

VITRÖCENTRE  
ROMONT

CENTRE SUISSE DE RECHERCHE  
SUR LE VITRAIL ET LES ARTS DU VERRE  
SCHWEIZERISCHES FORSCHUNGSZENTRUM  
FÜR GLASMALEREI UND GLASKUNST  
SWISS RESEARCH CENTRE  
FOR STAINED GLASS AND GLASS ART

Les verrières de protection.  
Un guide pour la conservation des vitraux  
et des fenêtres historiques



Sophie Wolf

avec la participation de : Ernst Baumann, Karim Ghazi Wakili, Bruno Binder  
et Stephan Carl ; en collaboration avec des membres de l'Association professionnelle  
suisse du vitrail

## Contexte. Thème et objectif du guide

La plupart des quelque 5000 églises et de nombreux autres bâtiments en Suisse sont décorés de vitraux artistiques et de dalles de verre – un patrimoine culturel précieux et fragile. Les vitraux ont le plus souvent une double fonction : ils sont à la fois des œuvres d'art, et des fenêtres. De ce fait, ils remplissent des fonctions architecturales, et sont aussi particulièrement vulnérables. Des verrières supplémentaires permettent de les protéger, tout en assurant leurs fonctions structurelle et climatique. Dans le cadre des efforts visant à réduire les pertes d'énergie thermique dans les bâtiments historiques, les verrières de protection doivent, de plus en plus, avoir un effet d'isolation thermique. L'installation de verrières de protection isolantes n'est cependant pas toujours efficace et comporte également des risques.

Le présent guide, qui s'appuie largement sur les résultats d'un projet de recherche du Vitrocentre Romont, donne d'une part un aperçu des différents types de verrières de protection, et explique leur fonction et leur mode d'action ainsi que les avantages et les inconvénients des systèmes. D'autre part, il se consacre à la question de l'impact des verrières de protection avec des verres isolants sur la réduction de la consommation d'énergie de chauffage dans les églises. À l'aide d'un exemple, nous avons calculé quelle quantité d'énergie peut être économisée grâce à l'installation de verrières isolantes, et déterminé le potentiel d'économie en cas de modification du concept de chauffage. Le guide se conclut avec des informations pratiques et une liste de questions pertinentes que les propriétaires devraient se poser.

## Le vitrail. Un bien culturel important

Les vitraux artistiques comptent parmi les œuvres d'art les plus importantes de Suisse. De précieux témoins du Moyen Âge ont été conservés, comme la rose de la cathédrale de Lausanne, les vitraux de l'église du couvent de Königsfelden et ceux du chœur de la collégiale de Berne. À la Renaissance et à l'époque baroque, les vitraux armoriés de petit format (Wappenscheiben) étaient un moyen d'expression important de l'identité de l'ancienne Confédération. Les bâtiments privés et publics étaient ornés de vitraux comportant les armoiries des donateurs. Pendant le courant historiciste du XIX<sup>e</sup> siècle ainsi que durant l'Art nouveau, de nombreuses œuvres importantes ont vu le jour. Le vitrail s'est développé de diverses manières dans l'art contemporain et n'a pas perdu de son importance aujourd'hui.

La Suisse fait partie des rares pays dans lesquels des organisations font vivre et préservent cet art : l'Association professionnelle suisse du vitrail (APSV) garantit la reconnaissance étatique de la formation professionnelle de peintre-verrier / peintre-verrière CFC (certificat fédéral de capacité). A Romont (FR), deux institutions se consacrent à la documentation, la recherche et la mise en valeur de cet art. Le vitrail est l'un des sujets essentiels des collections du Vitromusée Romont, alors que le Vitrocentre Romont, centre suisse de recherche sur le vitrail et les arts du verre, recense et étudie systématiquement le patrimoine verrier. Les inventaires et les résultats des recherches sont publiés en ligne sur [vitrosearch.ch](http://vitrosearch.ch), et sont ainsi accessibles au grand public.



Pisces (poissons), rondel de la rose de la cathédrale de Lausanne (VD), 1<sup>ère</sup> moitié du XIII<sup>e</sup> siècle.



Détail du vitrail d'Erasmus de Hertenstein, montrant la ville de Lucerne, de l'Abbaye de Muri (AG), cloître ouest (IIc), 1585. © Kantonale Denkmalpflege Aargau. Photo : Franz Jaeck.



Petrus, vitrail de l'église Saint-Martin de Basadingen (TG), 1894. Photo : Hans Fischer, Belgique.



Tête de Jean Baptiste, détail du vitrail des Apôtres de Józef Mehoffer dans la cathédrale Saint-Nicolas de Fribourg (FR), 1895–1896. Photo : Yves Eigenmann, Fribourg.



Détail du vitrail de Brian Clarke du chœur de l'Abbaye de la Fille-Dieu de Romont (FR), 1996. © 2022, Pro-Litteris, Zürich. Photo : Jean Mülhauser, BCU Fribourg, collection Johann et Jean Mülhauser.

## Risques et préservation. Des mesures de conservation efficaces

Les vitraux, un bien culturel en péril, sont fortement marqués par leur double fonction d'œuvre artistique et d'élément architectural. Outre les facteurs environnementaux auxquels ils sont exposés en tant que fenêtres, les matériaux et la technique de fabrication ont un grand impact sur leur conservation. La composition, souvent instable, des verres anciens, ou des défauts de fabrication, tout comme les peintures à la grisaille faiblement cuites constituent les points faibles des vitraux, sans parler de leur fragilité. Ces facteurs rendent les œuvres particulièrement vulnérables face à une exposition prolongée à l'humidité. Les éléments de structure et de montage des verrières – composés de plomb, d'acier, de béton armé ou de bois – peuvent également être fortement altérés par les variations environnementales.

Des conditions climatiques favorables ainsi qu'un contrôle et un entretien régulier sont des éléments décisifs pour la préservation des vitraux.

La condensation fréquente sur les surfaces des verres, de brusques changements de température et d'humidité, la grêle, la pluie battante, le gel et la pression du vent peuvent endommager les œuvres. Les verrières de protection extérieures se sont révélées une méthode efficace de conservation préventive des vitraux. Elles assument des fonctions structurelles, protègent les œuvres fragiles de dommages mécaniques, créent généralement des conditions climatiques de conservation favorables et peuvent faciliter l'entretien et la restauration du patrimoine verrier à protéger. Cependant, tous les vitraux ne nécessitent pas la pose d'une verrière de protection, loin s'en faut. Dans de nombreux cas, des grilles placées devant la fenêtre offrent une protection suffisante contre les dommages mécaniques tels que la grêle ou le vandalisme. Utilisées depuis le Moyen Âge, elles constituent une alternative souvent très efficace et discrète aux fenêtres de protection en verre.

Détail d'un vitrail dans les remplages de la fenêtre s II du chœur de la cathédrale de Berne de 1868, sans verrière de protection jusqu'en 2008. Augmentation des dommages dus à la condensation entre 1997 (à gauche) et 2008 (à droite). Photos : Alexander Gempeler, Berne.



Grille de protection devant la fenêtre de la Danse macabre de la cathédrale de Berne. Photo : Daniel Stettler, Berne.

