

Les remontées capillaires dans le bâti ancien

Journée d'étude,
Marseille, 29 novembre 2019



Centre interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine (CICRP)
Direction régionale des Affaires culturelles Provence Alpes Côte d'Azur /
Conservation régionale des monuments historiques

Ouvrage édité en novembre 2021 par le Centre Interdisciplinaire
de Conservation et de Restauration du Patrimoine (CICRP)
21 rue Guibal F-13003 Marseille

Directeur de la publication

Roland May, directeur

Coordination scientifique

Philippe Bromblet, scientifique du patrimoine

Coordination éditoriale

Marie-Pascale Etchart, conservatrice du patrimoine

Conception graphique

MkF éditions

Crédits photographiques

Sauf mention contraire, les illustrations sont des intervenants

Image de couverture : Façade de la chapelle des Pénitents
Noirs, Carpentras — © P. Bromblet

Image de 4^e de couverture : Port antique de Marseille,
détail des réaménagements (2019) — © P. Bromblet



Les remontées capillaires dans le bâti ancien

Journée d'étude,
Marseille, 29 novembre 2019



Sommaire

Introduction p.08

Partie 1

Phénomènes, méthodes de mesure, traitements p.14

Les remontées capillaires dans le bâti ancien p.16
Julie Désarnaud

Les interventions contre l'humidité ascensionnelle p.24
Julie Désarnaud

Discussion avec la salle p.32

Partie 2

Retours d'expérience p.38

L'église Saint-Nicolas de Myre de Jausiers p.40
Michel Trubert

Des ventilations naturelles comme outil de gestion des remontées capillaires p.54
Corrado de Giuli Morghen

Electro-osmose dans les édifices. p.70
Le cas de la chapelle Saint-Michel à Lambesc (13)
Renzo Wieder

Discussion avec la salle p.80

Débat de clôture p.84

Remerciements

Le Centre interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine et la Direction régionale des Affaires culturelles Provence Alpes Côte d'Azur tiennent à remercier le Musée d'histoire de Marseille, et particulièrement Fabrice Denise, son directeur, Manuel Moliner et Xavier Corré, archéologues, ainsi que l'équipe du musée, pour avoir accueilli la journée d'étude et y avoir participé avec la visite du port antique.

Introduction

Roland May, directeur du CICRP,
Manuel Moliner, archéologue, Musée d'histoire de Marseille,
Robert Jourdan, conservateur régional des Monuments historiques
(DRAC Provence - Alpes - Côte d'Azur)

Roland May, directeur du CICRP

Je me présente, Roland May, directeur du Centre Interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine (CICRP). Je suis très heureux de vous accueillir pour cette journée consacrée aux remontées capillaires.

Je voudrais associer immédiatement à ce projet Robert Jourdan, conservateur régional des monuments historiques à la Direction Régionale des Affaires Culturelles de Provence Alpes Côte d'Azur (DRAC PACA), puisque l'initiative lui revient et que le programme et les problématiques évoquées ont été définis en partenariat entre la Conservation Régionale des Monuments Historiques (CRMH) et le CICRP, et remercier également le musée d'histoire de Marseille, Fabrice Denise son directeur, retenu à Paris, et Manuel Moliner qui le représente et prendra la parole. Heureusement que nous avons envisagé et pu bénéficier de l'auditorium du musée d'Histoire, tout d'abord parce que c'est un lieu central, mais surtout sa jauge de 200 places permet de vous accueillir tous : et vous êtes environ 165 inscrits. Vous êtes donc très nombreux et c'est déjà un beau succès.

Je ne vais pas rentrer dans le sujet de la journée, je vais laisser Robert Jourdan le faire. Par contre, je trouve que ce projet est un beau contrepoint d'une autre journée qui a été organisée en Occitanie l'année dernière, sur le dessalement, et qui a été publiée par la CRMH dans la collection Duo de la DRAC Occitanie¹. Je crois que ces deux journées sont un grand succès, elles permettent effectivement d'enrichir ou compléter ces deux problématiques. Nous allons nous aussi publier cette journée, elle sera mise en ligne sur le site du CICRP et de la DRAC, en libre accès, ce qui permettra à chacun d'avoir connaissance du contenu des interventions. Mon dernier mot porte sur l'organisation proprement dite du programme, car malheureusement Sébastien Aze, pour des raisons personnelles, a dû décommander sa présence.

Deuxièmement, pour l'organisation de la visite du port antique, je laisserai le maître de maison en parler, puisque non seulement nous bénéficions de l'auditorium du musée d'histoire, mais être là participe aussi à l'actualité puisque le port antique a été rouvert il y a à peine un mois et demi au public après des travaux de restauration. Voilà, je vous souhaite une excellente journée et je vous remercie d'avoir répondu à notre invitation, et je donne la parole à Manuel Moliner, puis à Robert Jourdan.

¹- *Le dessalement des pierres en œuvre. L'exemple de Moissac à la lumière d'autres chantiers français et européens. Actes de la journée d'étude du 19 octobre 2018 à Moissac*, Duo Monuments / Objets, ouvrage publié par la DRAC Occitanie (CRMH), décembre 2019, 104 p., en téléchargement libre <https://www.culture.gouv.fr/Regions/Drac-Occitanie/Ressources-documentaires/Publications/Collection-DUO/Le-dessalement-des-pierres-en-oeuvre>

Manuel Moliner, archéologue,
Musée d'histoire de Marseille

Bonjour Mesdames et Messieurs. Je suis très impressionné de voir cette grande assemblée qui justifie pleinement l'initiative de M. Jourdan et de M. May d'organiser cette journée sur les remontées capillaires au Musée d'histoire, puisque cet auditorium permet d'accueillir pratiquement 200 personnes. C'est une des missions de ce musée d'histoire, certes de diffuser la connaissance, de montrer les vestiges de la longue histoire de Marseille, mais aussi d'accueillir des journées de travail extrêmement pointues et pertinentes, le public nombreux en est la preuve. Je remercierai donc particulièrement la CRMH et le CICRP, qui sont des partenaires indissociables -institutionnels- d'activités sur l'archéologie et le patrimoine à Marseille et, pour ne pas être trop long, Roland vient de le préciser, effectivement une actualité tout à fait récente nous concerne dans le thème de la journée d'aujourd'hui, puisque nous aurons l'occasion de cette visite d'une demi-heure en fin de matinée du port antique -le nouveau nom du Jardin des vestiges-, et j'aurai l'occasion de conduire cette visite rapide, associé à mon collègue Xavier Corré, en partant du musée jusqu'à l'entrée de la ville, la voie antique. On ne va pas s'arrêter sur les douze points d'intérêt scientifique, mais on rappellera les quatre fonctions principales du site : fonction de fortification, fonction funéraire, fonction d'habitat, fonction portuaire, et nous nous arrêterons à chaque fois sur quelques points précis en liaison avec le thème de la journée, pour voir comment ce site, comme les travaux de réhabilitation dont il a fait l'objet, sont au cœur des problématiques des remontées capillaires aujourd'hui.

Voilà, je ne vais pas être beaucoup plus long, et je vais bien sûr donner la parole à M. Jourdan, et je vous remercie d'être présents aujourd'hui ici au musée d'histoire. J'excuse à nouveau mon directeur, Fabrice Denise, son adjointe Anne Blanchet, qui nous rejoindra dans l'après-midi, et qui, probablement, nous permettra de conclure la journée. Merci !

Robert Jourdan, conservateur régional
des Monuments historiques
(DRAC Provence - Alpes - Côte d'Azur)

Bonjour à tous. En remerciant à nouveau Roland May et toute l'équipe du CICRP, et bien entendu le musée d'histoire de la ville de Marseille, avec lequel nous avons eu déjà des rencontres de ce type ici-même, je pense notamment à celles concernant les ports méditerranéens et les ciments naturels. Nous nous retrouvons effectivement pour une problématique qui nous concerne quasiment tous au quotidien, les remontées capillaires. Elles nous concernent d'une part parce que nous en constatons les effets sur, pour ce qui nous concerne, les monuments historiques, et puis avec nos collègues archéologues nous avons le plaisir d'en constater la gestion historique, quand elle est prévue, la gestion à la construction-même de ces œuvres-là.

Pour les passionnés d'archéologie, rappelons en particulier Jean-Claude Margueron, qui a publié en 2013 *Cités invisibles*, une somme assez extraordinaire sur la naissance des cités de Mésopotamie et de leur urbanisme, dans laquelle il nous a démontré magistralement, et ses suiveurs par la suite, comment dans ces cités autour du III^e millénaire, on gérait ces problèmes-là justement : création de voies radiales, création de canaux intérieurs, de canaux périphériques, invention de la chaussée absorbante, dont un ingénieur français s'est inspiré pour concevoir les autoroutes dès le tout début des années 1960.

L'enjeu archéologique de connaissance est riche de comparaisons, qui nous en disent long sur la technicité des temps immémoriaux : comment s'est-on conduit pour comprendre et maîtriser ces phénomènes, ce dans les situations très critiques des urbanisations et des architectures de terre mésopotamiennes ; comment de nos jours, ici, dans le périmètre administratif de la région PACA, on a pu aussi essayer de gérer ces phénomènes de remontées capillaires. Vous verrez

par quelques exemples -je pense à l'église de Jausiers- que nous retrouvons intact un solutionnement ancien de ce souci, peut-être pas dès les origines, mais dans des temps antérieurs aux nôtres.

J'en profite évidemment pour remercier à mon tour chacun des intervenants, notre collègue bruxelloise en particulier, d'autant que si leur intervention est désintéressée du point de vue matériel, nous sommes fort intéressés, du fait de l'antériorité de leurs travaux, à la restitution de leurs analyses et de leurs propositions méthodologiques.

Des solutions « naturelles » existent, vous allez en voir quelques-unes, des plus simples, les ventilations naturelles, les drainages, jusqu'à des solutions plus récentes comme l'électro-osmose, passive, active ou phorèse. Nous parlerons au passage je pense de barrière étanche, qui a le revers d'être irréversible, nous parlerons aussi des enduits « pièges », des enduits sacrificiels, et d'autres solutions.

Les enjeux archéologiques de connaissance nous passionnent tous, mais les enjeux archéologiques préventifs, visant à éviter ou minimiser les impacts archéologiques négatifs, priment dans nos solutions. Il y a quelques collègues archéologues parmi nous qui voudront sans doute intervenir dans les débats. Enfin, malheureusement pour lui, et pour nous, Sébastien Aze, qui devait présenter une communication, ne sera pas présent, pour rappeler et discuter de la connaissance de l'environnement que nous devons avoir avant toute intervention, de la surveillance, souvent notamment en matière de décor peint, que nous devons mettre en œuvre (en relation fréquemment avec le CICRP), là encore dans les échanges nous en parlerons. Nous verrons pour les décors peints la nécessité périlleuse d'éviter les effets négatifs, le dessèchement intégral qui tend à accélérer la dégradation du décor peint. Et puis parfois, comme cela m'est arrivé en Lozère dans les années 1990, il faut savoir laisser tranquille un monument, baignant dans l'eau sous-jacente, où il a vécu des siècles et des siècles.

Merci à tous de votre présence nombreuse. J'espère que notre journée vous sera utile et agréable, et que vous ne manquerez pas l'occasion d'intervenir autant que vous voudrez, puisque nous l'avons prévu très largement.





Partie 1

Phénomènes,
méthodes de mesure,
traitements



Les remontées capillaires dans le bâti ancien

Julie Désarnaud (Dr, chef de projet) – Laboratoire
rénovation et patrimoine du Centre Scientifique
et Technique de la Construction (CSTC)

Contexte

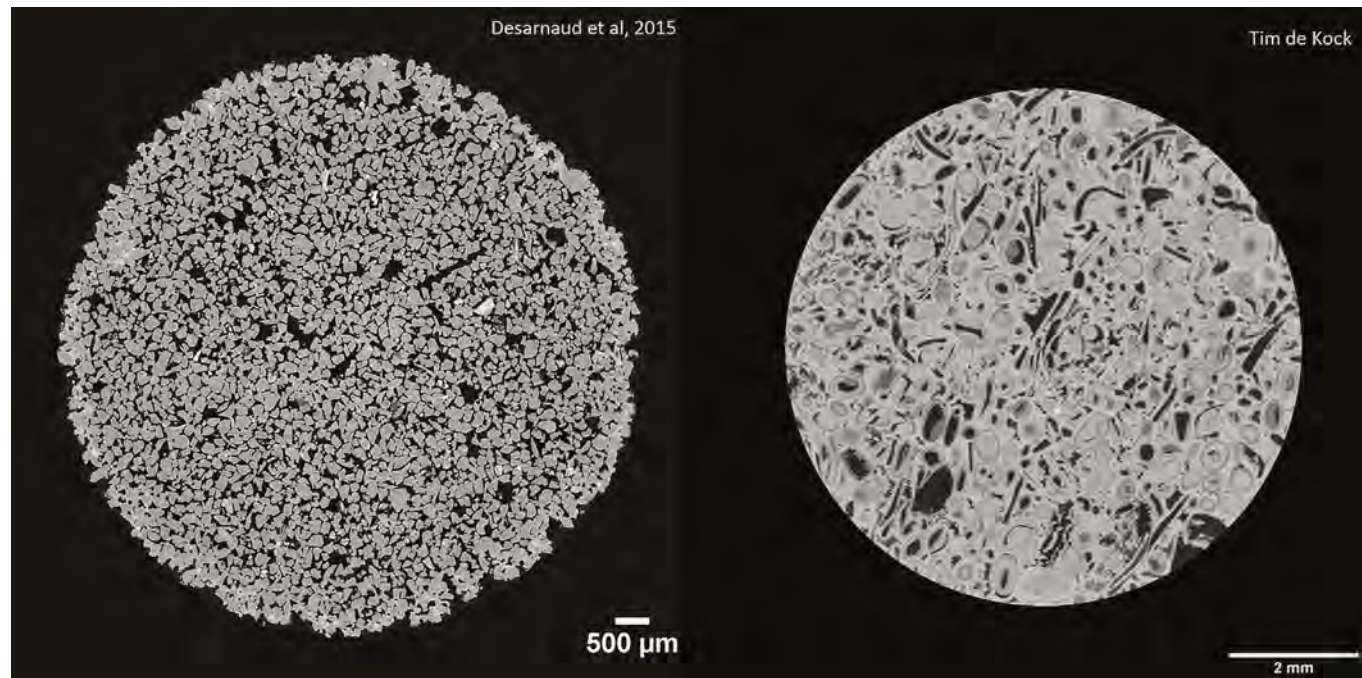
Les bâtiments anciens sont fortement sujets aux remontées capillaires car ils sont le plus souvent constitués de parois en maçonnerie massives en contact direct avec le sol. Cette absence de barrière anticapillaire favorise les remontées d'eau et de sels car les matériaux constitutifs ont tendance à absorber spontanément l'humidité présente dans le sol. Cette humidité ascensionnelle engendre de nombreuses dégradations qui peuvent s'intensifier à cause de la présence de sels solubles. Une intervention contre ces phénomènes s'avère nécessaire dans de nombreux cas mais il faut rester vigilant. En effet, les symptômes observés peuvent également être liés à d'autres causes d'humidité, voire à une combinaison de causes. Dans ce cas l'enjeu du diagnostic sera d'identifier la présence de remontées capillaires mais aussi la présence éventuelle d'autres sources d'humidité afin d'intervenir efficacement.

Dans cet article une première partie sera consacrée au phénomène de transport de l'humidité dans les matériaux constitutifs des bâtiments anciens et une seconde partie traitera de l'importance du diagnostic qui peut s'avérer quelquefois complexe.

Figure 1 : Image microtomographique (gauche) d'un grès de Prague et (droite) d'une pierre de Savonnière. Les pores sont représentés en noir et la matrice solide en gris (Source Desarnaud et al., 2015¹ ET Tim de Kock)

Transport de l'humidité

La compréhension des phénomènes physiques induisant les remontées capillaires dans les constructions est indispensable à l'établissement d'un diagnostic correct et complet. En effet, l'humidité ascensionnelle se fait par un transport d'eau à travers le réseau de pores du matériau.



¹ - J., Desarnaud, H., Derluyn, L., Molari, S., de Miranda, V., Cnudde, N., Shahidzadeh-Bonn. 2015. Drying of salt contaminated porous media: Effect of primary and secondary nucleation. *J. Appl Physics*. 118, 114901

Porosité

La porosité d'un matériau de construction est le ratio entre la quantité de vide présent et la quantité de matrice solide, elle est ainsi exprimée en pourcentage. Ces vides correspondent aux pores du matériau qui sont reliés entre eux, formant un réseau accessible à l'eau. La porosité varie d'un matériau à l'autre allant de quelques dixièmes de pour cent pour des grès ou des calcaires compacts, à des valeurs plus élevées, près de 50 % pour des calcaires très tendres ; quant aux briques de terre cuite, leur porosité varie généralement entre 10 et 45 %. La porosité d'un matériau donnera une indication sur la quantité d'eau susceptible d'être absorbée mais c'est la taille, la forme des pores et leur connexion (**Fig. 1**) qui aura une forte influence sur la hauteur de la remontée capillaire ainsi que sur la vitesse d'absorption d'eau.

Transport de l'eau sous forme liquide

La capillarité

La capillarité est la capacité d'un matériau à absorber de l'eau liquide lorsqu'ils sont en contact direct. Ce processus est comparable à l'absorption qui a lieu dans de fins tubes en verre (tube appelé souvent capillaire) placés à la verticale, le bas immergé dans de l'eau (**Fig. 2a**). C'est un phénomène d'interaction qui se produit à l'interface entre l'air, l'eau liquide et la surface des pores. Du fait des tensions superficielles entre les différentes phases en présence, l'interface air/eau liquide est courbe et donne lieu à une différence de pression entre l'air et le liquide. La pression dans l'eau liquide est inférieure à celle dans l'air ainsi l'eau monte dans le tube. Cette pression est la pression capillaire qui va provoquer la montée de l'eau dans le capillaire

Les pores dans les matériaux s'apparentent aux tubes en verre. Ils sont de tailles différentes et connectés entre eux. La hauteur de l'ascension capillaire suit la

Figure 2 : Symptômes de l'humidité ascensionnelle. (a) dégradation d'un mur de brique sur 1 mètre de hauteur. (b) Efflorescences de sel sur la zone d'équilibre, ou s'évapore l'eau des remontées capillaires.



loi de Jurin, elle est inversement proportionnelle au rayon des pores, plus les pores sont fins plus la hauteur atteinte par l'eau est élevée.

Théoriquement dans un tube de $1\mu\text{m}$ de rayon la hauteur que l'eau pourrait atteindre est de 15m environ. En réalité, cette hauteur n'est jamais atteinte car il s'agit d'un phénomène dynamique ; la hauteur maximale est un équilibre entre le débit d'absorption d'eau dans le matériau et le débit d'évaporation de l'eau.

Paramètres influençant le transport capillaire

Plusieurs paramètres influencent le transport d'eau liquide dans les matériaux poreux. Tout d'abord la quantité d'eau disponible qui dépend du niveau des nappes phréatiques et de la qualité du sol. Il est important de noter que le niveau des nappes phréatiques peut varier en fonction des saisons. Un sol argileux aura tendance à retenir l'eau augmentant le risque de remontées capillaires, alors qu'un sol à base de sable sera plus drainant.

De plus, la vitesse d'absorption d'eau dans le matériau est proportionnelle au rayon des pores, plus ils sont importants plus l'absorption est rapide. En même temps l'eau qui monte dans le matériau par capillarité s'évapore vers l'extérieur. Cette évaporation dépend de l'épaisseur du mur, de la ventilation, de la surface d'évaporation disponible. En effet, l'évaporation peut être ralentie par exemple par la présence d'un enduit imperméable et de boiseries.

Diagnostic

Les symptômes

Plusieurs éléments pertinents peuvent être des indicateurs de la présence de remontées capillaires.

La limite entre la zone concernée par le phénomène d'humidité ascensionnelle et la zone sèche correspond à une zone d'équilibre entre les phénomènes d'absorption et d'évaporation. À l'endroit où l'eau s'évapore, elle dépose toutes les impuretés qu'elle renferme, dont les sels solubles qui cristallisent. L'observation d'une bande horizontale, pas nécessairement continue, d'environ 1 ± 0.5 m de haut présentant des dégradations, et potentiellement des efflorescences en partie supérieure peut indiquer la présence d'humidité ascensionnelle.

Sur la partie inférieure des murs la présence de tâches d'humidité, de dégradations telles que le décollement de la peinture, la pulvérulence des enduits et le pourrissement des têtes de poutres sont aussi des symptômes de la présence de remontées capillaires.

Même si l'origine des dégâts paraît évidente, il s'avère essentiel de passer en revue et de vérifier toutes les causes potentielles d'humidification pour chaque chantier, en tenant compte du fait qu'elles peuvent s'influencer mutuellement. En effet, les symptômes cités ci-dessus peuvent avoir d'autres causes : projection d'eau en pied de murs dépourvus de gouttières, infiltration d'eau en bas du mur dues, par exemple, à l'absence de drainage d'eau de pluie, pénétration d'eau des terres adjacentes (murs de soutènements) ainsi que la présence de sels hygroscopiques. Il faut donc être vigilant lors du diagnostic car les interventions pour résoudre les dommages dans les différents cas ne seront pas nécessairement les mêmes.

Évaluation de la présence d'humidité

Le diagnostic de l'humidité ascensionnelle est un bon équilibre entre un dialogue avec les personnes en charge de la maintenance du bâtiment, une observation visuelle et finalement une campagne de mesure sur place et de prélèvements si besoin pour une analyse plus poussée.

Dialogue et observations visuelles

Le dialogue avec les personnes en charge de la maintenance du bâtiment est indispensable afin d'évoquer les problèmes observés. Il sera important de déterminer l'ancienneté du problème d'humidité, si par exemple les tâches d'humidité sont visibles en permanence ou par intermittence (suivant les saisons). Il est aussi nécessaire de connaître le mode d'occupation du bâtiment afin de savoir s'il est ventilé ou chauffé et à quelle fréquence. Finalement un dialogue avec les personnes concernées permettra de savoir si des modifications récentes ont été réalisées sur le bâtiment (comme par exemple un changement de châssis) ou autour (création d'un trottoir adjacent au bâtiment). Les points abordés peuvent ensuite être vérifiés rapidement par de premières constatations visuelles ou tactiles. Il faut noter qu'aujourd'hui les techniques digitales telles que la photogrammétrie, le scanning laser, la reconnaissance automatique de matériaux et de pathologies sont en fort développement pour le diagnostic des bâtiments.

Technique de mesures de l'humidité

Même si, dans un premier temps, ces constatations visuelles ou tactiles permettent de détecter la présence d'humidité ainsi que sa ou ses causes potentielles, le diagnostic complet (tout comme le contrôle de l'assèchement après intervention) doit reposer sur des méthodes plus précises fournissant des mesures fiables dans des conditions reproductibles. Ces méthodes donneront des résultats avec des niveaux de précision différents et peuvent se diviser selon qu'elles sont destructives (nécessitant un prélèvement) ou non destructives.

Les méthodes de mesure non destructives

- Mesures résistives et capacitives

Ces appareils fonctionnent sur la base des principes de mesure électrique (résistivité ou capacitance). Ils mesurent la variation de résistivité ou de capacitance des matériaux en fonction notamment de leur teneur en humidité. En effet, les matériaux secs ont une résistivité plus importante que ce même matériau humide. Ces techniques sont faciles d'utilisation et peu coûteuses, elles reposent toujours exclusivement sur une comparaison des valeurs mesurées sur les parties réputées 'sèches' et les parties potentiellement problématiques de matériaux identiques situés dans des zones voisines. Elles nécessitent néanmoins un bon contact entre le matériau et l'appareil. Ces mesures sont fortement influencées par la présence de sels, d'éléments métalliques (armature, canalisation) et par la densité des matériaux.

Les résultats obtenus avec différents appareils ne doivent pas être comparés entre eux.

- Mesures par absorption de micro-ondes

Ces appareils sont basés sur la comparaison du signal micro-onde (Ghz) émis et transmis à travers le matériau. L'atténuation et le déphasage du signal qui en découle est fonction de la quantité d'eau présente. Ces appareils

n'ont pas besoin d'un fort contact avec le matériau et donnent une moyenne théorique sur les 30 premiers centimètres du matériau. En revanche ils sont fortement influencés par la densité et leur prix est assez élevé

Pour une mesure précise de la teneur en humidité des matériaux, d'autres méthodes telles que les pesées comparatives ou gravimétriques et la mesure au moyen d'une bombe à carbure sont plus adaptées mais sont destructives. Ces méthodes permettent de faire des profils d'humidité en faisant des mesures à différentes hauteurs et profondeurs. Elles permettent aussi de distinguer si la présence d'humidité est due aux remontées capillaires ou à de l'humidité hygroscopique causée par la présence de sels solubles. En effet les sels ont la capacité d'absorber spontanément l'humidité contenue dans l'air lorsque cette dernière est plus grande que leur humidité d'équilibre. Par exemple, l'humidité d'équilibre du chlorure de sodium (NaCl) est de 75%, si l'humidité de l'air est inférieure à 75% les sels seront sous forme cristalline, si elle est supérieure les sels vont capter les molécules d'eau, se dissoudre jusqu'à former une solution liquide qui peut provoquer des tâches d'humidité visible sur les murs. Cette humidité contenue dans le matériau est appelée humidité hygroscopique et n'est pas due aux remontées capillaires.

Les méthodes de mesures destructives

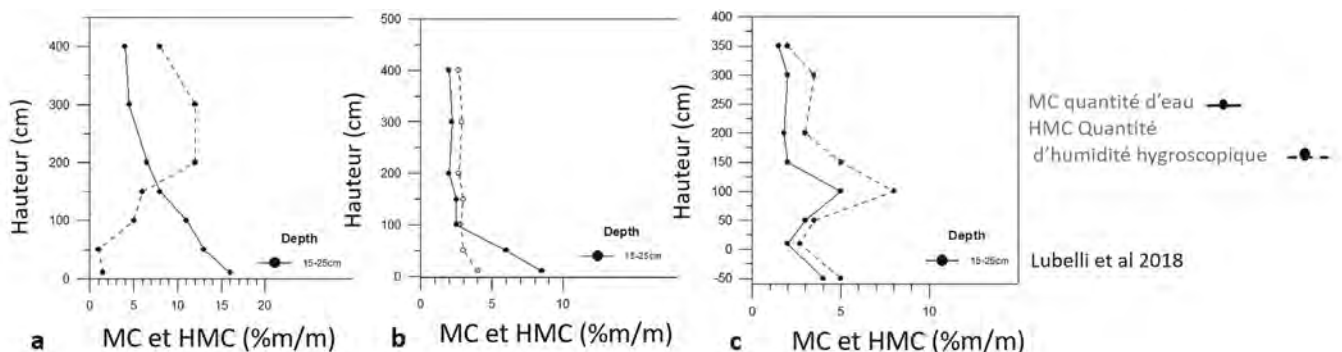
Figure 3 : Graphiques représentant l'humidité capillaire (MC) et l'humidité hygroscopique (HMC) mesurée dans 3 situations différentes (a) MC est supérieure à HMC sur le 1er 1.5m, l'humidité est donc causée par les remontées capillaires dans cette zone, puis par les sels hygroscopiques car après 1.5m HMC est supérieure à MC. (b) MC supérieure à HMC sur le premier mètre : il s'agit ici de remontées capillaires. (c) HMC est supérieure à MC : l'humidité est causée par la présence de sels hygroscopiques. (Source Emerisda-JPI-CH)

- Les mesures à la bombe à carbure

Cette méthode nécessite de prélever par forage lent un échantillon d'environ 20g du matériau. L'eau présente dans cet échantillon va réagir avec le carbure de calcium et libérer de l'acétylène. La quantité de gaz formé est proportionnelle à la quantité d'eau présente dans l'échantillon.

Si la quantité d'eau est seulement importante dans les échantillons forés en surface et non en profondeur alors les dégradations ne sont pas causées par les remontées capillaires.

Cette mesure est rapide, facile à mettre en place est précise. Il est possible de faire des profils d'humidité en prélevant à différentes profondeurs et hauteurs. En revanche elle est destructive, et n'est pas adaptée aux mesures continues.



- Les mesures par pesée comparative ou gravimétrique

La mesure de la teneur en humidité des matériaux peut se faire de manière simple et précise, en réalisant, avant et après séchage, des pesées comparatives d'un échantillon prélevé par forage lent ou par burinage à des profondeurs allant jusqu'à 15 cm dans la maçonnerie, de préférence dans un joint de mortier. Il est possible de réaliser cet essai sur chantier en utilisant des dessiccateurs micro-ondes ou en laboratoire dans des étuves. La température de séchage va influencer la quantité d'humidité, et c'est pour cela que les résultats obtenus après séchage à l'étuve et dans un dessiccateur ne doivent pas être comparés entre eux.

Afin de distinguer l'humidité hygroscopique de l'humidité capillaire, les échantillons secs sont ensuite mis en contact avec une humidité relative de 97% pendant environ 15 jours avant d'être pesés à nouveau. Si le poids de l'échantillon a augmenté cela signifie que des sels y sont présents et ont absorbé de l'eau du fait de leur propriété d'hygroscopicité. La présence d'humidité peut alors être potentiellement attribuée aux sels hygroscopiques et non aux remontées capillaires. La figure montre la comparaison entre MC l'humidité capillaire associée aux remontées capillaires et HMC l'humidité causée par les sels hygroscopiques. Lorsque MC est supérieure à HMC alors l'humidité présente est associée aux remontées capillaires et lorsque HMC est supérieure à MC alors l'humidité observée est causée par la présence de sels hygroscopiques dans les murs.

Conclusion

Les remontées capillaires sont un phénomène couramment rencontré dans les bâtiments anciens. En effet ces derniers ne disposent pas de barrières étanches en pied de mur et sont constitués de matériaux poreux capillaires. L'humidité ascensionnelle est souvent visible par présence d'une ligne horizontale à 1, 1.5 m du sol qui est la zone d'équilibre entre le débit d'absorption de l'eau et le débit d'évaporation. Le diagnostic de l'humidité ascensionnelle est crucial pour intervenir efficacement mais il reste complexe. Dans tous les cas la présence de remontées capillaires sera révélée par une quantité d'eau importante en profondeur des murs.



Les interventions contre l'humidité ascensionnelle

Julie Désarnaud (Dr, chef de projet) – Laboratoire rénovation et patrimoine du Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC)

Contexte

Le diagnostic de l'humidité dans les constructions a pour but de déterminer et de localiser toutes les causes d'humidité, afin de définir un ensemble d'interventions adéquates. L'humidité ascensionnelle étant l'une des causes d'humidité les plus fréquentes dans les bâtiments anciens, mais aussi l'une des plus gênantes, elle est généralement traitée en priorité. Il est toutefois primordial de procéder à un diagnostic correct avant toute intervention visant à lutter contre l'humidité ascensionnelle car son traitement ne doit donc pas constituer un automatisme, mais découler de constatations et de mesures préalables.

Une large gamme de traitements destinée à lutter contre les effets de l'humidité ascensionnelle est disponible sur le marché. Les différentes interventions possibles seront ainsi présentées dans les chapitres suivants. Certains de ces traitements ont pour objectif d'éliminer la cause du phénomène en bloquant les remontées capillaires, tandis que d'autres tentent d'en limiter l'ampleur en luttant contre les symptômes. Une partie des résultats présentée dans cet article est issue d'un projet Européen- JPI-CH Emerisda¹. L'un des objectifs de ce projet était de parvenir à une évaluation scientifique de l'efficacité de différentes méthodes contre les remontées capillaires.

Historiquement deux techniques étaient courantes. Premièrement l'utilisation de type de pierres non capillaires en soubassement. Par exemple la pierre Bleu de Belgique qui a un très faible coefficient d'absorption d'eau a été couramment employée en soubassement. La seconde technique est la pose de drain qui ceinture le bâtiment. Ce drain est composé de deux parties ; la première partie est une zone de collecte et d'évacuation des eaux (tuyau imputrescible et non corrodable ayant un diamètre dépendant de la quantité d'eau et une certaine pente). La seconde est composée soit de différents matériaux filtrants (des couches de matériaux granuleux ayant une granulométrie croissante dans le sens de l'écoulement d'eau) soit d'un non tissé synthétique imputrescible qui enveloppe un remplissage en caillou.

Les interventions stoppant des remontées capillaires

Les interventions de blocage de l'humidité ascensionnelle ont pour objectif d'éliminer les remontées capillaires en introduisant une barrière physique ou physicochimique qui empêche l'eau sous forme liquide de migrer à travers la maçonnerie.

Pour être efficace, la barrière doit être continue et placée de façon à exclure tout contournement. Elle se trouvera donc en tous points à un niveau supérieur à celui des terres et des aménagements extérieurs en contact direct avec la maçonnerie. Lorsque les techniques de blocage de l'humidité ascensionnelle ne sont pas appliquées à l'ensemble des murs d'un bâtiment, il y a lieu de prévoir des barrières verticales entre les murs traités et les murs non traités.

¹ - EMERISDA : (*Effectiveness of methods against rising damp – European perspective and practice*) est un projet européen dans le cadre de l'initiative de programmation conjointe de la recherche en matière de patrimoine culturel associant des instituts, des universités et des entreprises de divers pays européens. Les résultats du programme ont été publiés dans : 'MODHIMA 2018. Innovative Techniques for MOisture Detection in Historical MAsonry', *Journal of Cultural Heritage*, volume 31, Supplement (June 2018), pp. 1-88

Les barrières physiques

L'intervention consiste à intercaler, dans le mur à traiter et sur toute sa section, un matériau imperméable sous forme de membrane, de plaque, ou encore de mortier hydrophobe (hydraulique ou résineux). La réalisation de saignées horizontales s'effectue en trois phases. D'abord, on pratique des saignées sur un mètre de longueur en laissant un intervalle de deux mètres de maçonnerie intacte entre chaque saignée. On insère ensuite la barrière dans les saignées et on attend que le matériau de colmatage soit suffisamment durci, avant de répéter l'opération à deux reprises sur les parties de maçonnerie laissées intactes précédemment ; on obtient ainsi une barrière continue sur toute la longueur de la maçonnerie.

Pour des raisons pratiques, ce type d'intervention est toutefois très peu utilisé. En effet, le procédé n'est pas applicable aux murs épais, ni aux murs en moellons dépourvus de joint horizontal continu, ni aux maçonneries instables. Il faut pouvoir avoir accès aux deux côtés des murs excluant les murs mitoyens. De plus, cette intervention requiert un travail particulièrement intensif, qui se répercute sur les coûts. Par ailleurs, l'absence de tuyaux, de conduites et de câbles dans le mur constitue une condition indispensable à l'insertion de la barrière.

Les injections

Ce type de traitement consiste à hydrofuger les pores de la maçonnerie de façon à créer, sur toute la section du mur considéré, une zone s'opposant aux remontées capillaires. La mise en place de produits hydrophobes dans les maçonneries, peut se faire par gravité (diffusion), par injection sous moyenne ou basse pression, ou encore par diffusion d'un produit appliqué sous forme de crème dans les trous d'injection.

Produits

Les produits rencontrés sur le marché sont à base de silane, siloxane, silicate, stéarate et de copolymères fluorés.

Les silicates ne sont plus utilisés aujourd'hui car leur efficacité s'est avérée limitée dans les murs, voire potentiellement dangereuse car cette réaction s'accompagne de la formation de sels (carbonates de sodium ou de potassium).

Les produits à base de copolymères fluorés permettent d'atteindre des tensions superficielles extrêmement basses et ont un effet hydrophobe et un effet oléophile. Ces produits sont peu utilisés dans les bâtiments, notamment en raison du coût élevé des résines de base.

Parmi les produits portant l'appellation commerciale silicones, on retrouve :

les silicones monomères ou silanes, en phase solvant ou en phase aqueuse (émulsion ou micro émulsion)

les silicones oligomères ou siloxanes, en phase solvant ou en phase aqueuse (émulsion ou micro-émulsion)

les silicones polymères ou résines silicones, en phase solvant.

De nombreuses recherches ainsi que l'expérience de chantier ont mis en évidence les caractéristiques particulièrement favorables des produits à bases de silanes ou de siloxanes. Bien que globalement performants, ces produits

montrent tout de même des degrés d'efficacité divers en fonction de leur formulation en phase solvant, en phase aqueuse, ou encore sous forme de crème ou de gel. De plus si les joints de mortier contiennent des matières organiques (telles que des cendres), l'efficacité de ce type de produits n'est pas garantie.

Ces produits peuvent être utilisés sous forme liquide en phase solvant ou en phase aqueuse, ou sous forme de gel ou de crème. Le choix de la formulation aura une influence sur l'efficacité du traitement, sur les émissions de composés organiques volatils (COV) lors de l'injection et sur le possible développement de moisissures ou de micro-organismes au sein de la maçonnerie après l'injection.

Lorsqu'ils sont injectés en phase solvant ils se caractérisent par une efficacité et une durabilité prouvées. Ils provoquent néanmoins d'importants désagréments olfactifs, il est impératif de bien ventiler les locaux, afin de favoriser l'assèchement et de limiter la dégradation de la qualité de l'air intérieur.

Lorsqu'ils sont injectés en phase aqueuse, il s'agit majoritairement d'émulsions ou de micro-émulsions de silanes ou de siloxanes. Ils affichent un bilan écologique nettement plus favorable. Cependant, le potentiel de migration de ces produits dans des supports (très) humides est plus faible, en raison des dimensions des particules contenues dans l'émulsion.

Sous forme gels ou crèmes, ils sont également à base de silanes ou de siloxanes en phase solvant ou aqueuse. Ces produits renferment des concentrations en matières actives importantes (40 à 80 %), ce qui limite les quantités à mettre en œuvre. Ils ne dégagent pratiquement pas d'odeur et des mesures en laboratoire ont montré récemment que leurs émissions de COV sont négligeables. Les crèmes et les gels se prêtent particulièrement bien à l'injection de maçonneries extrêmement compactes ou, au contraire, fortement hétérogènes et cavernueuses.

Figure 1 : Disposition des forages dans la maçonnerie (source CSTC NIT 252)

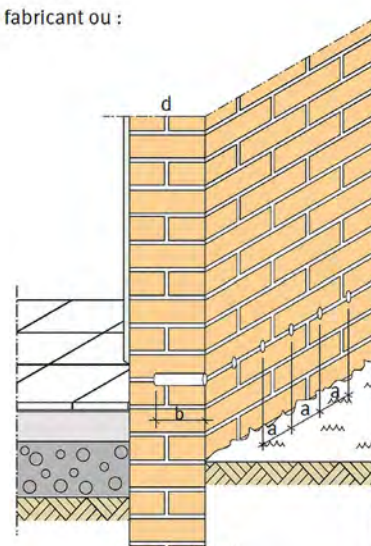


Selon les instructions du fabricant ou :

$a = 80 \text{ à } 120 \text{ mm}$

$b = d - (50 \text{ ou } 20 \text{ mm})$

$d = \text{épaisseur du mur}$



Mise en œuvre

Avant l'injection, et pour favoriser au maximum l'assèchement des murs, les finitions existantes sont décapées sur toute la hauteur concernée par l'humidité ascensionnelle. Ainsi, bien que le séchage soit ralenti, les sels qui migrent vers la surface des finitions lors de l'assèchement sont partiellement éliminés en même temps que les finitions contaminées. Lorsqu'on utilise un produit liquide et que les joints sont en mauvais état, la maçonnerie est rejointoyée, de manière à éviter les pertes de produit.

En règle générale, une rangée de trous est forée de préférence dans un joint de mortier suivant un alignement parallèle au sol, et ce, jusqu'à maximum 50 mm de la surface opposée (20 mm pour les crèmes et les gels) ou conformément aux instructions du fabricant (**Fig. 1**). Les joints de mortier doivent être traités en priorité, car ils forment, au sein de la maçonnerie, un réseau continu à travers lequel l'eau migre par capillarité. Afin d'augmenter les surfaces de transfert, les forages peuvent être réalisés en oblique, tant latéralement que vers le bas. Le diamètre des trous à forer sera d'au minimum 12mm et pourra être supérieur dans le cas des crèmes ou des gels (tout dépend de la quantité que l'on voudra injecter). L'intervalle entre chaque trou varie de 8 à 12mm suivant le pouvoir migratoire des produits.

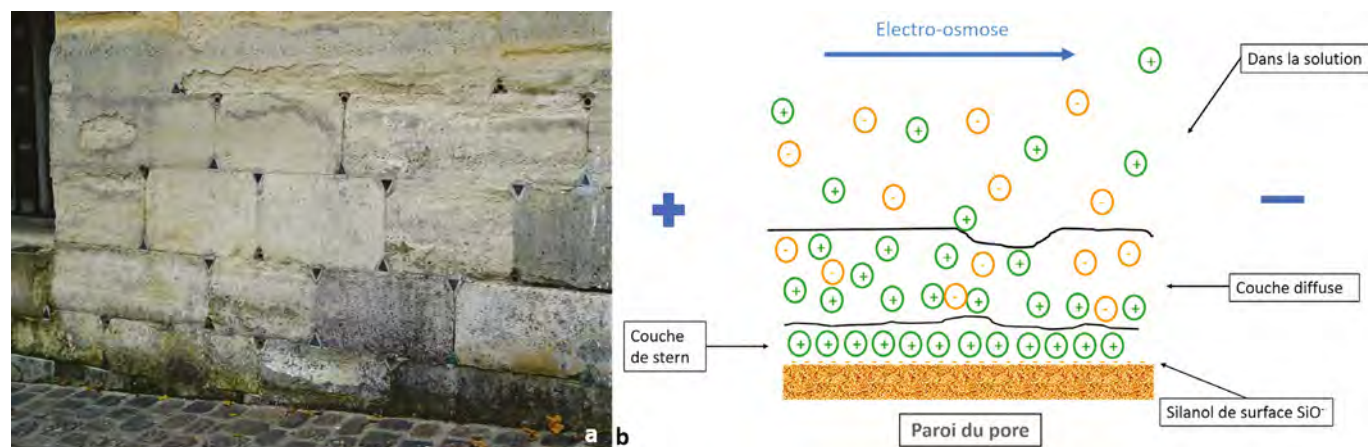
La mise en œuvre des produits peut être réalisée selon différentes méthodes, dont les plus courantes sont :

L'injection de produit sous forme liquide à basse pression. La pression appliquée ne sert en aucun cas à forcer la migration du produit dans la porosité de la maçonnerie mais à accélérer la migration dans les fissures et les cavités. La pression varie de 0.05 à 0.2 Mpa suivant la densité des matériaux.

L'injection sous forme de gel ou de crème est similaire à la méthode précédente mais ces produits ne s'écoulent pas dans les fissures et crevasses, ce qui peut être un avantage pour les maçonneries hétérogènes

L'injection par gravité est quant à elle moins utilisée. Elle se fait à l'aide de récipients d'attente fixés dans les trous de forage, éventuellement avec un système de goutte-à-goutte interposé.

Figure 2 : (a) Drains en plastiques insérés dans la maçonnerie au château de Versailles (Source Yves Vanhellemont)
(b) Représentation graphique du principe de l'électro-osmose.



Traitement augmentant l'évaporation

Ces systèmes consistent à placer, à l'intérieur de la maçonnerie humide, des drains en terre cuite, en alumine ou en plastique qui facilitent l'évaporation de l'eau retenue dans les murs (**Fig. 2a**). Afin d'accélérer cette évaporation, un courant de convection est créé, par le refroidissement de l'air lors de l'évaporation. Cette méthode est moins efficace que celles citées ci-dessus. En effet, la présence de ces cavités dans le mur entraîne l'apparition de ponts thermiques qui, en période froide, favorisent les phénomènes de condensation et accentuent même l'humidification locale.

De plus ces zones d'évaporation sont des zones privilégiées de cristallisation des sels ce qui potentiellement peut augmenter les dégradations

Méthodes électrocinétiques

L'électro-osmose vient du fait que la surface des pores d'un matériau est électriquement chargée. Si on prend du quartz, formée principalement de silice en contact avec de l'eau il y a une protonation des groupements silanol. Sur cette couche chargée négativement vient s'adsorber des cations sous l'action d'un champ électrique interfacial. Il forme une couche dense appelée couche de Stern. Au-dessus de cette couche vient la couche diffuse ou la concentration en cation décroît exponentiellement (appelé double couche électronique) et finalement la solution (**Fig. 2b**). Le potentiel électrique décroît linéairement dans la couche de Stern qui est vu comme un condensateur et décroît exponentiellement dans la couche diffuse pour tendre vers le potentiel de la solution. Si on prend l'exemple d'un capillaire de verre (silice), lorsqu'un champ électrique est appliqué aux bornes du capillaire, les cations de la couche de Stern restent immobiles car ils subissent des interactions électrostatiques fortes de la part des groupements SiO^- de la paroi du capillaire. En revanche les cations de la couche diffuse vont migrer vers la cathode et entraîner via des phénomènes de friction l'ensemble des molécules de l'électrolyte, ce qui provoque un écoulement général du contenu du capillaire en direction de la cathode. Sa vitesse dépend de l'électrolyte, de sa viscosité donc de la température et de la densité de charge en surface du pore.

Electro-osmose passive

Le principe de ce système est basé sur le fait qu'il y ait une différence de potentiel entre le sol et le mur de quelques centièmes de millivolt à cause des courants telluriques, qui engendre un déplacement de l'eau du sol vers la construction. L'ensemble fonctionne comme une pile avec une anode : le sol (chargé négativement) et une cathode : le mur (chargé positivement) (**Figure 3**).

Ce système d'électro-osmose passive va annuler cette différence de potentiel en créant une pile inverse. Pour cela des électrodes en cuivres insérées dans la maçonnerie sont reliées par un conducteur isolé à la terre par des électrodes en métal (fer ou zinc). Une pile électrique est ainsi créée et le nouveau champ électrique refoule l'eau du mur (chargé ainsi positivement) vers le sol (chargé ainsi négativement). Les tests réalisés avec cette technique dans le cadre du projet Emerisda ont été faits sur l'église san Marco à Venise. Les résultats montrent que la teneur en humidité (%) change sans claire tendance. Aucune réduction consistante de l'humidité n'a été observée, ni aucune augmentation claire même si les phénomènes de marée haute ont été observés au cours de la période surveillée.

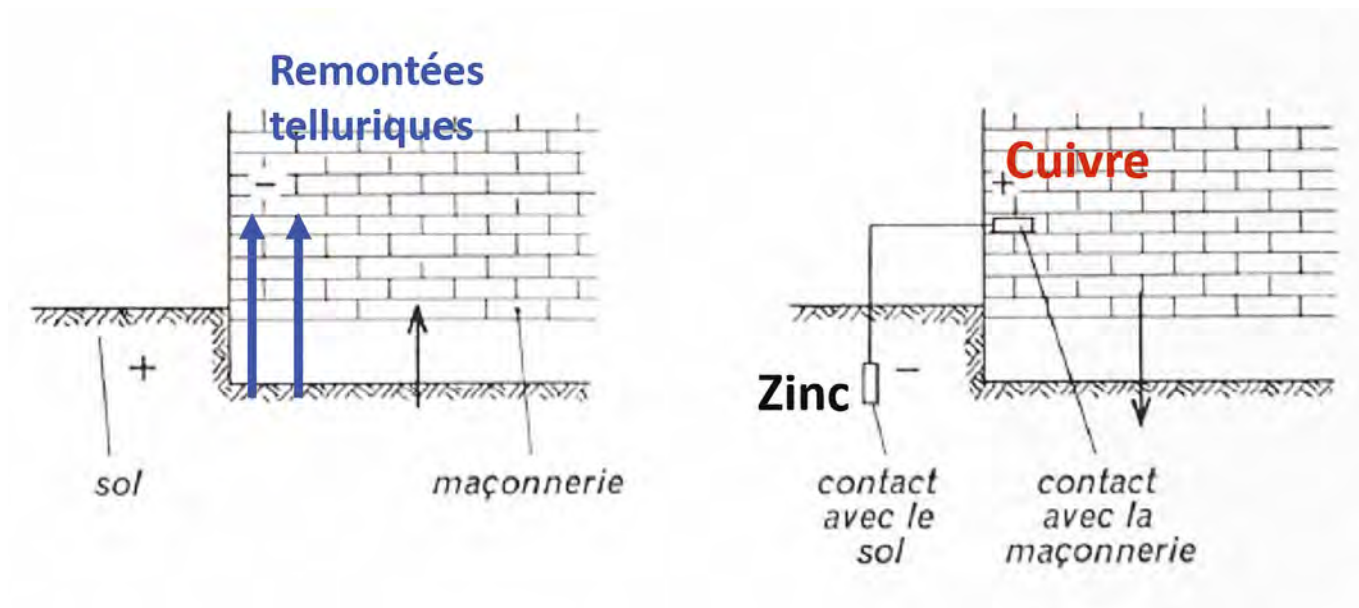


Figure 3 : (gauche) Situation de remontées capillaire contre la pesanteur à cause des champs telluriques. (droite) Situation après installation d'un circuit avec électro-osmose passive et inversion du mouvement de l'eau.

Cette méthode n'utilise pas de source d'énergie externe, mais est très sensible aux courants vagabonds qui inversent l'effet pile. De plus il faut faire attention à la corrosion des électrodes qui est rapide.

Electro-osmose active

Cette méthode est basée sur le même principe de l'électro-osmose passive mais dans ce cas, la différence de potentiel entre le mur et le sol est imposée par une source de courant continu entre les électrodes insérées dans le mur et la prise de terre. Cette méthode est difficile à mettre en place sur site, la nature chimique des matériaux va avoir une grande influence. De plus les électrodes doivent être en acier galvanisé car dans ce système elles se corrodent très rapidement.

Paraphysique : Electromagnétique

Cette méthode est mal définie. Des impulsions d'ondes électromagnétiques seraient émises par un boîtier créant un contre champ magnétique qui influencerait le mouvement des molécules d'eau (dipôle). L'efficacité de ces systèmes n'a pas encore pu être prouvée de façon irréfutable, étant donné que nombre de chantiers 'modèles' ont fait l'objet de plusieurs interventions parallèles (installation d'un système électromagnétique, amélioration des conditions de ventilation, pose d'un enduit d'assainissement, etc.). Dans le projet Emersida il n'y a pas eu de diminution significative de l'humidité pouvant être attribuée à l'utilisation du boîtier.

Les méthodes d'intervention luttant contre les symptômes : les enduits d'assainissement

Les enduits d'assainissement sont des enduits minéraux caractérisés par une porosité élevée. Ils sont développés spécifiquement en vue d'une application sur des maçonneries humides et chargées en sels. Leur structure porométrique est conçue pour laisser augmenter l'évaporation tout en piégeant les sels dans la masse de l'enduit, sans que ceux-ci y occasionnent des dégâts immédiats. En plus de leur aspect esthétique, ils jouent un rôle sacrificiel, puisqu'ils déplacent la cristallisation des sels depuis la maçonnerie vers l'enduit. Ainsi, la durabilité de ces enduits dépend de la quantité de sels pouvant être absorbée dans la porosité, mais aussi de la concentration des sels présents dans la maçonnerie. L'application de cette solution implique un entretien régulier, la durabilité des enduits variant entre 5 et 15 ans en fonction de la situation (concentration et flux d'humidité et de sels).

Les enduits d'assainissement peuvent être utilisés seuls ou en combinaison avec un traitement de blocage de l'humidité ascensionnelle, notamment lorsqu'on ne souhaite pas attendre l'assèchement complet du mur pour mettre en œuvre les nouvelles finitions. La réalisation d'une intervention de blocage de l'humidité ascensionnelle améliore en outre la durabilité de l'enduit d'assainissement.

Conclusion

Le projet Européen Emerisda a permis de mettre en évidence les différentes interventions existantes en testant dans différents pays leur efficacité sur des bâtiments anciens avec une méthodologie scientifique. Il existe des méthodes agissant directement sur l'humidité ascensionnelle de façon plus ou moins efficace et des méthodes agissant sur les symptômes sans traiter directement la cause. La plupart du temps une combinaison de mesures est utilisée pour traiter les remontées capillaires.



Discussion avec la salle

Philippe Brombet (CICRP), président de séance

Christophe Curial (CRMH PACA) :

- J'ai une question sur le tableau final. Vous notez sur la ligne du système électrocinétique « une bonne efficacité, mais pas encore démontrée ». Est-ce que vous envisagez un protocole qui permettrait justement d'en démontrer l'efficacité ?

Julie Désarnaud (CTSC) :

- C'est ce qui est prévu si on arrive à avoir notre projet européen. Oui, le but c'est cela, de refaire les tests. C'est juste que jusqu'à présent on n'a pas eu de résultat positif avec ce type de technique, dans ce projet-là [Emerisda].

Christophe Curial :

- Mais vous mettez quand même « bonne efficacité ».

Julie Désarnaud :

- J'ai traduit du néerlandais, et en néerlandais c'était « Bonne efficacité pas encore démontrée ».

Philippe Bromblet (CICRP) :

- Je crois que c'est « efficacité pas démontrée », donc la bonne, encore moins démontrée...

Johanne Lindskog (directrice du musée des Beaux-Arts de Nice) :

- Vous avez expliqué que le diagnostic était assez difficile à établir. Est-ce qu'il y a des entreprises qui sont spécialisées, ou alors dans les institutions publiques, à qui peut-on faire appel pour être sûrs que le diagnostic soit bien posé ?

Julie Désarnaud :

- Oui, chez nous on sait faire, mais on ne va peut-être pas venir de Belgique pour faire ça. Je pense des instituts comme le LRMH sont quand même plutôt bien, le CICRP aussi. J'imagine que vous avez des possibilités quand même. Moi je pourrai vous répondre pour la Belgique, effectivement.

Philippe Bromblet :

- Il y a des laboratoires prestataires, des laboratoires sont outillés pour faire des percements, des méthodes gravimétriques, ou par mesures de conductivité ou par sondes capacitives, pour vérifier déjà qu'il y a de l'humidité dans les murs, et ensuite pour tester l'efficacité d'une technique. Mais c'est compliqué parce que, comme on l'a dit, il faut tester pendant un an le mur, [pour voir] comment naturellement il fonctionne, ensuite installer le dispositif, et re-suivre les variations d'humidité pendant 4 saisons.

Julie Désarnaud :

- Minimum un an, oui c'est obligatoire.

Philippe Bromblet :

- Parce que quand on a un suivi ponctuel on ne sait jamais. Si on est tombé avant une grande période de pluie, après test c'est défavorable pour la méthode ; si c'est au contraire une période de sécheresse... donc on essaie de faire des suivis. Et ça c'est difficile à mettre en place, en fait c'est très rare, mais en théorie c'est possible.

Julie Désarnaud :

- Oui, c'est sur un suivi parce que, comme le dit Philippe, le fait d'avoir un an est essentiel pour savoir, pour tester l'efficacité.

Philippe Matonti (architecte du patrimoine à Marseille) :

- Récemment, j'ai participé à un congrès en Italie où on nous a présenté une méthode. J'ai posé la question au CICRP. A priori, ce serait proche des ondes électromagnétiques, type Murtronic ou similaire, et ça s'appelait CNT, c'est-à-dire « Charge Neutralization Technology ». Ça a été étudié par l'université de Naples, et ils auraient fait des tests intéressants. Est-ce que vous avez des informations là-dessus ?

Julie Désarnaud :

- La seule information que j'aie dessus c'est la publication qui a été faite sur ce système, et qui explique le principe de neutralisation de charges. C'est comme ce que je vous ai montré, le petit dessin de l'électro-osmose, c'est-à-dire on va inverser les charges. Je ne sais pas si vous avez lu le papier, mais je n'ai aucune preuve scientifique que ça marche derrière. On n'a aucun résultat scientifique démontré, mais c'est le même principe que les méthodes électromagnétiques.

Philippe Matonti :

- D'accord, merci !

Marie-Chantal Pruvost (habitante de Marseille) :

- Je m'excuse d'intervenir parce que je ne suis pas du tout technicienne, mais j'habitais -je dis j'habitais car j'ai eu un arrêté de péril- le quartier du Panier, et je viens de recevoir le rapport du géotechnicien que je n'arrivais absolument pas à comprendre. Là j'ai un peu compris dans la première partie de l'exposé de quoi il s'agit. En fait il y a la problématique de murs mitoyens, parce que vous avez exposé des solutions, mais rien qui suppose d'intervenir sur un mur mitoyen. Or là c'est difficile en l'occurrence, bien que les autres soient en péril aussi, mais ça va être très long, c'est des copropriétés etc. Il y a une problématique de remontées capillaires, c'est clair, parce qu'il y a des puits là où je suis. Donc, comment faire dans le cadre d'un habitat particulier, quand il y a des murs mitoyens et puis aussi, dernière question -comme j'aime bien comprendre quand même ce qu'il m'arrive-, quel est l'organisme qui pourrait m'aider à déjà simplement lire posément ce rapport géotechnique ?

Julie Désarnaud :

- Première question concernant la mitoyenneté de vos murs. Effectivement c'est un problème parce que c'est bien mieux de pouvoir avoir un accès des deux côtés du mur. Nous, ce qu'on préconise en général au niveau des injections quand vous avez un mitoyen, c'est que vous allez faire vos injections au-dessus du sol. Vous les faites au-dessus du sol, sauf si on est au niveau des caves (la cave est généralement enterrée, aussi on fait les injections au-dessus de la cave si vous ne comptez pas vivre dans votre cave), au niveau du rez-de-chaussée. Quand on a un mitoyen, ce qu'on préconise de faire, c'est de faire des injections au niveau du sol, et puis de faire des injections en montée au niveau du mitoyen jusqu'à une hauteur de 1.50 m, qui est généralement la hauteur des remontées capillaires.

Marie-Chantal Pruvost :

- *Et ça, je peux le faire de mon côté, sans intervenir chez les voisins ?*

Julie Désarnaud :

- *Normalement, c'est ce qu'on préconise [d'intervenir de chaque côté], mais après ça dépend de vos voisins.*

Antonin Desprairies (technicien des Bâtiments de France à Nice) :

- *Je me posais la question de l'électro-osmose active, savoir si le coût de l'électricité dans cette opération était important, puisqu'elle est permanente, ou si au contraire il était minime.*

Julie Désarnaud :

- *C'est un courant continu, effectivement elle est permanente, vous avez raison. Après, sur le coût, honnêtement, je n'ai aucun retour, aucune expérience là-dedans, et je ne pourrai pas vous renseigner là-dessus.*

A. Desprairies :

- *ça dépend du tarif de l'électricité, c'est ça ? Pour l'électricité, quel ordre de grandeur...*

Philippe Bromblet :

- *Quel ordre de grandeur... Quelle est la différence de potentiel, c'est ça ?*

A. Desprairies :

- *Oui !*

Julie Désarnaud :

- *Je n'ai pas le détail mais je pourrai vous le dire tout à l'heure. Il faut savoir que quand on mesure la différence de potentiel entre le sol et le mur, c'est de l'ordre de centaines de millivolts, ce n'est vraiment pas énorme. Généralement c'est entre 200 et 850 millivolts, à peu près. C'est ce qui a été enregistré, mesuré.*

Jonathan Christ (artisan, tailleur de pierre en Alsace) :

- *J'ai une question concernant les photos qu'on a vues, l'ensemble de vos photos prises en Belgique. Lorsque vous avez un bâti qui a respecté les méthodes traditionnelles de construction, c'est-à-dire en respectant les différents matériaux, de porosité, de densité, pas un calcaire avec un granite par exemple, un calcaire plus tendre, des pierres plus fermes sur les parties en saillie, ainsi de suite, la présence de goutte d'eau, ces petites choses... Lorsque tout est bien respecté, avez-vous vu des remontées capillaires ?*

Julie Désarnaud :

- *Non.*

Jonathan Christ :

- *Merci ! Et j'ai une dernière question, mais je n'ai pas retenu le terme, « barrière de Stern » ?*

Julie Désarnaud :

- *« couche de Stern ».*

Jonathan Christ :

- Oui, « couche de Stern ». Vous parliez de calcaire et de pierre siliceuse, donc le grès également. Est-ce que vous appelez ça le calcin, est-ce que c'est le calcin ?

Julie Désarnaud :

- Non, ce n'est pas la même chose.

Jonathan Christ :

- J'étais curieux de savoir, merci !

Rolland Morgat (entreprise Mariani, Avignon) :

- Sur Avignon comme ailleurs, on rencontre souvent les procédés qui ont été montrés en photo, nous on appelle cela « Knapen », ce sont les petits tubes qui sont insérés dans la maçonnerie pour la ventilation naturelle. Effectivement, cela fait des années que je constate qu'il n'y a pas d'efficacité réelle. Il y a eu une époque où visiblement, il y a quelqu'un qui a dû faire fortune là-dedans puisque, en tous cas sur Avignon...

Julie Désarnaud :

- Versailles aussi !

Rolland Morgat :

- Les murs en sont farcis, en sont même fortement dégradés et, régulièrement, on est appelés pour solutionner des problèmes de remontées capillaires, d'humidité, puisqu'il y a tout de même beaucoup d'eau dans les sols d'Avignon, problèmes qui ne sont pas résolus par ces techniques-là. Mis à part proposer la constitution de barrières étanches ou des procédés d'électro-osmose type Murtronic ou autre, dont on n'a pas de retour particulier d'efficacité non plus, on ne sait pas trop quoi dire là-dessus. Donc je voudrais savoir, dans un premier temps, est-ce qu'il y a une réversibilité à ces « Knapens », est-ce qu'on peut, déjà d'un point de vue esthétique, préconiser de les retirer, et éventuellement de procéder par ragréage, ou de reboucher ?

Julie Désarnaud :

- Oui, parce que le problème c'est que vous avez aussi enlevé un bout de pierre généralement, ce n'est pas que dans le mortier de liaison. Aujourd'hui on ne les préconise plus du tout, car au contraire même ce sont des sources de condensation.

Rolland Morgat :

- Donc il vaut mieux les retirer, et reboucher, revenir à quelque chose de plus compact ?

Julie Désarnaud :

- Oui ! On ne les préconise plus. C'est un nid à araignées pour nous.

Rolland Morgat :

- Une autre question concernant ces trous qui ont déjà été réalisés, à votre connaissance, est-ce que ça a déjà été réutilisé pour créer une barrière étanche... à partir de ces percements qui ont déjà été réalisés ?

Julie Désarnaud :

- Il faut savoir que la taille des percements est, pas standardisée, mais généralement quand vous utilisez vos conduits, c'est de gros percements, de grosses ouvertures, qui sont trop grandes par rapport aux injections. À savoir aussi que la profondeur des injections c'est presque toute l'épaisseur du mur, donc ce n'est pas le cas des conduits d'assèchement ; et la troisième chose, c'est que les injections, ça dépend aussi énormément de votre épaisseur de mur : on préconise à 50 cm maximum d'épaisseur, après ça devient compliqué car il faudrait injecter de l'autre côté aussi, pour avoir vraiment une barrière efficace sur le long [l'épaisseur]... donc ça dépend aussi de votre bâti.





Partie 2

Retours d'expérience



L'église Saint-Nicolas de Myre de Jausiers

Michel Trubert, Architecte en chef
des monuments historiques

Ce premier cas concret concerne un monument historique dans les Alpes-de-Haute-Provence.

Il s'agit de l'église Saint-Nicolas de Myre à Jausiers, un édifice des XVII^e et XVIII^e siècles, à chapelles latérales peu saillantes, chevet à pans coupés et renfermant un très beau décor intérieur baroque. C'est d'ailleurs l'état sanitaire de ce décor qui a un peu précipité et inversé les interventions qui ont eu lieu dans ce monument, pas forcément dans l'ordre qui eut été souhaitable.

Historique

Une église primitive a été construite en partie haute du site actuel, que l'on voit sur un plan du début du XVIII^e siècle et qui a été ravagée par les guerres de Religion au XVI^e siècle. Cette église a été reconstruite en partie basse de la butte dans une zone qui malheureusement est sujette aux inondations, et dans une région à forte sismicité, donc un édifice particulièrement fragile par rapport à son environnement. C'est donc un édifice construit au XVII^e siècle, décoré au XVIII^e, et puis protégé au XX^e siècle au titre des monuments historiques en 1921 (**Fig. 1**). Divers épisodes ont marqué l'édifice, notamment une très importante inondation en 1957, puis un séisme en 1959 qui a déstabilisé les structures de l'église et causé de lourds dégâts dans la ville. Les travaux

Fig. 1 - L'église Saint-Nicolas de Myre, carte postale ancienne © DR



ultérieurs d'aménagement des abords ont aggravé les conditions de conservation du monument. Ce monument avait été conçu pour être protégé des remontées capillaires, mais ces dispositifs originels ont été oubliés et malmenés, et sont devenus inopérants.

Des photographies anciennes illustrent les inondations de 1957 et le séisme de 1959, montrant l'ampleur des dégâts. Il s'agit également d'une région où les constructions ne sont pas de très bonne qualité, constituées de murs en moellons - souvent même de galets - hourdis avec des mortiers pauvres en chaux facilement lessivés par les migrations capillaires. Les conditions de conservation ne sont donc pas idéales : il s'agit de constructions fragiles, dans une zone sismique et sujette aux inondations.

Le temps des études et des travaux

Il est intéressant de voir la progression des études et des travaux. On a l'impression que la cause des désordres a été un peu oubliée dans le temps. Juste après la protection au titre des Monuments Historiques en 1922, un architecte en chef avait bien identifié la cause majeure des problèmes d'humidité, puisque cet édifice est non seulement en zone inondable, mais est à moitié encasté dans le sol avec une hauteur assez importante, de l'ordre de quatre mètres au niveau du chevet. Un aqueduc-drain avait bien été construit dès l'origine pour ventiler la base des murs et éviter leur contamination par les migrations capillaires (**Fig. 2a et 2b**). C'est bien l'engorgement de cet aqueduc-drain qui a posé problème au cours du temps. En 1922 des travaux et une étude portent sur ce dispositif. En 1961, la restauration des toitures contribue à la mise hors d'eau, mais l'aqueduc-drain est oublié. Ensuite des études et des travaux sont réalisés sur les décors intérieurs, sans doute en raison d'une demande très forte d'aller spontanément vers les travaux les plus gratifiants, qui sont ceux de restauration des décors, aux dépens de travaux un peu plus austères de restauration des dispositifs de drainage périphérique. Toutes ces études ont porté d'abord sur

Fig. 2a - 2b : L'aqueduc-drain en cours de dégagement (2019)
© Agence M. Trubert





Fig. 3 : Chapelle Saint-Joseph après restauration (années 2010) © Agence M. Trubert

l'ensemble de l'édifice et se sont ensuite plutôt concentrés sur les décors, jusqu'à aboutir à des travaux de restauration de ces décors, sans avoir pris soin de traiter la cause de ces problèmes d'humidité. (**Fig.3**)

Dans les chapelles latérales, les décors de gypseries des autels sont assez complexes. Un petit détail important mérite d'être signalé : après l'inondation de 1957, tous les sols qui avaient été détruits par l'inondation ont été refaits avec une dalle ciment qui a évidemment contribué à favoriser les remontées capillaires dans les murs. Finalement en 2016, cette logique funeste a été inversée en décidant de repartir d'un diagnostic global qui intégrait à la fois les questions de structure, mais aussi les questions d'analyse de comportement des décors vis-à-vis de ces problèmes d'humidité. C'est cette étude qui a abouti à un projet où les priorités ont été remises dans l'ordre. C'est ainsi que la restauration de l'aqueduc-drain périphérique - qui n'avait pas été restauré depuis les années 1920, est devenue un préalable à la restauration des décors. En même temps, un dispositif de surveillance de l'édifice a été mis en place par rapport aux problèmes de structure, et pour la surveillance des décors, en cours de chantier et après le chantier.

Dans les études de diagnostic sur les monuments historiques, nous attachons une importance particulière aux travaux de restauration et d'entretien récents, car l'état actuel de ces édifices dépend souvent plus de ces travaux récents que des grandes campagnes d'évolution de l'édifice, qui sont souvent assez bien connues dans ces monuments.

Dans le cas présent, la traçabilité des travaux récents du XX^e siècle était particulièrement importante pour comprendre pourquoi et comment on a changé de matériaux de couverture, pourquoi et comment les gouttières ont disparu, pourquoi les dispositifs de drainage originels ont été oubliés au bénéfice de travaux plus gratifiants de restauration des décors.



Fig. 4 : Désordres à la base d'un mur liés à la frange capillaire © Agence M. Trubert



Fig. 5 : Frange capillaire à la base des décors
© Agence M. Trubert

Les travaux de restauration de l'aqueduc-drain

Sur les photos avant travaux apparaît une frange de remontées capillaires qui concerne tout le pourtour de l'édifice et qui suit le niveau de sol (**Fig. 4**), aussi bien en pied de murs gouttereaux qu'en pied de façade où il n'y a pas d'eau de rejaillissement, confirmant bien l'hypothèse des remontées capillaires.

Dans les intérieurs, ce même phénomène de frange de remontées capillaires se manifeste (**Fig. 5**). Les sols en ciment contribuent évidemment au confinement de l'humidité dans les maçonneries.

Les photos de l'aqueduc-drain avant travaux montrent qu'il avait été complètement colmaté dans sa partie basse. Les travaux ont permis de dégager la partie supérieure du fameux aqueduc-drain (**Fig. 6a** et **6b**), d'assurer son débouché en partie basse, et de retrouver l'ancienne calade (**Fig. 7**) au-dessus de ce drain.

Les travaux ont simplement consisté en une réactivation des dispositifs historiques de protection de l'édifice : rétablissement de l'aqueduc-drain et restitution des sols extérieurs en calades, qui ne favorisent pas la stagnation des eaux et de la neige, mais qui permettent en même temps les échanges hydriques, la « respiration » des murs.

La lutte contre les sels

Au cours du diagnostic qui avait été réalisé en 2016, la cause majeure de la dégradation des épidermes avait bien été identifiée : il y avait des problèmes de cristallisation de sels hygroscopiques, liée à l'humidité capillaire, elle-même causée par les infiltrations continues et les inondations ponctuelles.

Des figures d'altération active ont été relevées qui concernent notamment des zones qui avaient été restaurées dans les années 2000 (**Fig. 8**). Ce sont ces zones-là qui sont précisément concernées par les travaux de drainage qui viennent de se terminer.



Fig. 6a et 6b :
L'aqueduc-drain en cours de
travaux et après travaux (2019)
© Philippe Bromblet - CICRP



Fig. 7 : Restitution de la calade © Agence M. Trubert

Suivi climatique et humidimétrique

Ce suivi assuré par Sébastien Aze (SINOPIA) permet de préciser les constats qui ont été faits par rapport à l'étude climatique effectuée à l'intérieur de l'édifice. On retrouve des éléments qui sont assez récurrents dans les monuments de cette région et à ces altitudes. En période chaude, les évolutions sont surtout liées aux variations climatiques extérieures, à la fois par rapport aux périodes de pluie, et par rapport aux périodes de vent. L'humidité relative est comprise entre 40% et 70%, avec des variables quotidiennes qui dépendent de la position dans l'édifice. Pendant la période froide, ce que l'on constate surtout c'est qu'il y a un effet assez néfaste de l'utilisation du chauffage par rapport à l'édifice. C'est un constat assez général que l'on peut faire : dans ces édifices, il y a souvent



Fig. 8 : Diagnostic (2016) – relevés de figures d'altération active dues aux sels hygroscopiques © Agence M. Trubert

des chauffages qui ne sont pas adaptés, leur réglage ne l'est pas non plus, car on chauffe non pas de manière continue mais de manière très ponctuelle et avec des pics. On obtient des modifications importantes de l'humidité relative qui sont très néfastes évidemment, notamment à la conservation des décors. Donc il y a des choses très simples à faire, qui sont par exemple la limitation de l'intensité du chauffage pour éviter justement ces pics, et puis les travaux d'assainissement périphérique qui sont précédemment en œuvre.

En même temps, il faut aussi prévoir le contrôle climatique pendant les travaux et après les travaux, car on sait que l'assèchement relatif des maçonneries, qui est souhaitable dans une certaine mesure, peut provoquer aussi des phénomènes d'altération supplémentaires des décors si l'assèchement est trop important et trop rapide.

Dans ce cas précis, le risque était limité dans la mesure où il n'y a pas eu de mise en place de barrière étanche et où l'on s'est contenté de restituer les conditions de conservation initiales de l'édifice, sans provoquer de phénomène d'assèchement brutal.

Au niveau des décors, la méthode a consisté, aussi bien au moment du diagnostic que pendant les travaux, en une première approche photographique, pour avoir un constat d'état avant travaux et après travaux. En cours de travaux, ces constats d'état ont été mis à jour, l'évolution de l'état de conservation du décor a été contrôlé, et les figures d'altération qui sont susceptibles d'apparaître effectivement pendant les travaux ont été localisées.

Des mesures conservatoires liées à ces dégradations consécutives aux travaux potentielles ont été prévues.

Le suivi climatique a été prévu sur trente-six mois, avant, pendant et après la réalisation des travaux, avec des mesures thermo-hygrométriques par une dizaine de capteurs qui sont situés dans les différentes chapelles, et qui enregistrent l'humidité relative ambiante toutes les heures. Ces mesures sont corrélées avec les données de la station de Météo France, puis des rapports de synthèse sont établis. Cette méthode permet d'avoir une excellente traçabilité de l'évolution à la fois des conditions climatiques, mais aussi de l'état des décors. Un suivi humidimétrique des matériaux est fait avec un système de sonde capacitive dans des zones de mesures qui sont sélectionnées après l'été, dont des zones altérées qui font l'objet d'un suivi.

Ces mesures de la teneur en eau des matériaux sont consignées sous forme de cartographies millimétriques avec un maillage assez fin (**Fig. 9**) qui permet d'avoir une très bonne visibilité de l'évolution des conditions de suivi humidimétrique, et avec des enregistrements qui sont réalisés sur trente-six mois, et avec une simultanéité du suivi microclimatique.

La surveillance des décors se fait aussi pendant les travaux, par le biais d'un lot attribué à un atelier de restauration, qui permet de continuer à faire évoluer le constat à partir du constat initial, de constats semestriels et d'un constat final après travaux, permettant de bien suivre l'évolution de l'état des décors pendant tous les travaux.

Les mesures conservatoires prévues en cas de nécessité consistent en des consolidations avec des produits réversibles, et avec un apport d'eau limité bien évidemment.

Toutes ces interventions sont localisées sur une base photographique, accompagnée d'un tableau avec les produits employés, les fiches techniques des produits, ce qui permet encore une fois, avec une méthode vraiment très systématique, d'avoir un suivi très précis des travaux réalisés, et de l'évolution de l'état des décors, pendant tous les travaux d'assainissement.

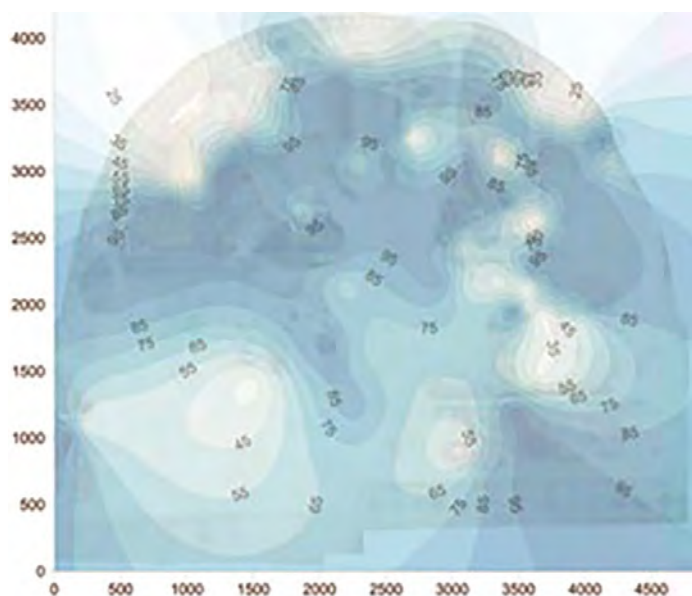


Fig. 9 : Exemple de cartographie de l'humidité des murs
© Agence M. Trubert

Discussion avec la salle

Philippe Bromblet (CICRP) :

- Merci pour cette présentation. C'est, si j'ai bien compris, un dispositif de lutte contre les remontées capillaires qui est d'origine, de la construction du bâtiment ?

Michel Trubert :

- Oui, c'est tout à fait ça. En fait l'aqueduc-drain que l'on a vu en périphérie de l'édifice est contemporain de la construction du XVII^e siècle et, ce qu'on a vu et qui est intéressant, c'est que ce dispositif dont l'évolution est la cause de ces problèmes d'humidité, la cause majeure en tous cas de ces problèmes d'humidité, n'a pas fait l'objet des soins nécessaires dans le temps, et aujourd'hui une démarche vertueuse a été réinitiée pour retrouver finalement l'édifice dans ses conditions de conservation originelles, ce qui est finalement sans doute la meilleure solution, qui évite de faire appel à des techniques invasives ou exogènes par rapport au monument.

P. Bromblet :

- Si vous avez des questions sur cette intervention, et sur les interventions précédentes aussi, je pense que l'on a du temps.

Robert Jourdan (CRMH PACA) :

- Est-ce qu'a été évalué le rôle des nouveaux sols ciment sur l'ensemble de l'église, et est-ce qu'on a un échéancier pour intervenir ?

M. Trubert :

- Oui, bien sûr, le problème de ces sols a été identifié dans le cadre du diagnostic que nous avons réalisé. Ces sols ne font pas aujourd'hui l'objet des travaux en cours, mais la restauration des sols d'origine – en plancher de mélèze – est bien prévue dans une phase ultérieure. La tendance lourde d'étanchéification des sols – aussi bien intérieurs qu'extérieurs – doit être inversée.

Vincent Leleu (technicien, UDAP 13) :

- Comme vous l'avez souligné en zone de montagne, est-ce qu'il y a une sensibilisation particulière auprès des élus et des actions de voirie pour éviter un phénomène qui peut être constaté sur différents monuments historiques, qui est le salage systématique, et l'accumulation des neiges au pied des édifices ?

M. Trubert :

- Oui, c'est un discours que l'on essaie de tenir en permanence. Là pour le coup nous avons été entendus, puisque la commune a accepté de reprendre les sols aux abords du monument, alors qu'on n'est plus dans le monument, mais déjà sur le domaine public communal.

Isabelle Guérin (architecte du patrimoine) :

- C'est une question plus générale que je vais poser, justement quand il y a des sols comme ça, étanchéifiés. On travaille actuellement sur une église avec un très beau sol en carreaux de ciment, et on nous proposait de faire des bandes respirantes au pied des murs et au pied des piliers. Donc il y a des débats là-dessus, et on voulait

savoir s'il y a des calculs et des études faites sur l'efficacité de ces sols, de ces petites bandes respirantes et, si oui, quelle était la proportion qui faisait qu'elles étaient efficaces ?

M. Trubert :

- Je n'ai pas connaissance d'étude spécifique sur ce point-là. La réponse va être une réponse d'évidence : forcément, plus on favorise les échanges hydriques naturels entre les sols et l'air ambiant, mieux on protège les murs, les élévations du monument, que ce soient les sols intérieurs ou extérieurs. Ces bandes de ventilation sont à mon avis pertinentes, mais je pense qu'il vaudrait mieux réfléchir à une solution plus globale.

P. Bromblet :

- Je ne pense pas qu'il y ait eu d'études de dimensionnement sur ces bandes, qu'effectivement on pratique de plus en plus.

M. Trubert :

- De toute façon, là c'est un peu une réponse intuitive, mais ces échanges hydriques sont proportionnels à la surface... Ce qui est sûr c'est que c'est mieux de toutes façons que de maintenir le sol en contact direct avec les murs.

Intervenant dans la salle :

- Bonjour, je trouve ça super intéressant le principe de l'aqueduc. Du coup, il a été obstrué, il s'est désagrégé, et si ce n'était pas le cas, est-ce que ce n'était pas une méthode parfaite ?

- Est-ce que c'est une méthode qui fonctionnait bien, s'il n'avait pas été obstrué, engorgé ?

M. Trubert :

- Je pense qu'en termes de conception, c'était une excellente solution technique, puisque finalement, c'est une sorte de drainage, mais qui est plus efficace qu'un drainage, puisqu'en plus on n'étanchéifie pas le mur côté extérieur, on le ventile, ce qui est forcément plus sain. Après, ce genre de dispositif, à l'évidence, nécessite un entretien, et ce problème mériterait un vrai colloque en soi : l'entretien des monuments historiques en général. Il faudrait un entretien annuel de ce type de dispositif. Il faut essayer de concevoir les restaurations des monuments comme s'il n'y avait pas d'entretien du tout...

Intervenant dans la salle :

- Le fond de ma question est : est-ce que c'est quelque chose que vous préconiserez sur un bâtiment neuf ou malade, de mettre un aqueduc ventilé, peut-être mieux conçu pour un entretien facilité... ?

M. Trubert :

- Oui, sans doute, mais ce n'est pas toujours facile à réaliser, parce qu'il y a des questions archéologiques qui se posent. Mais bien souvent en fait, on a déjà constaté ce type de dispositif préventif sur les monuments sur lesquels nous sommes intervenus. Après sur des bâtiments neufs, c'est un peu plus compliqué, car les conditions ne sont pas les mêmes.

P. Bromblet :

- J'interviens, là on a une configuration idéale, parce qu'on a une pente, et donc l'évacuation se fait jusqu'à la rivière, à l'origine.

M. Trubert :

- Oui c'est ça, oui tout à fait.

P. Bromblet :

- Et actuellement, l'évacuation se fait dans le réseau...?

M. Trubert :

- Oui ! Mais à partir du moment où la construction est entretenue, ça fonctionne extrêmement bien.

Vincent Leleu :

- Je voulais revenir sur la question de Mme Guérin concernant les sols intérieurs, puisque moi je l'ai déjà rencontrée sur deux églises en particulier dans lesquelles il y avait un sol ciment, où il était préconisé une bande périphérique, qui était dans un cas laissée telle quelle, dans un autre cas remplie de gravillons, le but étant de favoriser la ventilation ; par contre dans un cas comme dans l'autre, si sur les murs il y avait ponctuellement des traces, enfin des signes de remontées, ou en tous cas d'humidité, les sols eux-mêmes ne présentaient absolument aucune marque d'humidité. J'étais à mon niveau assez sceptique sur l'intérêt de ces travaux qui étaient quand même assez contraignants, parce qu'effectivement, aller scier des sols en intérieur dans une église où il y a des retables, des éléments à protéger qu'on peut abîmer, mais au-delà de ça, d'engager des travaux en intérieur, d'engager une somme pour des communes... ce sont deux églises dont le coût était intégralement supporté par les communes, qui ont des budgets quand même relativement limités, et l'étude n'avait absolument pas porté sur l'extérieur de l'édifice, qui était en fait soit engazonné, soit planté, et où visiblement il y avait un problème de gestion des eaux pluviales. Donc est-ce que le fait qu'en intérieur les sols ne soient pas marqués d'humidité, est-ce que ça peut être un indicateur, ou absolument pas... est-ce que vous considérez que le blocage de l'eau se fait et que, de toute façon, ça entraîne des remontées ?

M. Trubert :

- Moi j'ai tendance à dire que si à l'intérieur il n'y a pas de trace d'humidité sur les sols, c'est qu'ils sont bien étanches, et c'est justement ce que l'on ne souhaite pas forcément. Parce que les sols anciens assurent une perméabilité, pas peut-être du matériau mais des joints ; sur les chapes en ciment, on sait quand même que si c'est bien réalisé, malheureusement c'est parfaitement étanche. Forcément, il n'y a pas de trace d'humidité, et c'est plutôt mauvais signe à la limite.

Juliette Dupin (restauratrice de céramique) :

- Je voudrais revenir sur les mesures conservatoires. Le premier point, je suis tout à fait d'accord, le troisième aussi, c'est normal. C'est surtout sur les produits réversibles avec apport d'eau limité, je ne comprends pas comment on peut faire une consolidation d'un décor peint avec un produit réversible.

M. Trubert :

- Là de toute façon il s'agit bien de mesures conservatoires et pas d'une restauration.

J. Dupin :

- « menaçant perte », c'est clair, c'est de la conservation.

M. Trubert :

- « un apport d'eau limité », ça dit bien ce que ça veut dire, on essaie de limiter l'apport d'eau...

J. Dupin :

- Ça, je suis d'accord ! C'est le produit réversible qui m'intrigue, parce que si ça menace perte et qu'on met un produit réversible... Et d'abord, comment réversible si c'est en arrière du décor peint, qui lui menace de tomber ?

M. Trubert :

- À mon avis là c'est plutôt des travaux peut-être de solin à réaliser pour éviter justement qu'il y ait des phénomènes de déplacage, et après s'il s'agit de consolidations plus poussées, il y a peut-être des zones qui sont à traiter de manière plus importante. Là il s'agit encore une fois de mesures conservatoires et pas du tout de travaux de restauration. Puisque là précisément, le lot décors qui est mis en œuvre dans le cadre de ces travaux est vraiment lié essentiellement à la surveillance de l'évolution de l'état de ces décors, et éventuellement par précaution quelques préconisations de reprises ponctuelles ou de consolidations, ou de protection, le temps de laisser les maçonneries atteindre leur équilibre hydrique, pour ensuite faire les travaux de restauration intérieure, une fois les travaux d'assainissement terminés.

R. Jourdan :

- Je pense que la question, c'est d'éviter des consolidations de surface provisoires avec des produits durcisseurs sur lesquels on ne peut pas revenir. Je pense que c'est le sens de la remarque qui est présentée là.

P. Bromblet :

- Ou des compresses sacrificielles pendant séchage, par exemple.



Des ventilations naturelles comme outil de gestion des remontées capillaires

Corrado De Giuli Morghen, Architecte du patrimoine -
FABRICA TRACEORUM

Avant-propos

Trois expériences récentes de projets, dans des contextes très divers, ont été pour nous l'occasion de traiter le problème des remontées capillaires et de la cristallisation des sels avec comme outil la ventilation naturelle.

En effet, c'est par la maîtrise de la localisation du point d'évaporation et de la cristallisation des sels que sont contrôlées les pathologies liées aux effets mécaniques d'augmentation de volume des cristaux par rapport à leur état soluble.

La solution de conservation du plafond en dalles de pierres du bassin d'eau douce du Port Antique de Marseille, passe par son ensablement et le déport de la surface de cristallisation sur un dallage fac-simile sacrificiel.

Pour l'église Saint Pierre de Bédoin, un double drainage des eaux souterraines, est accompagné par un assainissement des abords par déblaiement des sédimentations formant éponge, et complété par une maîtrise des eaux de pluies, canalisées et éloignées des maçonneries portant décors.

En milieu urbain, dans le vieux village d'Ollioules, la ventilation mécanique des caves d'un sous-sol permet de concentrer les cristallisations des sels dans le vide sanitaire, préservant les refends et les plâtres sculptés.

Enfin nos observations sur les remparts flaviens de Fréjus révèlent des dispositions antiques mettant en œuvre des maçonneries de fondations poreuses pièges à sels, à l'emplacement des habituels soubassements de barrière.

Ces cas appellent deux remarques :

Nous avons souhaité privilégier des solutions à faible risque et bien maîtrisées. Il s'agit de dispositions qui, en tout état de cause, sont en mesure d'améliorer les conditions actuelles, sans introduire des produits ou installations exogènes. Elles demandent par ailleurs peu d'entretien y compris dans un horizon de vie à long terme.

Ces dispositions devront être accompagnées par un indispensable suivi de l'évolution des bâtiments concernés. L'évolution des degrés d'humidité dans les maçonneries peut avoir d'autres conséquences liées à des assèchements trop importants et rapides tels que l'accélération des cristallisations des sels résiduels.

Figure 2 : Marseille Port antique, Bassin d'eau douce, fouilles 1967



Figure 3 : Marseille Port antique, Bassin d'eau douce, avant travaux 2018





Figure 4 : Marseille Port antique, Bassin d'eau douce, ensablement 2019

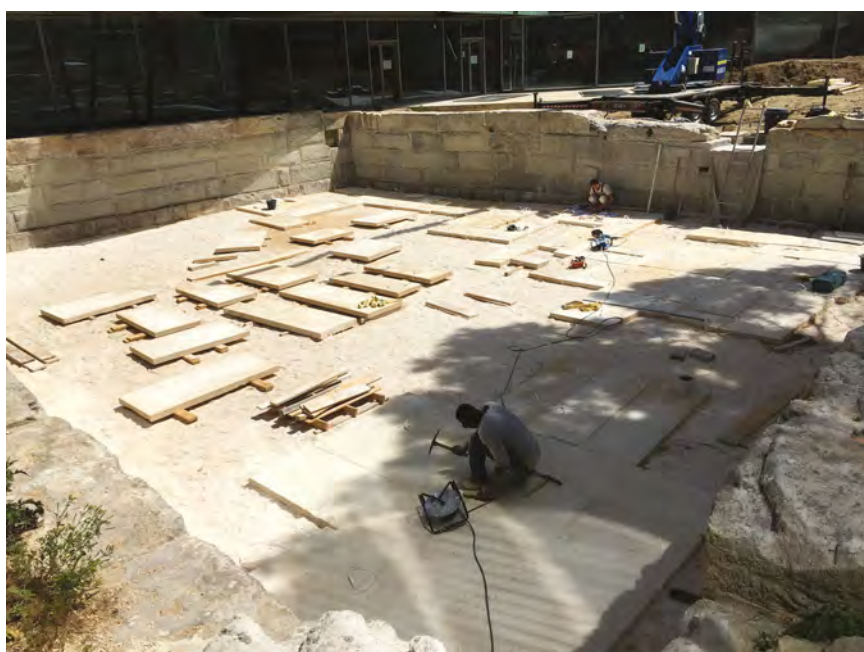


Figure 5 : Marseille Port antique, Bassin d'eau douce, ensablement 2019

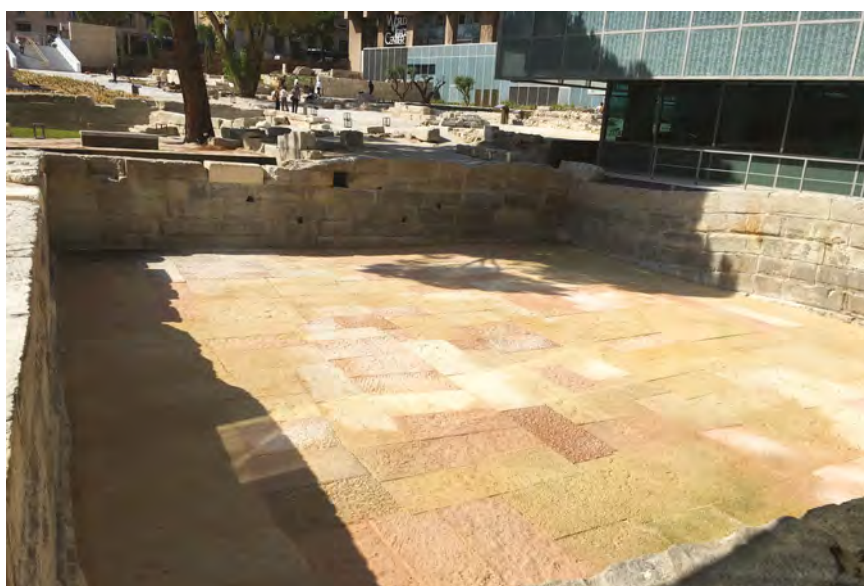


Figure 6 : Marseille Port antique, Bassin d'eau douce, après travaux 2019

Bédoin, l'église Saint-Pierre, traitements des eaux karstiques par drainage et ventilation naturelle

Les plans de l'actuelle église Saint-Pierre de Bédoin ont été établis en 1708 par Pierre Mignard (1610-1725) pour remplacer la précédente église paroissiale qui s'était effondrée en 1688.

En 1794 L'église paroissiale est détruite dans l'incendie du village.

La reconstruction de l'église sera terminée en juillet 1821.

L'église présente d'importants décors peints ainsi que des autels de grande qualité dans les chapelles latérales. (fig. 7)

L'église est bâtie à flanc de colline sur un terrassement rocheux alternant des strates de grès massif mollassique à des niveaux sablo-gréseux assez tendres. (fig. 8 et 9)

Ce dispositif favorise une circulation gravitaire d'eau karstique, venant percuter la façade latérale de l'église.

Avant travaux cette même façade Ouest présentait un remblai d'environ 2 mètres de haut entre talus et église, formant éponge. (fig. 10)

Figure 7 : Bédoin, Eglise St Pierre, façade sud après restauration 2019



Figure 8 et 9 : Bédoin, Eglise St Pierre, plan de masse et coupe du site 2017



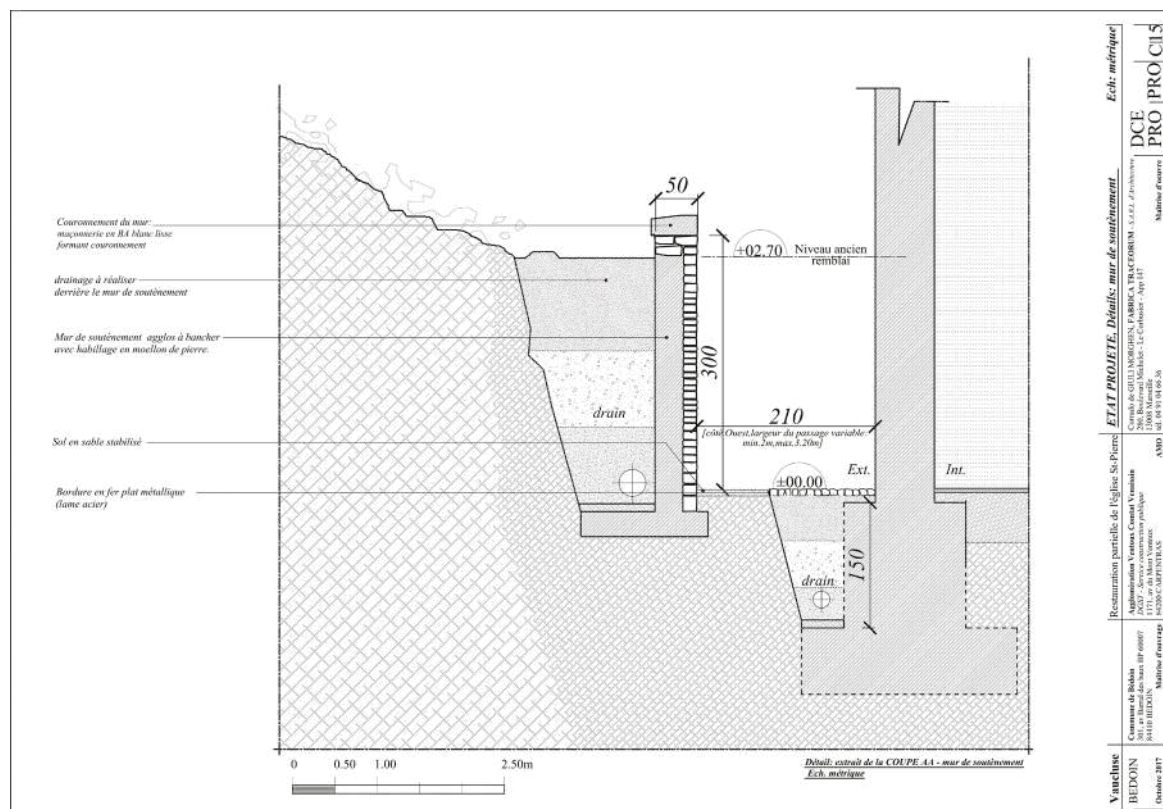
Figure 10 : Bédoin, Eglise St Pierre, remblai nord et talus 2019



Figure 11 : Bédoin,
Eglise St Pierre,
déblaiements 2019



Figure 13 : Bédoin,
Eglise St Pierre,
récupération des eaux
de pluie 2019



Enfin la couverture en tuiles posée sur le dallage en pierre de Crillon présentait d'importantes fuites d'eau.

Les travaux ont consisté principalement en trois actions :

- Déblaiement des espaces en amont contre la façade Ouest avec traitement des surfaces permettant l'infiltration des eaux pluviales vers le dispositif de drainage (**fig. 11**)
- Mise en place d'un dispositif de double drainage permettant à la fois de collecter les eaux karstiques et les eaux de rejaillissement en revers de façade. (**fig. 12**)
- Réfection des toitures en dallage de pierre avec natte drainante et ventilation horizontale de l'extrados de la voûte. Récolte des eaux pluviales de la nef (**fig. 13**)

Ollioules, Maison du Patrimoine

La maison dite des Têtes est située dans le bourg et construite entre mitoyens.

L'escalier et la cour centrale présentent un décor en plâtre sculpté avec des hauts-reliefs représentant sept empereurs romains avec coiffes améro-indiennes, ainsi que d'autres figures et formes décoratives. (**fig. 14 et 15**)

Ces décors portés sont par nature très fragiles et sensibles aux infiltrations d'eau.

La parcelle barlongue, est traversante entre deux rues parallèles mais présente un niveau de dénivelé qui rend les sous-sols semi-enterrés humides et génère un effet de mèche sur les murs de refends avec une cristallisation des sels sur environ 2 mètres de haut au rez-de-chaussée. (**fig. 16**)

Ce sous-sol étant destiné à recevoir les sanitaires, il a été proposé de mettre en place un plancher Iglu'® raccordé à un dispositif de VMC mécanisée.

Le sol étant en terre battue, cette lame d'air permet d'assainir le bâtiment facilitant l'évaporation et la cristallisation des sels dans les parties du vide sanitaire.

L'ensemble des maçonneries de refends se voit ainsi asséché naturellement.

Les élévations intérieures du sous-sol et des parties décorées du rez-de-chaussée ont fait l'objet d'un dessalement par compresse avant la restauration des décors sculptés et peints.

Figure 12 : Bédoin,
Eglise St Pierre,
détail double
drainage 2019

Fréjus, Plateforme Romaine, note d'observations en phases étude.

La plateforme romaine de Fréjus, est un ensemble archéologique intégrant une probable *domus* à vocation de résidence d'apparat et administrative. Elle est protégée au titre de monuments historiques depuis 1886. Si le palais est archéologiquement daté de l'époque augustéenne (-10 av. JC), elle a été entourée par les remparts flaviens de la partie Sud-Est de la ville.

Ces courtines sont constituées de puissantes maçonneries en soutènement de la *domus* dans un état de conservation correct.

Les fondations présentent un ressaut et sont constituées en moellons de mugéarite assez caverneuse, bâti avec un appareil régulier.

Les parements sont bâtis avec un appareil régulier assisé de moellons de grès.

La mugéarite présente une porosité de 1,8%, alors que pour les parements en élévations la porosité est de 0,7%.

Dans les remblais du talus, un drainage horizontal formé d'amphores percées a été identifié lors des fouilles de 1991.

Deux dispositifs sont ainsi mis en place lors de la construction du rempart :

- Le drainage horizontal permettant la gestion des eaux de pluies, récoltant les infiltrations avant qu'elles ne parviennent sur les surfaces d'évaporation.
- Une fondation poreuse, avec cavités (mugéarite) permettant une ventilation des parties basses de la courtine. Les sels migrants par remontées capillaires cristallisent dans le socle et sont piégés par les cavités de la pierre. (**fig. 17**)

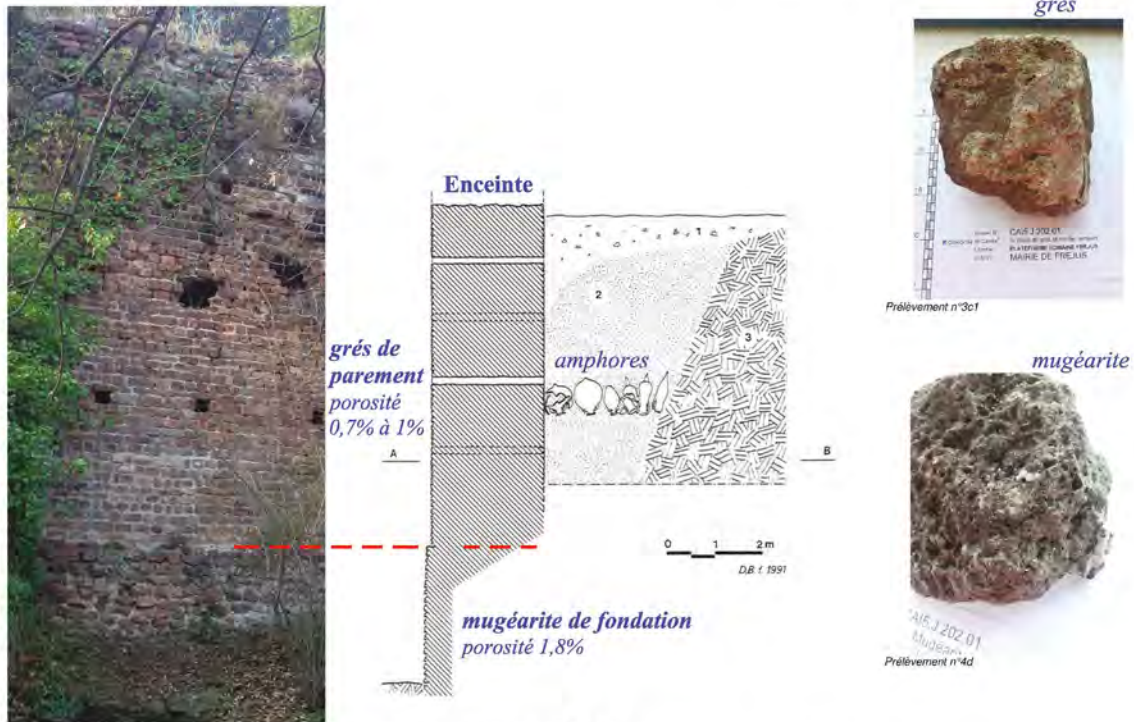
Photographies et documents Fabrica Traceorum

(sauf fig. 17b Fabrica Traceorum et D. Brentchaloff, S. Roucole).

Figure 16 :

Ollioules, Maison des têtes, coupe longitudinale

FREJUS_ PLATEFORME ROMAINE



Coupe de principe rempart Sud-est,
 établi à partir coupe stratigraphique 1991. Extrait D. Brentchaloff, S. Roucole,
 S. SAULNIER, *Atlas topographique des villes de Gaule méridionale -2-
 Fréjus*, édition de l'association de la revue archéologique de Narbonnaise,
 Montpellier, 2000.

Figure 17 : Fréjus, Plateforme romaine, coupe sur courtine flavienne © C. de Giuli Morghen / Fabrica Traceorum - D. Brentchaloff, S. Roucole, archéologues (1991), in *Atlas topographique des villes de Gaule méridionale, 2. Fréjus* (sous la direction de S. Saulnier, Montpellier, 2000) ;

Discussion avec la salle

Robert Jourdan (CRMH PACA), président de séance

Robert Jourdan (CRMH PACA) :

- Donc on a vu plusieurs solutions possibles, dont la création contemporaine de drains. Y a-t-il des questions sur ces trois présentations ?

Intervenante dans la salle :

- Je voulais savoir, dans la cave, la chape que vous avez posée, c'est de la chaux certainement, un mortier de chaux, parce que ça avait l'air d'être du ciment...

C. de Giuli Morghen :

- C'est un plancher en béton, donc c'est bien du ciment, il est désolidarisé des maçonneries et, comme l'ensemble de la cave est ventilé horizontalement, l'humidité est évacuée par cette nappe d'air qui parcourt l'entièreté de la parcelle ; aujourd'hui, nous n'avons plus du tout d'humidité en remontées sur les reins des voûtes, sur les piédroits des voûtes.

Intervenante dans la salle :

- Je n'avais pas bien compris où vous aviez placé le ferrailage, justement.

C. de Giuli Morghen :

- Le ferrailage est posé au-dessus du tabouret Iglu®...

Intervenante dans la salle :

- Oui, lui aussi est désolidarisé alors ?

C. de Giuli Morghen :

- Ce sont des éléments en plastique très légers, et la chape, comme on est avec des systèmes de portance démultipliés, est assez fine, désolidarisée : c'est-à-dire qu'à tout moment on peut la démonter assez facilement.

Intervenante dans la salle :

- Mais vous n'auriez pas pu choisir de la chaux, comme c'est une cave, de la NHL 5 par exemple, pour une cave ?

C. de Giuli Morghen :

- On a mis de la chaux en élévation sur les enduits, bien entendu, pas dans les planchers, car on est sur un bâtiment public et on a des équipements et des charges d'exploitation, on doit aussi apporter des réponses à d'autres sujets... L'alternative, et c'était d'ailleurs notre première idée, c'était d'avoir une sorte de caniveau périphérique qui fasse une sorte de ventilation périphérique. On aurait en tous cas eu cette chape de sol, mais on aurait eu une ventilation seulement en périphérie. Le fait d'avoir ce dispositif-là en nappage fait que c'est l'ensemble du sous-sol qui est assaini par la circulation d'air, y compris le fond de forme.

Intervenante dans la salle :

- *Donc vous avez pris en compte les deux bâtiments, vous avez pris toute la surface ?*

C. de Giuli Morghen :

- *Oui, nous on l'a fait sur le bâtiment qui appartient à la commune, forcément, et l'ensemble de la parcelle est ventilé... Imaginez une percolation de l'air, très lente, et l'humidité qui va vers des gradients inférieurs est évacuée dans la partie basse de la parcelle.*

- *Merci !*

Autre intervenante :

- *J'aurais aimé savoir quelle était la portance maximale pour ces dalles flottantes.*

C. de Giuli Morghen :

- *Ça dépend. Ici on les a posées sur terre battue, donc on a fait un essai sur la compression de ces terres pour être sûr qu'elles n'allaient pas s'enfoncer dans le sable, en vérité c'était une terre battue assez stable, qui était là depuis toujours, et donc la portance est de 150 kg. Si vous voulez porter plus, vous vous retrouvez dans une disposition qui n'est pas très intéressante pour nous, c'est-à-dire d'avoir une première dalle au sol, mais du coup ça n'a plus d'intérêt par rapport à un bâtiment ancien, où au contraire tout l'intérêt est d'avoir une partie au sol qui reste transpirante, et donc en terre.*

- *Merci.*

Nicolas Bouillon (CICRP) :

- *Comment évalue-t-on si une ventilation naturelle est suffisante, satisfaisante, notamment à l'échelle d'une pièce entière, ou éventuellement de cette lame d'air sous le plancher autoportant ? Autant dans un conduit je vois bien, mais à des échelles plus importantes, comment évalue-t-on ça, que la ventilation est suffisante ?*

C. de Giuli Morghen :

- *Par rapport au volume d'air ?*

N. Bouillon :

- *C'est ça par rapport au volume d'air, au volume d'une pièce, ou alors sous le plancher autoportant.*

C. de Giuli Morghen :

- Dans le cas que je vous ai présenté du plancher flottant, nous n'avons pas fait un travail sur le volume d'air, mais plutôt sur l'humidité du mur : on a mesuré avant et après -avant c'était facile, on était à 100 %- donc on a plutôt fait une surveillance de l'assèchement du mur, et en vérité le petit volume d'air que l'on faisait circuler était largement suffisant pour, assez rapidement, assainir le mur. C'est le résultat que nous avons observé, c'est-à-dire le degré d'assèchement du mur mitoyen, et cela s'est révélé être suffisant, avec le dispositif de VMC simple, et d'ailleurs assez silencieux, qu'on a mis en place.

Là on l'a fait pour la première fois avec un nappage horizontal, mais il y a longtemps, je l'avais mis en place avec un simple caniveau en pied d'élévation interne : il suffit de très peu de mouvement d'air, mais vraiment très, très peu. Je fais une petite digression, le premier dispositif, on l'a mis dans le salon de musique du château de Lavérune, où à nouveau on avait des décors en plâtre très importants, ce dispositif on l'a mis le long des élévations, et il s'avère que l'on avait une porte fenêtrée avec un trumeau, et il s'avère qu'on n'a pas fait tourner notre caniveau à l'intérieur du percement, et on a eu assez vite des petites remontées sur les joues de la porte, parce que le caniveau passait devant, et donc ça nous a montré à quel point le dispositif était efficace. Le défaut nous a montré l'efficacité du dispositif général.

R. Jourdan :

- Merci d'autres questions ? Non, alors nous allons passer à la communication suivante. Après les réponses mécaniques naturelles, on va passer aux réponses «électriques», ou du moins les circulations des courants, avec des retours d'expérience sur l'électro-osmose passive, notamment à Lambesc, avec Renzo Wieder.



Electro-osmose dans les édifices

Le cas de la chapelle
Saint-Michel à Lambesc (13)

Renzo Wieder, architecte DESTD (Architecture & Héritage)

Programme de l'intervention

Les problèmes liés à l'humidité sont récurrents dans la pratique de la conservation/restauration d'édifices anciens. Les méthodes pour y remédier sont multiples, avec des résultats variés. Le domaine est vaste, d'où l'intérêt de ce colloque permettant d'échanger, voire de confronter les théories et les pratiques de diagnostic, de contrôle, et de remèdes.

Cet exposé abordera la question de l'électro-osmose, son fonctionnement, les conséquences sur l'humidité dans les murs, les avantages et les inconvénients, sa pratique et son application dans un cas concret.

Causes de l'humidité

Présence de l'eau dans les murs (et les dégâts qui en découlent)

Avant de proposer des remèdes hâtifs et sans fondement spécifique, il est primordial de définir les causes de l'humidité et de connaître leur provenance. Ceci paraît un adage trivial, mais malheureusement nous pouvons constater de multiples interventions, qui ne donnent aucun résultat, car d'une part, le problème n'a pas été constaté correctement ou les travaux n'ont pas été réalisés de façon convenable (notamment pour les drains)

Nous pouvons, généralement, constater les causes d'humidité suivantes :

Les eaux d'infiltration:

Deux types:

- Arrivée d'eau visible (fuites ou autres)
- Passage lent de l'eau à travers l'interstice d'un corps (par exemple, eaux de pluie traversant un terrain naturel pour atteindre des maçonneries)

Les eaux de condensation :

Il s'agit du passage de la vapeur à l'état liquide de l'eau, au contact d'une surface froide.

Ceci est généralement dû à :

- Pont thermique au droit des maçonneries
- Absence de ventilation dans les pièces, accompagné d'une production de chaleur humide (cuisines, salles de bains) souvent dans les pièces non isolées.

L'humidité de la remontée capillaire :

- Comportement des liquides dans les capillaires (tubes très fins)
- La capillarité est une humidité de contact qui est définie par la loi de James Jurin
- La capillarité agit sur une faible hauteur (environ 40 cm de hauteur selon les maçonneries)

L'électro-osmose :

- L'électro-osmose est produite par le champ électro-magnétique terrestre, la tension électrique naturelle est faible (courant continu de 300 à 1200 mV).
- L'électro-osmose conduit les molécules sur une grande hauteur et l'humidité dans les maçonneries, comme pour les végétaux.
- Cette tension électrique peut être mesurée par un appareil de mesure en prenant un point dans la terre et un autre dans la maçonnerie ou dans un arbre. Il peut alors être mesuré la tension, qui est bien présente.



Fig. 1 : Illustration des relevés de courant avant et après pose de l'anneau-correcteur

L'exposé traitera le phénomène de l'électro-osmose et les actions qui peuvent être entreprises.

Les causes de dégâts dus à un apport d'humidité dans les murs, puis le phénomène de transport par l'humidité des sels, provoquant efflorescences, salpêtre, nous conduisent à agir par rapport à ce phénomène d'électro-osmose.

L'objectif est d'annuler l'effet du micro-courant qui pousse l'humidité dans les murs, annulant tout son effet néfaste (**Fig. 1**).

Comment agir sur l'électro-osmose ?

L'action d'agir contre l'humidité en prenant en compte le phénomène de l'électro-osmose s'effectue par la mise en place d'un correcteur de champ électro-magnétique qui ceinture l'édifice.

Processus :

Il est rappelé qu'il est indispensable de réaliser une étude préliminaire permettant de constater les causes de l'humidité. Ce constat permet de justifier tel ou tel procédé d'assainissement.

Dans le cas du traitement d'électro-osmose :

- Une étude de faisabilité sur l'application du procédé est à réaliser
- Condition essentielle : il faut que l'édifice puisse être cerné par l'anneau (pose d'un câble avec un alliage adapté, qui est relié avec le bâtiment).
- L'objectif est de déterminer si les causes des dégâts sont provoquées par l'électro-osmose dans les murs. En clair, il faut déterminer si le procédé peut être efficace dans le cas sollicité.

La réalisation des travaux

Il est à privilégier la pose de l'anneau correcteur de champ en début de l'opération, afin de bénéficier des effets de l'installation avant tous travaux. Des relevés d'humidité pourront accompagner afin de vérifier le bon fonctionnement de l'installation.

La pose de l'anneau, qui s'apparente à un câble métallique avec un alliage spécifique (permettant une longévité durable), s'effectue à une très faible profondeur (entre 10 et 20 cm). Une tranchée d'une faible profondeur et très peu large sera réalisée au plus près du bâtiment.

L'anneau sera raccordé au bâtiment à un seul point à définir, et il ne nécessite pas le rajout d'un courant électrique. Il peut donc être posé facilement sans rajout d'une alimentation externe. Néanmoins il faut bien préciser que le dispositif doit contourner complètement l'édifice, ou au pire, un ensemble d'édifices.

Un film avertisseur est posé sur le fil afin d'éviter des dégâts sur l'installation.

Un boîtier de raccordement permet une vérification périodique de l'installation, afin de déterminer si le câble n'a pas été (accidentellement) interrompu.

Le couvercle du boîtier (diamètre 10 cm) reste visible, le reste de l'installation est enfoui.

Les avantages (hors de l'humidité qui diminue) :

- Plus de remontées de sels
- Plus d'odeurs
- Un sentiment d'un bâtiment sain
- Faible impact sur les structures et les sols
- Le périmètre peut être très important (récemment un château en Suisse d'un périmètre de 500 m a été traité).

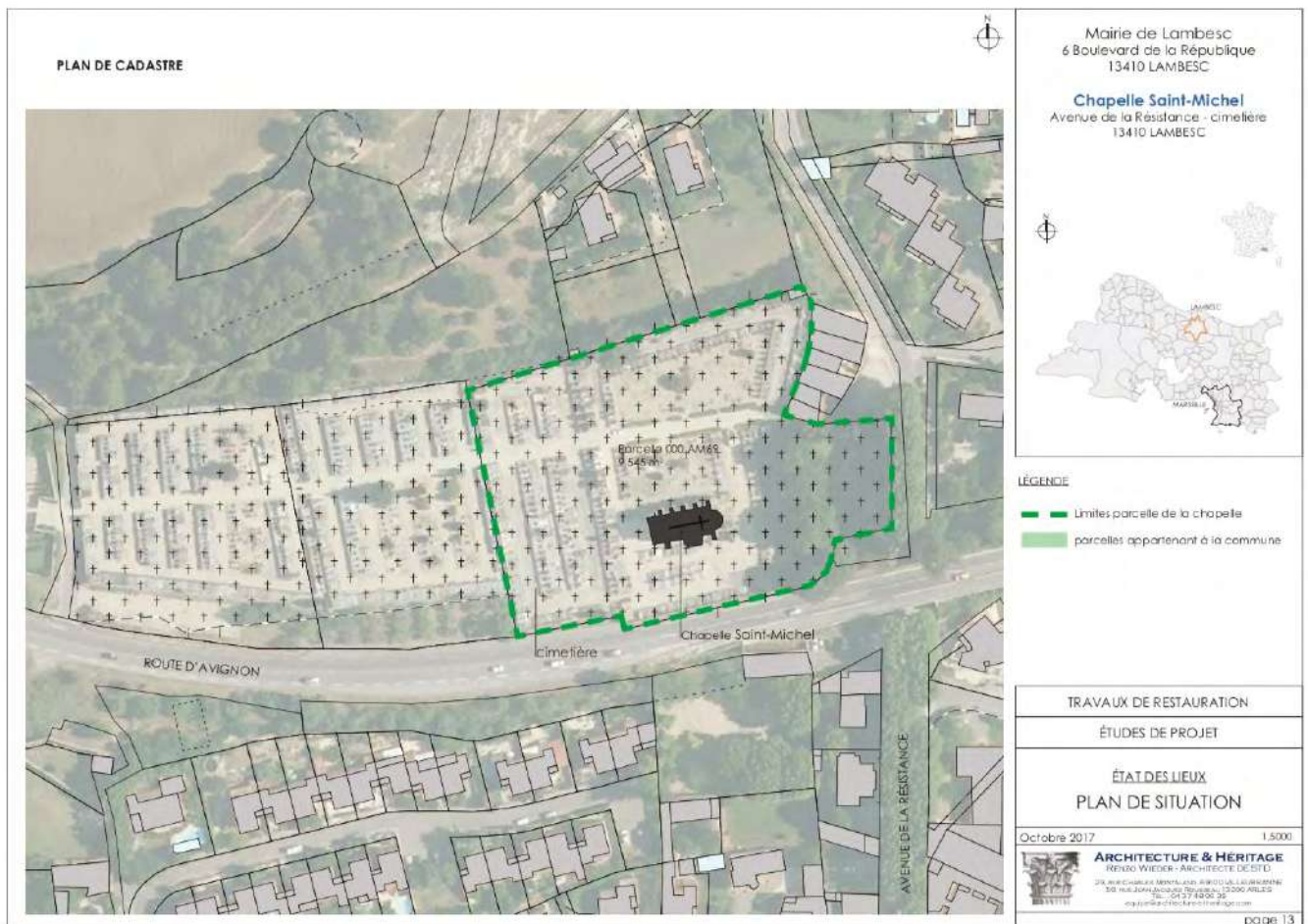


Fig. 2 : Situation de la chapelle Saint-Michel dans le cimetière de Lambesc



Fig. 3 : Vue générale extérieure de la chapelle avant travaux

Les inconvénients :

- Difficile à employer sur des maisons en ville
- Le procédé ne résout pas toutes les questions de l'humidité, d'où la nécessité d'un diagnostic préalable précis déterminant les causes de l'humidité. Il est conseillé de respecter une période d'observation qui permet de détecter d'autres sources d'humidité (fuites non décelées, condensation etc.)

Le cas pratique de la chapelle Saint-Michel à Lambesc (13)

Nous aborderons le cas de la chapelle Saint-Michel, située au centre du cimetière de Lambesc, et qui est un bel exemple de l'architecture romane provençale (**Fig. 2**). Elle a été transformée au fil des temps pour répondre aux différents rites des différentes congrégations qui bénéficiaient de ce lieu (**Fig. 3**).

Une première mention de cette chapelle date du milieu du XI^{ème} siècle, et il est aisé de retrouver quelques détails architecturaux de cette époque.

Puis une campagne importante de travaux est connue au milieu du XVII^{ème} siècle. Lors de ces travaux il est question de reconstructions partielles de l'édifice. Ces reconstructions concerneraient surtout la partie Nord de l'édifice.

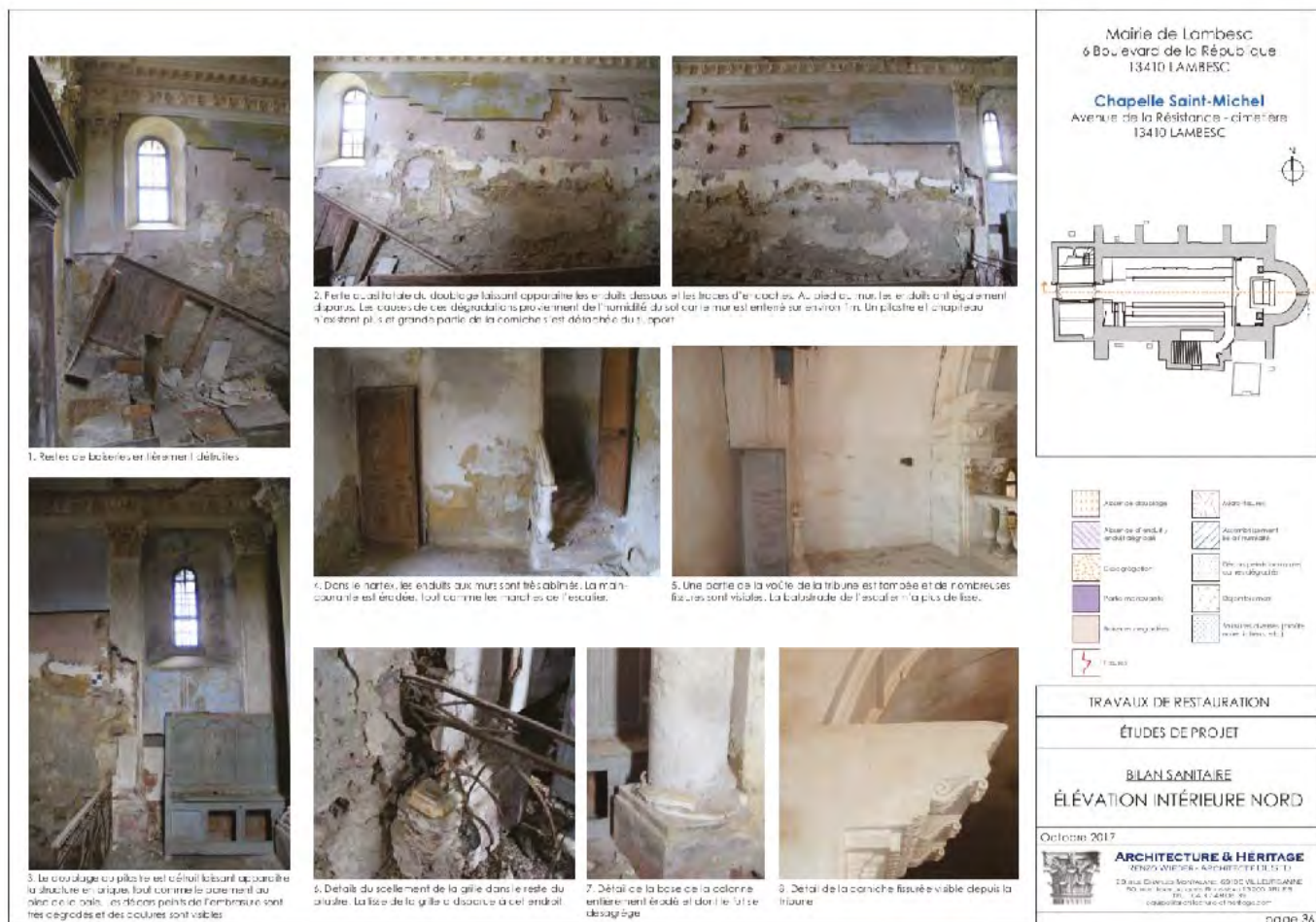


Fig. 4 : Etat des dégradations à l'intérieur



Fig. 6 : Raccordement de l'anneau correcteur avec l'édifice et mesures de vérification

Fig. 7 : Vues de la sacristie avant et après les travaux

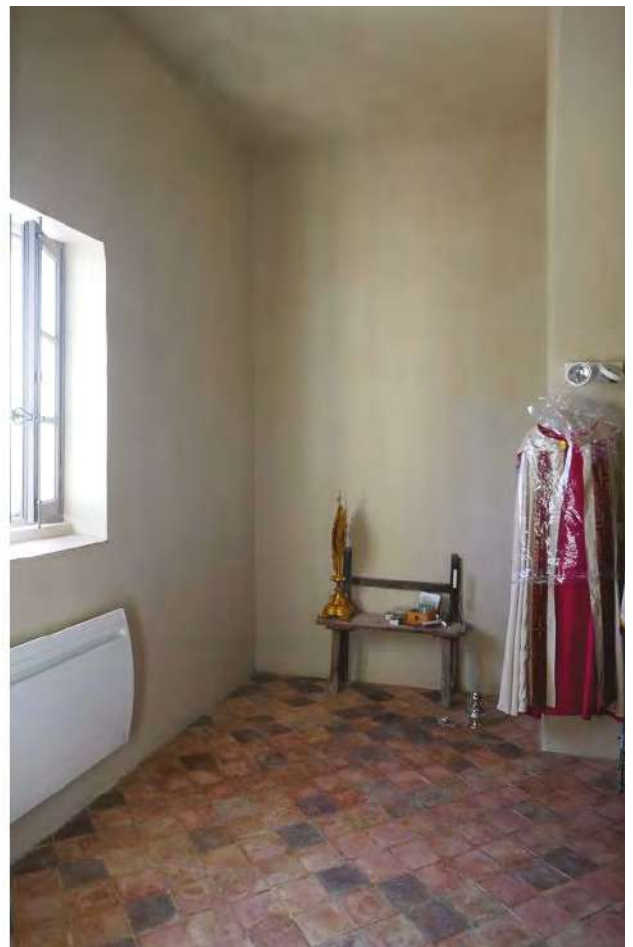




Fig. 5 : Coupe transversale mettant en évidence la partie enterrée au Nord

Les grands changements, qui ont mené aux dispositions telles que nous voyons aujourd'hui, datent du XIX^{ème} siècle et ont été commandités par la Confrérie paroissiale de Saint-Michel, constituée par des notables de Lambesc.

Durant cette période, l'intérieur de l'édifice a été décoré avec des éléments en staff formant doublage des murs originels. L'autel date également de cette période du premier quart du XIX^{ème}. Les bancs posés en long datent également de cette période.

Dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle la chapelle a été agrandie vers l'ouest par l'adjonction d'une travée avec la tribune, qui existe toujours aujourd'hui.

Puis une lente dégradation s'effectue au XX^{ème} siècle jusqu'à nos jours, avec un effondrement partiel des doublages au Nord dû à l'humidité dans les murs. Probablement le tremblement de terre de 1909, qui a fait des ravages à Lambesc, n'est pas étranger à quelques désordres. Un constat de dégradations des murs de la chapelle par des remontées d'humidité a pu être fait (**Fig. 4**). L'humidité mélangée avec des sels hygroscopiques a provoqué des dégâts sur l'ensemble des murs et notamment sur le mur Nord qui est partiellement enterré (**Fig. 5**).

Le projet de restauration portait sur une opération globale traitant à la fois les extérieurs et les intérieurs et notamment la restauration de tous les décors (gypseries, boiseries, décor peint)

Il s'est avéré assez vite que le traitement de l'humidité ne pouvait pas s'effectuer par l'intermédiaire d'un drain. La présence de caves au plus près des murs empêchait, pour des raisons évidentes, la mise en place d'un complexe drainant qui aurait fortement endommagé le sous-sol archéologique, et qui, de plus, aurait décompressé le sol au pied des fondations d'un mur.



Fig. 8 : Vues générales de la chapelle avant et après les travaux

Il a été décidé de mettre en place l'anneau correcteur de champ électromagnétique en début de travaux. Ces travaux ont été réalisés par la société suisse Humi-Stop (www.humi-stop.ch), qui a plus de 30 ans d'expérience dans ce domaine.

Ces travaux ont consisté à poser l'anneau autour de la chapelle à une très faible profondeur, et qui a été relié avec les maçonneries de celle-ci (**Fig. 6**).

Ce procédé a permis d'assainir l'édifice autorisant la continuité des travaux en enchainant la restauration des façades par la restauration des décors intérieurs (**Fig. 7 et 8**). Des relevés manuels ad hoc ont permis de s'assurer de la stabilité de l'humidité dans les murs, durant le chantier.

Un suivi après travaux a permis de constater que l'anneau fonctionnait correctement, mais, comme dans tout édifice, un entretien et une surveillance sont nécessaires afin d'éviter des dégâts dus à des fuites ou infiltrations accidentelles.

Il est utile également de vérifier périodiquement que le câble ne soit pas sectionné accidentellement, ceci est aisé à faire par le boîtier qui donne accès au raccordement avec l'édifice.

Conclusion :

Le traitement des remontées d'humidité par la pose d'un champ correcteur est une solution, qui s'est avérée fiable dans le cas de la chapelle Saint-Michel, et dans d'autres cas précis. De prochaines opérations seront réalisées avec un suivi climatique précis afin de mesurer précisément les effets.

Il est à noter que cette solution est parfaitement adaptée aux situations difficiles autour des édifices protégés, dans un contexte archéologique sensible, en évitant de refouiller au pied des fondations. De plus ce système est parfaitement réversible.

Il serait intéressant de lancer des recherches pour un usage dans des villes anciennes.

Discussion avec la salle

Robert Jourdan (CRMH PACA) :

- Merci Renzo, ceux qui ont des sciatiques ici savent désormais où se réfugier en pèlerinage, et les autres peuvent poser des questions.

Monique Reyre (ABF, Var) :

- Le cordon périphérique, vous l'avez montré extérieur. Est-ce que, en milieu urbain, on peut imaginer le mettre à l'intérieur ?

Renzo Wieder :

- Non ! Malheureusement non, parce que là on tombe dans la pure physique en fait. Il faut imaginer... les courants, ça se crée avec des sortes de bobines en fait, à l'intérieur avec une sorte d'aimant on peut créer des courants, un courant induit, mais ça se passe toujours à l'intérieur d'un volume qui est cerné par un câble. Donc c'est pareil pour ce système ici, le courant est annulé par un câble qui tourne autour, c'est purement physique, je suis désolé. Ça aurait bien pu fonctionner en site urbain, et c'est les limites du système, justement c'est ça.

P. Bromblet (CICRP) :

- J'ai une question, c'est toujours la même. Parce qu'on ne met pas en place simplement un dispositif, mais il y a des travaux d'accompagnement, il y a des travaux sur la toiture, il y a des enduits qui sont refaits, il y a des sols qui sont refaits. Donc, comment on peut juger de la part sur l'humidité et sur l'eau dans les murs, la part de la toiture, des infiltrations : il y a des coulures à l'intérieur de la sacristie, sur tous les enduits, donc l'eau rentrait dans la maçonnerie de moellons avant ces nouveaux enduits. Comment peut-on juger de la part apportée par les travaux d'accompagnement et la part qui serait apportée par le dispositif d'électro-osmose ?

R. Wieder :

*- Ça c'est la grande question, parce qu'évidemment on aurait bien fait la restauration sans et avec, pour voir les différences, et ça, malheureusement, c'est un peu compliqué. On n'a pas refait le sol, le sol est resté justement -on le voit un peu sur la photo ici-, le sol en terre cuite qui est posé directement sur la terre battue, on l'a laissé dans son état, et c'était aussi une des raisons justement pour lesquelles je voulais faire ce système, tester ce système finalement qui fonctionne, le sol est sain, et donc l'eau est contenue. Pour moi, ce sont des indications qui font que oui, il y a une part du système [d'électro-osmose], évidemment on a restauré la toiture, c'est évident, on a réparé la toiture dans la sacristie, il n'y a plus d'arbre, on l'a enlevé etc., donc il y a un certain nombre de choses qui ont été faites. Evidemment si on n'avait eu qu'à refaire la toiture, je n'aurais pas fait ce système-là. C'était surtout dans ce mur-là, qui est enterré en grande partie, pour moi c'était un vrai souci d'assainissement de ce mur-là, et c'est là que ce système, pour moi, prend une part assez importante dans l'assainissement de cet élément-là. Mais je suis d'accord, c'est toujours compliqué. À un moment donné, quand on fait un drain aussi, sait-on quelle est la part du drain par rapport à toute une restauration qu'on fait ?
Très joli débat !*

R. Jourdan :

- Une question connexe, ce qui m'intrigue beaucoup, c'est que vous avez vérifié toutes les teneurs en eau et en sels sur les parties hautes, puisque l'église a pris l'eau aussi par le haut, et vous avez fait un chantier de rénovation enduits et décors peints relativement assez rapidement. Ce qui veut dire que toutes les analyses de teneurs en eau et en sels des parties hautes, et non pas là où on avait les remontées, étaient devenues saines, il n'y avait pas eu migration ? Comment avez-vous procédé pour être aussi certain qu'en partie haute tout allait tenir ?

R. Wieder :

- On a effectivement testé, et le fait qu'il y a une absence de circulation d'eau, ça veut dire aussi qu'il y a une absence de circulation de sels, à partir du moment où les sels sont contenus dans le mur...

R. Jourdan :

- Jusque dans les parties les plus hautes, y compris la voûte ?

R. Wieder :

- Oui... L'effet monte, ça se gère, enfin sous réserves, toujours...

Christophe Curial (CRMH PACA) :

- Je sais que vous n'êtes pas commercial de l'entreprise, mais là en fait on est sur un édifice de plan simple, avec des murs périmétriques et il n'y a pas de murs de refend. Est-ce que, si on imagine ce dispositif sur un bâtiment plus complexe qui comprend des structures secondaires et des murs de refend qui peuvent eux aussi être relativement épais, on imagine que cet effet soit total sur l'ensemble du bâtiment, sur l'ensemble des murs porteurs du bâtiment, y compris les murs de refend, qui comprendraient eux aussi des phénomènes de remontées capillaires ? Est-ce qu'il y a un périmètre, est-ce qu'il y a un rayon d'action limite ? Parce que vous parliez d'entourer un quartier complet dans un centre ancien, par exemple. Mais un quartier complet dans un centre ancien comprend des structures très différentes.

R. Wieder :

- La théorie, que j'espère essayer dans un prochain chantier, c'est effectivement..., ce que j'ai vu précisément en Suisse -après on peut dire, effectivement, le gars n'a présenté que des maîtres d'ouvrage satisfaits- mais en Suisse il y a des bâtiments entiers qui ont été cernés par ce procédé, y compris des châteaux, donc j'ai parlé d'un château de 500 mètres de circonférence, avec des murs et des cours intérieures, donc l'ensemble est couvert si je peux dire, ou cerné par l'anneau, y compris les murs de refend intérieurs sont concernés par la neutralisation des courants. Donc, on peut imaginer, mais ça n'a jamais été fait effectivement, qu'on peut avoir un quartier dans une ville, dans un centre-ville ancien, pour cela il faut que tout le monde soit d'accord évidemment, pour qu'on puisse cerner un quartier, mais ce serait intéressant à expérimenter.

Juliette Lutz (architecte du patrimoine) :

- ça rejoint un petit peu la question qui vient d'être posée, moi je me posais la question en termes de mise en œuvre, quand on a un anneau qui peut ne pas être proche des maçonneries du bâtiment, et vous dites qu'il faut le relier au bâtiment. Sur les photos, vous montrez, là où il y a le boîtier, qu'il y a une fiche en gros qui

vient s'insérer dans la maçonnerie, pour relier l'anneau périphérique au bâtiment traité. Donc, est-ce qu'il suffit d'un seul point d'ancrage, quelles sont les modalités, et justement dans l'optique de traiter plusieurs bâtiments, est-ce qu'il faudrait plusieurs points d'entrée et de connexion, ou est-ce qu'un seul suffirait pour traiter un périmètre ?

R. Wieder :

- Non, normalement, je reviens toujours au château suisse, parce que j'ai vu les images, en fait je n'ai pas été voir sur place, donc je ne peux pas dire les effets etc., mais visiblement c'est quelque chose qui a fonctionné, donc on fait juste un seul ancrage, même si c'est plusieurs bâtiments, mais il faut que les bâtiments soient liés -si on a des bâtiments isolés, on met plusieurs anneaux. Je reviens au petit quartier en centre-ville qu'on voudrait essayer, dans ce cas-là on fait un branchement juste sur une partie. On n'a pas besoin de faire ancrer plusieurs choses autour.

J. Lutz :

- Merci.

Julie Désarnaud (CTSC) :

- Moi j'ai une question, peut-être pas sur ce cas-là parce que c'est un peu trop tôt certainement, mais sur les autres cas que vous avez traités, est-ce que vous avez vu des efflorescences de sels se créer après ? Parce que si on suit cette logique, on arrête les remontées, mais il y a de l'eau dans vos murs. Donc si ça sèche, on devrait voir à un moment des efflorescences sortir. Donc, je voudrais savoir si sur les autres cas que vous aviez traités, vous aviez pu avoir ce type d'observations ?

R. Wieder :

- Justement, on a traité une abbaye dans le Lubéron, et j'ai un mur où avant il y avait des remontées de sels, et des salpêtres, qui n'apparaissent plus après l'installation. Ça date aussi de cet été, donc je veux dire, voilà... pour l'instant, le résultat est positif, on espère que ça dure...

J. Désarnaud :

- C'est juste l'inverse. Si votre mur est plein d'eau et qu'il sèche, les sels vont sortir. Donc, vous devriez avoir plus d'efflorescences en surface, si on suit la logique. C'est pour cela que je voulais savoir si vous aviez observé...

R. Wieder :

- Alors, justement, le mur ne sèche pas spécialement, l'eau s'arrête de circuler. L'évaporation se fait de façon naturelle, mais il y en a beaucoup moins, puisqu'il y a moins d'apport d'eau.



Débat de clôture

Robert Jourdan (conservateur régional des monuments historiques), président de séance

R. Jourdan (CRMH PACA) :

- Je propose de passer à nos échanges généraux, si vous en êtes d'accord, en remerciant une fois encore Renzo Wieder.

Pour commencer les débats, je voudrais quand même dire deux trois mots très rapidement sur ce qui ressort de ce matin et de cet après-midi, mais qui ressort surtout de nos pratiques –en dehors de cas effectivement très simples, mais est-ce qu'il y a vraiment beaucoup de cas très simples ?–, c'est que, on l'a constaté ce matin avec l'église de Jausiers et j'en avais dit un mot rapidement en parlant des cités de Mésopotamie du III^e millénaire avant notre ère, c'est-à-dire que quand on a des problématiques aujourd'hui qu'on analyse avec nos outils conceptuels et techniques, on a quand même constaté fort souvent que ceux qui nous ont précédés eux aussi avaient à gérer les mêmes problématiques avec d'autres concepts –avec d'autres concepts ça je n'en sais rien– mais en tous cas avec d'autres outils d'analyse et de réponses, et qu'effectivement très souvent dans des sites très difficiles on a déjà anticipé et résolu ces questions-là, sauf évidemment phénomènes particulièrement exceptionnels. Je l'ai constaté dans des crues, l'inondation en 1999 dans l'Aude, en 2003 au Pont du Gard, ou encore il y a peu dans le Var et dans les Alpes-Maritimes, et même d'ailleurs dans certaines parties du Vaucluse, que les monuments historiques, à condition bien entendu qu'ils aient connu un entretien régulier et qu'il n'y ait pas eu de modifications topographiques majeures dans leur environnement, ce sont ceux en général qui tiennent le mieux, qui résistent le mieux à ces phénomènes naturels anormaux. Donc, la conclusion, c'est que quand on aborde un monument ou un ensemble monumental, nous avons bien entendu intérêt à faire ce qui n'a pas été explicité totalement, mais qui est une pratique permanente de ceux qui sont intervenus, à savoir une analyse morphologique, et une analyse documentaire, dans la mesure où on ne pourrait pas se permettre des investigations archéologiques.

Et la deuxième réflexion, on le voit aussi, et je voudrais élargir mon propos au-delà des décors peints sur les murs, ou des décors portés de type boiseries, c'est vrai que les problèmes viennent souvent des ruptures de points d'équilibre, chaud-froid, humidité-sécheresse pour la conservation des œuvres et des œuvres d'art dont le support est aussi le bois, parce que en ce qui concerne les bois, on a des seuils en-deçà desquels le dommage est totalement irréversible.

Il y a aussi bien entendu ce qui a été présenté à plusieurs reprises dans la journée, et sur quoi Sébastien Aze aurait mis l'accent : l'intérêt est important de bien analyser les modifications avant, pendant, et après dans la durée. Donc il semble qu'il y a des équilibres qui se forment, des équilibrations –des équilibres ultérieurs– et parfois des accidents, et c'est sur ces équilibres qu'il faut penser et réfléchir, et surtout les enregistrer pour savoir quels sont les degrés d'évolution et éviter des ruptures brutales ou des descentes trop basses. C'est donc ce que Sébastien Aze aurait pu évoquer, et notamment du point de vue des méthodes d'investigation qui évoluent, et que nous, service des Monuments historiques, avons de plus en plus de possibilités de mettre en œuvre.

Donc, à partir de tout ce qui a été dit jusqu'à présent, les cas particuliers, les présentations plus systématiques toutes aussi intéressantes, qui souhaite intervenir... en faisant part, le cas échéant, de miracles d'ordre médical ou d'ordre bâtimentaire ?

Jonathan Christ (tailleur de pierre) :

– On a parlé de plusieurs méthodes, et de plusieurs matériaux, donc je vais parler d'autres matériaux, ceux que je connais, la pierre, les matériaux naturels, la terre, la terre glaise, la chaux, des hérissons de différents matériaux, comme pour le drainage, ce genre de choses qui ont déjà été cités. Et il a été conclu avant que la méthode et les matériaux des anciens fonctionnaient plutôt pas mal. Donc moi j'ai deux exemples, un très récent qui était dans une commune où j'ai dû intervenir pour restaurer la mairie. Au préalable, ils avaient fait des travaux de clôture en grès des Vosges, en pierre naturelle. Et les piliers en pierre ont été posés sur une fondation en béton. Ça a duré un an avant que les piliers fassent un effet de mèche, et toutes les remontées capillaires, avec le transport des sels, ont fait des efflorescences irréversibles. Donc j'ai fait une nouvelle méthode, que je ne connaissais pas trop et qui m'a été conseillée, j'ai fait un cataplasme d'un produit à base d'argile, pour bien montrer qu'on peut l'enlever. Sauf que ça ne sert à rien, vu que c'est fait : quand l'eau a fait son chemin, on peut dire qu'il est quasiment irréversible. Donc là, j'ai proposé de déposer, et soit de reposer le tout sur de l'ardoise, ou de mettre une plaque de goudron. Voilà tout ce que je voulais dire, quand les choses sont mal faites au départ, forcément il y a une conséquence qui est irréversible. Je ne pense pas que là, mettre quelques électrodes autour pourrait changer –bien que j'aie été relativement convaincu– le chemin de l'eau qui a fait son chemin. Voilà, je m'exprime assez mal, excusez-moi, je n'ai pas l'habitude.

Par contre, j'ai un autre exemple qui est positif. Lorsque j'étais sur Bordeaux on a fait appel à moi, des restaurateurs qui ont fait l'acquisition d'un bien, qui voulaient monter un restaurant, et le tout était dans une cave en sous-sol. Et l'eau ruisselait des murs, vraiment, ce n'était pas des gouttes, ça ruisselait en continu. Donc, il faut suivre son intuition, et l'eau est une logique, donc nous avons dégradé les joints d'une profondeur maximum, on a dégradé les joints sur 10 cm, pour assainir au plus profond possible. Les joints ont été faits de manière intuitive, c'est des choses que j'ai pu voir dans les différents châteaux-forts, dans les nids d'aigle alsaciens, et chez nous qu'est-ce qu'on fait, et dans d'autres régions également –rien ne se perd, tout se garde, tout se transforme– on garde les chutes de briques, on met la brique pilée par exemple dans les joints à la chaux hydraulique, NHL 5 par exemple, à forte présence argileuse, ce qui va faire le travail en soi de pomper la flotte, de permettre encore les échanges gazeux. Voilà comment j'ai traité ça, en refaisant tous les joints de l'ensemble des murs, de l'ensemble de la voûte, en tout retraitant, et on a laissé tirer ça pendant 4 mois : très faible résultat. Après, par pure déduction logique, nous avons créé un soupirail, pour créer une aération, et ils ont installé une sorte de VMC pour créer un flux, et bizarrement on a appris sur le tas, en faisant ces petites expériences, et en deux mois, plus d'eau. La chaux commence enfin à sécher, parce que la carbonatation peut enfin se faire, vu qu'elle n'est plus immergée totalement, et cette cave est surprenante. J'y retourne une fois par an, cette cave est saine, saine à l'odeur, saine à l'ambiance, saine à tous niveaux, saine énergétiquement, on s'y sent bien, c'est les joies de la chaux, et pas du ciment bien évidemment. Voilà, il peut y avoir des méthodes manuelles, qu'il ne faut simplement pas oublier, tout simplement peut-être la dégradation des joints au maximum, refaire des joints à la chaux, laisser le temps aux choses, une durée d'absorption, une durée des échanges gazeux, bien sûr le tout associé à un drainage, et toutes ces choses qui ont été mises en avant aujourd'hui, et peut-être qu'après, en deuxième temps, il peut y avoir une autre méthode, qui peut être justement les cataplasmes légers, les ravalements, des choses plus violentes maintenant comme le cryogommage, des choses comme ça, mais je pense qu'il y a un travail global à faire,

avec toutes les fabuleuses méthodes d'aujourd'hui, mais ne pas oublier les méthodes anciennes et les matériaux anciens associés à tout ça, par exemple la chaux. Je vais m'arrêter là.

R. Jourdan :

- Merci pour ce plaidoyer de la chaux. Philippe, ou Julie Désarnaud, vous voulez intervenir, commenter... ?

Philippe Bromblet (CICRP) :

- Sur la dernière intervention, en fait c'est toujours compliqué parce que j'ai retenu que vous ouvrez un soupirail et ça marche, donc on peut penser que le soupirail est important, finalement. Il suffit de peu de chose, mais c'est parfois des mesures de bon sens pour chasser l'humidité.

Après, dans la discussion, ce matin Julie nous a présenté des évaluations dans la deuxième présentation. Il y avait une évaluation récente de méthodes dont on entend parler souvent, mais qui sont rarement évaluées : j'ai eu l'impression que c'était assez négatif, puisque par exemple l'électro-osmose active ne marchait pas, le boîtier électronique ne marchait pas, après dans l'après-midi on a eu des études de cas, les architectes nous ont présentés soit des méthodes qui ne sont pas du tout nouvelles, de drains ou de nappes respirantes sous une dalle, de choses comme ça, et puis la dernière présentation, de Renzo Wieder, est très intéressante, parce que là on a l'électro-osmose passive qui a l'air de marcher. Moi j'ai un oeil critique sur cette présentation, parce que je me demande toujours si vraiment il y avait des remontées capillaires, si l'eau ne rentrait pas par les murs et par la toiture, par le haut des murs quand la toiture était défectueuse, et qu'en réalité tous les travaux d'accompagnement n'ont pas supprimé les problèmes d'humidité, ou 90% des problèmes d'humidité, donc en fait le bilan est mitigé, parce qu'entre les évaluations scientifiques du CSTC qui montrent que ça ne marche pas, et après des études de cas où on montre que, d'accord il y a des méthodes qui marchent, mais qui sont connues depuis longtemps, les drains, etc., et même ce que nous a présenté M. De Giuli Morgben, ça marche, d'accord, et après, l'électro-osmose passive, alors là j'ai un blocage en tant que scientifique... Il faudrait peut-être que je restaure une chapelle avec M. Wieder pour devenir convaincu, mais j'ai du mal à comprendre même les valeurs affichées en millivolts : on branche, ça passe à zéro, mais je ne vois pas ce que ça peut faire sur l'eau, les infiltrations, les pluies battantes, le ruissellement, le sol qui est gorgé d'eau dans lequel est encaissé au moins un mur de cette chapelle. Voilà, c'est tout, c'est mon sentiment livré à chaud.

Julie Désarnaud (CSTC) :

- Je suis tout à fait d'accord sur l'étude de comment faisaient les anciens, parce que nous on l'a beaucoup retrouvé dans le Hainaut, surtout on voit des mortiers à base de chaux et avec de nombreuses particules bitumineuses, et c'est comme ça en fait que faisaient les anciens pour éviter les remontées, et ça marche bien, ça marche toujours plutôt bien. Je pense que c'est bien aussi d'apprendre des bonnes pratiques d'aujourd'hui et d'avant. Il ne faut pas oublier qu'il y avait des techniques comme ça et que ça marche plutôt bien.

Après, pour tout ce qui est électro-osmose, nous en tous cas, dans le projet EMERISDA, effectivement on ne peut pas dire qu'on ait eu des résultats très positifs sur tout ce bilan. Après, c'est surtout pour moi l'effet prépondérant de la

capillarité par rapport à l'électro-osmose –je peux comprendre le principe physique– mais il y a des histoires de prépondérance : quelles sont les forces en jeu qui sont les plus importantes, mais aller contre la capillarité, ça me semble discutable.

Renzo Wieder :

– Je suis un praticien, je ne suis pas un chercheur, j'ai été à l'écoute de beaucoup de gens, y compris moi-même, donc j'ai voulu essayer ça, et c'est vrai que l'expérience semble pour l'instant concluante. J'é mets mes réserves, évidemment je suis prudent, mais au moins sur des choses, je suis sensible à la théorie, j'ai beaucoup étudié aussi [le dispositif] avant, et je m'étais dit que ça valait le coup d'être essayé pour les raisons que j'ai évoquées, parce que c'était un cas particulier. Je ne dis pas qu'à partir de maintenant je vais mettre l'anneau sur tous les bâtiments que je croise dans ma vie, parce qu'il y a effectivement à chaque fois des cas différents. Demain, ce sera intéressant de faire une électro-osmose active, peut-être ce sera la solution, pour des raisons que j'ignore, ça mériterait d'être creusé, ou par autre chose. J'essaie d'adapter effectivement les choses. Là c'était presque –bon ce n'était pas la chapelle sainte-Rita– mais c'était quand même à peu près le seul moyen que j'avais de rendre cette bâtisse saine, et voilà, j'espère que ça durera.

Corrado de Giuli Morghen :

– Je voulais apporter le regard de l'architecte, qui est dans l'obligation de garantir ce qu'il fait. Il y a ce côté de garantir un résultat qui est important dans notre pratique, au-delà des expérimentations qui nous font avancer, et dans cet esprit j'ai appliqué l'électro-osmose active, celle avec le courant qui de fait est assorti à l'électrophorèse, justement pour récupérer l'efflorescence post-assèchement. Les sociétés qui étaient existantes en France étaient capables de garantir leur prestation. Bon, elles n'existent plus... c'est un problème. Si je mets en œuvre une disposition, soit j'ai une entreprise qui est capable d'apporter sa garantie, c'est-à-dire qui a fait tout un travail de validation au préalable, dans une réflexion d'exécution, soit c'est l'architecte qui est porteur de ces garanties. J'ai vu des barrières étanches faites par des ardoises posées en tête de fondations, de façon très simple, ça marchait très bien. Ce que je veux dire, c'est qu'à un moment donné, la question des mises en œuvre naturelles, c'est que, aujourd'hui, du moment où je n'ai pas des entreprises capables de m'apporter un know how structuré, c'est moi qui porte les garanties, et pour l'instant l'air fonctionne mieux que le reste. Voilà, c'est un peu ma conclusion.

R. Jourdan :

– D'autres envies de s'exprimer ; des cas particuliers, ou des malentendus sur ce qui a été présenté jusqu'à présent ? Parce que moi, j'ai du mal à faire le distinguo entre le passif, l'actif, et l'électrophorèse. J'avais cru comprendre que l'électro-osmose –phorèse, on mettait en circulation en inversant les courants électriques, mais qu'effectivement, comme vous dites, en envoyant des microparticules on récupérait tous les éléments, et ces éléments-là venaient boucher les maçonneries. Parce que je pensais que l'électro-osmose passive c'était soit le fait d'arrêter toute circulation électrique, soit au contraire d'inverser les pôles de circulation électrique, est-ce que vous voulez bien nous éclairer –en tous cas moi du moins ?

J. Désarnaud :

– L'électro-osmose passive, comme Renzo Wieder l'a montré, c'est une différence de potentiel : on va agir sur la différence de potentiel, et on l'annule. C'est une

annulation de la différence de potentiel, c'est pour cela que l'on voit tous ces petits zéros sur le potentiomètre qu'il utilise. En revanche, au niveau de l'électro-osmose active, là on va induire un courant continu pour renverser la différence de potentiel. Pour l'électrophorèse, on induit un courant entre des bornes +/- . L'électrophorèse on l'utilise pour le dessalement.

R. Jourdan :

- J'avais compris que l'électro-osmose -phorèse, c'était le fait... j'avais compris qu'on injecte des micro-éléments pour venir boucher les maçonneries.

P. