en bas de la baie et placée dans un coffre pour garantir sa sécurité, est reliée à une prise secteur de la cathédrale.

¹¹¹Cf. Annexes, Figure 27

Tableau 5 : Identification des capteurs instrumentant la baie

Type de capteur nombre	Description	Localisation	Remarques
Anémomètre à fil chaud <i>2 capteurs</i>	Le capteur est constitué d'un fil métallique unidirectionnel chauffé par un courant électrique. La résistance électrique augmente avec la température.	Les deux anémomètres ont été positionnés entre la verrière et le vitrail. L'un d'entre eux est placé entre les deux panneaux inclinés, l'autre est placé au niveau du panneau en forme d'ogive. Ils sont maintenus horizontalement par des serre-câbles et d'une soudure.	Les mouvements d'air dans les deux zones sont en-dessous du seuil instrumental de détection pendant toute la durée de mesure.
Humidité relative (HR) <i>5 capteurs</i> Température de l'air (T)	Psychromètre HUMICAP HMP110 Pt100 4 fils	Ces capteurs sont positionnés à l'aide d'une soudure et placés sur la verrière tout en évitant le contact avec les verres. Ils sont situés dans l'inter-espace, à 3 hauteurs différentes, mais aussi à l'intérieur et à l'extérieur de l'église. Les fils des capteurs ont été acheminés à l'aide de petits serre-câbles peints.	Ø
Température de surface (Ts) <i>7 capteurs</i>	RTD PT 100 classe A	Capteurs fixés en face interne/externe du vitrail ancien/de la verrière à l'aide d'une colle silicone	Un capteur ne fonctionne pas en surface externe de la verrière (Ts4)
Condensation <i>4 capteurs</i>	La surface active du capteur est une couche isolante neutre sous laquelle se trouve un condensateur. La capacité augmente lorsque la condensation se forme. Le capteur fournit une réponse binaire : condensation (1) / pas de condensation (0)	Capteurs fixés en face interne/externe du vitrail ancien/de la verrière à l'aide d'une colle silicone	Ces capteurs ont été développés durant le projet VIDRIO, sous le nom de Dew Point Sensors.

Ce tableau (**tableau 5**) issu du rapport R224F¹¹² rédigé par Claudine Loisel, responsable du pôle scientifique Vitrail au LRMH, présente les caractéristiques et l'emplacement des différents capteurs.

Après la première année de suivi (février 2011-février 2012), une deuxième campagne de mesures a eu lieu, entre septembre 2013 et janvier 2015. À cette occasion trois nouveaux capteurs de températures ont été ajoutés et la fréquence d'enregistrement a été augmentée pour passer d'une heure à 15 minutes.

Ces deux années de suivi climatique ont permis de répondre à la question posée : aucune condensation n'a été constatée sur le vitrail ancien (face interne et externe). Les capteurs se sont révélés suffisamment fiables pour signaler des variations thermiques de l'ordre du degré ainsi que des variations d'humidité pouvant être inférieure à 1 g d'eau /kg d'air sec. Cette opération permet de prouver l'efficacité des verrières de protection en ce qui concerne la suppression de la condensation. C'est le premier cas d'expérimentation aussi satisfaisant où les différents capteurs ont été fiables. Les capteurs binaires de condensation appelés dew point sensors, mis au point pendant le projet européen VIDRIO, ont été très utiles au projet.

L'idée est actuellement à l'étude d'équiper deux panneaux de l'une des roses du bras sud du transept pour vérifier l'efficacité de la verrière de protection. En effet, les flux d'air au niveau d'un seul panneau dans une rose ou ceux sur une lancette globale regroupant plusieurs panneaux sont clairement différents. Instrumentaliser une rose serait extrêmement intéressant pour mieux comprendre les flux et en adapter les paramètres pour la verrière de protection. La décision sera prise par la DRAC, après vérification des budgets disponibles d'une telle opération sur 2 ans.

3.1.2.2. Typologie

Le type de ventilation qui est choisi doit répondre à un problème simple : éliminer la condensation qui se forme sur le vitrail ancien, et particulièrement sur sa face interne, menaçant les peintures, les émaux et les grisailles. Le banc d'essai réalisé sur les lancettes de la baie 23 du bas-côté nord et les choix qui ont été faits des deux côtés de la nef illustrent bien qu'il n'y a pas de typologie idéale de verrière de protection, qui puisse être applicable partout. En effet, chaque verrière de protection doit être adaptée à la baie qui l'accueille et prendre en compte tous ses paramètres matériels dont la solidité des vitraux et de la pierre, l'épaisseur des meneaux, la présence de chapiteaux débordants, entre autres. À Strasbourg, on trouve trois modèles qui sont tous parfaitement adaptés à la baie qui les accueille.

¹¹² LOISEL/PEREZ/GIOVANNACCI/BAUCHAU 2016, p.12

Certains paramètres sont essentiels dans la mise en place d'une protection et cristallisent les questionnements : le système de ventilation, la distance inter-verrière, le positionnement des verrières et le type de verre utilisé.

Concernant les deux premiers paramètres, la question est tranchée. Le projet VIDRIO a démontré qu'un espacement d'au moins 3,5 cm était nécessaire pour une bonne ventilation. Quant au système de ventilation, même s'il y a des divergences au niveau européen, le LRMH recommande une ventilation par l'air intérieur de l'édifice avec une aération en haut et en bas, pour permettre la création d'une lame d'air suffisante pour éviter la condensation et stabiliser ainsi les variations d'humidité et de chaleur sur les deux faces des verres.

Pour ce qui est des deux derniers paramètres, il est possible d'établir une comparaison entre les modèles de verre et entre les deux types de positionnement des verrières¹¹³.

Tableau 6 : avantages et inconvénients des deux types de positionnement

Type	Type 1 ¹¹⁴	Type 2 ¹¹⁵
Avantages	+ Aspect visuel très satisfaisant + La bavette de plomb permet de régler les problèmes de jour + Grande facilité de dépose et d'entretien	+ Le vitrail reste à sa place. + Permet de s'adapter à d'éventuels chapiteaux
Inconvénients	+ Problème de jours latéraux + Non applicable si des chapiteaux débordants sont présents à l'intérieur.	+ Aspect visuel extérieur peut être gênant (ajout d'un plan)

En France, il est important de se rappeler que l'esthétique joue un grand rôle. Dans le **tableau 6**, l'élément qui peut départager les deux types, au-delà de la particularité architecturale d'une baie, est cet élément esthétique, l'aspect extérieur, laissé à l'appréciation du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre.