## Les verrières de protection. Histoire et observations

En Suisse comme ailleurs, les verrières de protection sont utilisées depuis longtemps. Dès le début du XX<sup>e</sup> siècle, les vitraux historiques ont été protégés des intempéries par une contre-fenêtre, montée dans l'embrasure externe de la fenêtre. La réinstallation des œuvres évacuées pendant la Seconde Guerre mondiale a conduit au développement d'un système de verrière de protection particulier, qui implique le déplacement des vitraux à l'intérieur de l'embrasure, tandis que la fenêtre de protection est installée à leur place initiale, favorisant leur ventilation de l'intérieur. Un tel système a été mis en place dans le chœur de la cathédrale de Berne en 1947, apparemment l'un des premiers de ce type. Plus récemment, des systèmes assurant, outre la protection du vitrail, une fonction d'isolation thermique ont été développés. Cette solution a entraîné une nette augmentation du nombre de verrières de protection.

Des observations de longue date ont confirmé que les verrières de protection ont généralement un effet favorable sur la conservation des vitraux, en particulier le système ventilé de l'intérieur et les contre-fenêtres. En revanche, les nouveaux systèmes isolants se sont souvent révélés problématiques. En de nombreux endroits, il s'avère que les exigences en matière de préservation d'œuvres et d'énergie ne sont pas facilement conciliables. La modification nécessaire et généralement coûteuse de la construction des fenêtres peut mettre en péril les vitraux, compliquer leur entretien, et même influencer défavorablement l'équilibre climatique des bâtiments historiques. Les observations à long terme ont également montré que de nombreux vitraux protégés uniquement par des grilles sont en bon état et ne nécessitent pas de protection supplémentaire.



Dommages causés par la grêle aux vitraux d'Alexandre Cingria de la collégiale de Romont (FR). Photo : Stefan Trümpler, Romont.



Les vitraux médiévaux du chœur de la cathédrale de Berne, 1441–1455. Photo : Yves Eigenmann, Fribourg.

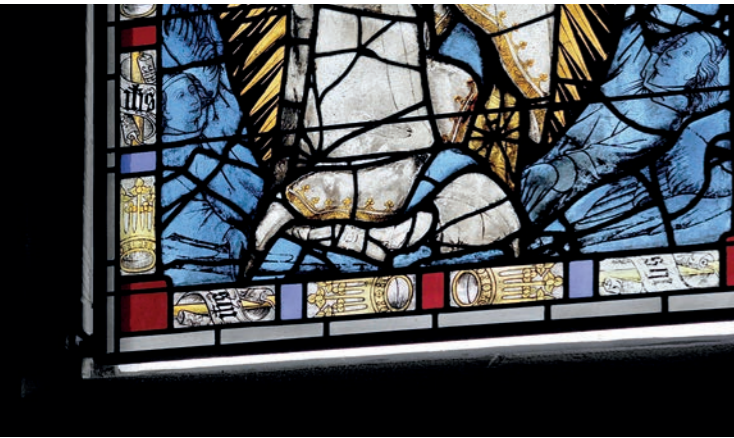


Verrière de protection avec double vitrage (en haut) ; formation de moisissures sur le mur interne (en bas). Église de Rüti (ZH). Photos : Stefan Trümpler, Romont.

## Une question de point de vue. Les verrières de protection en contexte

Lors de l'installation de verrières de protection, il faut tenir compte non seulement de critères de conservation et de physique du bâtiment, mais aussi d'aspects esthétiques, car la protection et la préservation de la fenêtre historique sont tout aussi importantes que l'intégration de la verrière supplémentaire dans le contexte architectural. Il convient de répondre au préalable aux questions suivantes :

- Le contexte du montage d'origine de la fenêtre historique disparaîtra-t-il avec l'installation de la verrière de protection ?
- Quel est l'impact de la verrière de protection sur le climat intérieur et sur l'aération du bâtiment ?
- L'installation risque-t-elle de déplacer la condensation sur les murs ?
- La verrière de protection affecte-t-elle l'aspect extérieur du bâtiment ?
- Dans le cas de verrières de protection ventilées de l'intérieur, les fentes de ventilation provoquent-elles une entrée de lumière indésirable ?
- Les cadres et éléments de montage sont-ils gênants à l'intérieur ?



Effet gênant de la lumière sur un vitrail accroché à l'intérieur, collégiale de Romont (FR). Photo : Katrin Kaufmann, Romont.



Verre patiné de la verrière de protection de la cathédrale de Coire (GR). Photo : Stefan Trümpler, Romont.



Surfaces réfléchissantes de la verrière de protection du chœur du Fraumünster de Zurich (ZH).

## Exigences nombreuses. Le choix du verre

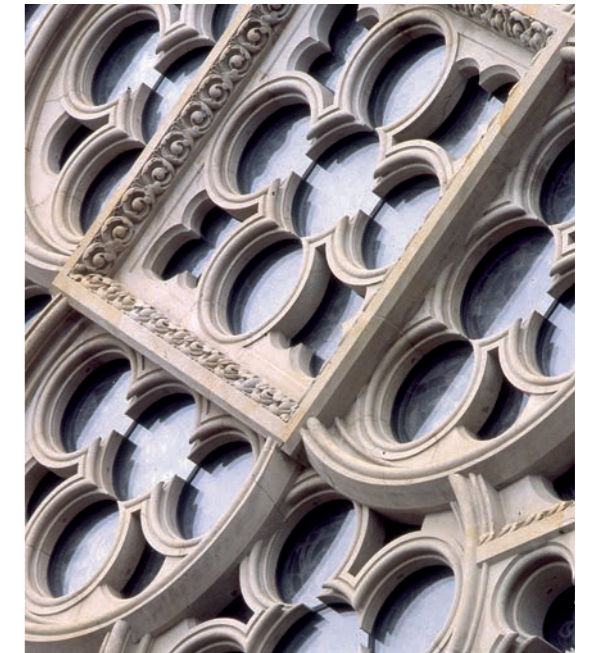
L'effet des verrières de protection sur l'aspect extérieur des bâtiments dépend fortement du choix de leur verre. Outre les exigences esthétiques et de conservation des monuments, le contexte architectural et les contraintes de sécurité peuvent être déterminants dans le choix du verre. Selon les exigences, du verre soufflé en manchon, ou du verre étiré montrant des surfaces légèrement structurées, parfois même du verre flotté, permettent d'obtenir les effets souhaités. Pour des solutions aussi discrètes que possible, les vitres des verrières de protection peuvent être adaptées au vitrail et à l'environnement architectural par thermoformage ou par un traitement de surface, telle l'application de patine ou de gravure à l'acide. L'emploi de verre trempé, feuilleté ou anti-feu permet de répondre à certaines contrain-

tes de sécurité. Des exigences particulières en matière de conservation, comme la protection contre les rayons infrarouges ou ultraviolets, peuvent être satisfaites par à l'utilisation de verres spéciaux. Depuis quelque temps, il existe même des verres soufflés en manchon et étirés qui présentent ces propriétés spécifiques.

Répondre à des exigences multiples peut nécessiter la combinaison de plusieurs types de verre. Toutefois, cela entraîne inévitablement à une augmentation du poids du vitrage. Ceci nécessite à son tour des modifications structurelles et n'est donc pas toujours sans poser des problèmes. Dans la plupart des cas, il vaut la peine de tester le choix de verre en posant des échantillons sur la façade.



