

Discussion critique A : état des lieux

Autor(en): **Rück, Stanislas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Monuments vaudois. Hors-série**

Band (Jahr): **2 (2021)**

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-1053476>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Discussion critique A : état des lieux

Stanislas Rück

Conservateur des monuments historiques à Fribourg

Après la présentation de l'état des lieux ainsi que des méthodes et résultats d'analyses, les participants développent un débat autour de différentes questions de compréhension, tout en approfondissant certaines problématiques particulières, sur huit thématiques :

1. La colonisation biologique : toujours néfaste ou parfois protectrice ?
2. La temporalité des dégradations en relation avec les cycles de restauration ;
3. Les renvois d'eau : valeur patrimoniale versus qualités fonctionnelles ;
4. Les technologies de l'industrie en soutien au patrimoine ;
5. Les outils de la modélisation entre performance analytique et lourdeur d'usage ;
6. Nouvelles techniques de relevé : gain d'information et fréquence des mesures ;
7. Renouveau : cohérence ou contradiction dans le choix de la pierre ;
8. Une répartition inattendue de l'humidité en profondeur.

1. LA COLONISATION BIOLOGIQUE : TOUJOURS NÉFASTE OU PARFOIS PROTECTRICE ?

La colonisation biologique est perçue comme révélatrice d'une exposition des surfaces à l'eau (**fig. 1**). Quid de la bioprotection qui montrerait comment le couvert biologique peut constituer une possibilité d'estomper les écarts hydriques et thermiques extrêmes ?

Pour **M. Phalip**, la bioprotection paraît essentielle. En effet, le couvert biologique ne constitue pas une dégradation qui s'ajouterait aux autres aspects d'altération de la molasse, mais représenterait plutôt une chance, car les cyanobactéries – ou mousses – pourraient avoir un effet protecteur face aux humidités récurrentes dues aux pluies et brouillards.

En l'état, cette question n'a pas été prise en compte par l'étude de l'EPFZ. Toutefois, selon les conditions d'exposition, elle pourrait conduire à une stratégie. A priori, la colonisation biologique augmente la rétention d'eau en surface, là où les températures sont les plus basses.

Mme Stefani ajoute que du point de vue informatique, il serait possible de filtrer les relevés de manière à déterminer s'il s'agit de mousses ou de lichens. Cette distinction serait susceptible de fournir des pistes supplémentaires à l'analyse effectuée.

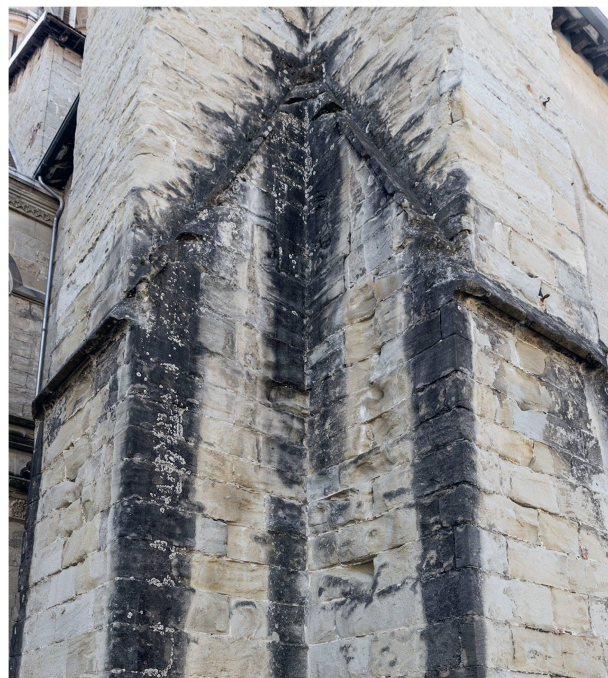
M. Girardet souligne que la première investigation menée par Archéotech SA sur les mousses visait surtout à repérer les zones où ces dernières étaient extrêmement présentes

et révélatrices de présence récurrente d'eau, sans entrer en matière sur les questions de protection. Une expérience a été menée sur le clocher de l'église catholique de Vevey, dont la flèche est entièrement faite en molasse recouverte de mousse. Lors de la dernière restauration, il a été suggéré de garder la mousse à la pointe afin qu'elle puisse recoloniser la flèche. Lors des carottages effectués par la suite, l'observation a été faite qu'aucune plaque ne s'était formée, et que la couverture biologique constituait bien en effet une forme de tampon maintenant l'humidité dans la pierre et diminuant ainsi le nombre de cycles mouillage-séchage. Le développement microbiologique est sans doute une piste.