¹¹⁴ Vitrail ancien décalé vers l'intérieur de l'édifice, verrière de protection dans la feuillure du vitrail ancien.

¹¹⁵ Vitrail ancien dans sa feuillure d'origine, verrière de protection décalée vers l'extérieur de l'édifice.

Tableau 7 : comparaison des différents modèles de verres utilisables dans une verrière de protection

Modèle de verre	Verre stadip	Verre mis en plomb	Verre thermoformé
Sécurité/ Résistance aux chocs	Feuilleté Sécurité maximale pour un ERP	Non feuilleté Sécurité acceptable	Feuilleté Sécurité maximale pour un ERP
Étanchéité	Optimal	Optimal si bon masticage	Optimal
Aspect extérieur	On voit le vitrail ancien Reflète en face externe	On ne voit pas le vitrail ancien Reflète modéré en raison du surcircuit Montage en plomb traditionnel	On ne voit pas le vitrail ancien Pas de reflète en face externe
Risque plomb	Pas de plomb	Présence de plomb / ruissellement des eaux de pluie	Pas de plomb

Le **tableau 7**, quant à lui, compare de manière plus précise les différents modèles de verre qui peuvent être utilisés pour des verrières de protection. Ces trois styles de verre (stadip, mis en plomb et feuilleté) remplissent les critères demandés pour une verrière de protection. Ces critères répondent à des nécessités de protection à la fois de l'œuvre, du public et de l'environnement. Dans la protection des œuvres sont détaillés l'étanchéité et l'aspect ainsi que la protection physique. Pour ce qui est de la protection du public, c'est la sécurité et la résistance aux chocs des verres qui sont mesurés. Enfin, concernant la protection de l'environnement, c'est le risque plomb qu'il faut envisager.

Ces trois types de verre peuvent donc être utilisés lors de la mise en place d'une verrière de protection. Là aussi, le choix se fait quasi-exclusivement sur l'esthétique, à l'appréciation du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre. Le verre stadip, très apprécié en Allemagne et en Belgique, permet une transparence et une honnêteté déontologique. La verrière ne cache pas le vitrail et il est évident aux yeux de celui qui regarde l'édifice de l'extérieur qu'il s'agit d'un élément rajouté. Les verres mis en plomb et thermoformé se veulent, quant à eux, beaucoup plus discrets. Ils veulent donner l'illusion que la verrière est en fait le vitrail et ainsi retrouver

l'harmonie de l'architecture globale. L'aspect financier peut également entrer en compte dans ce choix, même si la différence de prix au m² reste assez faible.

La cathédrale Notre-Dame de Strasbourg est donc une vitrine des recherches menées sur les verrières de protection depuis le début des années 2000 et continue d'être un lieu d'expérimentation car d'autres chantiers sont encore prévus dans les années à venir.

3.2. Principe exemplaire de Conservation Préventive

Les verrières de protection s'inscrivent dans une démarche globale de conservation préventive des Monuments Historiques. Elles permettent de proposer des solutions à trois grands problèmes qui illustrent actuellement les problématiques de la conservation préventive : la gestion du climat, l'anticipation des risques et le développement durable.

3.2.1. Gestion du climat

La gestion du climat est un élément essentiel de la conservation préventive. Elle permet d'améliorer les conditions de conservation des œuvres sans intervenir dessus et correspond donc par essence à la définition de la conservation préventive. S'il est plus facile de gérer le climat mécaniquement dans un milieu dont l'environnement peut être régulé, le principe d'action des verrières de protection prouve qu'il est également possible de créer un climat autour d'un vitrail, dans un environnement non-régulé. La verrière de protection permet de mettre le vitrail dans des conditions quasi muséales, comme s'il était exposé à l'intérieur de l'édifice qui l'accueille.

3.2.2. Anticipation des risques

Un autre élément essentiel dans la conservation préventive est l'anticipation des risques. Les verrières de protection s'insèrent dans cette problématique de deux manières. La première concerne l'anticipation des risques vis-à-vis du public. C'est là qu'interviennent les normes ERP (Etablissement Recevant du Public). En effet, les édifices habilités à recevoir du public sont dans l'obligation d'assurer sa sécurité. Dans une note¹¹⁶, envoyée le 24 mai 2007 à l'atelier Alliou, Isabelle Pallot-Frossard¹¹⁷ rappelle cela et explique l'obligation d'utiliser du verre feuilleté et non trempé pour les verrières de doublage situées en hauteur.

Au-delà du public, ce sont aussi les œuvres qu'il s'agit de protéger. Dans le cadre du plan ORSEC du Code de la Sécurité Intérieure¹¹⁸, «il est demandé à tous les chefs d'établissements culturels et aux conservateurs des cathédrales de réaliser leur plan de

¹¹⁶ Cf. Annexes, Figure 22

¹¹⁷ Alors directrice du LRMH

¹¹⁸ Code de la sécurité intérieure Art.L.741-1 et Art.R.741-1

sauvegarde des biens culturels, qui sera le document opérationnel en situation d'urgence »¹¹⁹. Ce plan de sauvegarde consiste en une série de mesures de prévision opérationnelle. Son élaboration passe par l'analyse des risques internes et externes pouvant affecter le bâtiment et l'élaboration de tous les scénarios de dégradation. Ainsi, en anticipant les risques, il est possible de mettre en place un protocole pour en minimiser les dégâts. Il existe de nombreuses façons de réaliser un tel document, mais certains *vademecum* ont été édités, comme celui de la DRAC de Midi-Pyrénées en 2015¹²⁰.

Au sein de ce Plan de Sauvegarde des Biens Culturels, les verrières de protection jouent un rôle particulier. Les vitraux protégés par une verrière de protection sont beaucoup plus faciles à déposer. Il n'y a plus de calfeutrement et chaque panneau, souvent bien renforcé dans un cadre en laiton ou par un plomb d'entourage armé est facilement manipulable. Cette aisance de dépose est généralement aidée par une nouvelle serrurerie, pensée pour fluidifier de futures manipulations. S'il est bien évident qu'une dépose en urgence ne pourra se faire lors de catastrophes naturelles telles un incendie ou une inondation¹²¹, cette facilité peut être très utile en temps de guerre, dans le cas d'une catastrophe naturelle pouvant être devancée, ou dans le cadre d'une dépose préventive. La présence d'une verrière de protection est donc un élément positif lorsqu'il s'agit d'établir un Plan de Sauvegarde des Biens Culturels.

