

Formation - Action

28 juin au 1^{er} juillet 2010

Les techniques *de* conservation *de la* pierre



Strasbourg.eu
la communauté urbaine

Sommaire



Christiane Schmucklé-Mollard **5**

Architecte en Chef des Monuments Historiques
Architecte de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame



Introduction **7**



01 Les solins **9**



02 Le traitement des fissures **13**

03 Le nettoyage du grès **17**



03a Le nettoyage par micro-gommage **17**



03b Le nettoyage au laser **21**



04 Les décollements par plaques **23**



Conclusion **31**

Annexe **33**



Protocole de conservation
de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame et terminologie **33**



Fiches produits **37**

Christiane Schmucklé-Mollard

Architecte en Chef des Monuments Historiques

Architecte de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame

Les journées d'études techniques, organisées à Strasbourg par l'atelier de l'Œuvre Notre-Dame ont permis d'inviter des professionnels de haut niveau dans le domaine de la restauration préventive et de la conservation du grès en œuvre. Elles leur ont offert la possibilité de comparer les travaux exécutés sur les cathédrales de Berne, Fribourg et Strasbourg.

Lors de micro chantiers sur la cathédrale de Strasbourg, les pratiques différentes ont permis de mettre en évidence des réponses extrêmement pertinentes qui seront utilisées et mises en pratique par les responsables des ateliers réunis à Strasbourg :

- traitement des décollements par plaques réalisé par l'atelier de Berne (un modèle à suivre),
- méthodologie préalable aux interventions de nettoyage (atelier de Fribourg),
- exécution de solins (entreprise Quélin),
- traitement des fissures fines (entreprise Sculptura).

En outre, les essais de nettoyage au laser (société Sculptura) ont montré les réels progrès constatés, en particulier l'absence d'effet de blanchiment avec un résultat probant sur un échantillon de taille réduite. L'évolution de ce procédé de nettoyage devra être encouragée et suivie.

Les journées se sont déroulées à un rythme très soutenu avec un niveau de savoir-faire élevé.

Les intervenants ont été convaincus de la nécessité de se retrouver pour des échanges à caractère scientifique qui permettent de veiller à la constante évolution des savoirs-faire en matière de conservation préventive et d'entretien des grès.

À titre d'exemple, grâce à l'évolution réelle des pratiques, les chantiers réalisés sur la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg permettent aujourd'hui, de conserver l'authenticité des pierres en œuvre en limitant leur remplacement au strict minimum.





Introduction

La Fondation de l'Œuvre Notre-Dame, rattachée à la Direction de la culture de la Ville de Strasbourg, est chargée de l'entretien, de la conservation et de la restauration de la cathédrale de Strasbourg.

À ce titre, elle emploie une vingtaine d'artisans : tailleurs de pierre, sculpteurs, maçons et techniciens.

La Fondation, en collaboration avec le Service emploi-formation de la Communauté Urbaine de Strasbourg et avec le concours financier du Centre National de la Fonction Publique Territoriale (CNFPT) a organisé une formation/échange sur les techniques de conservation du grès, du 28 juin au 1^{er} juillet 2010. Celle-ci fait suite à un cursus de formations théoriques commencé en 2003. Elle a été déclinée en quatre thèmes correspondant aux principales interventions en conservation rencontrées sur la cathédrale.

Les ateliers répondent également à des critères de partage d'expériences et de veille technique entre les différents spécialistes.

Quatre thèmes / quatre ateliers

- Les solins par *Thomas Vieweger* (directeur du département restauration d'objets d'art au sein de l'entreprise Quélin à Rueil-Malmaison en région parisienne) et *Didier Urbe* (chef de chantier, entreprise Quélin) ;
- Le traitement des fissures par *Martin Labouré* (responsable de l'entreprise Sculptura à Erstein en Alsace) et *Colette Brussieux* (restauratrice en conservation, entreprise Sculptura) ;
- Le nettoyage du grès par *Johanna Quatmann* (restauratrice et historienne de l'art auprès de la cathédrale de Fribourg en Allemagne) et *Karin Walther* (Sculptrice aux ateliers de la cathédrale de Fribourg) ;
- Les décollements par plaques par *Annette Loeffel* (architecte adjointe de la cathédrale de Berne en Suisse) et *Peter Völkle* (responsable de l'atelier et du chantier de la cathédrale de Berne).

À l'issue de ces trois jours, une conférence suivie d'un débat a été organisée avec les différents intervenants et invités (laboratoires de recherches, représentants de l'État, chercheurs, passionnés de la cathédrale, etc.).

Les pages qui suivent s'articulent autour de chacun des thèmes : explications, descriptions des ateliers, discussions, remarques des artisans et méthodologie actuelle d'intervention en usage à la Fondation.



Chaux aérienne



Poudre de grès

Entreprise Quélin

Thomas Vieweger et Didier Urbe



Les artisans de la Fondation procèdent à la préparation du mortier

Les solins consistent en une application localisée et discrète de mortier sur la surface d'une pierre altérée. Ils permettent ainsi de combler des interstices qui ont fragilisé la pierre en la rendant sensible aux infiltrations d'eau. Ils favorisent également un meilleur écoulement des eaux de ruissellement tout en protégeant cette zone.

L'apparence du solin doit être très proche de la nature de la pierre (porosité, composition), de sa couleur et de son aspect (granulométrie).

Enfin, la viabilité et la durabilité des solins sont conditionnées par les traitements adéquats en conservation, réalisés en amont, selon la ou les pathologie(s) de la pierre.

Une bonne gestion des écoulements des eaux est essentielle.

Atelier par les intervenants

Mortier à base de :

- 1/3 de chaux aérienne naturelle en poudre ou en pâte ;
- 2/3 de charge composée de poudre de pierre, de pigments naturels, de brique pilée et de sable fin (à adapter selon la granulométrie désirée).

Finition :

- lavée ;
- coupée ;
- grattée ;
- à l'éponge ;
- brossée.

Ajustement de la couleur (si nécessaire) :

- eau forte = eau + pigment naturel + fixatif acrylique

Réalisation :

- Créer une base de 10 couleurs environ (du jaune au rouge), de la plus claire à la plus foncée, avec les dosages correspondants, à ajuster avec l'expérience.

Principe :

- Application du mortier obtenu à l'aide d'outils (différentes tailles et types de spatules) sur les zones concernées ;
- Évite les infiltrations ;
- Harmonisation colorée appropriée.



Sable fin



Brique pilée



Pigments naturels



Ingédients de base pour la réalisation des solins



Mortier prêt à l'emploi



Application du mortier à la spatule



Façonnage du mortier sur support mouillé

Durabilité :

- 15 ans de recul, 30 ans espéré sur les grès, à renouveler ensuite (réversibilité du procédé)

Remarques de l'entreprise Quélin (Thomas Vieweger) :

- Il faut déterminer la perméabilité à la vapeur, le pourcentage d'argile, la porosité des pierres avant intervention ;
- L'emploi de produits comme le silicate d'éthyle peut provoquer une réaction sur les pierres contenant de l'argile gonflante*. Les pierres peuvent cependant être stabilisées à l'aide de différents produits comme l'acétone ;
- Il est nécessaire de consolider la pierre avant la réalisation des solins ;
- L'application de solins est proscrite lors de températures extrêmes (froides ou chaudes) ;
- Si la pierre présente de légères altérations de surface, il est appliqué un badigeon épais afin de la « cicatriser » ;
- Le silicate d'éthyle est parfois employé comme adjuvant.

Remarques des artisans de la Fondation :

- La laitance de la chaux aérienne blanchie le grès ;
- Grande souplesse dans la réalisation du mortier ;
- Les matériaux employés dans ce mortier sont plus naturels que les mortiers secs prêts à l'emploi (style produits Remmers) ;
- Bonne imitation du grain ;
- 15 ans d'expérience de l'entreprise Quélin (produit et mise en œuvre) ;
- Difficulté pour obtenir les bonnes teintes ;
- Équilibre difficile à atteindre entre la recherche de la couleur, la granulométrie et la teneur en liant ;
- Palette de couleur est très large de l'ocre jaune claire à l'ombre calcinée en passant par les différents oxydes de fer ;
- La palette des grès de la cathédrale est large (nombreuses couleurs, patines, grains etc.) ;
- Selon l'entreprise Quélin, le mortier de ragréage à base de chaux aérienne est plus poreux que le substrat naturel ;
- Beaucoup de variables à prendre en compte (climat, hygrométrie, pas d'ensoleillement direct, bonne qualité de la surface de la pierre, etc.) pour garantir une bonne tenue du mortier sur les grès.

* non constaté sur les chantiers cathédrale entre 2001 et 2011



Solin avant finition de l'aspect granuleux



Solin terminé dans les tons jaune



Solin terminé dans les tons rose

Méthodologie actuelle d'intervention de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame

Les artisans ont déjà expérimenté les mortiers de chaux hydraulique associés à des poudres de grès et à des pigments. Leurs applications se sont avérées délicates avec une mise en œuvre plus longue pour obtenir les teintes désirées. La tenue dans le temps était insuffisante, l'objectif principal étant la pérennité des interventions. Des problèmes d'efflorescences liées à la chaux sur la porosité du grès ont parfois été constatés, ce qui a eu pour conséquence d'orienter les artisans vers des mortiers prêts à l'emploi. Ils sont constitués de matières premières minérales (liants : ciment blanc et agrégats : quartz) de la marque Remmers. Ces mortiers ont pour avantages une plus grande facilité de mise en œuvre et donc un gain de temps, une meilleure stabilité et une meilleure accroche au substrat. Ces produits sont constitués en partie de ciment blanc à faible teneur en sel. On constate parfois, dans les zones exposées aux eaux de ruissellement, l'apparition d'efflorescences.

Le grain du grès recherché est assez similaire et les applications se fondent bien sur les éléments en grès traités.

La finition se fait à l'éponge tout en prenant soin de faire ressortir le grain et d'éliminer par « absorption » le surplus de la laitance.

Les traitements se limitent aux zones fragilisées et ni ragréage et ni reconstitution ne sont exécutés afin de préserver l'authenticité des éléments. Si le « manque » est trop important, la décision s'orienta plutôt vers les incrustements de pièces de grès.

Débat entre les participants

Lors du débat qui a fait suite aux différents ateliers, des questions ont été posées sur la tenue de ces mortiers à la chaux aérienne, les adjuvants au silicate d'éthyle, sur l'hydraulicité et les types et teneur d'argile contenus dans la brique pilée et particulièrement sur le choix de la chaux aérienne qui semble être un « non sens » en Alsace selon un des participants. La chaux hydraulique employée pour le jointoiement doit avoir une faible hydraulicité pour ne pas être étanche.

Les désordres des grès de la cathédrale semblent toujours venir de l'emploi de ciment et non de la chaux hydraulique naturelle (CHN) qui a toujours été employée.