Mais il faut dire aussi que, depuis que la pollution atmosphérique diminue, la colonisation accélérée des mousses, herbes et même des arbres ne cesse d'inquiéter. En outre, au niveau esthétique, les développements microbiologiques génèrent de grandes plages noires, qui succèdent à celles que provoquait la pollution.

2. LA TEMPORALITÉ DES DÉGRADATIONS EN RELATION AVEC LES CYCLES DE RESTAURATION

M. Amsler estime que les phénomènes d'altération des grès tendres dus à l'eau sont, en comparaison avec ceux que l'on mesure aux calcaires par exemple, très rapides : la molasse fond à l'eau, en quelque sorte. Un parement aquitain soumis aux intempéries ne résiste bien qu'une trentaine d'années. C'est peu pour une pierre. Cela donne une idée de la rapidité avec laquelle la molasse se dégrade lorsqu'elle est exposée au climat (fig. 2).



1 Contrefort nord-est de la tour inachevée. Les larmiers rampants de ce contrefort présentent un état de dégradation avancé. Les coulures dues aux faiblesses du larmier sont maintenant colonisées par les micro-organismes, mousses et lichens (photo Claude Bornand, 2021).



2 Arc-boutant sud dont les éléments constitutifs ont été remplacés lors des deux dernières restaurations en date : travaux de 1887 menés par Henri Assinare pour la retraite talutée, le larmier et les assises inférieures ; travaux de 2001-2010 par Christophe Amsler architecte pour la partie au-dessus de la retraite en calcaire (photo Amsler Dom arch., 2021).



3 Retraites talutées des contreforts du transept nord présentant des états de dégradation divers (photographie anonyme, ACV, ACaL, vers 1900).

Abrité, le grès tendre dure extrêmement longtemps : on trouve, à l'intérieur de la cathédrale, des parements médiévaux parfaitement conservés, qui ont gardé leurs polychromies originelles. Mais à l'extérieur, l'emploi de molasse est problématique. Les attaques météoriques y causent des dégâts considérables : tout ce qui protège de l'eau donnera donc à la pierre un répit profitable.

Pour en revenir au rythme de la dégradation, il est possible de dire qu'à partir de cinquante ans d'exposition, les dégâts à la pierre deviennent sévères, que septante ans les amènent à un niveau critique et que tous les cent ans des opérations de sauvetage lourdes doivent être entreprises. Cette durée de cent ans explique sans doute le tour séculaire et cyclique que prennent les campagnes de restauration de la cathédrale : cinquante ans d'activité conservatoire, intense, suivis de cinquante ans d'ensommeillement durant lesquelles les structures laissées à elles-mêmes se dégradent progressivement et conduisent à une nouvelle période de restauration.

Lors de la dernière rencontre internationale organisée par la Commission de la cathédrale en 2012, cette façon d'intervenir périodiquement a été jugée en fin de compte dommageable, malgré les efforts consentis, dans la mesure où la périodicité de l'effort conduit fatalement à des « rattrapages » très lourds en sacrifices matériels. D'où l'idée émise alors de lisser l'effort conservatoire à la cathédrale, en le portant à des interventions plus modestes peut-être, mais plus régulières dans le temps et qui, à terme, épargnent mieux la matière historique.

3. LES RENVOIS D'EAU : VALEUR PATRIMONIALE VERSUS QUALITÉS FONCTIONNELLES

De récentes études scientifiques ont permis de clarifier la compréhension de l'action de l'eau sur la pierre et proposent désormais une méthode pour répondre le plus spécifiquement possible aux différentes formes de dégradation. Pour faciliter l'étude de ces phénomènes d'altération qui touchent à des monuments très complexes, un outil de modélisation performant existe aujourd'hui qui permet de reproduire en laboratoire les observations faites dans la réalité, d'en simuler les effets sur la pierre et de tester l'effet de certains moyens thérapeutiques sur les phénomènes de dégénérescence ; c'est l'approche que développe actuellement l'EPFZ.