Verrière de protection avec verre soufflé en manchon de la collégiale de Romont (FR). Photo : Stefan Trümpler, Romont.



Verrière de protection avec verre flotté de la rose de la cathédrale de Lausanne (VD). Photo : Stefan Trümpler, Romont.

## Systèmes de verrières de protection. Un aperçu

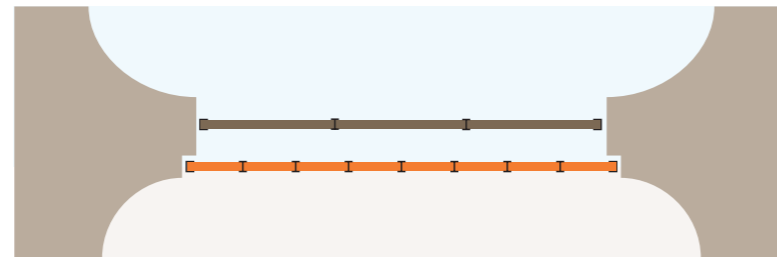
Il existe des verrières de protection de divers types et de divers aspects. Comme l'efficacité d'une verrière de protection dépend essentiellement de sa ventilation, il est judicieux de classer les différents systèmes en fonction de celle-ci :

- A Systèmes faiblement ventilés
- B Systèmes ventilés de l'intérieur
- C Systèmes non ventilés
- D Systèmes ventilés de l'extérieur



Contre-fenêtre avec cadre métallique, simple vitrage, légèrement ventilé de l'église des Capucins à Romont (FR), vers 1950.

Représentation schématique d'une verrière de protection légèrement ventilée. Vitrail dans la feuillure de la fenêtre (orange), verrière de protection dans l'embrasure extérieure (gris).



Contre-fenêtre avec cadre en bois subdivisé en croisillons, simple vitrage légèrement ventilé du chœur de l'église Saint-Laurent à Frauenfeld-Oberkirch (TG), env. 1900.



Détail de l'intérieur de la fenêtre médiévale du chœur de l'église Saint-Laurent, env. 1320. Le vitrail démonté laisse entrevoir la grille de protection et la verrière de protection externe.

## A Légèrement ventilé. La contre-fenêtre

Les verrières de protection du type « contre-fenêtre » sont montées indépendamment des vitraux, dans l'embrasure extérieure de la fenêtre. La distance par rapport au vitrail peut être très variable. Les fenêtres de ce type étaient fréquentes jusqu'au milieu du siècle dernier. Dans la plupart de ces cas, une ventilation n'était pas prévue. Toutefois, l'espace intermédiaire entre vitrail et contre-fenêtre est souvent faiblement ventilé de l'extérieur en raison de raccords non étanches entre le cadre et l'embrasure. Les réseaux de plomb des vitraux anciens légèrement perméables assurent en outre un échange d'air avantageux.

Les premiers exemples ont des cadres en bois profilés ou des cadres en profilés métalliques minces ; les fenêtres sont souvent finement divisées par des meneaux. Il n'est pas rare qu'elles contiennent encore du verre soufflé ou étiré qui, en raison de sa surface irrégulière, s'intègre avantageusement à l'aspect extérieur des bâtiments, et confère à la verrière de protection historique une valeur supplémentaire en termes de conservation des monuments. Souvent, des vantaux d'ouverture aux deux niveaux de la fenêtre permettent d'aérer l'espace entre les fenêtres et l'intérieur du bâtiment.

L'efficacité et l'importance historique des anciennes contre-fenêtres ne doivent pas être sous-estimées. Des mesures ont montré que la couche d'air dans l'espace intermédiaire a un effet isolant, et que le léger manque d'étanchéité peut créer de bonnes conditions de conservation pour les vitraux. Toutefois, la condensation sur la surface du vitrail ne pouvant être totalement exclue, il est indispensable de procéder à des contrôles réguliers.

### Avantages

- Bonnes conditions climatiques de conservation pour le vitrage historique : pas d'humidité sur la face extérieure du vitrail, moins de risque de condensation sur la face intérieure
- Conservation des éléments de montage historiques
- Pas de nécessité de déposer les vitraux : risque de dommages diminué
- Entretien et restauration faciles, car la verrière de protection et le vitrail sont indépendants l'un de l'autre sur le plan de la construction
- Aération de l'église possible par les ouvrants d'aération existants
- Réduction des pertes de chaleur par les fenêtres
- Longue durée de vie avec un simple vitrage, plus courte avec un double vitrage
- En général, variante simple et peu coûteuse

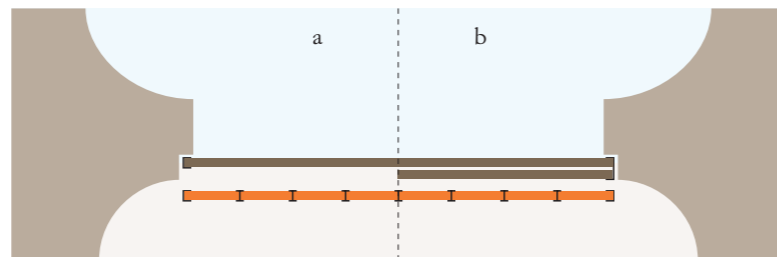
### Inconvénients

- Moins adapté aux fenêtres finement profilées de type médiéval
- Selon le choix des verres et le type de construction, bien visible de l'extérieur

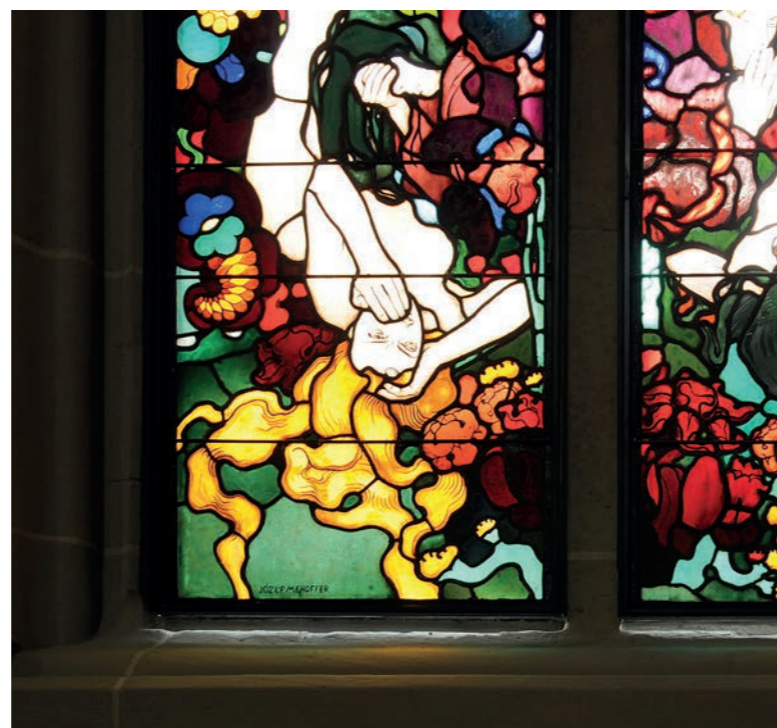


Verrière de protection avec double vitrage isolant, ventilée de l'intérieur, de la cathédrale Saint-Nicolas à Fribourg (FR). Photo : Stefan Trümpler, Romont.