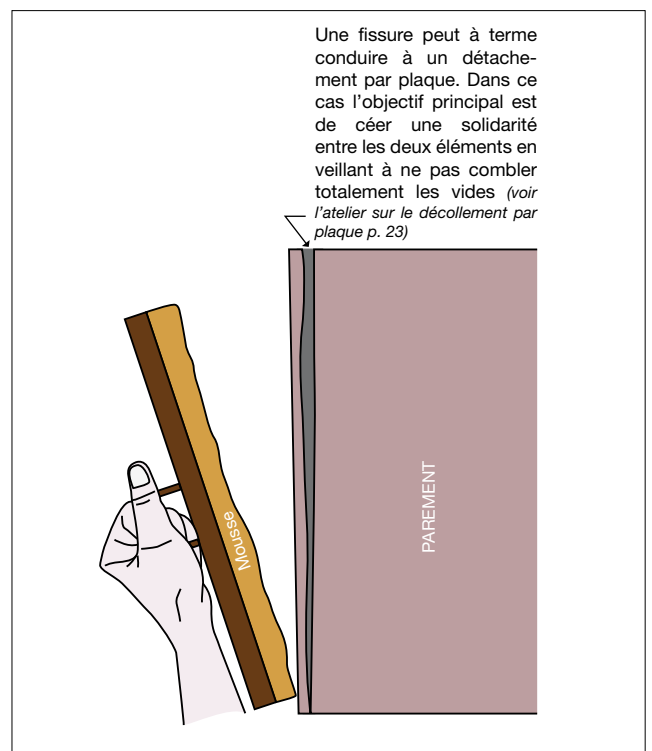


Figure 1 : Schéma de principe



Préparation du mortier d'injection PLM-M



Cuvette de protection en terre glaise lors de l'injection du PLM-M

Entreprise Sculptura

Martin Labouré et Colette Brussieux



Pré-mouillage et injection sur le chantier du mur ouest du transept sud

Les fissures sont des altérations fréquentes sur les grès de la cathédrale de Strasbourg. Leurs natures et leurs origines sont multiples :

- fissures dont l'origine est structurelle, la nature est donc physique ;
- fissures dont l'origine est l'oxydation du fer de scellement, la nature est également physique ;
- fissures dont l'origine est la contamination par des sels véhiculés par l'eau, la nature est alors physico-chimique.

Les parties du grès altéré sont conservées en identifiant l'origine de la fissure, en traitant la cause et en nettoyant minutieusement les éléments accumulés à l'intérieur pour enfin combler les vides. Cette dernière opération permet d'éviter toutes infiltrations et ainsi ralentir voire stopper la propagation de l'altération.

Atelier par les intervenants

Produits utilisés pour cet atelier :

- Remmers KSE500STE (voir fiche produit en annexe) associé aux mélanges A et B (voir fiche produit en annexe) et à un solvant pour préparer le support à l'injection : éthanol ;
- PLM-M de l'ICCROM (voir fiche produit en annexe) et un solvant pour préparer le support : eau voire de l'eau déminéralisée.

Principes d'applications :

- À l'aide de seringues (de différents diamètres), des injections sont réalisées dans les interstices afin de combler les vides et ainsi recréer des liens entre les différentes parties et donc retrouver un milieu propice aux échanges hydriques optimaux ;
- Le pré-mouillage à l'eau pour le PLM-M et à l'alcool pour le KSE500STE permet une meilleure pénétration du produit dans son support (capillarité) ;
- Finition à l'aide d'un mortier adapté à la nature du grès, à ses teintes et à ses granulométries.

Durabilité :

- 10 années de recul pour le PLM-M.

Constats :

- La bonne mise en œuvre des opérations est soumise aux conditions climatiques (chaleur, soleil direct, froid, humidité conséquente), les périodes idéales sont le printemps et l'automne ;
- Dans certains cas, il est nécessaire de pré-consolider (silicate d'éthyle) les zones à traiter avant les injections ;
- Les mousses et les lichens qui ont colonisé ces zones doivent être nettoyées (produits biocides ou moyens alternatifs)
- Les mortiers de ciment utilisés pour les joints par le passé, sont l'une des causes de dérangements, il est indispensable qu'ils soient purgés et nettoyés.
- Lors de l'opération de nettoyage des éléments accumulés dans les interstices et afin d'éviter un détachement complet de plaque, il est à prévoir un support en bois avec de la mousse en dessous pour soutenir la pierre, *figure 1* (vérifier si cette opération de sécurisation n'augmente pas le processus de dégradation de l'élément en grès) ;
- Pré-consolider si besoin (perte de cohérence des grains, désagrégation sableuse, etc.) au silicate d'éthyle les zones concernées.



Injection du PLM-M



Nettoyage après application du produit



Application du PLM-M terminée

Remarques des artisans de la Fondation :

- L'usage du PLM- M est réservé aux fissures fines ;
- Adapter la taille des aiguilles et seringues selon la dimension des fissures ;
- Les solvants à base d'alcool s'évaporent très rapidement ;
- On constate des réactions négatives du KSE500STE lors du temps de prise avec les eaux de ruissellement et plus généralement avec un taux d'humidité élevé.
- Le temps de prise (3 à 4 semaines) est élevé pour le KSE500STE ;
- Problème d'efflorescences avec les 2 produits ;
- Des risques de formation de gypse sont possibles avec le PLM-M (produit à base de chaux) ;
- Le nettoyage du KSE500STE se fait à l'aide d'un solvant (éthanol) ;
- Un retrait important du PLM-M apparaît pendant sa prise ;
- Le PLM-M ne craint pas l'eau et sa prise est rapide ;
- Le KSE500STE est adapté à la nature du grès.

Méthodologie actuelle d'intervention de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame

Les produits PLM (PLM-I et PLM-A) ont été mis en œuvre au début des traitements en conservation sur la cathédrale (voir fiches produits).

Actuellement le traitement des fissures est exécuté à l'aide du KSE500STE et des matières A et B comme charges. Ce procédé a pris le pas sur l'utilisation des produits de type PLM, surtout utilisés pour les pierres calcaires afin de s'orienter vers un produit proche de la nature du grès, à savoir la silice.

Pour l'OND avec le KSE500STE, environ 5 ans de recul sur la cathédrale et pour le PLM-I et PLM-A (flèche) un peu moins de 10 ans.

Les grandes difficultés avec les produits à base de silicate d'éthyle sont :

- les temps de prise sont très long, 2-3, voire 4 semaines et plus selon les conditions climatiques ;
- L'incompatibilité et les risques liés au contact de l'eau et/ou d'une trop grande humidité avec le produit pendant son application et sa prise ;
- Le nettoyage du surplus, uniquement avec de l'alcool ;
- Les risques d'apparition d'efflorescences dans certains cas ;
- Plus généralement, des difficultés de mise en œuvre pour les chantiers en extérieur.



Comblement par injection de gel de silice à charge siliceuse, préparation du support par mouillage à l'alcool



Mise en œuvre du gel de silice



Application du gel de silice terminée

Il est donc important de minimiser ces risques en mettant systématiquement les zones de travaux « hors d'eau ».

Toutefois le procédé ne permet pas de répondre correctement à toutes les situations de fissures sur les éléments de la cathédrale, notamment lors des phases d'intervention en extérieur.

Dans les cas de fissures fines et/ou exposées aux intempéries, la gamme de produits PLM semble plus adaptée.

Débat entre les participants

Pendant les débats, il est clairement apparu que pour améliorer les interventions sur les traitements des fissures, il serait souhaitable d'intervenir avec les 2 produits selon le contexte et les conditions climatiques.

Dans tous les cas, ces opérations nécessitent une importante préparation et organisation du chantier.

Au-delà de cette thématique, M. Hermann Häberli, Architecte de la cathédrale de Berne et Colette Brussieux ont évoqué d'autres méthodes d'interventions en conservation, ils estiment par exemple :

- que le ragréage peut être une couche sacrificielle qui va préserver le grès ;
- que le jointoiement doit se réaliser à l'aide d'une règle pour recréer l'appareillage précis tout en reconstituant les parties en grès à l'aide de mortier ;
- que la conservation préventive doit revenir sur le devant de la scène, notamment par la purge systématique des mortiers à base de ciment.

Pour la Fondation, l'objectif est de préserver et conserver au maximum les pierres et leur authenticité (aspect de taille, traces archéologiques, polychromie, etc.). Mais lorsque le grès est trop fortement altéré, il est remplacé par une copie conforme en grès. La pierre ne fait jamais l'objet de ragréage mais plutôt de solins et d'incrusement en grès.



Micro-gommeuse utilisée avec de la poudre de corindon blanc à une pression de 0,5 à 1 bars



Nettoyage des croûtes noires sur un élément de corniche



Johanna présente les fonctionnalités et les réglages de la micro-gommeuse

Le nettoyage des grès répond à deux objectifs :

- Un nettoyage de surface des zones contaminées par les croûtes noires (gypse) et différents dépôts de poussières agglomérées ;
- Un nettoyage de surface des patines noires naturelles afin de retrouver et/ou d'harmoniser la teinte naturelle du grès et éventuellement de faire ressortir des polychromies parfois recouvertes par d'autres couches (badigeons de chaux, poussières, croûtes noires, etc.).

Pour ce faire, il existe un certain nombre de techniques :

- mécaniques ;
- produits chimiques ;
- compresse ;
- moyens abrasifs (micro-gommage) ;
- laser.

Ces procédés nécessitent toujours une étude approfondie du contexte, des éléments à traiter et du but recherché.

03a | Le nettoyage par micro-gommage

Cathédrale de Fribourg

Johanna Quatmann et Karin Walther

Atelier par les intervenantes

Technique et produit utilisés :

- Micro-abrasion avec micro-gommeuse ;
- Corindon blanc de 35 à 38 microns. Celui-ci a fait ses preuves en tant que matériaux de sablage. Sur les parties polychromées, les intervenantes l'utilisent avec une granulométrie de 26,2-29,2 μm : FEPA 320 (Federation of European Producers of Abrasives). Sur les parties comportant des croûtes gypseuses, la granulométrie peut être moins fine 53-75 μm (FEPA 220) ;
- Quatre moyens pour doser le gommage : pression, diamètre de la buse, distance de travail, qualité du sable ;
- Lors du gommage, la main du praticien est toujours en mouvement pour un résultat homogène (perpendiculairement à la surface). Pour les surfaces lisses une buse de 1,8 mm de diamètre est utilisée. En ce qui concerne les parties sculptées, (feuillages, etc.) les parties ajourées peuvent être gommées, pour plus d'efficacité, à l'aide d'une buse plus fine ($\varnothing$ 1,2 mm).

Selon les intervenantes, plus la buse est petite plus est grand le risque d'endommager la surface.

Principes d'application :

- Avant de commencer toutes interventions il est nécessaire de :
 - 1- Concevoir une cartographie précise de chaque zone ;
 - 2- Étudier toute la surface : traces historiques, polychromies, particularités, etc. et y associer des photos normées (échelle) et une description détaillée ;
 - 3- Utiliser un microscope pour vérifier et compléter l'étude sur site de certaines zones si nécessaire ;
 - 4- Prélever et analyser des échantillons ;
 - 5- Vérifier de nuit, à la lampe à ultra-violet, des traces éventuelles de polychromies, laissées par le contact du liant sur le grès.

Ces différentes étapes d'étude peuvent prendre jusqu'à 10h pour un constat particulier.

En partant du principe qu'il existe toujours plusieurs couches, il est essentiel de procéder par étape afin de ne pas « détruire » une trace importante et pour, au fur et à mesure, laisser respirer la pierre (échanges hydriques) et bénéficier d'une amélioration esthétique.

▸ Surfaces avec polychromie :

Lorsque la polychromie est recouverte d'une couche sombre perméable, 0,5 bar environ de pression sont nécessaires pour la diluer. Il faut cependant veiller à garder une patine sur la polychromie pour éviter d'endommager sa surface.

▸ Croûtes gypseuses non perméables à la vapeur : Elles sont amoindries au scalpel et ensuite nettoyées à haute pression (3 bar et plus).

▸ Surfaces sans polychromie :

Si aucun pigment n'est trouvé lors des examens préalables et que sous lumière ultraviolette (fluorescence et reflectographie) aucune trace de liant n'est découverte sur la surface de la pierre, celle-ci peut être nettoyée à plus haute pression.

▸ Surfaces sur lesquelles on soupçonne de la polychromie :

Si d'éventuelles traces de polychromie sous les couches noires sont supposées et si la surface de la pierre en-dessous n'est pas complètement abîmée, cette couche est amincie jusqu'à 5 fois et plus avec une pression de 0,5-0,7 bar. C'est seulement à ce niveau d'intervention que la présence d'une couche polychrome ou de fragments de polychromie peut être confirmée. Les pigments oxydés du blanc de plomb ou du minium de plomb (oxyde de plomb rouge) peuvent être confondu avec une couche noire. C'est ainsi qu'a été mise à jour à la cathédrale de Fribourg, une date de couleur noire trouvée sous une couche très sombre de saleté.