D'autre part, l'une des grandes questions que soulèvent les larmiers est celle de la valeur intrinsèque d'éléments de construction qui comptent, pour certains d'entre eux, parmi les plus anciens de l'architecture. Les larmiers ont connu dans leur histoire des adaptations et des corrections multiples. Certes. Mais est-il légitime de poursuivre aujourd'hui cette tradition d'amélioration fonctionnelle et de rendre les larmiers encore plus performants qu'ils ne le sont ? À quel titre intervenir sur ces éléments ? Le propre du gothique n'est-il pas de transformer toute fonctionnalité construite en expression artistique ? Un renvoi d'eau est un élément qui entre dans la composition d'une façade,

d'un contrefort ou d'un arc et, dans cette mesure, possède une valeur qui n'est pas que fonctionnelle et qu'une intervention malheureuse pourrait altérer (fig. 3).

Pour **M. Lovisa**, conservateur cantonal des monuments et des sites, la question de la modification fonctionnelle peut être abordée sous l'angle de la conservation accrue qu'elle permet – ou non – d'atteindre : les détails modifiés permettent-ils une conservation prolongée ? Parviennent-ils à lutter contre l'entropie ? Jusqu'où peut-on s'y employer ? Il se réfère au dessin de Viollet-le-Duc illustrant la goutte pendante idéale du larmier carré. La réalité, même si elle diffère du dessin, autorise-t-elle que l'on retouche au larmier de Viollet-le-Duc ? Ce dernier n'appartient-il pas, avec ses défauts, à l'histoire du monument ? Jusqu'où est-il possible d'aller sans trahir la pensée, l'idée, l'image, l'architecture ou le style voulu par les concepteurs de ces éléments d'architecture ?

M. Amsler répond que le cœur de la réflexion est bien là. Il pense que la monumentalité d'un édifice n'implique pas qu'il soit figé, immuable, éternellement pareil à lui-même. Au contraire, le propre d'une architecture monumentale est de traverser le temps. Or un tel voyage laisse des traces, qui enrichissent le contenu historique d'une architecture et illustrent que cette dernière vient de loin. C'est par les traces qu'il porte sur lui que le bâtiment devient monument. La bonification des larmiers laisse des marques, elle aussi, minimales certes, mais répétées : elles rendent compte de l'effort déployé dans le temps pour faire bien fonctionner une structure, la conserver mieux et augmenter ainsi la durée de son témoignage.

Un monument porte aussi en lui l'héritage des environnements qu'il a traversés au cours du temps. Si la pluie n'a pas varié d'un siècle à l'autre, la qualité de l'atmosphère, elle, a constamment évolué. Et la pierre s'en souvient. Elle en a la mémoire : la pollution des deux derniers siècles qu'elle a incorporée aujourd'hui dans la profondeur de ses masses complexifie son témoignage en même temps qu'elle implique pour le conservateur des précautions et des modes nouveaux d'intervention. La conservation, elle aussi, doit constamment s'adapter. Finalement, tout bouge, dans ce monde apparemment immobile de la monumentalité. Tout évolue et doit évoluer. Il s'agit toutefois d'assurer une évolution civilisée, cultivée, qui ne gomme pas le passé, mais le continue. La conservation du monument peut être – doit être – active, mais sans trahir le monument. Et la fidélité ici ne consiste pas à répéter les formes, mais à les comprendre.

4. LES TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE EN SOUTIEN AU PATRIMOINE

M. Cabestan se dit très frappé par la présentation des coulures d'eau sur les différents profils de la cathédrale. Il se demande si les essais faits à Lausanne représentent bien la réalité des choses et se demande s'il ne serait pas bénéfique de s'approcher de spécialistes en hydrodynamique, tels qu'on les rencontre dans les domaines de la construction automobile ou aéronautique, par exemple.

Mme Stefani trouve la question très bonne ; dans les domaines de l'automobile ou de l'aéronautique, des logiciels très performants permettent de modéliser puis d'analyser les phénomènes dynamiques de l'eau. Un modèle théorique précède la conception de l'objet, puis un prototype est réalisé qui permet une expérimentation répétée et, par conséquent, une évolution morphologique de l'objet en fonction des observations faites. Tandis qu'en architecture, et tout particulièrement dans le domaine du patrimoine historique, les objets – chapiteaux, moulures, profils, etc. – sont uniques et nécessitent, en tant que tels, des approches très spécifiques qui varient au cas par cas. Il est essentiel de mener alors un travail de « standardisation » qui permette de trouver des solutions adaptées. Cet effort est indispensable si l'on veut créer des méthodes de consignation automatiques ou semi-automatiques.