Représentation schématique d'une verrière de protection ventilée de l'intérieur. Verrière de protection extérieure. Vitrail suspendu (orange), verrière de protection dans la feuillure de la fenêtre (gris). Avec vitrage simple (a) ; avec double vitrage isolant (b).



Détail de construction de la verrière de protection de la cathédrale Saint-Nicolas à Fribourg (FR). Photo : Stefan Trümpler, Romont.



Panneaux des vitraux de Józef Mehoffer encadrés et déplacés vers l'intérieur à la cathédrale Saint-Nicolas à Fribourg (FR). Photo : Stefan Trümpler, Romont.

## B Ventilé de l'intérieur. Verrière de protection « isotherme »

La verrière artistique est démontée, les différents panneaux sont encadrés et déplacés de quelques centimètres vers l'intérieur. La verrière de protection est installée à la place du vitrail, dans la feuillure de la fenêtre. Les éléments de montage historiques (fers transversaux, vergettes, etc.) peuvent être conservés. La verrière est étanche vers l'extérieur ; l'espace entre le vitrail et la fenêtre de protection est ventilé de l'intérieur par des fentes d'aération. Il s'établit ainsi, dans l'environnement du vitrail, un climat similaire à celui de l'intérieur, d'où le terme d'isotherme. Les conditions climatiques autour des vitraux sont toutefois fortement influencées par l'orientation des fenêtres, par la taille et l'emplacement des ouvertures d'aération, ainsi que par la profondeur de l'espace intermédiaire. De ce fait, sur les fenêtres orientées au sud, la température de l'air et la température de surface des vitraux derrière les vitrages de protection peuvent augmenter fortement, tandis que sur les fenêtres orientées au nord, des valeurs moyennes entre la température extérieure et la température intérieure s'établissent dans l'espace intermédiaire.

Les observations et les mesures effectuées au cours des dernières décennies ont montré que, malgré ces limitations, de tels vitrages de protection sont efficaces et améliorent considérablement les conditions de conservation des vitraux. Des différences peuvent toutefois être constatées selon le type de verrière de protection : dans le cas d'un vitrage simple, l'humidité de l'air se condense sur la face intérieure du verre de protection ; l'eau de condensation qui s'écoule peut être recueillie et évacuée dans une gouttière de condensation. En cas d'utilisation d'un verre isolant, le risque d'humidité et de condensation sur la fenêtre de protection diminue, mais l'humidité de condensation s'accumule alors davantage sur les embrasures de fenêtres, les encadrements et les parties de mur plus fraîches. La durée de vie limitée des vitrages isolants peut en outre nécessiter un remplacement complet au bout de quelques décennies.

Les coûts élevés, ainsi que les défis techniques, de conservation et de construction de ce système font qu'il est principalement recommandé pour des vitraux fortement menacés et particulièrement fragiles. Comme ce système présente également un faible risque de condensation sur le vitrail, il est particulièrement important de procéder à des études préalables spécialisées et à des contrôles réguliers.

### Avantages

- Bonnes conditions de conservation climatique pour les vitraux historiques : pas d'humidité ou de pluie sur la face extérieure du vitrail, risque de condensation réduit sur la face intérieure
- Entretien et restauration faciles, car la verrière de protection et le vitrail sont indépendants l'un de l'autre sur le plan de la construction, et les vitraux peuvent généralement être facilement démontés
- Longue durée de vie en cas de vitrage simple, plus courte en cas de vitrage isolant

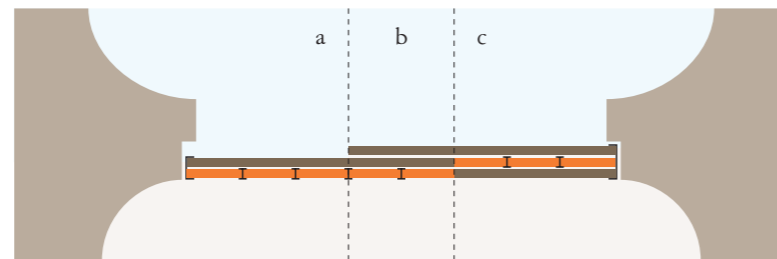
### Inconvénients

- Les vitraux doivent être démontés : risque d'endommagement
- Perte des éléments de montage d'origine
- Nécessité de créer de nouveaux encadrements et de nouvelles structures de fixation
- L'aspect intérieur des fenêtres est souvent fortement modifié
- Aération de la pièce très difficile par les fenêtres
- Complexe, coûteux



Système non ventilé avec vitrage isolant dans l'église de Bühl à Zurich (ZH).

Représentation schématique d'une verrière de protection non ventilée. Vitrail (orange) et verrière de protection extérieure (gris) dans la feuillure de la fenêtre. Verrière de protection simple (a); avec double vitrage isolant (b). Vitrail entre deux verrières de protection simples (c).



Système non ventilé avec vitrage simple dans l'église de Märwil (TG). Photo : Stefan Trümpeler, Romont.



Système non ventilé avec double vitrage dans l'église d'Albisrieden, Zurich (ZH).

## C Non ventilé. Systèmes « composites »

Les systèmes composites comprennent les verrières de protection dans lesquelles le verre de protection (simple ou isolant) et le vitrail sont montés ensemble dans un cadre. Pour les cadres, on utilise souvent des profilés métalliques double face ; des cadres en bois en une ou deux parties sont plus rares. La distance entre le verre de protection et le vitrage au plomb est faible, l'espace intermédiaire n'est pas ventilé. La plupart du temps, le « paquet de vitres » est encastré dans la feuillure de la fenêtre, mais il peut aussi être conçu comme un battant de fenêtre. Dans une variante spéciale du système non ventilé, les vitraux sont placés « en sandwich » entre deux vitres de protection pour former des vitrages à trois ou quatre couches, étanches sur tout le pourtour. Comme le vitrail et le verre de protection sont liés de manière structurelle dans les deux variantes, leur entretien, et leur éventuelle restauration deviennent plus difficiles. En raison de la construction massive du cadre, les nouvelles fenêtres sont généralement plus grandes que celles d'origine, ce qui peut nécessiter soit de découper les vitraux, soit de modifier les baies de fenêtres.

Les systèmes composites réduisent les pertes de chaleur par les fenêtres, mais ils doivent être utilisés avec réserve pour la conservation des vitraux fragiles. Les systèmes non ventilés peuvent fortement monter en température sous l'effet direct du soleil et, avec le temps, perdre leur étanchéité. L'humidité accumulée dans l'espace intermédiaire peut favoriser la formation de micro-organismes et attaquer les œuvres d'art. Il existe en outre un risque que les bâtiments soient trop étanches, et que la condensation se déplace des fenêtres vers les parties froides des murs, où des dommages peuvent survenir. Dans les systèmes récents, les points faibles de ces constructions sont pris en compte et améliorés, mais les inconvénients potentiels en termes de conservation des monuments, d'entretien et de ventilation ne sont pas pour autant éliminés.