3.2.3. Développement durable

Cette présence s'inscrit également dans une démarche de développement durable. Cette notion a été définie dans le rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, dit rapport Brundtland. C'est la première occurrence de l'expression. Il y est dit que le développement durable est un « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins »¹²². Si cette dynamique de prise en compte du temps long s'applique particulièrement à l'écologie, elle correspond tout à fait aux prérogatives de la conservation préventive. La notion de développement durable en conservation préventive est liée à l'anticipation des risques.

En effet le principe de la verrière de protection propose une protection à la fois immédiate et à long terme des vitraux et surtout permet une restauration plus en profondeur et donc moins fréquente. Allonger le temps nécessaire entre deux restaurations permet également de réduire les coûts, la manipulation des œuvres, les interventions de restauration.

¹¹⁹ Directive Nationale d'Orientation 2016-2017

¹²⁰ Vademecum DRAC Midi-Pyrénées 2015

¹²¹ La dépose prend tout de même plusieurs heures par panneau.

¹²² https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9veloppement_durable

Les verrières de protection répondent donc aux grandes problématiques de la conservation préventive que sont la gestion du climat, l'anticipation des risques et le développement durable. Elles prouvent qu'il est possible de mettre en place des mesures de conservation préventive dans un milieu non régulé.

3.3. Suites et perspectives

3.3.1. Limites des verrières de protection

Il existe toutefois toujours des parts d'ombre concernant les verrières de protection. Il ne s'agit pas d'une solution miracle et ce dispositif doit lui aussi passer l'épreuve du temps. En effet, les étapes d'entretien pour les vitraux comme pour tout monument historique sont essentielles. Il est essentiel de prévoir dans la continuité d'une restauration des budgets d'entretien et de surveillance pour assurer la conservation. En comparaison, un modèle de verre mis en plomb demander un entretien plus fréquent qu'un modèle de verre thermoformé. Le projet européen VIDRIO n'avait pas pour but d'évaluer leur durabilité (le laps de temps depuis leur installation étant trop court) mais leur efficacité. Après un certain nombre d'années passées *in situ*, il conviendrait de réaliser une étude sur l'évolution de ces verrières et notamment celle de la serrurerie. En effet, certains métaux actuellement utilisés pour fabriquer les serrureries de verrières de protection (comme le laiton Haute résistance BL2) n'ont été que peu étudiés, notamment du point de vue du vieillissement et des altérations.

Au-delà de la durabilité, une autre question se pose sur la masse que représente ces verrières sur l'architecture qui les accueille. En effet la pose d'une verrière de protection équivaut à doubler le poids des verrières. S'il est bien évident que la fragilité de l'édifice est estimée avant la pose, aucune étude n'a pour l'instant été menée après la pose, pour déterminer l'impact de ce poids supplémentaire sur la maçonnerie. Un projet sur des études de structure pourrait être très intéressant même si chaque cas est différent.

Enfin il faut considérer les dérives de la technique elle-même. Il a été prouvé que la technique est efficace si on utilise les bons paramètres. Cependant, dans certains édifices, des verrières de protection ont été mises en place sans consulter de spécialistes. Il en découle des verrières sans aération ou non étanches, qui permettent la prolifération de plantes ou de micro-organismes comme c'est le cas à l'église de Fontfroide.

3.3.2. Informer et collaborer avec les professionnels

Plusieurs solutions s'offrent pour démocratiser l'usage des verrières de protections et en diffuser les bonnes pratiques. L'enjeu est d'informer de manière satisfaisante les responsables

d'édifices protégés et de les enjoindre à collaborer au travail de diffusion. Cette étude théorique sur les verrières de protection est en train d'être complétée par la création d'une fiche technique normalisée, un récolement des données techniques des systèmes d'installation de verrières de protection sur les monuments en France et la rédaction d'un cahier technique à destination des responsables d'édifices protégés.

3.3.2.1. Elaboration d'une fiche technique

Il peut donc exister un nombre quasi illimité de verrières de protection. Elles sont toutes uniques car chaque vitrail dans son architecture est unique. Cette unicité ainsi que la multitude de paramètres qui la compose rendent l'élaboration de typologies complexe. Etablir des typologies pourrait servir au rôle de conseil du laboratoire de recherche des monuments historiques. Aux yeux des acteurs de la protection des vitraux une typologie est un modèle une base, plus facile à prendre en main qu'une liste de paramètres à mettre en œuvre.

Dans le cadre de ce stage, la solution trouvée a été d'établir une fiche technique¹²³ vierge, comportant les dix paramètres caractéristiques. Cette fiche serait remplie à chaque nouvelle pose de verrières de protection et conservée pour former une base de données présentant les différents cas de figure.

Elle contient un certain nombre de champs à compléter. On y trouve un plan de l'édifice concerné sur lequel il est possible de localiser la verrière pour laquelle la fiche est faite ainsi que deux cadres. Le premier cadre est une sorte de fiche d'identité de la verrière de protection : édifice, localisation, date de mise en place, maîtrise d'ouvrage. Le deuxième cadre reprend tous les paramètres détaillés ci-avant et inclus, à la fin, des éléments d'études antérieurs ou postérieurs à la pose : banc d'essai et suivi climatique. Deux rubriques permettent d'ajouter des illustrations et des remarques. Enfin un dernier cadre permet d'identifier rapidement quel atelier a mis en place ces verrières¹²⁴. Il est important de noter que c'est rarement le même atelier qui prend en charge la restauration des vitraux et la réalisation des verrières de protection. Cela dépend de la taille du projet.

L'utilisation de cette fiche, transmise aux Directions Régionales des Affaires Culturelles, devrait être automatisée et intégrée au DDOE. Les nouvelles fiches participeraient ainsi activement à compléter le recensement actuellement en cours.

¹²³ Cf. Annexes, Figure 28

¹²⁴ Il est important de noter que c'est rarement le même atelier qui réalise la restauration des vitraux et l'exécution et la mise en place des verrières de protection.

3.3.2.2. *Projet de recensement*

L'objectif est de créer une carte¹²⁵ et une base de données regroupant toutes les verrières de protection mises en place sur les églises de France. Ce récolement est une tâche très complexe. En effet, si les fiches techniques permettront de garder une trace des verrières nouvellement posées, toutes les verrières antérieures sont difficilement documentées.