En présence de polychromies, celles-ci devront si nécessaire, être pré-consolidées avant l'opération de dessalement (si besoin) et avant le traitement par micro-gommage.

Le gypse est entièrement nettoyé uniquement dans les cas où aucune trace particulière n'a été décelées (trace historique, polychromie, aspect de taille, tâcheron, etc.)

Durabilité :

▸ Variable selon l'exposition, la pollution de l'air et la pertinence des traitements en conservation.

Constats :

- Il faut toujours travailler dans un ensemble et non ponctuellement ;
- Le micro-gommage est utilisé uniquement lorsque cela est absolument nécessaire ;
- Le matériel coûte cher et la mise en œuvre prend du temps mais le résultat est appréciable en matière de conservation, il faut bien entendu toujours garder la même méthode d'intervention ;
- Il ne faut pas utiliser de produits chimiques, pas de carbonate d'ammonium car cela laisse des traces (efflorescences) sur le grès ;
- A priori les grès de Fribourg sont de natures différentes. Ils n'ont pas le même genre de patines (noires) mais principalement la pathologie des croûtes gypseuses (sauf une pierre de la flèche)

Remarques des artisans de la Fondation :

- L'équipe de Fribourg utilisent du corindon (sable fin) de granulométrie allant de 35 à 38 microns. Les artisans de la Fondation ont recourt à une granulométrie qui va de 29 à 15 microns (si polychromie), selon l'intervention de l'Archifine peut-être également utilisée. Les intervenantes de Fribourg pensent que ces granulométries plus fines génèrent plus de poussières sans grandes différences dans le résultat ;
- On peut noter une différence majeure dans le maintien de la buse perpendiculaire pour Fribourg et de biais pour l'OND. En effet, l'usage de biais permet de réduire l'impact de l'abrasif sur la pierre. Il est à noter qu'une des particularités de la cathédrale de Strasbourg est sa richesse en aspect de taille et traces archéologique ;
- Apparition de voiles grisâtres et/ou blanchâtres après le gommage des pierres probablement dû au corindon ;
- Le dépoussiérage des éléments est effectué à la micro-gommeuse à Fribourg, quant à l'OND cette étape est réalisée à l'aide de pinceaux et brosses et air soufflé ;
- Le conservateur, au plus près de l'édifice et avec une méthode rigoureuse et constante, réduit les erreurs d'analyses et de compréhension, comparé à un laboratoire seul qui peut facilement commettre des erreurs dans l'interprétation des résultats ;
- Il faut faire attention à l'effet « tigre » lors du traitement et être prudent lorsque la luminosité est variable selon les heures de la journée et selon les saisons ;

- Un traitement systématique des surfaces demande des ressources temps difficiles à planifier pendant les phases globales de chantier, eux-mêmes soumis à des contraintes temps.



Observation des traces de polychromie



Choix du diamètre de la buse



Nettoyage à la micro-gommeuse

Méthodologie actuelle d'intervention de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame

La technique du micro-gommage est principalement employée pour le traitement des croûtes noires.

Nous employons également d'autres techniques de nettoyage :

- à l'aide de brosse et spatule ;
- si besoin à l'aide d'une solution saturée de bicarbonate d'ammonium appliquée par compresse ;
- avec un dessalement des zones et une reminéralisation si nécessaire

Le micro-gommage est utilisé, dans une moindre mesure, pour les patines noires naturelles, phénomènes fréquents sur les grès de la cathédrale.

Les diverses observations ont amené à considérer ces patines naturelles, le plus souvent comme un élément protecteur du grès (éléments d'origine concernés et intacts). Ces patines ont fait l'objet d'études dont les résultats portant sur l'amélioration des échanges hydriques sont parfois contradictoires et différent selon les spécialistes. Par prudence et précaution, nos interventions à l'aide d'abrasifs sur ce cas de figure se limitent donc à une harmonisation esthétique d'ensemble, de manière ponctuelle et ciblée.

Cette technique de nettoyage doit être réalisée suivant un protocole rigoureux car elle pourrait se révéler destructrice tant au niveau des traces historiques et archéologiques des grès qu'au niveau du vieillissement des surfaces.

La mise en œuvre peut s'avérer « contraignante » par les poussières créées, et la préparation du chantier à cet effet.

Toutefois, c'est actuellement un moyen concret pour nous aider dans l'élimination des croûtes noires, des dépôts agglomérés en surface et pour remettre en valeur les polychromies.

La voie de la technique « laser » que nous avons pu sommairement tester, peut être en partie, une solution alternative aux inconvénients du micro-gommage.

03b | Le nettoyage au laser

Entreprise Sculptura
Martin Labouré



Support préalablement humidifié pour l'intervention de nettoyage au laser



Le laser en action, la patine noire commence à s'estomper

Caractéristiques du laser et résultats :

- Quanta system est une marque italienne ;
- Il possède un détecteur de proximité et une commande à gâchette ;
- L'utilisation de lunettes de protection est obligatoire ainsi que le bâchage noir de la zone de travail (protection contre la propagation du faisceau laser) ;
- L'installation électrique doit être adaptée ;
- Le support doit être légèrement mouillé avant le traitement ;
- En général, il est relativement plus rapide qu'une micro-gommeuse mais dépend de l'épaisseur des croûtes noires à traiter ;
- Les échafaudages sont à adapter pour l'emploi de la machine ;
- Ce procédé n'altère pas les aspects de taille ;
- Si des polychromies sont présentes, des essais doivent être préalablement effectués (selon la nature des pigments et des liants) ;
- La couleur du grès d'origine n'est pas retrouvée de manière toujours satisfaisante mais nous n'avons pas d'effet de blanchiment ou de grisonnement.

Les essais au laser devront se poursuivre pour valider la méthode sur la cathédrale de Strasbourg.



Résultat du laser sur une base

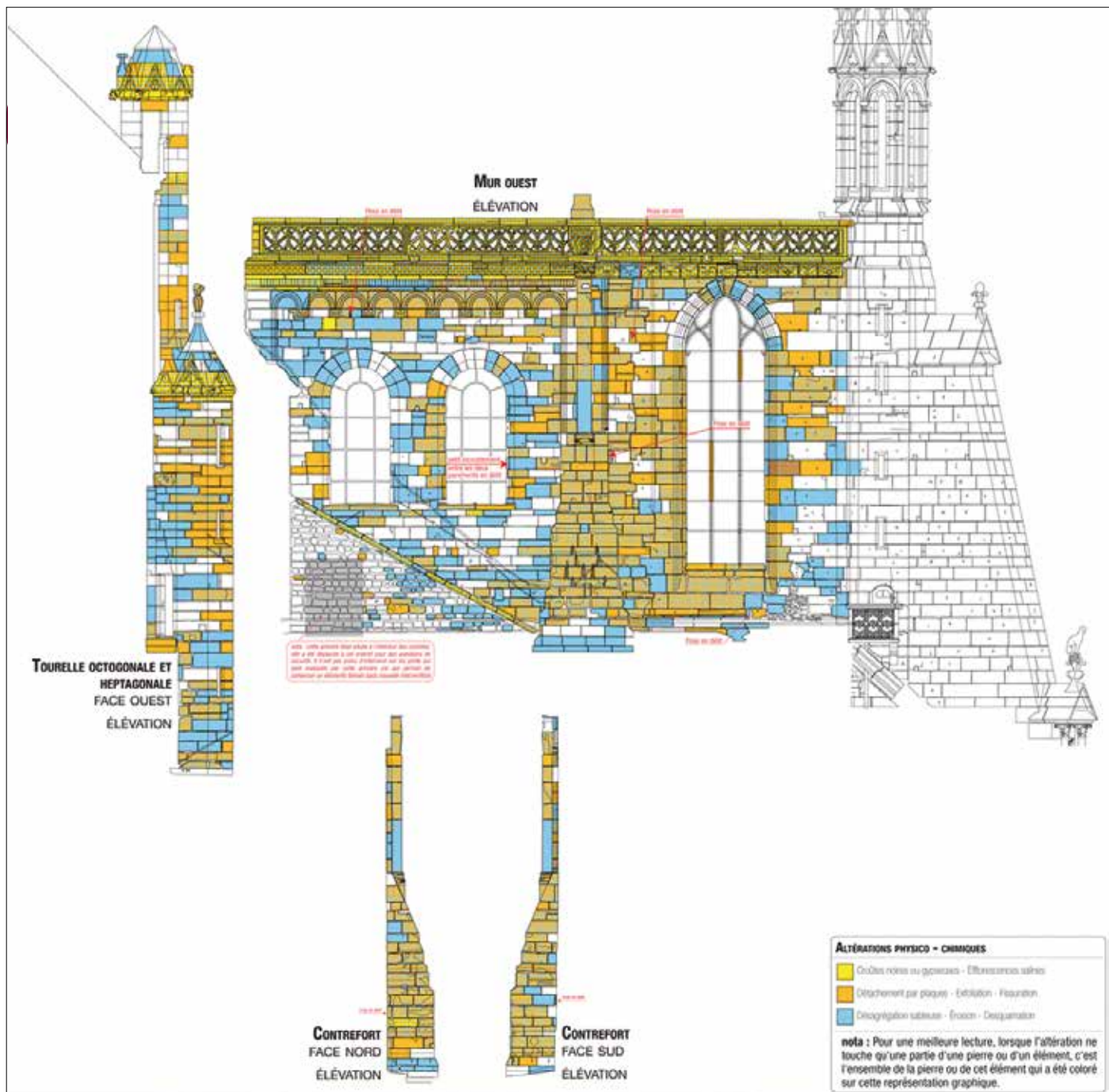


Figure 1 : La cartographie montre la quantité de plaques sur la façade échafaudée. (Cartographie - extrait : M. Baud, *Cœuvre Notre-Dame*, fév. 2009)



Figure 2: Desquamation en plaques de surfaces médiévales, grès de Berne, sans intervention : progression rapide des dégradations (exemple, cathédrale de Berne)

Cathédrale de Berne

Annette Loeffel et Peter Völkle



Échantillons et produits

Les décollements par plaques sont un état de dégradation avancée des éléments en grès, et une conséquence directe du processus d'altération qui débute le plus souvent par des fissures de différentes natures. Ils proviennent également des infiltrations d'eau, des sels véhiculés et cristallisés en sous face et des différents agrégats s'accumulant dans ces vides.

Les solutions pour remédier à ce phénomène sont multiples et complémentaires.

Atelier par les intervenants

Texte et photographies de Hermann Häberli (architecte de la cathédrale de Berne), Annette Loeffel et Peter Völkle.

Situation rencontrée

Les premières approches du chantier du mur ouest du transept sud de la cathédrale de Strasbourg ont permis des découvertes intéressantes. Les surfaces originales romanes montrent un état étonnamment bon, avec de nombreuses traces historiques comme par exemple des marques de tacherons, des traces d'outils de taille, des trous de griffes ainsi que les restes d'une ancienne polychromie encore parfaitement lisibles. Il faut les conserver dans les limites du possible. Pratiquement tous ces éléments se trouvent sur des pièces originales qui montrent souvent une desquamation en plaques (cf. *figure 1*).

L'objectif de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame est la conservation des traces de mise en œuvre des éléments originaux de la Cathédrale de Strasbourg, en particulier sur ces éléments de façades extrêmement riches en témoins historiques encore visibles sur la surface des pierres.

En vue d'un entretien durable du monument, les ateliers s'engagent à maintenir le plus possible de ces surfaces précieuses.

C'est-à-dire : consolidation et conservation in situ des surfaces décollées, fixation et remplissage des vides derrière les plaques, sauvegarde des surfaces originales avant qu'il ne soit trop tard, ralentissement de la dégradation (cf. *figure 2*).

Les desquamations en plaques n'apparaissent jamais seules : elles font partie d'un ensemble de formes de dégradations toujours associées et dérivant les unes des autres. Par conséquent, il est important que leur traitement soit intégré dans un contexte global de conservation au cours duquel toutes les interventions (fermeture des joints ouverts, traitement des fissures, injection de coulis derrière les plaques, application de solins ou de mortiers de ragréage) doivent être coordonnées.

Déroulement de l'atelier des intervenants

Après une courte présentation des méthodes de conservation des desquamations en plaques telles qu'elles sont pratiquées à la cathédrale de Berne, et une introduction aux matériaux utilisés, les groupes se sont engagés à développer et adapter les méthodes aux problèmes spécifiques des grès de Strasbourg.

Le traitement des plaques est un défi complexe et nécessite de considérer différemment chaque cas particulier. C'est un peu « la discipline royale » de toutes les démarches de conservation de la pierre !

Démarches et solutions retenues

Les plaques sont détectées de manière acoustique et visuelle. Elles peuvent être localisées à l'aide d'un outil en plomb. Grâce à une auscultation minutieuse de la surface des pierres, l'étendue des décollements peut être localisée de façon acoustique.

Les plaques sont ensuite repérées sur les surfaces à l'aide d'une craie ou d'autocollants. Il s'agit là d'une méthode simple et applicable sur le chantier, sur des échafaudages étroits, dans la poussière et l'humidité, c'est à dire dans un milieu où il y a souvent une défaillance des équipements high-tech.

Selon l'emplacement, l'épaisseur, l'étendue de la plaque et l'éventuelle fissuration à la surface, différentes procédures sont appliquées. En particulier, la méthode de traitement et les produits utilisés sont différents suivant que :

- les plaques sont accessibles depuis des joints ou fissures ouverts ;
- la surface de la pierre est intacte et les zones de décollement ne peuvent être atteintes que par perforation.

Dans les meilleurs cas, les vides derrière les plaques peuvent être remplis avec un matériau ayant une bonne diffusion à la vapeur, comme par exemple le Microciment.

Les injections de résines acryliques, imperméables à l'eau liquide et vapeur, ne sont pratiquées que très ponctuellement dans certains cas particuliers.

La conservation des plaques n'a pour but ni de remplir totalement les vides créés derrière les plaques, ni de recoller parfaitement les plaques sur toute leur surface de détachement.

Elle consiste avant tout à sauvegarder mécaniquement la matière le mieux possible (prévention du détachement progressif ou encore prévention de la chute complète). Trop de matériel de remplissage ou encore trop de pression d'injection peuvent mener à la chute des plaques et donc à la perte totale des surfaces.

Il est très important de fermer les « plaies » ouvertes sur le bord supérieur des plaques décollées pour éviter de futures pénétrations d'eau derrière les plaques.

Le détachement de plaques de quelques centimètres d'épaisseur et cohérentes posent « peu » de problèmes lors de la conservation (il est relativement facile de les maintenir en place à l'aide d'armatures). Il nous semble plus difficile de conserver les plaques superficielles très fines et très fragiles comme celles que l'on trouve abondamment sur la cathédrale de Strasbourg. Une grande sensibilité est nécessaire au praticien qui souhaite intervenir sur ces dégradations délicates.

Démarches de conservation :

- détection acoustique ;
- perçages précautionneux de la surface ;
- nettoyage des trous de forage ;
- injection de Microciment ;
- obturation des ouvertures (trous de forage et « plaies » ouvertes sur le pourtour des plaques) avec du mortier /contrôle et suivi régulier (cf. figure 3-6).

Conclusion

Quelques temps avant l'atelier de juillet nous avons eu la chance de faire quelques tests (empiriques) dans les ateliers de Berne. Pour ce faire, des échantillons de grès vosgiens fraîchement extraits de carrière ainsi qu'une pièce altérée provenant d'une façade de la cathédrale de Strasbourg ont été choisis par Éric Salmon et Peter Völkle avant d'être envoyés à Berne.

Ces essais préalables ainsi que les tests d'application de différents matériaux d'injection effectués dans les ateliers de Strasbourg ont montré que, pour sa capacité de remplissage, sa force d'adhérence, sa viscosité, et sa capacité à se laisser traverser par l'eau liquide et vapeur, le Microciment utilisé avec succès à la cathédrale de Berne pourrait aussi très bien fonctionner sur les grès de Strasbourg.

Les méthodes choisies doivent avant tout être praticables sur les échafaudages et elles doivent pouvoir être appliquées de manière rationnelle, sans temps d'attente trop long entre chaque étape. C'est seulement après s'être assuré que les méthodes d'intervention sont adaptées au chantier que leur évaluation en laboratoire devient utile et pertinente.

Il s'est avéré que les techniques de base utilisées et testées sur la cathédrale de Berne au cours des

dernières années peuvent être transférées en grandes parties au chantier de la cathédrale de Strasbourg.

Les aspects pratiques ont été testés sur des échantillons lors de l'atelier et ils ont pu être optimisés grâce aux intenses et fructueuses discussions que nous avons pu avoir avec le personnel technique de l'Œuvre Notre-Dame. Les ajustements définitifs auront lieu sur le chantier, étape par étape (« trial and error », « learning by doing »)*.

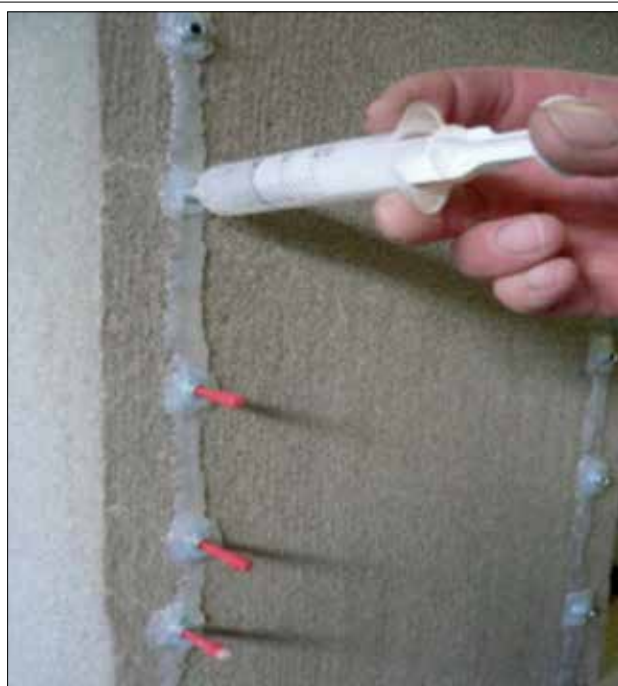


Figure 3 : La préparation : sceller les fissures



Figure 4 : Percer sans percussion

* en procédant par tâtonnements/ apprendre sur le tas



Figure 5 : Enlever la poussière



Rincer



Figure 6 : Les injections



Il nous reste à souligner que le succès des interventions de conservation repose, entre autres, sur le travail de praticiens correctement formés, motivés, avec des connaissances profondes de la pierre et de « leur » monument spécifique et gardant le respect nécessaire pour le travail de leurs ancêtres (et pour l'histoire taillée dans la pierre). Seul le travail régulier des ateliers de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame pourra garantir le service indispensable, le contrôle et le maintien continus des parties traitées, même après l'enlèvement de l'échafaudage. L'effet positif des « petites mesures » telles que le nettoyage des galeries, le débouchage des gargouilles, la fermeture des milliers de petites fissures et joints ouverts, etc. ne doit pas être négligé.

Enfin, les échanges avec des praticiens et des experts externes ainsi qu'une formation continue nous paraissent aussi précieux et indispensables. L'esprit d'ouverture et le concept de formation modèle à l'Œuvre Notre-Dame nous ont impressionnés ! Nous remercions les organisateurs pour leur accueil chaleureux ainsi que tous les participants pour les discussions très enrichissantes auxquelles nous avons pu prendre part.

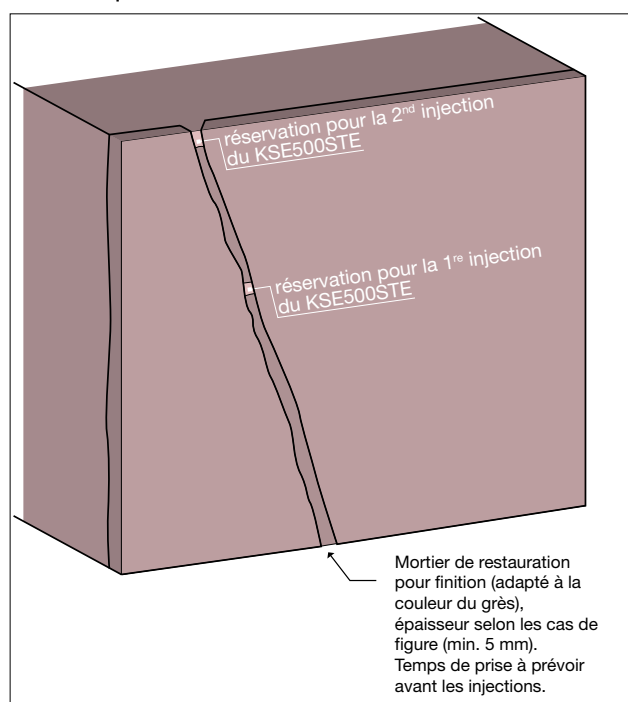
« Chaque face, chaque pierre du vénérable monument est une page non seulement de l'histoire du pays, mais encore de l'histoire de la science et de l'art. »

(Victor Hugo, Notre-Dame de Paris, Livre trois, Chapitre 1)

*
* *

Remarques des artisans de la Fondation :

- Il existe différents types de produits qui peuvent être injectés. Ils varient selon leur porosité, leur retrait ou non et leur nature (à base de chaux, de ciment blanc, de silicate d'éthyle, de résines, etc.) ;
- Le microciment (ciment blanc pauvre en sels, d'après Berne) associé au carbonate de calcium est employé depuis au moins quatre ans à Berne, le recul est-il suffisant pour mesurer sa durabilité et ses effets à long terme sur les grès ;
- La technique de sondage par un « outil » en plomb donne un meilleur résultat qu'une pièce métallique ;
- Problématique de la mise en œuvre sur les chantiers de la technique de Berne : temps de réalisation, percement sur les parements et donc dégradation possible, organisation et matériel conséquent ;



*Schéma de mise en œuvre du comblement des vides
(ex. : avec 2 injections)*

- La Fondation a utilisé la technique du pistolet à colle pour le colmatage temporaire avant le remplissage des vides. Cette solution s'est avérée souvent destructrice du support, des grains de grès se fixant à la colle (problème sur les traces archéologiques). Le choix retenu à Strasbourg est l'emploi de la terre glaise humidifiée à retirer après injection et prise du produit. L'autre possibilité (lorsque la fissure apparente est conséquente) est de réaliser la finition à l'aide d'un mortier de restauration en conservant quelques réservations pour l'injection ;



Sondage de la pierre avec un « outil » en plomb



Essai avec le microciment : il se propage de manière satisfaisante, permet les échanges hydriques et conserve une certaine souplesse tout en assurant le liaisonnement des deux éléments

- Le microciment ne craint pas l'eau et a une prise rapide comparée au KSE500STE ;
- Le microciment n'est pas proche de la nature du grès contrairement au produit à base de silicate d'éthyle ;
- Les résines acryliques ne permettent pas les échanges hydriques ;
- Ce procédé a pour but de préserver la chute des éléments et donc de sauvegarder un maximum de surface ;
- Un suivi régulier et un contrôle préventif des fissures doivent être réalisés. Le comblement des fissures évite le développement des détachements par plaques ;
- L'atelier de Berne procède à des essais depuis une dizaine d'année ;
- Les essais et les interventions sont très bien documentés afin d'en permettre le suivi ;
- La conservation est réalisée par des tailleurs de pierre formés en conservation. Ils sont à même de comprendre, de détecter les problèmes et d'intervenir tout en assurant un suivi préventif régulier.