M. Amsler, bien que convaincu de la correction des essais faits à la cathédrale, abonde dans le sens de **M. Cabestan** : il n'y a qu'à penser à la pluie courbe de l'aéronauticien Coanda pour être convaincu de la proposition. On passerait de la rationalité architecturale de Viollet-le-Duc à celle de l'aérodynamique.

Mme Stefani revient sur certaines observations qu'elle a faites lors d'une exposition de l'architecture au vent et de ce fait aux pluies battantes : les parties de la construction placées sous le vent subissent alors une espèce de remontée d'eau par tourbillons, comme l'eau qui remonte sur la vitre du hayon arrière d'une voiture lancée à pleine vitesse à travers la pluie. Il faut indiscutablement s'ouvrir très rapidement et très largement à ces autres disciplines.

5. LES OUTILS DE LA MODÉLISATION ENTRE PERFORMANCE ANALYTIQUE ET LOURDEUR D'USAGE

Les techniques d'analyse ou de préanalyse présentées ce matin améliorent en permanence l'appréhension des phénomènes. Il devient possible de créer des vues d'ensemble qu'il était impossible d'obtenir dans le passé ; c'est l'un des intérêts majeurs de cette approche. Là où le bât blesse encore, c'est la lourdeur de ces techniques : il est ainsi légitime de se demander vers quoi elles nous mènent.

Mme Stefani précise que, depuis une dizaine d'années, beaucoup de progrès porteurs d'espoir ont été faits en ces domaines. Dès lors que les propriétés tridimensionnelles d'un élément peuvent être données par un nuage de points, il devient possible d'incruster sur ces nuages des images ou des photos historiques. Il devient possible alors de structurer les nuages de points en fonction de chaque élément particulier de l'architecture, puis de se balader avec une tablette présentant le modèle référencé en constatant in situ, par exemple, l'évolution d'une altération entre l'image qu'en donne la tablette et celle qui se voit sur l'objet lui-même.

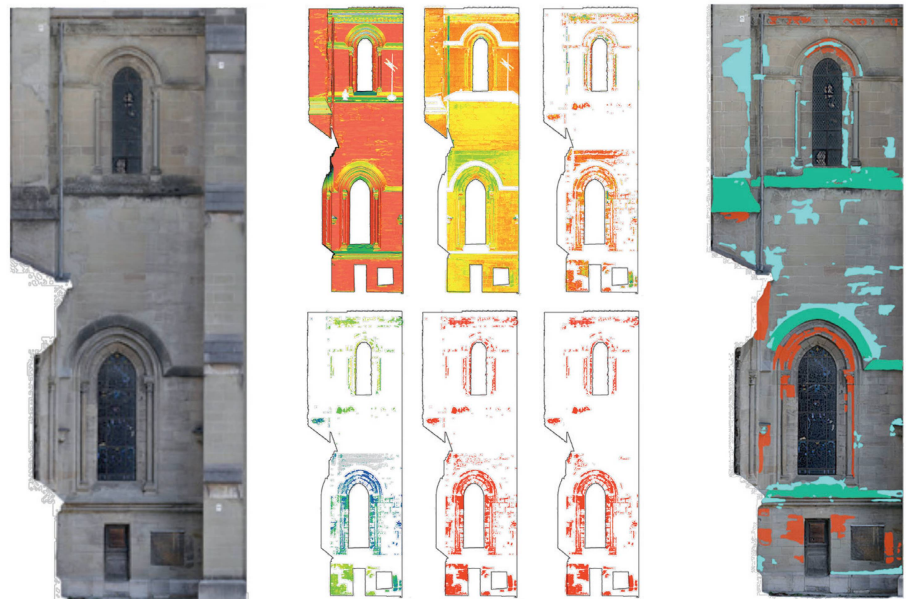
Le problème, aujourd'hui, réside dans la difficulté qu'il y a à établir un compromis entre le poids d'un modèle numérique et son usabilité. Il n'est pas facile de trouver un équilibre qui satisfasse à la fois chaque expert du patrimoine et qui permette en même temps d'interagir avec des bases de données, par exemple. Il s'agit de savoir également où vont les données acquises par les uns et les autres, et qui en est propriétaire, sans compter les questions que pose l'archivage numérique des contenus. Ces points sont à résoudre dans un futur proche. Quoiqu'il en soit, il est essentiel de maîtriser les questions monumentales si l'on vise la création d'un outil approprié.

M. Flatt revient sur la question du choix d'une éventuelle pierre de substitution. Placer des senseurs dans la pierre constitue une intervention lourde, même s'il ne s'agit que d'une partie du travail seulement. L'appareil construit à Zurich a précisément pour but de faciliter le choix d'une pierre, de reproduire les événements critiques auxquels elle sera soumise, voire de décrire l'action pathogène desdits événements. Mais il permet également de donner aux pierres candidates la possibilité de caractériser leur propriété de transport et de connaître, sur un modèle numérique, le comportement d'une pierre placée en un endroit spécifique du monument. La combinaison des caractérisations de site et celles d'un simulateur en laboratoire doit permettre, via un modèle numérique, de donner des

informations supplémentaires et permettre ainsi le choix adéquat d'un type de pierre de remplacement plutôt que d'un autre. L'une des stratégies vise à montrer que la dégradation d'une pierre n'est pas tant le résultat d'un processus simplement lent et continu, mais plutôt d'une certaine fréquence d'épisodes critiques. L'idée consiste à essayer d'identifier ces moments, qui ne sont pas nécessairement identiques partout. La reproduction des événements critiques permet de mener des tests adéquats au monument et qui tiennent compte à la fois de la localisation spécifique de l'événement étudié et des conditions météorologiques propres au lieu dans lequel l'événement se produit, les cycles de gel, par exemple, n'étant de loin pas les mêmes à Lausanne et en Sibérie...

M. Golay-Fleurdelys salue l'apport du travail d'Archéotech SA et estime que les outils informatiques développés permettent, pour la première fois aujourd'hui, une cartographie complète des dégradations de la pierre. La Commission technique se pose maintenant la question de la fréquence des relevés qu'il conviendra de prévoir dans le futur. Ce qui est décrit aujourd'hui date en effet d'il y a deux ans et vaudra, en raison des budgets disponibles, pour une dizaine d'années probablement. Mais si, à l'avenir, une diminution des coûts s'avérait possible, alors la fréquence des consignations pourrait être ramenée de dix à cinq ans par exemple ; cela permettrait de suivre plus précisément encore l'effet des interventions réalisées sur l'évolution des phénomènes de dégradation traités. Enfin, au niveau informatique, la réalisation d'un bloc-notes numérisé (un « cahier » d'images géoréférencées permettant de saisir au quotidien les avancées de la dégradation) devrait compléter la panoplie des instruments de monitoring mis à la disposition des personnes chargées de la maintenance de la cathédrale.

M. Girardet confirme la facilité d'usage des informations fournies par les relevés d'Archéotech SA : les images ainsi traitées permettent, sur une simple tablette, de distinguer les zones d'altération, d'en apprécier le caractère plus ou moins avancé, d'en calculer les surfaces, etc. – toutes des données d'une grande utilité.



4 Développement des données récoltées lors du relevé pour discrimination des zones étudiées. À gauche : orthophoto de la face ouest du transept sud. Au centre : étapes de discrimination des données (de gauche à droite et de haut en bas : soustraction des éléments saillants ; chargement de la carte d'intensité ; isolement des éléments plus clairs ; chargement de la carte RGB ; filtre des éléments clairs ; élimination du bruit. À droite : synthèses des marqueurs de l'eau (colonisations biologiques en vert, croûtes noires en rouge et lacunes en bleu) (Archéotech SA, 2020).

6. NOUVELLES TECHNIQUES DE RELEVÉ : GAIN D'INFORMATION ET FRÉQUENCE DES MESURES

Les traitements de la pierre laissent-ils une signature détectable par ces nouveaux outils d'analyse ? Un référentiel sera-t-il créé (fig. 4) ?

M. Corbella souhaite revenir sur la question des matériaux, plus particulièrement sur l'impact des coefficients d'absorption d'eau sur la dégradation de la pierre : la vitesse de ruissellement a-t-elle une incidence sur les processus ? L'aspect rugueux ou lisse des parements de grès influence-t-il sur l'absorption de l'eau ? Les mortiers jouent-ils un rôle dans le développement des altérations ? Le poids du monument a-t-il changé en se remplissant d'eau ?

Sur ce dernier point, **M. Flatt** répond que le changement de masse n'excède pas 10 %, ce qui ne constitue pas une proportion problématique. Au niveau du ruissellement, la rugosité joue bien sûr un rôle. En début d'épisode pluvieux, l'eau battante est largement « aspirée » par la pierre, compte tenu du coefficient d'absorption capillaire très élevé de la

molasse. Ce n'est qu'ensuite que le ruissellement se met à croître et à causer les coulures dont il a été question.

M. Girardet ajoute que, pour les surfaces exposées à la pluie, le ruissellement est très rare sur la molasse. En revanche, on constate une sulfatation de ces surfaces. La calcite présente entre les grains de sable de la molasse est attaquée par la pollution : elle se transforme en sulfate. La pluie dissout ensuite ce sulfate, et les grains de sable tombent. La molasse, ainsi exposée à la pluie, perd entre 1 et 3 millimètres de parement. Sa structure change ; elle paraît saine, mais la surface que l'on voit n'est plus celle des origines.

Mme Stefani fait observer que le travail d'analyse réalisé à la cathédrale de Lausanne est une première. De façon générale, la qualité des résultats obtenus a souvent été liée aux niveaux d'intensité des valeurs colorimétriques issues des mesures scanner/laser, notamment dans des situations où une réponse atypique laissait supposer la trace d'états antérieurs, d'anciennes consolidations par exemple. Elle souligne tout l'intérêt qu'il y aurait à effectuer des relevés de ce type de façon rapprochée dans le temps et non ponctuellement, tous les trente ans. Dans le domaine du monitoring, il est essentiel de trouver la fréquence juste. Parmi les moyens d'investigation possibles, qui n'ont pas encore été appliqués à la cathédrale mais pourraient donner des

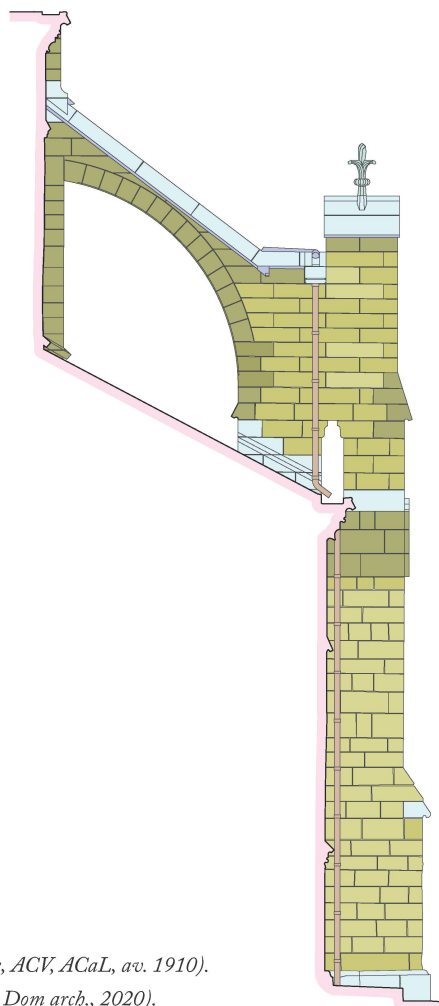
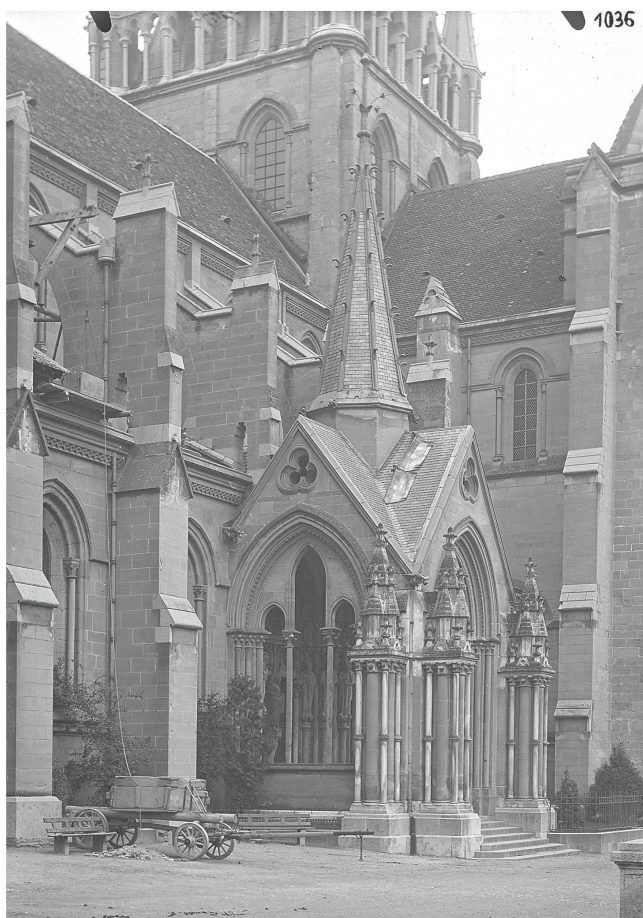
résultats supplémentaires, citons l'emploi de caméras thermiques ou multispectrales. Ces deux systèmes, embarqués sur drones, pourraient livrer des données tridimensionnelles et des informations supplémentaires non visibles à l'œil nu comme, par exemple, des variations de température. Ces informations nouvelles pourraient être, ensuite, croisées avec d'autres données matérielles ou typologiques.

7. RENOUVELLEMENT : COHÉRENCE OU CONTRADICTION DANS LE CHOIX DE LA PIERRE ?

M. Cabestan se pose la question de la sophistication des méthodes de relevé et de visualisation, qui permettent aujourd'hui d'analyser un bâtiment comme il n'a probablement jamais pu l'être auparavant. Mais cette débauche

instrumentale ne se fait-elle pas au détriment de l'étude de la matérialité réelle d'un ouvrage, ne néglige-t-elle pas l'observation des substances brutes ? Il songe notamment à l'histoire des retraites de contreforts à Lausanne, reprises par Viollet-le-Duc qui a mis de la pierre dure au larmier, puis par Assinare qui a complété cette transformation matérielle aux assises inférieures et supérieures. Ce type d'observation, concret et historique, ne permet-il pas de comprendre mieux ce qui, dans une intervention, est dommageable ou non (fig. 5-6) ?

M. Girardet abonde en ce sens. Les conséquences des interventions de Viollet-le-Duc et d'Assinare aux larmiers ne s'observent qu'à la pluie réelle : peu de ruissellement lorsque le larmier est en molasse, donc peu de coulures sur les assises inférieures ; un ruissellement accru lorsque la molasse est remplacée par une pierre qui n'absorbe pas l'eau, mais la renvoie sur les parements inférieurs où elle est absorbée en plus grande quantité par la molasse conservée, avec de gros dégâts à la clé.



5 Travaux de restauration et renouvellement des larmiers en calcaire par Assinare (photo anonyme, ACV, ACaL, av. 1910).

6 Profil d'un arc-boutant avec les différentes pierres selon la fonction et position de l'assise (Amsler Dom arch., 2020).

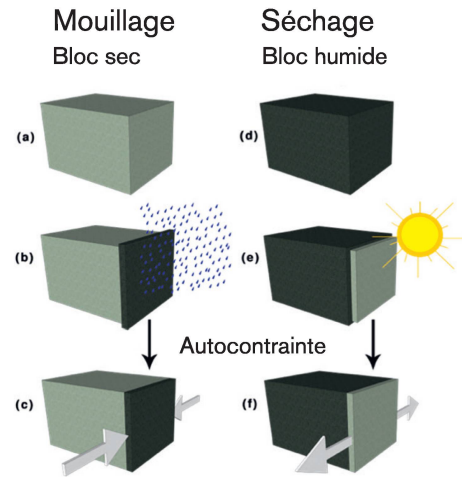
M. Amsler précise qu'à la cathédrale, quels que soient les époques et les architectes, un souci de bonification matérielle a toujours prévalu, des insertions de calcaire blanc qu'a faites Jean Cotereel au début du XIII^e siècle jusqu'aux inclusions d'Arvel dont il vient d'être question à propos d'Assinare. Mais l'introduction d'une pierre plus dure dans le monde des grès tendres doit se faire avec infiniment de doigté et de prudence si l'on veut éviter les phénomènes de rejet qui, comme dans le corps humain, sont le risque des greffes.

L'histoire des retraites talutées, ces passionnantes petites toitures de pierre, est caractéristique: originellement entièrement en molasse, les retraites ne créaient que peu de ruissellement, comme vient de le noter M. Girardet, donc peu de larmes sur les contreforts situés en contrebas. Mais leurs becs, fragiles, se sont vite érodés. D'où la décision de Viollet-le-Duc d'y mettre du calcaire, plus résistant et plus durable dans sa fonctionnalité, mais dont l'étanchéité fait augmenter le ruissellement et par conséquent l'humidification de l'assise inférieure. D'où l'idée d'Assinare, encore, de réaliser cette assise en calcaire, elle aussi, de manière à ce qu'elle résiste mieux aux larmes qu'elle reçoit de plus haut, mais qu'elle ne fait que transporter plus bas, reportant indéfiniment un problème qui s'accroît plus on descend... Le panachage des matériaux est une option délicate, pleine de ressources, mais de risques aussi.

8. UNE RÉPARTITION INATTENDUE DE L'HUMIDITÉ EN PROFONDEUR

Mme Praticò indique en effet que le profil de distribution de l'humidité dans la profondeur de la pierre a été, pour eux, une découverte. Des théories sont en cours d'élaboration, qui tentent d'expliquer les effets à 6 centimètres de profondeur d'une telle accumulation d'eau, et de l'accumulation de sel qui peut lui être liée aussi. Mais il faut reconnaître que malgré ces efforts d'interprétation, les mécanismes d'accumulation restent encore largement mystérieux aujourd'hui; des expériences en laboratoire sont en cours – sur les mouvements de l'eau, les transports de chaleur dans la pierre, etc. – qui permettront certainement de mieux comprendre la situation (fig. 7).

M. Flatt rappelle que des spéculations théoriques avaient pressenti un tel phénomène dans les années huitante déjà, sur la base de mesures réalisées avec des capteurs d'humidité. Le mérite du travail de Mme Praticò est d'avoir démontré



7 Répartition de l'humidité dans les blocs de molasse et réaction de ce bloc en fonction de la météo (Robert J. Flatt, Rino Sàrl, 2020).

la réalité de ce phénomène. La valeur qu'ajoutent les senseurs à la connaissance est d'observer qu'à cette profondeur, l'eau se trouve sous forme liquide, ce qui était inattendu et méritera réflexion. Des investigations devraient permettre de cerner les implications de cette nouvelle donnée.

M. Girardet complète les remarques précédentes en précisant que la molasse s'altère au gonflement, ce dernier étant inhérent à ce type de pierre, qui contient de l'argile. Une molasse exposée au cycle de mouillage/séchage se fatigue en effet et forme des plaques. Deux autres causes jouent probablement aussi un rôle important dans l'altération des grès tendres. La cristallisation des sels d'une part, en cas d'accumulation de gypse à l'intérieur de la pierre; et d'autre part, le gel. En période de réchauffement climatique – comme nous la vivons aujourd'hui –, le risque de gel diminue. Et c'est une bonne nouvelle pour la pierre. La pollution aussi a disparu, ce qui constitue un autre facteur positif, même si des sels liés à la pollution ancienne se sont sans doute accumulés à l'intérieur de la pierre, où ils maintiennent un risque élevé de dégradations potentielles. Il ne faut pas perdre de vue que la cathédrale a été construite à une époque où il faisait très chaud, aussi chaud qu'aujourd'hui. L'optimum médiéval se situe entre les années 1200 et 1300. Suivent 500 ans de refroidissement climatique qui aboutissent aux températures basses du « petit âge de glace ». Si l'on parle aujourd'hui de réchauffement, il ne faut donc pas oublier qu'il succède à une période de froid intense qui, couplé aux pics de pollution des XVIII^e-XX^e siècles, a pu amplifier considérablement les causes d'altération de la molasse et donner à la dégradation un rythme qui pourrait ne plus être le même aujourd'hui.