### Avantages

- Bonnes conditions climatiques de conservation pour les vitrages historiques : pas d'humidité ou de pluie sur la face extérieure des vitraux, risque de condensation réduit sur la face intérieure
- Réduction des pertes de chaleur par les fenêtres
- Faible profondeur du système de vitrage

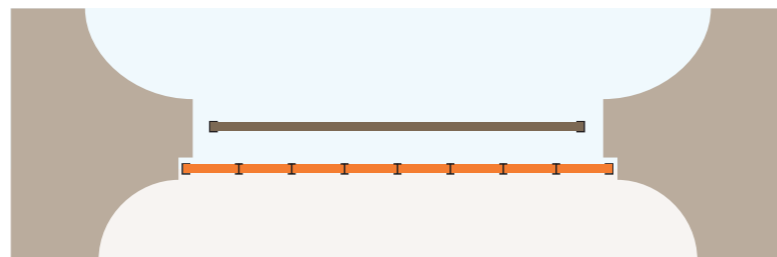
### Inconvénients

- Les vitraux doivent être démontés : risque de dommages
- Perte des éléments de montage d'origine
- Le montage en tant que « paquet de vitres » entraîne souvent une perte de la substance historique
- Entretien et restauration plus difficiles ; nécessité de démontage complet, car la verrière de protection et le vitrail sont structurellement liés
- Risque de déplacement de la condensation des surfaces vitrées vers les parties murales, avec des dommages consécutifs, comme la formation de moisissures
- Aération de la pièce très difficile par les fenêtres
- Reflets sur la face interne du vitrail, si des verrières de protection sont également présentes à l'intérieur (variante « en sandwich »)
- Couteux

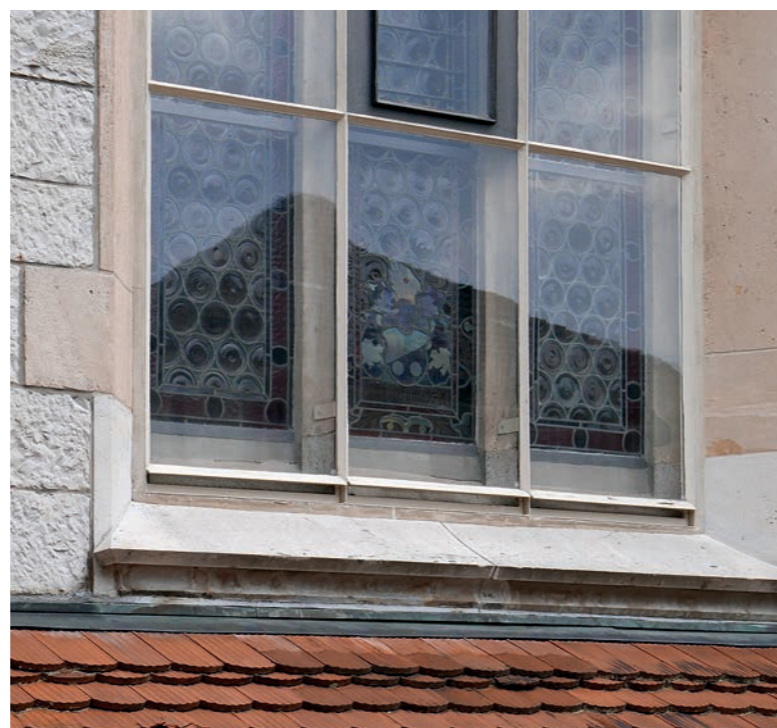


Verrière de protection sans cadre, ventilée de l'extérieur du temple de Carouge (GE). © APAS (Association pour la Promotion de l'Art Sacré), Genève. Photo : Cyrille Girardet, Veyrier.

Représentation schématique d'une verrière de protection ventilée de l'extérieur. Vitrail dans la feuillure de la fenêtre (orange) et verrière de protection dans l'embrasure extérieure (gris).



Détail de la verrière de protection du temple de Carouge (GE). © APAS (Association pour la Promotion de l'Art Sacré), Genève. Photo : Cyrille Girardet, Veyrier.



Verrière de protection ventilée de l'extérieur, église Saint-Othmar à Saint-Gall (SG). Photo : Katrin Kaufmann, Romont.

## D Ventilé de l'extérieur Verrière de protection extérieure

Dans ce système, des vitres de protection sont placées à une certaine distance à l'extérieur, devant les vitraux, dans l'embrasure de la fenêtre. Il s'agit souvent de vitres en verre de sécurité, fixées sans encadrement à l'aide de supports métalliques. Les raccords ne sont pas étanches et l'espace entre le verre de protection et le vitrail est ventilé. De telles verrières servent en premier lieu de protection contre les dommages mécaniques, tels les jets de pierre ou la grêle. Par rapport aux grilages, elles protègent également de l'humidité, de la pluie et des rafales de vent, mais peuvent apparaître comme des éléments étrangers sur les bâtiments historiques. Les verres de protection extérieurs n'ont qu'une influence limitée sur la condensation au niveau des vitraux et n'ont pratiquement aucun effet isolant. En revanche, l'utilisation de verres spéciaux avec des filtres UV ou IR permet de protéger sans grand effort les objets précieux situés à l'intérieur, sensibles à la lumière et à la chaleur.

### Avantages

- Protection contre les influences extérieures de l'environnement et les dommages mécaniques
- Conservation des éléments de montage historiques
- Pas de nécessité de déposer des vitraux : risque de dommages diminué
- Entretien et restauration faciles, car la verrière de protection et le vitrail sont indépendants l'un de l'autre sur le plan de la construction
- Aération de l'église possible par les ouvrants d'aération existants
- Simple protection d'objets précieux contre les rayons UV et IR par verres avec filtres correspondants
- Longue durée de vie
- Variante simple et peu coûteuse

### Inconvénients

- Humidité à l'extérieur et risque de condensation à l'intérieur des vitraux
- Effet d'isolation limité
- Selon le choix des verres et le type de construction, bien visible de l'extérieur



### Cas particulier. Verrière de protection intérieure

Dans de rares cas, des vitrages sont posés à l'intérieur devant le vitrail, parfois en combinaison avec une verrière de protection extérieure. Dans le passé, des vitrages de protection intérieurs ont souvent été installés afin d'assurer une étanchéité climatique supplémentaire des tribunes d'orgue et d'améliorer le confort dans les églises monastiques fréquemment utilisées. Aujourd'hui, des vitrages de sécurité intérieurs peuvent être utilisés pour des objets précieux nécessitant une protection particulière, comme les vitraux de Marc Chagall au Fraumünster à Zurich. Dans de tels cas, elles sont équipées de verre de sécurité feuilleté et montées dans l'embrasure intérieure de la fenêtre. L'aspect extérieur des façades est conservé sans modification.



Verrière de protection intérieure, du vitrail de « Jérusalem céleste » (détail) au Fraumünster de Zurich (ZH), 1970. © Vitrail de Marc Chagall en collaboration avec Charles Marq / 2022, ProLitteris, Zürich.