Méthodologie actuelle d'intervention de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame

Les interventions sur les décollements par plaques sont réalisées de deux manières selon que nous pouvons « détacher » la plaque ou non et donc selon l'épaisseur.

1- Dans les cas où la plaque peut être ôtée, après les différents traitements des sous faces (nettoyage, dessalement, reminéralisation, etc.), celle-ci est à nouveau fixée par :

- trois points de colle époxy pour une accroche rapide ;
- par l'application d'un mélange pâteux sur toute la surface concernée de KSE500STE de la marque Remmers et de Matières A et B pour assurer les échanges hydriques tout en comblant les vides ;
- les ouvertures périphériques sont alors comblées par des mortiers de couleur et de granulométrie adaptées à l'élément en grès ;
- une reminéralisation d'ensemble est également effectuée.

2- Dans les cas où la plaque ne peut être retirée :

- un nettoyage par air soufflé est effectué par les accès possibles ;
- la zone est dessalée ;
- un mélange (fluide) de KSE500STE et de Matières A et B est injecté ;
- des percements sont effectués si nécessaire pour accéder aux vides ;
- une finition au mortier et une reminéralisation comme précédemment pour terminer l'intervention.

Les points sensibles constatés lors de ces traitements sont :

- liés au produit à base de silicate d'éthyle (temps de prise, craignant l'eau et l'humidité) ;
- la pression exercée lors des injections qui risque de détacher la plaque ;
- des détachements par plaques trop fin pour être traités comme décrit en 1) ou en 2), donc seule une reminéralisation de surface et une finition au mortier sont effectués.

La solution 1) reste la plus adaptée puisqu'elle permet de traiter « à cœur » et elle assure une meilleure garantie de tenue dans le temps de la plaque en recréant sur une zone « traitée » les échanges hydriques complets de l'élément.



Conclusion

Ces trois jours d'ateliers pratiques ont permis aux artisans d'approfondir certains procédés, de débattre sur de nouveaux produits, sur les techniques de conservation et leurs mises en œuvre.

Malgré les approches et les philosophies parfois différentes, les analyses des pathologies et leurs traitements sont souvent proches et ont un objectif commun : celui de la pérennité de l'édifice.

Quatre points ont plus particulièrement retenu l'attention des artisans :

- Les démarches préalables sont très documentées. Chaque pierre est étudiée très finement afin d'optimiser la méthodologie et la qualité de l'intervention ;
- La présence journalière sur l'édifice des artisans et des techniciens est indispensable. L'entretien quotidien (coursives, gargouilles, etc.) permet d'anticiper voire de limiter les restaurations trop importantes. Les interventions sont ainsi plus respectueuses de la pierre ;
- Les solutions proposées dans les différents ateliers doivent être adaptées aux spécificités de la cathédrale. Les choix (nature des produits, but à atteindre, etc.) sont intimement liés à la mise en œuvre sur le chantier avec les avantages et inconvénients propres à chacun des produits ;
- L'aspect préventif est primordial. La conservation et le développement de ses techniques doivent se poursuivre afin de pérenniser les interventions et conserver l'authenticité de la cathédrale.

Cette action était essentielle pour les artisans tailleurs de pierre et sculpteurs, spécialisés en conservation. Elle leur a permis d'avoir un échange pragmatique avec d'autres professionnels de ce domaine sur les différentes techniques en usage. Pour les autres artisans cela a été l'occasion de découvrir et d'être initiés à la conservation.

Pour certains d'entre nous les interventions en conservation doivent être prioritairement pérennes dans le temps. Pour d'autres, c'est l'aspect réversible qui prime, quitte à intervenir plus fréquemment.

D'où cette question qui reste ouverte :

Comment associer ces deux points de vue dans l'intérêt de la sauvegarde des grès et du patrimoine ? Une des réponses est que lorsque le site est accessible c'est l'aspect réversible qui est privilégié mais lorsque celui-ci est difficile d'accès sans échafaudage lourd, on s'oriente vers des opérations plus pérennes.



Annexe

Protocole de conservation de la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame et terminologie

1- Élimination de la couverture biologique

La prolifération végétale est éliminée par action mécanique (brosse douce, spatule et eau claire) complétée par un traitement limité avec un produit biodégradable autorisé par le LRMH.

Cette méthode s'inscrit dans la démarche « zéro-phyto » de la Communauté Urbaine de Strasbourg pour la préservation de l'environnement (l'utilisation des produits dangereux pour l'environnement est à proscrire).

2- Nettoyage

Les dépôts de poussières et les éléments coagulés en surface sont éliminés par action mécanique (brosse douce, spatule et eau claire), ainsi qu'au moyen d'air projeté (soufflette).

Dans le cas des croûtes noires ou gypseuses, la première étape consiste à changer la composition chimique du gypse pour le ramollir et rendre son nettoyage mécanique possible (application par compresses de solution saturée de bicarbonate d'ammonium $[(\text{NH}_4 - \text{CO}_3\text{H}) + \text{eau déminéralisée} + \text{pâte de cellulose}]$.

Cette première phase doit toutefois faire l'objet de précautions lors de sa mise en œuvre, du fait de l'aspect blanchâtre qu'elle peut générer. Celui-ci peut être atténué voir éliminé par brossage à l'eau claire de façon répétée.

Dans les rares cas où un résultat satisfaisant ne peut pas être obtenu avec le procédé précédemment décrit, un nettoyage par micro-abrasion est mis en œuvre (Archifine blanche de granulométrie moyenne 40 microns, dureté 6 sur l'échelle de Mohs à une pression inférieure à 1 bar environ sur la pierre).

3- Dessalement

Principe du dessalement :

Pour permettre une meilleure conservation (et notamment les traitements de consolidation) des

pierres de parements et autres, un dessalement systématique de l'ensemble des surfaces altérées par des concentrations de sels est réalisé.

Méthode :

- Application de compresses de cellulose et d'eau déminéralisée, additionnée de carboxy-méthyl-cellulose à 1 % pour rendre la pâte plus adhérente ;
- Protection éventuelle de la surface traitée par film étanche (pour éviter une évaporation trop rapide ou un apport d'eau extérieur) ;
- Temps de pose : 24 heures ;
- Renouvellement de l'opération au minimum 3 fois ;
- Les sels solubles présents près de la surface de la pierre sont dissous par l'eau déminéralisée et migrent dans la cellulose au fur et à mesure du séchage ;
- Réalisation de contrôles (voir ci-après) ;
- Le nombre d'applications supplémentaires est déterminé en fonction du résultat du contrôle jusqu'à obtention d'un abaissement significatif des teneurs en sels.

Contrôles du procédé :

Pour vérifier l'efficacité du traitement, deux types de contrôles sont réalisés.

- Analyses des teneurs en sel des compresses : Ces analyses sont réalisées par le laboratoire de la Fondation. La méthode consiste à analyser la teneur en sels extraits dans la cellulose de chacune des applications sur différentes zones test, de la façon suivante :
 - Séchage de la cellulose jusqu'à masse constante (pour garantir un rapport constant eau/cellulose lors de la mise en suspension) ;
 - Mise en suspension dans de l'eau déminéralisée selon un rapport massique constant ;
 - Temps de pose environ 1 heure ;

- Mesure de la conductivité électrique en micro Siemens par centimètre ($\mu S/cm$) de la solution et mesure du taux de solide dissout en mg/l (ces 2 mesures étant corrélées). La conductivité d'une solution étant proportionnelle à la quantité d'ions (positifs ou négatifs) présents, cette mesure permet d'estimer la teneur en sels dissous (c'est-à-dire anions et cations) recueillis dans la cellulose. En comparant les valeurs obtenues, on peut apprécier l'efficacité relative du procédé ;
 - Mesure semi-quantitative de la concentration en chlorures, nitrates et sulfates de la solution, cette mesure est obtenue par des bandelettes colorimétriques (*Merck*).
- Analyse d'échantillons de grès :
En plus de ces contrôles par l'analyse des compresses, un contrôle est effectué par comparaison avec l'analyse des échantillons de grès prélevés avant le début du chantier.
Ces nouveaux prélèvements de grès effectués dans les mêmes zones et suivant le même procédé, permettent après l'analyse par le même laboratoire extérieur, de quantifier plus précisément l'efficacité du procédé de dessalement.

4- Traitement des fissures et des fractures

Sur les cartographies réalisées toutes les fractures, micro-fractures et fissures sont relevées (même les moins prononcées).

Le traitement décrit ci-après ne concerne que les fractures et les fissures importantes.

Les produits *PLM* seront utilisés principalement pour les micro-fissures les moins prononcées et selon les cas une reminéralisation pourra être suffisante.

Méthode/traitement :

Après un nettoyage d'usage et l'analyse de la cause du désordre, l'éclat est déposé si besoin.

Pour les fractures causées par l'oxydation d'une agrafe ou d'un goujon, l'élément métallique est retiré quand cela est possible.

Dans le cas contraire, un traitement du fer (passivation) à l'aide d'un produit type *Rustol* est réalisé. L'élément métallique d'origine est remplacé par une agrafe ou un goujon en bronze qui est ensuite fixé par coulage au plomb ou avec un mortier de chaux selon l'état d'origine.

L'éclat est reposé par points de colle de type époxy, suivant sa taille, avec ou sans goujonnage par aiguilles de fibre de verre (diamètre selon la taille de l'éclat).

Un mélange homogène est injecté, à base de produits de la gamme *Remmers Funcosil KSE 500 STE*, de *Matière de remplissage A* (farine minérale spéciale) et *Matière de remplissage B* (poudre siliceuse spéciale).

Le mélange est réalisé dans les proportions suivantes : pour 100 ml de *Funcosil KSE 500 STE*, 60 g de *Matière A* et 30 g de *Matière B*.

Après la prise du liant, la fissure est comblée à l'aide de mortier de restauration de la marque *Remmers type Funcosil mortiers de restauration* selon la couleur du grès.

Il s'agit de mortiers minéraux secs préparés en usine et dont la granulométrie est proche du grès. Pour les fissures importantes, la pose d'aiguilles en fibre de verre (diamètre à adapter) scellée par colle de type époxy est mise en œuvre. L'entrée du percement est ensuite repris au mortier de restauration pour dissimuler l'intervention.

Pour les fractures susceptibles d'évoluer dans le temps, des témoins sont posés après le traitement du désordre (jauge de contrainte).

5- Réalisation de solins

Ces solins de toute petite taille permettent de combler (en complément des injections) les interstices du grès et limitent ainsi la pénétration directe des eaux de ruissellement qui sont un facteur aggravant et de dégradations sur les zones concernées.

Les solins sont réalisés avec les produits de la gamme *Remmers de type Funcosil Mortiers de restauration*.

Selon la teinte du grès, la teinte du mortier est adaptée par mélange.

Teintes utilisées :

- RM 214 Couleur Grès ;
- RM 063 Jaune d'Alyse ;
- RM 330 Rouge de Rothbach ;
- RM 217 Rose ;
- RM 094 Noir.

6- Joints / rejointoiement

Le maximum de joints anciens est conservé pour respecter l'authenticité de l'élément restauré.

Ces joints conservés font l'objet d'un nettoyage et d'une reminéralisation lors de la dernière passe de consolidation.

Le rôle des joints dans une maçonnerie de pierre est essentiel pour éviter que l'eau et les diverses particules s'immiscent à l'intérieur.

Il convient d'assurer la respiration et le liaisonnement entre les différents éléments.

Les mortiers mis en œuvre sont à base de chaux aérienne et aux granulats adaptés.

Les mortiers sont compatibles et, quand cela est possible, similaires aux mortiers existants.

Formule des mortiers de rejointoiement qui sont mis en œuvre :

- 6 volumes de sable de Lingolsheim tamisé de diamètres maxi 2 mm ;
- 2 volumes de chaux aérienne de marque *Chau-bor*, référence : *EN 459-1CL90-5* ;
- 1/2 volume de brique pilée.

Il a été constaté que les briques cuites à l'ancienne (donc à température plus basse que les briques modernes) donnent de meilleurs résultats.

7- Préconsolidation et consolidation finale

La méthode décrite ci-après est utilisée dans les cas habituels, hors éléments comportant des traces de polychromie.

- La préconsolidation est réalisée en une passe (en pulvérisation et/ou au pinceau et/ou à l'éponge) avec du *Funcosil KSE 300*.
- La consolidation finale est effectuée en une passe à l'aide du *Funcosil KSE 510*.
- Entre les deux passes, le temps de séchage est de 2 à 3 semaines selon les conditions climatiques (température minimum d'application environ 10 °C).
- Ce traitement est utilisé pour les micros fissures et les diverses pertes de cohérence des grains qui composent le grès, en recréant par cristallisation de silice à l'état liquide $[(C_2H_5O)_4Si]$ les liens entre ces grains.

Dans les cas très précis de désagrégation sableuse, la préconsolidation décrite ci-dessus est mise en œuvre au pinceau et avant la phase de nettoyage pour refixer les grains de grès très altérés (perte de cohérence des grains) afin d'en préserver le relief et la lecture avant les autres phases de conservation.

8- Hydrofugation

Lorsque l'ensemble des traitements est terminé, une hydrofugation très limitée peut être mise en œuvre sur certains éléments en grès nécessitant une protection particulière face au vecteur eau comme par exemple la face supérieure d'une main courante.

Il convient de veiller à ne pas provoquer de blocage de la circulation hydrique générale.

Méthode :

Application par pulvérisation ou/et au pinceau, jusqu'à refus (selon le type de grès) de produit de la marque *Remmers type Funcosil SL* (hydrocarbure aliphatique, solution siloxane réactive oligomère).

Conservation

Terminologie, altérations et traitement

juin 2010

Codes couleur	Types d'altération (pathologie)	Traitements proposés
Altérations physico – chimiques		
	Croûtes noires ou gypseuses - Efflorescences salines	- Nettoyage mécanique à l'aide de brosse, spatule et par micro-abrasion si nécessaire. - Nettoyage si besoin à l'aide d'une solution saturée de bicarbonate d'ammonium appliquée par compresses (ouate de cellulose et bicarbonate d'ammonium en application 24h à renouveler si nécessaire). - Dessalement des zones par application de compresse d'eau déminéralisée, à renouveler selon le protocole mis en place après prise d'échantillons et analyses. - Reminéralisation si nécessaire.
	Détachement par plaques - Exfoliation - Fissuration	- Dessalement des zones par application de compresses d'eau déminéralisée, à renouveler selon le protocole mis en place après prise d'échantillons et analyses. - Injections si nécessaire du mélange « KSE 500 STE », « Matière A » et « Matière B ». - Réalisation de solins à l'aide de mortiers de restaurations adaptés aux teintes des grès. - Reminéralisation si nécessaire.
	Désagrégation sableuse - Érosion - Desquamation	- Préconsolidation par reminéralisation (uniquement dans les cas de désagrégation sableuse). - Nettoyage mécanique à l'aide de brosse, spatule et par micro-abrasion si nécessaire. - Dessalement des zones par application de compresse d'eau déminéralisée, à renouveler selon le protocole mis en place après prise d'échantillons et analyses. - Reminéralisation de toutes les surfaces.
Altérations physiques et/ou mécaniques		
	Fissures (dues à la dilatation de corps exogènes)	- Dépense de l'éclat. - Extraction de l'agrafe ou du goujon, si possible, sinon traitement du fer (passivation) à l'aide d'un produit type « Rustol ». - Remplacement par une agrafe ou un goujon en bronze. - Scellement de l'ensemble au plomb ou au mortier de chaux selon l'état d'origine. - Repose de l'éclat par points de colle (type époxy) avec ou sans goujonnage par aiguilles (fibre de verre). - Injections du mélange « KSE 500 STE », « Matière A » et « Matière B » si nécessaire. - Finition à l'aide de mortier de restauration adapté à la teinte du grès traité.
	Fractures et micro-fractures (non dues à des agents atmosphériques)	- Analyse de la cause du désordre. - Pose de deux aiguilles en fibre de verre collées à la colle époxy. - Injections du mélange « KSE 500 STE », « Matière A » et « Matière B » si nécessaire. - Comblement de la fracture ou de la micro-fracture apparente au mortier de restauration de teinte équivalente. - Pose de témoins (jauges de contrainte) si nécessaire.
Constats		
	Prolifération végétale	- Application d'un anti-mousse biodégradable puis simple nettoyage par brossage (ou micro-abrasion).
	Actions de l'Homme (vandalisme, dégâts de guerre, etc.)	- Restauration et/ou incrustement en grès. - Conservation en l'état (trace historique).
	Patines noires naturelles	- Si nécessaire, micro-gommage ou hydro-gommage uniquement si une altération vient en complément de la patine.

Fiches produits

Fiche Technique

Funcosil® SL

No. d'article 0608

Alkylalkoxisiloxane à faible poids moléculaire.

Caractéristiques techniques en état vierge:

Teneur en siloxane:	env. 7 % (m/m)
Matériau de base:	hydrocarbure aliphatique
Point d'inflammation:	env. 40° C
Densité:	env. 0,79 g/cm ³
Viscosité:	44 sec. en gobelet DIN 2, 10 sec. en gobelet DIN 4
Apparence:	liquide incolore
Conditionnement:	fûts en fer-blanc de 5 et de 30 l

Caractéristiques après application et formation de matière active:

Teneur en polysiloxane:	env. 5 % (m/m)
Absorption d'eau:	très faible
Résistance aux rayons UV:	bonne
Résistance aux intempéries:	très élevée
Effet hydrophobe à long terme:	> 15 ans (valeur empirique)
Résistance aux alcalis:	bonne
Séchage non collant:	donné
Tendance aux salissures:	faible

Propriétés:

Solution siloxane réactive oligomère pour l'imprégnation hydrophobe de matériaux de construction miné-raux, conçu en particulier pour l'équipement hydrophobe de pierres naturelles. Grâce à sa structure macromoléculaire, Funcosil SL dispose d'un très bon pouvoir de pénétration et réagit de façon chimique dans le matériau de construction lors de présence d'humidité de l'air, en formant le polysiloxane, matière hydrofuge, résistante à la lumière ultraviolette et aux intempéries. Après application, la matière active se dépose aux parois des capillaires et pores comme couche macromoléculaire sans influencer la diffusion de la vapeur d'eau de façon remarquable. Un pouvoir d'absorption inégal du support peut mener à des différences dans l'absorption de l'imperméabilisant et ainsi à des changements de teinte. Funcosil SL réduit l'absorption d'eau et de substances nuisibles sous forme de matières hydrosolubles acidifères contenues dans l'atmosphère (SO₂, NO_x) normalement d'env. 95 %. L'infestation par microorganismes en surface de matériaux de construction en pierre naturelle est limitée par l'imprégnation. La résistance aux sels de gel-dégel est améliorée. Des pertes d'énergie sont diminuées par réduction de la conductibilité thermique. Des surfaces de matériaux de construction imprégnées avec Funcosil SL démontrent une tendance aux salissures diminuées de façon remarquable.

Domaines d'application:

Funcosil SL dispose d'un spectre d'efficacité immense, en particulier comme imperméabilisant pour pierres naturelles.

Supports:

Le support doit être en parfaite condition. Enlever d'abord des défauts de construction comme p. ex. des fissures, raccords défectueux, des causes pour l'humidité grimpante. Il doit être assuré que l'eau et des sels nuisibles dissous là-dedans ne peuvent pas pénétrer derrière la zone hydrophobe, comme cela peut mener à des dégâts de gel, des écailllements et des éclatements dûs au sel. Une imprégnation hydrophobe fixe l'état effectif. Avant chaque imprégnation hydrophobe, les capillaires et pores du matériau de construction à traiter doivent être ouvertes resp. préparées par un nettoyage. Selon l'espèce et le degré des salissures, nous recommandons nos Alkutex nettoyeurs de façade. Pour l'effet et l'application, voir la Fiche Technique respective. Lors du nettoyage,

F 0608 - 08.01.doc


...l'efficacité des matières
Parc d'activité II
8, rue de Nancy
68220 Hésingue
Tél: 03.89.89.83.20
Fax: 03.89.89.87.09
web: www.remmers.fr
e-mail: remmersarl@wanadoo.fr

- 1 -

Fiche Technique

Funcosil® Durcisseur de pierre 300

No. d'article 0720

Base du produit:

ester d'acide silicique sans additifs hydrophobes, exempt d'additifs de solvants organiques

Caractéristiques techniques (état de livraison):

Teneur en ester d'acide silicique:	env. 99 % (m/m)
Densité à 20°C en kg/l:	env. 1,0
Point d'éclair:	40°C
Teinte:	incoloré/légèrement jaunâtre
Odeur:	typique d'ester d'acide silicique
Catalyseur:	neutre
Conditionnement:	5, 30 et 200 l

Caractéristiques techniques après application et séparation du gel:

Quantité de gel silicique (SiO ₂) séparé:	env. 300 g/l
Composition du gel:	SiO ₂ * amorphe - aq
Produit secondaire dû à la réaction:	éthanol (s'évapore)

Propriétés:

Funcosil Consolidant de pierre 300 se distingue d'autres consolidants usités

- produit sans additifs de solvants organiques
- très bon pouvoir de pénétration
- point d'éclair élevé.

Le produit convient à la consolidation de pierre naturelle à micropores et à macropores, absorbante et friable. Funcosil Consolidant de pierre 300 réagit à l'humidité de l'air respectivement à l'eau des pores ce qui entraîne la séparation du gel de dioxyde de silice amorphe aqueux et purement minéral comme liant. La séparation de gel est fonction de la température et de l'humidité de l'air et, de ce fait, fortement dépendant du temps.

Par conditions atmosphériques normales (20°C/50% humidité relative de l'air) la séparation du liant sera terminée après env. 3 semaines.

Voilà les propriétés les plus importantes de Funcosil Consolidant de pierre 300:

- non polluant
 - sans additifs de solvants organiques
 - système monocomposant, application sûre et aisée
 - catalyseur neutre
 - pénétration en profondeur
 - liant purement minéral, résistant aux intempéries
 - séparation élevée de gel de silice, donc rapport prix-rendement intéressant
 - pas de produits secondaires nuisibles à la construction
 - lors de l'application de manière appropriée, pas de formation d'incrustations
 - la perméabilité à la vapeur d'eau ne souffre pratiquement pas
 - fortement résistant aux intempéries et aux rayons UV
 - inerte aux matières nuisibles acidifères contenues dans l'atmosphère
 - les pierres naturelles partiellement consolidées peuvent être traitées avec Funcosil
- Mortier de restauration

F 0720 - 08.01.doc



- 1 -

Fiche Technique

Funcosil® Consolidant de pierre 510

No. d'article 0625

Base du produit:

ester d'acide silicique sans agrégats hydrophobes
Sans addition de solvants organiques.

Caractéristiques techniques (état de livraison):

Teneur en ester d'acide silicique:	env. 99 % (m/m)
Teneur en catalyseur:	env. 1% (m/m)
Densité à 20°C :	env. 1,0 kg/l
Point d'éclair:	47°C
Teinte:	incolore/légèrement jaunâtre
Conditionnement:	5 et 30 l

Caractéristiques techniques après application et séparation du gel:

Quantité de gel silicique (SiO ₂) séparé:	env. 500 g/l
Composition du gel:	SiO ₂ amorphe - aq
Produit secondaire dû à la réaction:	éthanol (s'évapore)

Propriétés:

Funcosil Consolidant de pierre 510 se distingue d'autres consolidants utilisés

- teneur élevée en liants
- effet consolidant prononcé
- résistance élevée à la flexion-traction et à la pression
- produit exempt de solvants organiques.

Le produit est particulièrement apte aux pierres naturelles à macropores, absorbantes et friables. Funcosil Consolidant de pierre 510 réagit à l'humidité de l'air respectivement à l'eau des pores ce qui entraîne la séparation du gel de dioxyde de silice amorphe aqueux et purement minéral comme liant. Le processus de séparation de gel est fonction de la température et de l'humidité de l'air et, de ce fait, est fortement dépendant du temps.

Par conditions atmosphériques normales (20°C/50% humidité relative de l'air) la séparation du liant sera terminée après env. 2 semaines. Grâce à la teneur élevée en matière active, la séparation de gel de silice comme liant s'élève à env. 500 g/l Funcosil Consolidant de pierre 510.

Voilà les propriétés les plus importantes de Funcosil Consolidant de pierre 510:

- sans addition de solvants organiques
- système monocomposant, application sûre et aisée
- catalyseur neutre
- pénétration en profondeur, c'est-à-dire jusqu'à la pierre saine
- liant purement minéral, résistant aux intempéries
- séparation élevée de gel de silice, donc rapport prix-rendement intéressant
- pas de produits secondaires nuisibles à la construction
- lors d'une application de manière appropriée, pas de formation d'incrustations
- la perméabilité à la vapeur d'eau ne souffre pratiquement pas
- fortement résistant aux intempéries et aux rayons UV
- inerte aux matières nuisibles acidifères dans l'atmosphère
- les pierres naturelles partiellement consolidées peuvent être traitées avec Funcosil Mortier de restauration.

Domaines d'application:



Remmers
...l'efficacité des matières

Parc d'activité II	Tél: 03.89.89.83.20
8, rue de Nancy	Fax: 03.89.89.87.09
68220 Hélingue	web: www.remmers.fr
e-mail: remmersarl@wanadoo.fr	

F 0625 - 08.01.doc

- 1 -

Fiche Technique

Funcosil® KSE 500 STE

No. d'article 0715

Consolidant de pierre élastifié à base d'ester d'acide silicique (KSE), séparation de gel élevée. Contient des particules en suspension purement minérales.

Propriétés:

Funcosil KSE 500 STE a été développé dans le cadre du projet « Protection de surfaces en pierre par application d'un agent à base d'ester d'acide silicique élastique » promu par le Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück) en coopération avec Dr. E. Wendler (Munich) et le groupe de travail de Prof. Dr. J. Grobe (Munich). Les surfaces décomposées par les intempéries présentent souvent des (micro)fissures d'une dimension ne permettant pas leur remplissage à l'aide de consolidants de pierre à base d'ester d'acide silicique dépourvus de matières de remplissage.

Le consolidant Funcosil KSE 500 STE contient des matières de remplissage purement minérales. De plus, Funcosil KSE 500 STE se distingue par sa teneur élevée en molécules d'ester d'acide silicique précondensées. L'ester d'acide silicique réagit à l'eau des pores respectivement à l'humidité de l'air ce qui entraîne la séparation dioxyde de silice amorphe aqueux comme liant. La séparation de gel est fonction de la température, de l'humidité de l'air et du temps. Par conditions atmosphériques normales (20°C/50% humidité relative de l'air) la séparation du liant sera terminée après env. 3 semaines. Env. 500 g gel de silice sera séparé par litre Funcosil KSE 500 STE. La matière active sera séparée comme liant pur.

Voilà les paramètres les plus importants de Funcosil KSE 500 STE:

- non hydrophobe
- séparation de gel élevée
- fortement résistant aux intempéries et aux rayons UV
- inerte aux matières nuisibles acidifères contenues dans l'atmosphère
- catalyseur neutre

Caractéristiques techniques (état de livraison):

Teneur en ester d'acide silicique : > 70 % (m/m)
Solvant : éthanol
Densité à 20°C : env. 1,02 kg/l
Point d'éclair : 15°C
Teinte : incolore/légèrement jaunâtre
Odeur typique
Catalyseur: neutre

Caractéristiques techniques (après l'application):

Quantité de gel séparé: env. 500 g/l
Produit secondaire dû à la réaction: éthanol (s'évapore)
Toxicité : inoffensif après durcissement

Domaines d'application:

Liant pour la préparation de masses de garnissage arrière et de mortiers de talutage. Masse de garnissage arrière : pour le rétablissement de l'adhérence mécanique entre les incrustations/ coques et le support en tenant compte des exigences physiques et physico-mécaniques.

Mortier de talutage :

Réattachement surfacique de coques se détachant etc. afin d'éviter que l'humidité ne pénètre par derrière. Adaptation au support (teinte et structure).

Mise en œuvre:

Analyse de l'état de la construction

Afin d'éviter une exécution inadéquate des travaux, il convient de déterminer les caractéristiques essentielles de l'objet (selon son importance, ses dimensions et son état)

* gonflement hygrique : les pierres contenant des minéraux d'argile gonflants exigent un traitement préalable avec Funcosil Antihydro (no. d'article 0616). Examen au laboratoire Remmers.

* pouvoir absorbant, absorption d'eau

* sels nuisibles

* profondeur de la décomposition par les intempéries

* détermination des opérations, tenir compte de changements de teinte

* comparer les résultats obtenus en laboratoire avec les quantités et valeurs pour l'objet à traiter au moyen d'une surface échantillon.

* surveillance de l'exécution des travaux et de la consommation

* Nous recommandons une inspection finale immédiate; les résultats servent de base pour l'appel d'offres.

Supports

Les surfaces en pierre naturelle à traiter présentent souvent des incrustations par salissures entraînant une réduction du pouvoir absorbant. Afin de rétablir le pouvoir absorbant initial, il convient de les nettoyer le plus soigneusement possible.

Fiche Technique

Funcosil® KSE Matière de remplissage A

No. d'article 0571

Poudre minérale. Matière de remplissage pour le système modulaire Funcosil KSE

Propriétés:

Farine minérale spéciale du système modulaire Funcosil KSE. Pour la production de badigeons, de masses de remplissages et de mortiers de talutage, liés à l'ester d'acide silicique (KSE). Les surfaces décomposées par les intempéries présentent souvent des (micro)fissures d'une dimension ne permettant pas leur remplissage à l'aide de consolidants de pierre à base d'ester d'acide silicique dépourvus de matières de remplissage. Lors de la restauration de telles surfaces en pierre, et en particulier dans le domaine de figures précieuses du point de vue de l'art historique on se sert de badigeons, de masses de garnissage arrière, resp. de mortiers de talutage pour la production d'une liaison affleurée, resp. pour la fermeture des surfaces originales en saillie. L'utilisation du produit purement minéral avec les consolidants de pierre Funcosil appropriés (au besoin en ajoutant d'autres matières de remplissage/additifs), sert à la production de tels badigeons, matières de garnissage arrière, resp. mortiers de talutage.

Caractéristiques techniques:

Teinte: gris clair
Densité de déchargement
(selon norme DIN 52110): env. 0.7 kg/l
Densité du produit tassé

(selon norme DIN ISO 787/11): env. 0,9 kg/l

Mise en œuvre:

La mise en œuvre et la consommation dépendent de la tâche assignée. Consulter la fiche technique du produit d'ester d'acide silicique Funcosil (KSE) utilisé comme liant, ou la formulation de guide qui répond à la tâche assignée. Etant donné que les produits liés à l'ester d'acide silicique doivent être appliqués immédiatement après leur production, il convient de ne préparer que de petites quantités.

Conditionnement, consommation et stabilité au stockage:

Conditionnement: sacs de papiers, 3 kg et 25 kg
Stabilité au stockage: En fûts d'origine fermés, stockés à sec, au moins 1 an.

Sécurité, écologie, élimination:

Pour détails concernant la sécurité lors du transport, le stockage et la manipulation ainsi que l'élimination et l'écologie, voir la Fiche de Données de Sécurité en vigueur.

Les indications contenues dans cette Fiche Technique tiennent compte des techniques et procédés les plus modernes. L'utilisation du produit n'étant pas sous notre contrôle, ces indications n'engagent pas la responsabilité du fabricant ni du distributeur.

Les indications dépassant le contenu de la présente Fiche Technique exigent la confirmation écrite de la maison mère.

Nos conditions générales sont d'application permanente.

La présente Fiche Technique annule et remplace les précédentes.

Fiche Technique

Funcosil® Mortier de restauration

No. d'article 0750 à 769

Mortier sec d'usine, prêt à l'emploi.

Liants et agrégats à base purement minérale.

Propriétés

Funcosil Mortier de Restauration est un mortier sec d'usine prêt à l'emploi, se composant de matières premières minérales (liants et agrégats). Ses caractéristiques physiques satisfont à l'exigence de faibles contraintes propres et de propriétés physico-mécaniques (résistance à la pression, contrainte d'adhérence de traction, transport d'eau, etc.) adaptées au support en pierre naturelle. Le produit fait partie du Funcosil système de mortier de restauration (à 2 niveaux de solidité) et correspond ainsi aux exigences du manuel pour la conservation de la pierre naturelle édité par le professeur Snethlage. Grâce à sa bonne plasticité, le produit se prête très bien aux reproductions à l'aide de la méthode de coulée. La granulation des agrégats correspond pratiquement à celle d'un grès à granulation fine. Possibilité de modifications spécifiques en dépendance du support pour des granulations grossières.

Caractéristiques techniques

Conditionnement:	sacs de papier 30 kg
Masse volumique apparente:	env. 1,7 kg/l
Résistance à la flexion-traction:	après 7 jours env. 3 N/mm ² après 28 jours env. 4 N/mm ²
Résistance à la pression:	après 7 jours env. 10 N/mm ² après 28 jours env. 15 à 20 N/mm ²
Contrainte d'adhérence de traction:	après 28 jours > 1 N/mm ²
Module d'élasticité selon la norme allemande DIN 1048:	E ~ 15 * 10 ³ N/mm ²
Déformation au retrait (DIN 52450):	après 7 jours env. - 0,3 mm/m Après 28 jours env. - 0,7 mm/m

Teintes:

0750 blanc
0751 ocre
0752 brun rouge
0753 gris turquoise
0754 grès de Baumberg
0755 vert jaune
0756 blanc à l'ancienne
0757 rouge brique
0758 beige clair
0759 anthracite
0760 grès marneux
0761 jaune clair
0762 grès polychrome
0763 orange brique
0764 crème
0765 gris
0766 gris clair
0769 teinte spéciale

Domaines d'application



F 0750 - 08.01.doc

- 1 -



C.T.S. s.r.l.

VIA PIAVE, 20/22 - 36077 ALTAVILLA VICENTINA (VI)
TEL. (0444) 349088 (3 linee r.a.) - FAX (0444) 349039

FILIALI:

VIA DEL COMMERCIO, 36 - 00154 ROMA
TEL. e FAX (06) 57300626 (2 linee r.a.)
VIA MONTEVERDI, 53 - 50019 SESTO FIORENTINO (FI)
TEL. e FAX (055) 4250390 (2 linee r.a.)
VIA ALDO MORO, 52 - 80045 POMPEI (NA)
TEL. e FAX (081) 8502964

PRODOTTI ATTREZZATURE E IMPIANTI AL SERVIZIO DEL RESTAURO

**GRADE
BWW 40**

ARBOCEL®

natural cellulose fibres

Basic raw material

highly pure cellulose

Characteristic

medium sized fibre, white

Physical and chemical properties

cellulose content	approx. 99,5 %
average fibre length	200 µm
average fibre thickness	20 µm
bulk density	110 g/l - 145 g/l
whiteness (absolute value at 461 nm)	86 % +/- 5 %
residue on ignition (850 °C, 4 h)	approx. 0,3 %
pH-value	6 +/- 1

Screen analysis

Screen residue (in accordance with DIN 53 734/air jet sieve) with an interior mesh aperture of:

<u>300 µm</u>	<u>100 µm</u>	<u>32 µm</u>
max. 0,5 %	max. 20 %	max. 65 %

As with all natural products slight differences to the above given values may arise.

General references

ARBOCEL® cellulose fibres are environment friendly products, gained from replenishable raw materials.

Among other things, they are used as thickeners, for fibre reinforcement, as an absorbent and diluent or as a carrier and filler in most manifold application fields.

Fiche technique

Caractéristiques :

AKEPOX® 2010 est une colle à 2 composants d'aspect gélatineux, sans solvant, à base de résine époxy avec un durcisseur polyamine modifié. Le produit se caractérise par les propriétés suivantes :

- Très peu de retrait lors du durcissement et tension minimales de la couche de colle.
- Collage particulièrement résistant aux intempéries.
- Facilement colorable avec les colorants AKEPOX®.
- Bonne stabilité à la chaleur : environ 60-70°C pour les collages chargés et environ 100-110°C pour les collages standards.
- Pas de déformation de la couche de colle.
- Bonne résistance au vieillissement.
- Très bonne résistance aux alcalis, et donc recommandé pour les collages sur béton.
- Préconisé sur les matériaux étanches aux gaz, à cause de l'absence de solvant.
- Collage de pièces de construction porteuses.
- Très bonne résine à laminier pour la fabrication de pièces sandwich.
- Bonne isolation électrique.
- Bonne adhérence sur les pierres humides.
- Recommandé pour les matériaux sensibles aux solvants, comme le polystyrène expansé, l'ABS.
- Le produit n'a pas tendance à cristalliser, donc pas de problème de stockage et bonne sûreté d'utilisation.

Domaine d'utilisation :

AKEPOX® 2010 est principalement conçu pour le collage dans l'industrie de la pierre, des pierres naturelles (marbre, granit) ainsi que des pierres artificielles ou des matériaux de construction (béton, Terrazzo). Grâce à sa consistance gélatineuse, souple, le produit a une très bonne tenue sur les surfaces verticales et permet de réaliser des joints très fins. D'autres matériaux, comme les matériaux de synthèse (PVC dur, polyester, PS, ABS, PC), le papier, le bois, le verre et d'autres, peuvent être collés avec AKEPOX® 2010. Non recommandé pour les collages avec les polyoléfinés (PE, PP), les silicones, les fluo hydrocarbures, le PVC mou, le PU mou, le butyle.

Mode d'emploi :

Nettoyer soigneusement les surfaces à traiter et les rendre légèrement rugueuses.

Mélanger 2 équivalents en poids ou en volume de colle à 1 équivalent en poids ou en volume de durcisseur, jusqu'à obtenir une couleur homogène.

On peut colorer le produit en utilisant les colorants AKEPOX® (incorporation maximale : 5%).

Le temps de manipulation du mélange est d'environ 20-30 minutes (à 20°C). Les pièces collées sont manipulables après 6 à 8 heures (20°C), chargeables et usinables après 12-16 heures (20°C). Résistance maximale après 7 jours (à 20°C).

Les outils de travail peuvent être nettoyés avec AKEMI® Nitrodiluant.

La chaleur accélère et le froid ralentit le durcissement.

Lors d'un stockage dans un endroit frais, utilisable durant au moins un an.

GRANIDUR

MASTICS - COLLES - POLYESTER

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Les mastics et les colles GRANIDUR sont à base de résines polyester insaturés contenant du styrène. Suivant les qualités, ils sont chargés avec des charges organiques. Ils sont insensibles à l'action des solvants et possèdent une haute réactivité et une grande vitesse de durcissement.

CARACTERISTIQUES:

GRANIDUR durcit à froid - possède une prise rapide - son temps d'application est réglable - il résiste parfaitement aux influences atmosphériques - est insensible aux produits alcalins et est de grande résistance aux acides et aux produits chimiques - est polissable et colorable.

La polymérisation du mastic GRANIDUR se produit après un mélange de 98% de mastic et de 2% de durcisseur.

PROPRIETE:

A l'état non durci

teneur en styrène	DIN 53182	11 à 37 %
indice de couleur	méthode Gardner	6 env.
point d'éclair	DIN 51755	35°C
acidité	DIN 53402	18 à 21 mg KOH/g

A l'état durci

contrainte de flexion	éprouvette normalisée 2	
à la rupture	DIN 53452	150 N / mm ²
Résistance au choc		
(essai Charpy)	ISO R 179	15 env. kj / mé
température de		
fléchissement sous charge	ISO R 75	105 à 110°C

RESISTANCES CHIMIQUES:

sans ou léger jaunissement, sans ou petit changement des valeurs mécaniques sous l'influence de:

ALCOOL	METHANOL	CHLORURE DE CHAUX 10%
ACIDE FORMIQUE CONCENTRE	ACIDE LACTIQUE CONCENTRE	CHLORURE DE SODIUM 10%
ACIDE FORMIQUE 10%	ACIDE LACTIQUE 10%	LESSIVE DE SOUDE 40% ET 20%
ESSENCE	HUILES MINERALES	ACIDE PHOSPHORIQUE CONCENTRE
FUEL	TETRACHLORURE DE CARBONE	ACIDE AZOTIQUE 10%
ACIDE ACETIQUE CONCENTRE	TOLUOL	ACIDE CHLORHYDRIQUE
ACIDE ACETIQUE 10%	HUILE DE SILICONE	ACIDE SULFURIQUE 30%
ACIDE GRAS	AMONIAC CONCENTRE	EAU OXYGÉNÉE
HUILES DE MACHINES	AMMONIAC 10%	SOLUTION CARBONATE DE SODIUM

**CHAUBAT®****Chaux aérienne pure et naturelle****Chaux calcique éteinte en poudre CL 90 S. Conforme à la norme EN 459 1****• Définition et Domaine d'emploi**

CHAUBAT® CL 90 S est une chaux de construction utilisée comme liant, seule ou incorporée dans des mélanges formulés.

CHAUBAT® CL 90 S trouve son utilisation dans des enduits, peintures ou badigeons et plus généralement pour les applications dans le bâtiment.

• Identification selon norme

Les caractéristiques physiques et chimiques de CHAUBAT® CL 90 S sont conformes à la norme NFP 15-311. Elles ont été déterminées suivant les méthodes Laboratoires Groupe en conformité avec les modes opératoires normalisés.

Dans les produits formulés, la granulométrie de CHAUBAT® CL 90 S optimise l'efficacité du produit fini.

CHAUBAT® CL 90 S est essentiellement constituée d'hydroxyde de calcium

Caractéristiques*	
Refus au tamis de 200 µm	≤ 2 %
Refus au tamis de 90 µm	≤ 7 %
Teneur en eau libre	≤ 2 %
Stabilité (expansion)	≤ 2 mm
Teneur en CaO + MgO	≥ 90 %
Teneur en MgO	≤ 5 %
Teneur en SO ₃	≤ 2 %
Teneur en Ca(OH) ₂ **	≥ 94 %
Densité apparente**	de l'ordre de 0,5

* Conformés à la norme NFP 15-311

** Caractéristiques non normalisées

Conditionnement

Livrée en sac, CHAUBAT® CL 90 S est stockée en silos étanches ; en sacs sur palette, la stocker à l'abri des intempéries.

Conception des ouvrages et Mise en œuvre

Le dosage se fait à partir du poids indiqué sur le sac.

Les équipements doivent prendre en compte les caractéristiques physiques du produit - densité notamment - et répondre aux exigences de précision requises pour le dosage.

Dans la réalisation d'enduits, faire un test de compatibilité sur le support à traiter préalablement préparé, pour déterminer le dosage.

Divers**• DONNÉES DE SÉCURITÉ**

Fiche de données de sécurité : hydroxyde de calcium.

Observation

- Le producteur garantit que toutes les diligences sont mises en œuvre pour le respect des critères définis. Toutefois, s'agissant de produits naturels, de légères variations des caractéristiques physico-chimiques peuvent être enregistrées sans incidence notable sur la qualité du produit.

- CHAUBAT® CL 90 S est fabriquée à l'usine Poliéna, certifiée ISO 9002 par AFAQ [certificat n° qual/1999/11895 du 06/06/1999]

GAMME PLM

Les propriétés générales communes aux différents types de mortiers à injecter **PLM** sont:

- absence de sels solubles efflorescents
- inaltérabilité de la perméabilité à la vapeur des murs
- caractéristiques physiques et mécaniques semblables à celles des matériaux sur lesquels on intervient
- facilité d'injection
- facilité de nettoyage des éventuelles coulures

PLM-A

Mortier à injecter à base de chaux naturelles, exempt de sels efflorescents, avec inertes sélectionnés et additifs modifiant les propriétés rhéologiques. **PLM-A** est utilisé pour consolider **fresques et peintures murales** qui sont détachées du support mural, auxquelles on désire donner de nouvelles caractéristiques d'accrochage.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES:

Aspect: poudre blanc grisâtre

Temps de début de prise: 24 - 48 heures

Poids spécifique: 1,1 kg/dm³

Résistance à la compression: 12,7 kg/cm²

CONDITIONNEMENTS: 1 kg 5 kg 15 kg

PLM-M

Mortier à injecter, à base de chaux naturelles, exempt de sels efflorescents, avec inertes sélectionnés et additifs modifiant les propriétés rhéologiques. **PLM-M** est utilisé pour consolider les **structures de maçonnerie**.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES:

Aspect: poudre blanc grisâtre

Temps de début de prise: 12 - 24 heures

Poids spécifique: 1,4 kg/dm³

Résistance à la compression: 46,5 kg/cm²

CONDITIONNEMENTS: 1 kg 5 kg 20 kg

PLM-AL

Mortier à injecter, de faible poids spécifique, à base de chaux naturelles exemptes de sels efflorescents, avec inertes sélectionnés et additifs modifiant les propriétés rhéologiques. **PLM-AL** est utilisé pour consolider **fresques, peintures murales en voûte et enduits de valeur**, détachés du support mural, auxquels on désire donner de nouvelles caractéristiques d'accrochage sans alourdir la structure porteuse.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES:

Aspect: poudre blanc grisâtre

Temps de début de prise: 21 - 52 heures

Poids spécifique: 0,6 kg/dm³

Résistance à la compression: 9,2 kg/cm²

CONDITIONNEMENTS: 1 kg 5 kg 10 kg

PLM-I

Mortier à injecter, à base de chaux naturelles, exempt de sels efflorescents, avec inertes sélectionnés et additifs modifiant les propriétés rhéologiques. **PLM-I** est utilisé pour consolider des **enduits de valeur** détachés du support mural, auxquels on désire donner de nouvelles caractéristiques d'accrochage.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES:

Aspect: poudre blanc grisâtre

Temps de début de prise: 24 - 48 heures

Poids spécifique: 1,2 kg/dm³

Résistance à la compression: 25,9 kg/cm²

CONDITIONNEMENTS: 1 kg 5 kg 15 kg

PLM-S

Liant de rebouchage à base de chaux naturelles, exempt de sels efflorescents, mélangé à des charges inertes sélectionnées, avec agents aérants et fluidifiants compensant le retrait plastique. **PLM-S** est utilisé pour effectuer du masticage et des intégrations sur **fresques et surfaces de valeur**.

Propriétés-caractéristiques:

- absence de sels efflorescents
- absence de retrait (si mélangé à des inertes en proportion adéquate)
- se travaille très facilement

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES:

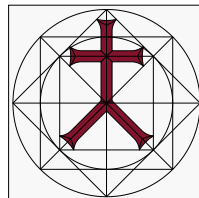
Aspect: poudre blanc grisâtre

Fondation de l'Œuvre Notre-Dame

*3, place du Château
67076 Strasbourg cedex*

*tel. (+33) 03 88 43 60 32
fax. (+33) 03 88 43 60 45*

*oeuvre-notre-dame@strasbourg.eu
<http://www.oeuvre-notre-dame.org>*



Fondation de l'Œuvre Notre-Dame