Plusieurs démarches ont été employées dans ce but. La première a été de demander aux DRAC un relevé de toutes les opérations avec les types et modèles de verrière. La même démarche a été faite auprès des maître-verriers et ce sont eux qui ont apporté le plus de détails. La seconde solution est de s'intéresser aux DDOE (Dossier Documentaire des Ouvrages Exécutés), produits par les maîtres d'œuvres en collaboration avec les prestataires ayant œuvré sur le chantier. Ces dossiers ont pour but de documenter le projet et le chantier et contiennent de nombreux détails techniques. Le problème qui se pose est qu'il faut connaître l'existence d'une verrière de protection avant de pouvoir en consulter le dossier, ce qui réduit les recherches.

Un début de recensement a donc été possible via les listes fournies par les maître-verriers et a permis la réalisation d'une ébauche de carte interactive, présentée en **figure 9**. Réalisée avec l'outil My Maps de Google, elle permet, pour chaque édifice qui présente une verrière de protection, de connaître, la baie sur laquelle elle se trouve, l'année de sa mise en place, le modèle de verrière et l'atelier qui en est à l'origine. Plusieurs filtres seront sélectionnables pour classer les verrières : par type, suivant l'atelier qui les a réalisées, par modèle de verres.

¹²⁵ Cf. Annexes, Figure 30

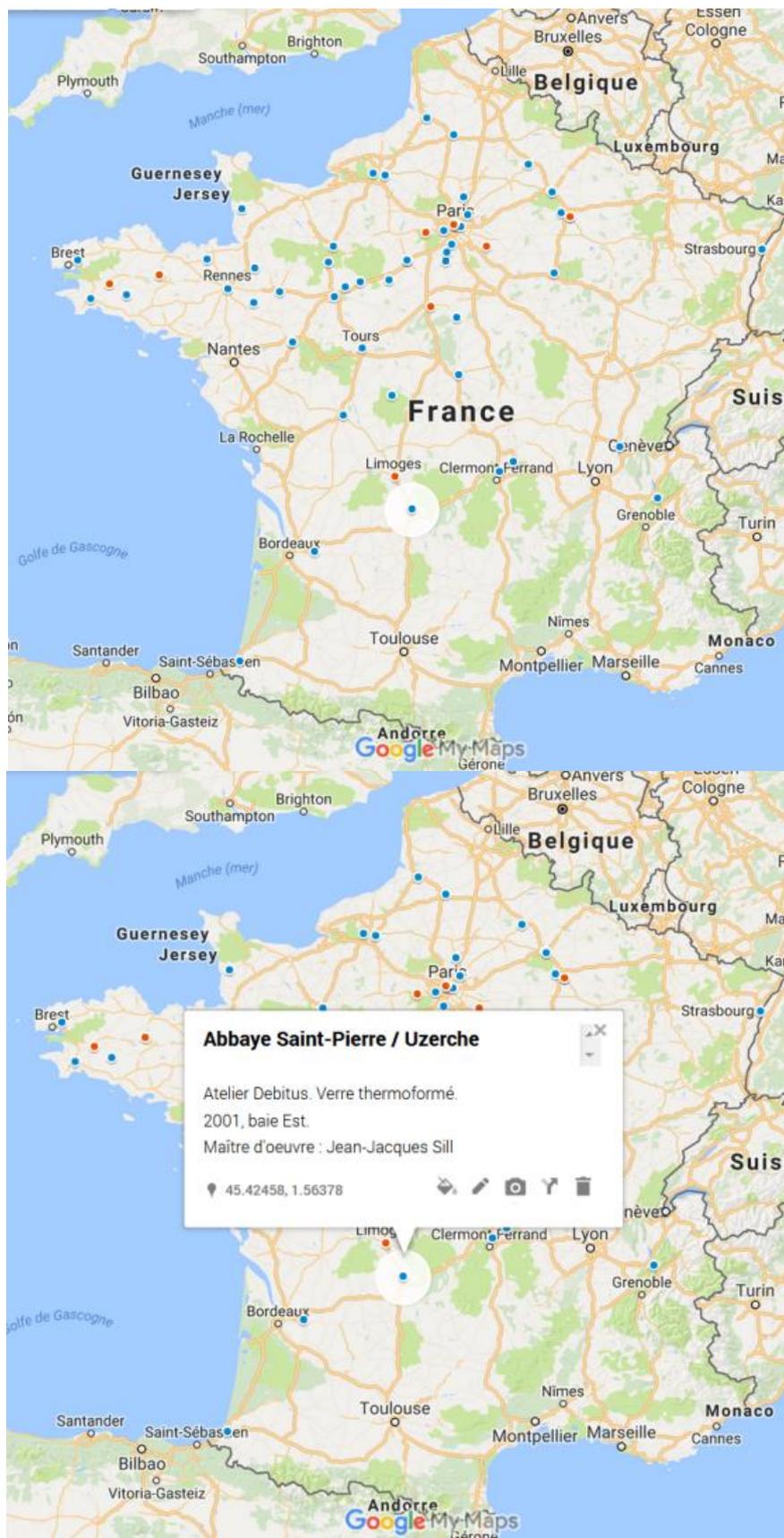


Figure 9 : carte interactive des édifices religieux français abritant une ou plusieurs verrières de protection

Source : © LRMH, Adèle Rellier, 2018

3.3.2.3. Etablissement d'un cahier technique

Ce recensement va servir à l'élaboration d'un cahier technique sur les verrières de protection, présenté comme un guide des bonnes pratiques à l'usage notamment des responsables d'édifices. Le LRMH et le Cercle des Partenaires du Patrimoine ont déjà édité sur ce modèle plusieurs cahiers techniques¹²⁶. Il proposera plusieurs axes qui pourront regrouper un historique des verrières de protection, un résumé des facteurs d'altération des vitraux, les différents modèles de verrières et leur principe d'action (quel choix des matériaux), une aide à la décision comprenant le recensement et des présentations de configuration possible et enfin des conseils sur comment aborder un projet de mise en place de verrières de protection .

Cette étude très théorique va donc être complétée par plusieurs réalisations qui ont pour but de démocratiser et de normaliser l'utilisation des verrières de protection, et par leur biais, d'amener les responsables des monuments historiques à considérer de façon plus automatique la conservation préventive des édifices dont ils ont la charge.

¹²⁶ Voir La protection des pierres. Guide sur les hydrofuges de surface, Cercle des Partenaires du patrimoine, avril 2000 & Le nettoyage des bétons anciens. Guide des techniques et aide à la décision, Cercles des Partenaires du patrimoine, décembre 2009

Conclusion

L'étude des verrières de protection de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg a permis de synthétiser les réponses aux problématiques inhérentes à la pose de verrières de protection.

Les verrières de protection s'intègrent dans une longue tradition de protection des vitraux mais ce n'est que tardivement qu'elles ont été utilisées en France. Dans l'hexagone, les réticences sont essentiellement déontologiques car la législation ne limite pas la pose de verrières de protection. Cela rend donc extrêmement important le dialogue avec les responsables d'édifice et les restaurateurs. La déontologie de la restauration est toujours en évolution et bien qu'elle prône, depuis le début du XXI^e siècle, la lisibilité, la réversibilité et la compatibilité, l'esthétisme y aura toujours sa place. Il appartient donc au responsable de s'accorder plus ou moins à cette déontologie. Il prend la responsabilité du choix de la protection.

Il est extrêmement rare de monter un projet uniquement pour mettre en place des verrières de protection. Ces dernières sont le plus généralement, une mesure de conservation préventive qui s'ajoute à un chantier de restauration. Dans ce cadre, l'importance de la collaboration est essentielle. La bonne entente de tous les participants au chantier est nécessaire dans une optique de conservation. En effet si les acteurs du chantier (architecte, restaurateur, scientifiques et historiens) jouent un rôle important sur le terrain et que la DRAC porte le projet, l'implication de relais locaux tels la municipalité ou les associations ecclésiastiques est essentielle pour les missions de suivi, de maintenance et de valorisation qui doivent nécessairement suivre un projet de restauration.

L'adaptabilité et la collaboration sont donc deux éléments essentiels car ce sont ces acteurs qui participent au choix des paramètres de la verrière de protection. Ils dépendent des partis pris scientifiques, des possibilités financières, du profil du bâtiment et de l'esthétisme recherché.

S'il est impossible de détailler des typologies car il existe un grand nombre de modèles de verrières de protection, il faut retenir que chaque baie est unique et que chaque verrière doit être adaptée à l'architecture de la baie qui l'abrite. La grande diversité de l'architecture religieuse française implique d'adapter systématiquement les paramètres d'installation d'une verrière de protection. Ce dispositif propose une protection à la fois immédiate et à long terme des vitraux. Il répond aux grandes problématiques de la conservation préventive que sont la gestion du climat, l'anticipation des risques et le développement durable et prouvent qu'il est

possible de mettre en place des mesures de conservation préventive dans un milieu non régulé.

Cette étude théorique va être complétée par une fiche technique normalisée, destinée à être remplie à chaque pose d'une nouvelle verrière de protection, mais également un cahier technique, présenté comme un guide des bonnes pratiques à destination des architectes, conservateurs, restaurateurs et agents des DRAC. Tout cela a pour but de démocratiser et de normaliser l'utilisation des verrières de protection, et d'amener à une considération plus automatique de la conservation préventive des édifices protégés au titre des monuments historiques. Cette visualisation de l'ensemble des verrières de protection posées sur le territoire français sera également un moyen de mettre en lumière l'action de l'État et de ses administrations déconcentrées. En effet, la majorité des opérations de restauration sur des vitraux protégés au titre des monuments historiques sont aujourd'hui accompagnées d'une pose de verrières de protection.

Table des illustrations

Figure 1 : schéma de composition d'une verrière.....	11
Figure 2 : logigramme de la chaîne opératoire d'un projet de restauration.....	32
Figure 3 : Laon, cathédrale : Rose Est, XIII ^e siècle, verre mis en plomb.....	37
Figure 4 : sainte-chapelle de Paris : Rose, XV ^e siècle	38
Figure 5 : plan de situation des vitraux de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg	41
Figure 6 : différentes propositions de verrières de protection sur la baie 23.....	43
Figure 7 : détail de la verrière de protection entre les baies 28 et 30, autour du chapiteau,.....	45
Figure 8 : panneau d'une des roses du bras sud du transept,.....	46
Figure 9 : carte interactive des édifices religieux français abritant	57

Bibliographie

Du fait du grand nombre de rapports scientifiques et d'articles qui ont dû être consultés pour la rédaction de ce mémoire, il a semblé plus simple d'organiser cette bibliographie de manière typologique. Seront donc distingués les ouvrages ; les articles de périodiques, rapports scientifiques et actes de colloque et les travaux de recherche. Dans ces trois catégories, les documents sont organisés par ordre alphabétique des auteurs.

Ouvrages :

AUBERT/GRODECKI/LAFOND/VERRIER 1959

Aubert, M., GRODECKI, L., LAFOND, J. et VERRIER, J., *Les Vitraux de Notre-Dame et de la Sainte-Chapelle de Paris*, Paris, Corpus Vitrearum-France, monographie, I, 1959, p. 73. (cité d'après Morand, S.-J., /Histoire de la Sainte-Chapelle royale du palais/, Paris, 1790, pièces justificatives p. 6 et 11).

BADY/CORNU/FROMAGEAU/LENIAUD/NEGRY 2013

BADY, Jean-Pierre, CORNU, Marie, FROMAGEAU, Jérôme, LENIAUD, Jean-Michel et NEGRI, Vincent, *1913 Genèse d'une loi sur les monuments historiques*, Paris, La documentation Française, 2013, 602 p.

BEYER/WILD-BLOCK/ZSCHOKKE 1986

BEYER, Victor, WILD-BLOCK, Christiane, ZSCHOKKE, Fridtjof, *Les Vitraux de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg*, Corpus Vitrearum France – Volume IX-1, Paris, Editions du CNRS, 1986, 593 pages

CENTRE DE RECHERCHE ET DE RESTAURATION DES MUSEES DE FRANCE 2006

CENTRE DE RECHERCHE ET DE RESTAURATION DES MUSEES DE FRANCE, *Vademecum de la conservation préventive*, Paris, Editions du C2RMF, 2006, 48 p.

CHOAY 2009

CHOAY, Françoise, *Le Patrimoine en question : Anthologie d'un combat*, Paris, Editions Seuil, 2009, 215 p.

FILTZ 1997

FILTZ, Jean-Florent, *Conservation commune d'un patrimoine commun* [Texte imprimé] / 2e colloque du Programme franco-allemand de recherches pour la conservation des monuments historiques, Bonn, 12-13.12.1996, Champs-sur-Marne : Programme franco-allemand de recherche pour la conservation des monuments historiques, 1997

LAFOND 1978

LAFOND Jean, *Vitrail, Origines, Techniques et Destinées*, Paris, Editions Fayard, 1978, 246 p.

LECOQ/VANDEN BEMDEN 2010

LECOQ, Isabelle, VANDEN BEMDEN, Yvette, *La Conservation et la restauration des vitraux, recommandations pour l'élaboration d'un cahier des charges*, Bruxelles, Dossier de la Commission Royale des Monuments, sites et fouilles, 13, 2010, 154 pages

PALLOT-FROSSARD 2004/1

PALLOT-FROSSARD Isabelle. *Manuel de conservation, restauration et création de vitraux*. Paris : ministère de la Culture et de la Communication, direction de l'Architecture et du Patrimoine, sous-direction des Monuments historiques et des espaces protégés, mission ingénierie et références techniques, 2006. <http://www.culture.gouv.fr/culture/min/index-min.htm>

RIEGL 1903

RIEGL, Alois, *Le Culte moderne des monuments : sa nature et ses origines*, traduit de l'allemand par Matthieu Dumont et Arthur Lochmann, paru à Vienne, W.Braumüller Verl., 1903, 110 p.

VIOLLET-LE-DUC 1868

VIOLLET-LE-DUC, Eugène, *Dictionnaire raisonné de l'architecture*, paru à Paris, Editions Bance, 10 tomes, 1854 – 1868

Articles de périodiques, Rapports scientifiques et actes de colloque :

« Conservation of stained glass windows with protective glazing: Main results from the European VIDRIO research programme » in *Journal of Cultural Heritage*, n°14, 2013

« Directives pour la conservation et la restauration des vitraux », approuvées par l'Assemblée Générale du Corpus Vitrearum international, lors du XXIIème colloque tenu à Nuremberg, le 1^{er} septembre 2004

BARLEY 1994

BARLEY, Keith C., « Practical experience of isothermal glazing » in NewsLetter du Corpus Vitrearum Medii Aevi, juillet 1994, n°45, p. 26-28

BAUDOIN 1991

BAUDOIN, Isabelle, « Restaurations françaises et anglaises : quelques réflexions » in *Vitrea*, 1991, n°7, vol.II, p 73-83

BETTEMBOURG 1994

BETTEMBOURG, Jean-Marie, « La restauration et la conservation des vitraux » in *La Recherche*, 1994, vol. 25, n°262, p.108

BETTEMBOURG/BURCK 1976

BETTEMBOURG, Jean-Marie, BURCK, Jean-Jacques, « Protection des verres de vitraux contre les agents atmosphériques. Etude de films et résines synthétiques » in *Verres et Réfractaires*, vol. 30, n°1, janvier-février, 1976, p.87-91

BETTEMBOURG/BURCK 1993

BETTEMBOURG, Jean-Marie, BURCK, Jean-Jacques, « Conservation des vitraux par une verrière extérieure » in *Stained Glass, Conservation of monumental stained and painted glass*, 10^{ème} Assemblée Générale du Comité Scientifique International de l'ICOMOS, 1993, ed.Ernst Bacher, 277 p.

BETTEMBOURG/BURCK/PETIT 1988

BETTEMBOURG, Jean-Marie, BURCK, Jean-Jacques, PETIT, Michel, « Conservation des vitraux par une verrière extérieure » in NewsLetter du Corpus Vitrearum Medii Aevi, 1988, n°41/42, p.7-12

BETTEMBOURG/PINTO 1988

BETTEMBOURG, Jean-Marie, PINTO, Anne, « Strasbourg. Cathédrale Notre-Dame : étude de panneaux de vitraux de la nef (nord). », Rapport LRMH n°224D du 7 juillet 1988, 18 p.

BLAINE CLIVER 1993

BLAINE CLIVER, E., « Les conditions climatiques à l'intérieur des Monuments Historiques : pour une approche rationnelle », in « Meubles et immeubles : actes / des colloques de la Direction du patrimoine, abbaye aux Dames de Saintes, 26-28 novembre 1992 », *Entretiens du Patrimoine*, Paris : Ministère de la culture et de la francophonie, 1993, p. 96-101

CAILLAULT 2015

CAILLAULT, Pierre-Yves, « Les vitraux de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg. Présentation d'un état des lieux et des perspectives annoncées » in *Le Vitrail : comment prendre soin d'un patrimoine fragile ?*, 9^{ème} forum sur la conservation et la technologie du vitrail, Paris, 8-10 juillet 2015, ICOMOS, Corpus Vitrearum Medii Aevi, LRMH, p.117-123

CHOSSENOT 2015

CHOSSENOT, Raphaëlle, « Les pratiques d'entretien, de conservation et de restauration analysées d'après les comptes de la fabrique de l'église Notre-Dame de Mézières (Ardennes, XV^e-XV^e siècles) » in *Le Vitrail : comment prendre soin d'un patrimoine fragile ?*, 9^{ème} forum sur la conservation et la technologie du vitrail, Paris, 8-10 juillet 2015, ICOMOS, Corpus Vitrearum Medii Aevi, LRMH, p.14-18

EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012 1:1

EDAINE, Jennifer, LOISEL, Claudine, GERONAZZO, Delphine, PALLOT-FROSSARD, Isabelle, « Polyurethane polymer used as coating : Bourges – France – Saint-Etienne Cathedral – Choir – Bay 4 – The Last Judgment – 13th century » in EU-Project CONSTGLASS n°044339, Conservation Materials for Stained Glass Windows. Assessment of Treatments, Studies on Reversibility, and Performance of Innovative Restoration Strategies and Products. Final Report 1/4, 2012, 22 p.

EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012 1:2

EDAINE, Jennifer, LOISEL, Claudine, GERONAZZO, Delphine, PALLOT-FROSSARD, Isabelle, « Polyurethane polymer used as coating : Chartres – France – Notre-Dame Cathedral – Aisle – Bays 37, 42, 50 – 12th and 13th century » in EU-Project CONSTGLASS n°044339, Conservation Materials for Stained Glass Windows. Assessment of Treatments, Studies on Reversibility, and Performance of Innovative Restoration Strategies and Products. Final Report 1/4, 2012, 42 p.

EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012 1:3

EDAINE, Jennifer, LOISEL, Claudine, GERONAZZO, Delphine, PALLOT-FROSSARD, Isabelle, « Polyurethane polymer used as coating :Le Mans – France –Saint-Julien Cathedral – Nave – Bays XVI – The Ascension – 12th century » in EU-Project CONSTGLASS n°044339, Conservation Materials for Stained Glass Windows. Assessment of Treatments, Studies on Reversibility, and Performance of Innovative Restoration Strategies and Products. Final Report 1/4, 2012, 33 p.

EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012 2:1

EDAINE, Jennifer, LOISEL, Claudine, GERONAZZO, Delphine, PALLOT-FROSSARD, Isabelle, « Bourges – 18, Cher (Centre) – Cathédrale Saint-Etienne – Chœur, baie 4, vitraux (XIII^{ème} siècle) – Polymère polyuréthane utilisé comme revêtement protecteur », Rapport LRMH n°283G, 3 septembre 2012, 22 p.

EDAINE/GERONAZZO/LOISEL/PALLOT-FROSSARD 2012 2:2

EDAINE, Jennifer, LOISEL, Claudine, GERONAZZO, Delphine, PALLOT-FROSSARD, Isabelle, « Chartres – 28, Eure-et-Loir (Centre) – Cathédrale Notre-Dame – Bas-côtés – Baies 37 et 42 (vitraux XIII^{ème}) et façade ouest, baie 50 (vitraux XII^{ème}) – polymère polyuréthane utilisé en consolidant et collage silicone », Rapport LRMH n°131K, 3 septembre 2012, 42 p.

ETCHEVERRY 2004

ETCHEVERRY, Marie-Pierre, « VIDRIO, un programme européen de conservation des vitraux, 2002-2005 » in *Monumental*, 2004/1, 2004, Editions du Patrimoine, p.100

GILBERG/REILLY/VOGEL 2002

GILBERG, M., REILLY, S., VOGEL, N., « Analyzing the impact of protective glazing on stained glass windows » in *Studies in Conservation*, Volume 47, Number 3, (2002) Ed. Edinburgh T. Nelson and Sons, p.161-174

KAGAN 2011

KAGAN, Judith, « Quelle politique de conservation préventive pour le patrimoine mobilier dans les monuments historiques ? » in *Monumental*, 2011 : 1, p 34-37

LAUTIER 2011

LAUTIER, Claudine, « Restaurations récentes à la cathédrale de Chartres et nouvelles recherches » in *Bulletin monumental*, Paris, Société française d'archéologie, t. 169-1, 2011, 9 p.

LEISSNER/FUCHS 1993

LEISSNER, J., FUCHS, D.R., « Glass sensors : a European study to estimate the effectiveness of protective glazing at different cathedrals », *Stained Glass : conservation of monumental stained and painted glass*, comité technique du Corpus Vitrearum, comité international de l'ICOMOS, 10ème assemblée générale à Colombo, 30 juillet – 4 août 1993, p. 264-274

LOMBARDO/GENTAZ/LOISEL 2015

LOMBARDO Tiziana, GENTAZ Lucie, LOISEL Claudine, *Altération des verres : cas des vitraux du Moyen Âge*, Paris in *Techniques de l'ingénieur*, Paris, 2015, p.23

LOISEL/GERONAZZO 2008

LOISEL, Claudine, GERONAZZO, Delphine, « Le Mans – 72, Sarthe (Pays-de-la-Loire) – Cathédrale Saint-Julien – Nef – Baie XVI – L'Ascension – Vitrail XIIème siècle – État sanitaire et préconisation pour l'élimination et la re-traitabilité du polyuréthane « Viacryl » », Rapport LRMH n°348F, 17 mars 2008, 28 p.

LOISEL/PEREZ/GIOVANNACCI/BAUCHAU 2016

LOISEL, Claudine, PEREZ, Anne, GIOVANNACCI, David, BAUCHAU, Fanny, « Strasbourg – 67, Bas-Rhin, Cathédrale Notre-Dame, nef, baie 26 : vitraux (XIIIème siècle). Instrumentation de la baie 26 et de sa verrière de protection. Synthèse des données climatiques », Rapport LRMH n°224F, 1^{er} juillet 2016, 50 p.

LOISEL/TRICHEREAU

LOISEL, Claudine, TRICHEREAU, Barbara, « Research applied to the conservation-restoration of stained glass windows: leading role of the LRMH », Paris, à paraître, 12 p.

MARABELLI/SANTOPADRE/VERITA 1993

MARABELLI, M., SANTOPADRE, P., VERITA, Marco, « Influence of the external protective glazing upon conservation of the medieval stained glass window in Orvieto cathedral » in *Rivista della stazione sperimentale del vetro*, n°3, 1993, p. 63-85

NEWTON 1974

NEWTON, Roy, « Isothermal glazing », in NewsLetter du Corpus Vitrearum Medii Aevi, n°7, York, Mai 1974, p. 4-10

NEWTON 1980

NEWTON, Roy, « A study of conditions in five ventilated double windows in cathedrals », Conservation within historic buildings, pre-prints of the contributions to the Vienna Congress, IIC, 7- 13 septembre 1980, p.89-95

PALLOT-FROSSARD 2007

PALLOT-FROSSARD, Isabelle, « Les conclusions du programme européen VIDRIO sur la protection des vitraux par verrière extérieure » in *Monumental*, 2007/2, 2007, Editions du Patrimoine, p 114-123

PALLOT-FROSSARD 2004/2

PALLOT-FROSSARD, Isabelle, « Petite histoire des verrières de protection » in *Monumental*, 2004/1, 2004, Editions du Patrimoine, p 90-100

PALLOT-FROSSARD/ETCHEVERRY 2005

PALLOT-FROSSARD, Isabelle, ETCHEVERRY, M.-P., « Case studies : the stained glass windows of two major monuments of French gothic architecture monitored in the framework of VIDRIO EU programme », in *Rivista della stazione sperimentale del vetro*, n°3-2005, Venise, 2005, p. 11-18

PALLOT-FROSSARD/BELLENDORF/BRINKMAN/JACOBS/CAEN/**TRÜMPLER/WARSCHEID 2011**

PALLOT-FROSSARD, Isabelle, BELLENDORF, Paul, BRINKMAN, Ulrike, JACOBS, Patric, CAEN, Joost, TRÜMPLER, Stefan, WARSCHEID, Thomas, « Le projet européen Constglass: Les techniques de restauration des vitraux à l'épreuve du temps » in *Monumental*, 2011/2, Editions du Patrimoine, p.80-89

PETIT 1991

PETIT, Michel, « La protection d'un vitrail de la cathédrale de Sées par double verrière » in *Vitrea*, n°7, II, 1991, p. 97-100

RÖMICH 2004

RÖMICH, Hannelore, « Evaluation of protective glazing systems [ressource électronique], données textuelles et iconographiques », Morana, 2004, ex. de : ePRESERVATIONScience, 2004, vol.1, p.1-8

SAINT-JOUAN 2004

SAINT-JOUAN, Arnaud de, « Quelques exemples de mise en œuvre de verrières de doublage : cathédrale Saint-Gatien (Tours) » in *Monumental*, 2004/1, p.101

SCHMUKLE-MOLLARD/PIECHAUD/POINSOT/GATOULLAT/LOISEL/PAROT 2012

SCHMUKLE-MOLLARD, Christiane, PIECHAUD, Simon, POINSOT, Gilbert, GATOULLAT, Françoise, LOISEL, Claudine, PAROT, Alain, « Strasbourg. Cathédrale Notre-Dame. Restauration des vitraux du bas-côté sud » in *Patrimoine restauré d'Alsace*, n°16, septembre 2012, I.D l'Édition, 26 p.

SCHOENSTEIN 2011

SCHOENSTEIN, F., « La protection des objets mobiliers au titre des Monuments Historiques en France, évolution du droit et de la politique de protection », in *Monumental*, juin 2011, p.10

TRÜMPLER 1998

TRÜMPLER, Stefan, « Experience with protective glazing in Switzerland » in NewsLetter du Corpus Vitrearum Medii Aevi, n°41/42, 1998, p.19-21

WOLKOWITSCH 1993

WOLKOWITSCH, Gilles, « Distinction entre les meubles, les immeubles et les immeubles par destination dans la législation sur les Monuments Historiques », in « Meubles et immeubles : actes / des colloques de la Direction du patrimoine, abbaye aux Dames de Saintes, 26-28 novembre 1992 », *Entretiens du Patrimoine*, Paris : Ministère de la culture et de la francophonie, 1993, p. 31-34

Travaux de recherche :

BUDIN 2015

BUDIN, Mélanie, *La Conservation préventive des cheminées dans les châteaux et dans les demeures historiques: état des lieux et préconisation pour un élément trop souvent oublié*, sous la direction de Florence Bertin et de Geneviève Rager, École du Louvre, 2015, 66 p.

CUZANGE 1999

CUZANGE, Laurence, *Les Plombs anciens des vitraux : caractérisation et typologie*, Mémoire de maîtrise de sciences et techniques en Conservation-restauration des biens culturels, Université Paris I, 1999, 118p.

COLIN 2015

COLIN, Benoit, *Les Sibylles : étude historique, iconographique et des problématiques de conservation-restauration du cycle mural peint conservé dans la chapelle Saint-Eloi, en l'église Notre-Dame, cathédrale d'Amiens*, sous la direction d'Isabelle Pallot-Frossard, École du Louvre, 2015, 66 p.

DESBANS 2017

DESBANS, Elizabeth, *Conservation des Monuments Historiques non régulés artificiellement en France : Histoire des études climatiques de 1960 à nos jours*, sous la direction de Stéphanie Celle, École du Louvre, 2017, 74 p.

DUCROS 2015

DUCROS, Simon, *Les Vitrines-trésors des églises du Limousin : étude du contexte historique et des conditions de conservation*, sous la direction d'Isabelle Pallot-Frossard, École du Louvre, 2015, 77 p.

MASSON 1995

MASSON Géraldine, *Composition, altérations et conservation des vitraux du Moyen Age*, DESS de traducteur de l'École supérieure d'interprètes et de traducteurs, Paris, 1995, 182p.

RIANT 2014

RIANT, Elise, *La Conservation préventive des peintures murales dans les églises de Paris*, sous la direction de Florence Bertin, École du Louvre, 2014, 60 p.

Textes de Loi et directives ministérielles :

Code du patrimoine, 2004, Livre VI

Art. L.622-1

Art. L.622-20

Le plan de sauvegarde des œuvres, Vade-mecum, Direction Générale des Patrimoines, Département de la Maîtrise d’Ouvrage, de la Sécurité et de la Sûreté, Ministère de la Culture et de la Communication, juin 2013

Le plan de sauvegarde des biens culturels, Directive du Ministère de la Culture et de la Communication, Direction Générale des Patrimoines, 2016

Circulaire relative à la maîtrise d’œuvre des travaux sur les monuments historiques classés et inscrits, Ministère de la Culture et de la Communication, 1^{er} décembre 2009

Brevets :

SARL d’exploitation des Ateliers HERVE DEBITUS. *Procédé de fabrication de verrières de protection pour vitraux incluant une étape de thermoformage et une étape de dépolissage avec un abrasif*. Inventeur : Hervé DEBITUS. Déposé le 08/02/2013. France, brevet : FR1351107. Institut national de la propriété intellectuelle, consulté le 26/02/2018. Disponible à l’adresse : <https://bases-brevets.inpi.fr/fr/document/FR3001918.html?s=1519648343879&p=5&cHash=1fef13a9af3b0641575fed11e0b29db>

Webographie :

Atelier VitrailFrance :

<http://www.vitrailfrance.com/protectiondeverrieres.html>

(consulté le 8/02/2018)

Atelier Debitus :

<http://www.debitus.com/>

(consulté le 8/02/2018)

Atelier Parot :

<http://www.atelier-parot.fr/>

(consulté le 8/02/2018)

Manufacture Vincent-Petit :

<https://mvpsas.houzz.fr/>

(consulté le 8/02/2018)

Projet européen CONSTGLASS :

<http://www.constglass.eu/>

(consulté le 17/05/2018)

Projet européen Nanomatch :

<http://www.nanomatch-project.eu/>

(consulté le 29/06/2018)

ICOMOS :

<https://www.icomos.org/fr/>

(consulté le 02/08/2018)

ICOM :

<http://icom.museum/>

(consulté le 02/08/2018)

ICOM-CC Glass :

<http://www.icom-cc.org/27/working-groups/glass-and-ceramics/>

(consulté le 02/08/2018)

CSICV (Comité scientifique international pour la conservation des vitraux) :

<http://sgc.lrmh.fr/>

(consulté le 02/08/2018)

Corpus Vitrearum International :

<http://www.corpusvitrearum.org/>

(consulté le 02/08/2018)