### Bilan de la situation. Comparaison des vitrages de protection

Du point de vue de la conservation et de la protection du patrimoine, les verrières de protection ventilées de l'intérieur (B) sont le premier choix lorsqu'il s'agit de préserver des vitraux particulièrement sensibles. La variante à simple vitrage offre déjà une protection suffisante et elle est préférable, en termes de durée de vie et de coûts, au système à vitrage isolant. Des mesures climatiques effectuées sur les verrières de protection de la cathédrale de Berne ont toutefois montré que les vitrages simples pouvaient entraîner de la condensation sur les surfaces des vitraux. Un contrôle régulier des vitraux – dans le cadre d'un plan de maintenance – est donc également indispensable avec ce système afin de détecter à temps les risques de dommages, et garantir la conservation à long terme des œuvres.

Des observations à long terme attestent que même les systèmes de contre-fenêtres faiblement ventilés (A) créent de bonnes conditions de conservation des vitraux. Par rapport à la solution ventilée de l'intérieur, ils présentent l'avantage de ne pas affecter le vitrage historique. Les deux systèmes présentent de meilleurs résultats que les systèmes composites étanches (C) qui, malgré les

améliorations apportées à la construction, restent discutables du point de vue de la conservation, de l'entretien des monuments ainsi que de la durabilité. Les verrières de protection ventilées de l'extérieur (D) offrent, comme alternative aux grilles métalliques, surtout une sécurité mécanique et une protection contre les intempéries, alors que leur aspect extérieur est souvent problématique.

Un mot encore sur l'amélioration du confort par la mise en place des vitrages de protection : Les vitrages au plomb simples et non étanches sont souvent considérés comme seuls responsables des courants d'air désagréables dans les bâtiments historiques. Le montage de verrières supplémentaires semble être la conclusion logique lorsqu'il s'agit d'améliorer le confort. Toutefois, cela ne résout généralement pas entièrement le problème, car le refroidissement de l'air ambiant sur les murs froids des bâtiments historiques provoque également des mouvements d'air inconfortables. En règle générale, il est plus facile de maîtriser le problème en entretenant les vitraux et en modifiant le concept de chauffage qu'en installant des fenêtres supplémentaires.

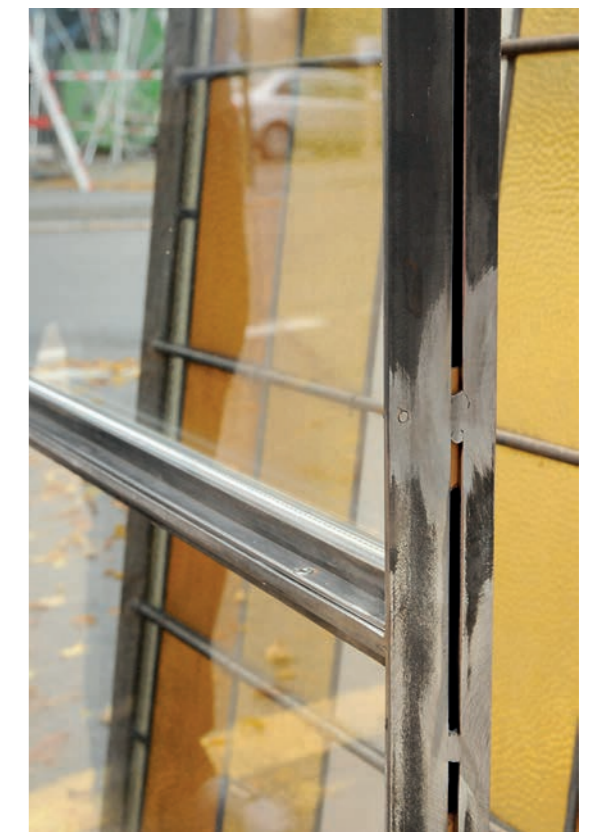
### Efficacité énergétique. Valeurs U des différents systèmes

L'hypothèse selon laquelle l'installation de vitrages de protection se répercute sur le bilan énergétique d'un bâtiment et contribue à réduire les coûts de chauffage, tout en agissant positivement sur la conservation des vitraux, est très répandue. Elle peut toutefois conduire à des décisions discutables du point de vue de la conservation du patrimoine, de l'énergie et de l'économie. Dans le cadre d'un projet de recherche du Vitrocentre Romont, des points de repère et des données concrètes ont été collectés sur cette thématique. L'objectif du projet était, d'une part, de rassembler les observations et les expériences faites depuis de

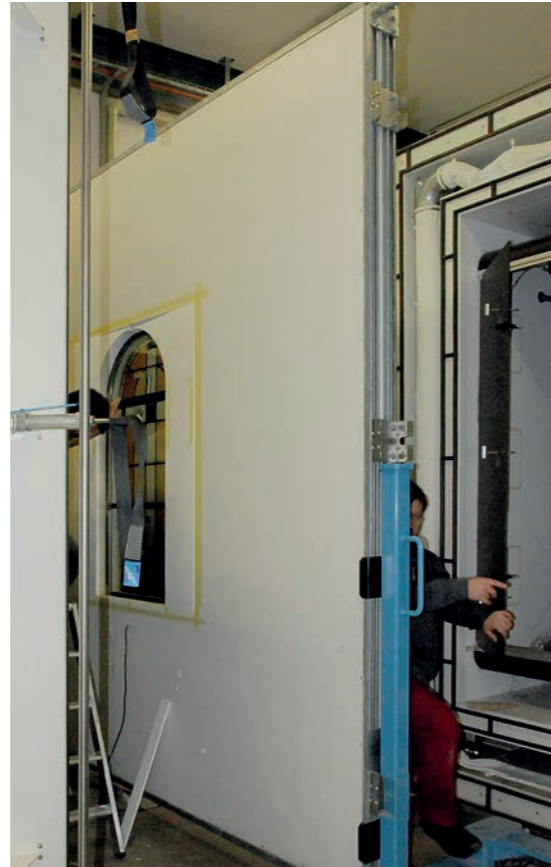
nombreuses années sur l'efficacité des types de vitrages de protection couramment utilisés en Suisse et, d'autre part, de calculer les propriétés énergétiques des différents systèmes de fenêtres et de les vérifier en laboratoire. Les résultats sont instructifs (voir le tableau de la page suivante) :



Fenêtre pour les essais en laboratoire : vitrage au plomb et verrière de protection extérieure avec verre isolant dans un cadre métallique subdivisé.



La valeur U des vitrages historiques au plomb est d'environ 6 W/m<sup>2</sup>K. (La valeur U ou coefficient de transmission thermique est une mesure de la perte de chaleur par un élément de construction. Plus la valeur est élevée, plus l'isolation thermique est mauvaise). L'installation d'une verrière de protection avec un verre simple (système A) permet de réduire d'environ un tiers, voire de la moitié, la perte de chaleur par la fenêtre (valeur U de 2.9 à 3.9 W/m<sup>2</sup>K). Les systèmes étanches s'en sortent un peu mieux que les systèmes légèrement ventilés. L'installation d'une verrière de protection avec un verre isolant (système C) réduit la perte de chaleur d'environ trois quarts (valeur U 1.5–1.6 W/m<sup>2</sup>K). De faibles valeurs U, inférieures à 1 W/m<sup>2</sup>K, comme c'est généralement le cas pour les vitrages isolants dans les nouveaux bâtiments, ne peuvent toutefois guère être atteintes au moyen d'une verrière de protection avec verre isolant dans un bâtiment historique, car les cadres, les subdivisions et les raccords aux murs doivent être adaptés aux conditions de construction et de conservation des monuments.



Détermination du coefficient de transmission thermique (valeur U) dans la « Hot-Box » du laboratoire de l'Empa Dübendorf.

GM = vitrail ou simple vitrage au plomb  
 SV EV = verrière de protection avec verre simple  
 IV = verre isolant (double)  
 SV IV = verrière de protection avec verre isolant (double)

Système de fenêtre	Méthode de ventilation	Largeur de l'espace intermédiaire en mm	Valeur U calculée en W/m <sup>2</sup> K	Valeur U mesurée en W/m <sup>2</sup> K
GM (sans cadre)			5.8	
GM (avec cadre métallique)			6.1	
IV (avec cadre métallique)			2.1	2.1
GM + SV EV (système A)	étanche	40	3.1	
GM + SV EV (système A)	légèrement ventilée	40	3.9	
GM + SV EV (système A)	étanche	120	2.9	
GM + SV EV (système A)	légèrement ventilée	120	3.8	
GM + SV IV (système C)	étanche	40	1.6	1.6
GM + SV IV (système C)	étanche	120	1.5	

Valeurs U calculées et mesurées pour différents systèmes de fenêtres.

## Vue d'ensemble. Une vision réaliste

Les valeurs U calculées en laboratoire reflètent la perte de chaleur à travers une seule fenêtre, mais ne tiennent pas compte du fait que dans les bâtiments historiques, seule une petite partie de l'énergie thermique est perdue par les fenêtres. Les pertes par les plafonds, les murs et les sols ainsi que par l'échange naturel d'air sont généralement plus conséquentes. L'importance des fenêtres est souvent relativisée par le simple fait qu'elles ne représentent qu'une part limitée de la surface des murs.

Pour illustrer ceci, les valeurs U ont été calculées pour une façade entière composée de murs et de fenêtres (voir tableau). Le large éventail de particularités architecturales et techniques du bâti actuel a été réduit à deux variantes : des proportions de fenêtres de 15% et 25% et deux valeurs différentes pour la conductivité thermique d'un mur en pierres de tailles en grès de 60 cm d'épaisseur avec crépi (1.5 W/mK et 2.1 W/mK).

Avec une proportion de fenêtres de 15% et une conductivité thermique de la maçonnerie de 1.5 W/mK, la valeur U de la façade avec vitraux ou simple vitrage au plomb sans verrière de protection est de 2.29 W/m<sup>2</sup>K. L'installation d'un vitrage de protection avec un verre simple (système A) réduit la valeur U de 15% en moyenne

(1.89–2.00 W/m<sup>2</sup>K). L'installation d'un vitrage de protection avec un verre isolant (système C) fait chuter la valeur de 25% à 1.70 W/m<sup>2</sup>K. Avec une proportion de fenêtres plus élevée de 25% et une conductivité thermique de la maçonnerie plus élevée de 2.1 W/mK, la valeur U de la façade avec un simple vitrage au plomb sans verrière de protection est de 2.91 W/m<sup>2</sup>K. L'installation d'un vitrage de protection avec un verre simple (système A) réduit la valeur U de 23% au maximum (2.24–2.46 W/m<sup>2</sup>K). Le montage d'une verrière de protection avec un verre isolant (système C) fait baisser la valeur de 31% (environ 2.00 W/m<sup>2</sup>K). Ni le type de ventilation arrière (système A) ni la profondeur de l'espace intermédiaire n'ont une grande importance.

Pour l'ensemble de la construction, les économies d'énergie réalisées grâce à des vitrages de protection sont donc très faibles. Compte tenu des coûts (consécutifs) et des risques élevés qu'implique l'installation de nouveaux systèmes de fenêtres, il est clair qu'une telle isolation des fenêtres ne vaut pas la peine, ni du point de vue énergétique ou économique. L'étude de cas suivante montre qu'une adaptation du concept de chauffage, par exemple, est plus efficace.

Proportion de fenêtres %		15	15	25	25	
Conductivité thermique du mur en grès en W/mK		1.5	2.1	1.5	2.1	
Façade avec différents systèmes de fenêtres	Méthode de ventilation	Largeur de l'espace intermédiaire en mm	Valeur U calculée en W/m <sup>2</sup> K			
GM (avec cadre métallique)			2.29	2.60	2.62	2.91
GM + SV EV (système A)	étanche	40	1.89	2.20	2.01	2.30
GM + SV EV (système A)	légèrement ventilée	40	2.00	2.31	2.17	2.46
GM + SV EV (système A)	étanche	100	1.86	2.16	1.96	2.24
GM + SV EV (système A)	légèrement ventilée	100	1.97	2.28	2.14	2.42
GM + SV IV (système C)	étanche	40	1.70	2.01	1.71	2.00
GM + SV IV (système C)	étanche	100	1.69	2.00	1.70	1.99

Valeurs U calculées pour des murs avec différents pourcentages et systèmes de fenêtres.

## Économiser l'énergie thermique. Étude de cas

L'exemple de l'église gothique Saint-Laurent de Frauenfeld-Oberkirch a permis de simuler, par le calcul, le potentiel d'économie généré par l'adaptation du concept de chauffage dans le projet de recherche mentionné. Les résultats des calculs montrent qu'une automatisation complète du chauffage permettrait de réaliser d'importantes économies (voir tableau) : en supposant une température de base de 10°C et une température maximale de 18°C pendant les périodes d'utilisation, la consommation d'énergie de chauffage pourrait être réduite de près de 40% (variante 1). Lors de la mise en œuvre expérimentale de cette mesure, il s'est toutefois avéré que la température de base ne pouvait être abaissée qu'à 14°C pour des raisons techniques, et que le potentiel d'économie était donc plus faible que prévu (variante 2). La consommation d'énergie thermique était tout

de même inférieure de 19% à celle de l'état actuel. Par rapport à cette approche simple d'économie d'énergie, dans laquelle le mode de chauffage est automatisé et adapté à l'utilisation effective de l'espace de l'église, l'installation coûteuse de verrières de protection avec un verre isolant n'est pas une bonne solution (variante 3). Le potentiel d'économie ne serait que de 8%, même en partant d'une valeur U idéale pour les fenêtres de 1.0 W/m<sup>2</sup>K.

Ces valeurs ne peuvent évidemment pas être appliquées telles quelles à d'autres objets. Elles illustrent toutefois le fait qu'une mise à niveau énergétique des fenêtres n'est pas rentable dans ce cas et qu'il vaut la peine de procéder à des examens supplémentaires en matière de physique du bâtiment.



Vue intérieure de l'église Saint-Laurent de Frauenfeld-Oberkirch (TG); façade sud de l'église avec vitrage historique sans verrière de protection (en haut à droite); vue intérieure du vitrail protégé par verrière de protection (contre-fenêtre), vers 1320 (en bas à droite).  
Photos : Christoph Gysin, icona-basel, Bâle.

	État actuel	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Température de base en période de chauffage	16°C	10°C	14°C	16°C
Température de l'air ambiant lors d'utilisation	18°C	18°C	18°C	18°C
Fenêtres	Pas de verrières de protection (exception fenêtre du chœur)	inchangé	inchangé	Verrières de protection avec verre isolant (double) sur toutes les fenêtres
Énergie de chauffage nécessaire	53'750 kWh	32'700 kWh	43'440 kWh	49'400 kWh
Économie réalisée	0%	39%	19%	8%

Consommation d'énergie de chauffage calculée pour différents scénarios de réduction de l'énergie thermique dans l'église.



### Eglise Saint-Laurent de Frauenfeld-Oberkirch

L'édifice médiéval se compose d'une nef simple terminée par un chœur droit. A l'exception de la fenêtre du chœur, protégée par une simple contre-fenêtre, les vitraux n'ont pas de verrière de protection. L'église compte environ 150 places assises et est utilisée deux à trois fois par semaine pour les services religieux et les cérémonies funéraires. Au moment de l'étude, l'espace était chauffé en continu d'octobre à avril par un chauffage au sol ; pendant les manifestations, le chauffage des bancs était également enclenché. Durant l'hiver 2012/2013, la température moyenne de la pièce était de 16°C et la consommation d'énergie de chauffage, avec un indice énergétique de 201 kWh/m<sup>2</sup>a, était presque 60% supérieure à celle des églises chauffées par énergie électrique en Suisse.



## Checklist.

### Questions pertinentes pour la pratique

#### Appréciation de la situation

- Dans quel état se trouvent nos verrières ?
- À quels dangers sont-elles exposées ?
- Les conditions climatiques à l'intérieur de l'église, en particulier autour des fenêtres, sont-elles connues ?
- Les vitraux ont-ils besoin de mesures de protection préventives ?
- L'installation d'un vitrage de protection est-elle nécessaire et répond-elle aux objectifs ?
- Avons-nous respecté le principe « autant que nécessaire et le moins possible » dans le cadre de monuments architecturaux et œuvres artistiques ?
- Avons-nous fait appel aux bons spécialistes et, si nécessaire, au service de conservation des monuments historiques ?

#### Définition des objectifs et choix du système

- À quelles exigences le vitrage de protection doit-il répondre ?
- Quel type de verrière de protection est le plus adapté ?

#### Considérations et adaptations

- Comment garantir l'entretien et la conservation future des vitraux ?
- Comment intégrer le vitrage de protection dans l'environnement architectural ?
- L'intérieur du bâtiment peut-il être ventilé par les fenêtres ?
- L'installation du vitrage de protection nécessite-t-elle un nouveau concept de ventilation ?
- Quelle est l'influence de l'installation du vitrage de protection sur le climat intérieur, et comment peut-on éviter des effets négatifs éventuels sur le climat intérieur (condensation, dégâts dus à l'humidité, etc.) ?

#### Questions liées à l'énergie

- Quelle quantité d'énergie thermique peut-on économiser en installant un vitrage de protection ?
- Quelle est la relation entre les coûts d'installation et les bénéfices attendus ?
- Les coûts d'installation des vitrages de protection ont-ils été calculés de façon réaliste, en tenant compte notamment de la durabilité de la mesure ?
- Existe-t-il des mesures structurelles, d'exploitation ou de chauffage qui permettraient de réduire les besoins en énergie thermique plus efficacement que par l'installation de vitrages de protection ?

## Informations pratiques. Conseils, directives et liens

Association professionnelle suisse du vitrail  
SFG/APSV  
[www.glasmalerei-schweiz.ch](http://www.glasmalerei-schweiz.ch)

Vitrocentre Romont  
[www.vitrocentre.ch](http://www.vitrocentre.ch)

Services cantonaux et communaux des monuments historiques  
<https://denkmalpflege.ch/fr/services-cantonaux-et-communaux-des-monuments-historiques.html>

Commission fédérale des monuments historiques CFMH  
<https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/baukultur/ekd.html>

Documents de base et principes pour la conservation du patrimoine culturel bâti en Suisse  
<https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/baukultur/ekd/grundsatzdokumente-leitsaetze.html>

La fenêtre, un patrimoine en danger, Collection éléments du patrimoine VD no. 001, Canton de Vaud- SIPAL-Section monuments et sites, Lausanne 2012 [https://www.vd.ch/fileadmin/user\\_upload/themes/culture/patrimoine\\_bati/fichiers\\_pdf/MS\\_fenetre\\_patrimoine\\_en\\_danger.pdf](https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/culture/patrimoine_bati/fichiers_pdf/MS_fenetre_patrimoine_en_danger.pdf) (dernier accès 3 octobre 2022)

Directives pour la conservation et la restauration des vitraux (Corpus Vitrearum / ICOMOS)  
[www.vitrocentre.ch](http://www.vitrocentre.ch)

#### Auteure

Sophie Wolf, Dr sc. nat., collaboratrice scientifique du Vitrocentre Romont, [sophie.wolf@vitrocentre.ch](mailto:sophie.wolf@vitrocentre.ch)

#### Remerciements

La présente publication est issue d'un projet de recherche initié et dirigé par Stefan Trümpler, Dr phil., ancien directeur du Vitrocentre et du Vitromusée Romont. Ses connaissances issues d'une longue expérience pratique ont été intégrées dans ce guide. L'auteure le remercie vivement pour sa participation déterminante à l'élaboration du guide, pour la relecture du manuscrit et pour ses précieux commentaires. Les études présentées sur l'efficacité énergétique des verrières de protection ont été réalisées en étroite collaboration avec Ernst Baumann (physicien du bâtiment, expert pour l'Office fédéral de la culture et consultant de la Commission fédérale des monuments historiques) et le département des technologies de construction de l'Empa ; les vitrages modèles pour les essais en laboratoire ont été mis à disposition par la société Glas Mäder à Rüschlikon. L'auteure remercie Bruno Binder, Stephan Carl et Karim Ghazi Wakili (Empa) ainsi qu'Urs Rickenbach (Glas Mäder) pour leur grand engagement. Le contenu de ce guide repose en outre sur une collaboration de longue date avec des membres de l'Association professionnelle suisse du vitrail ([glasmalerei-schweiz.ch](http://glasmalerei-schweiz.ch)). Ces spécialistes méritent une reconnaissance et des remerciements particuliers pour les échanges fructueux résultant de leur collaboration. Le projet a été soutenu financièrement par la Fondation pour la promotion de la conservation des monuments historiques, Zurich. La présente brochure peut être téléchargée sur [vitrocentre.ch](http://vitrocentre.ch).

#### Crédits photographiques

Sauf mention contraire, les illustrations proviennent de l'auteur et des contributeurs.

#### Traduction et lectorat

Madeleine Fasel-Eggs, Romont ; Camille Noverraz, Valérie Sauterel, Vitrocentre Romont

#### Mise en page

Katrin Kaufmann, Vitrocentre Romont

2022 Vitrocentre Romont



Rue du Château 108b  
CP 225  
CH-1680 Romont  
T +41 (0)26 652 18 34  
[info@vitrocentre.ch](mailto:info@vitrocentre.ch)  
[www.vitrocentre.ch](http://www.vitrocentre.ch)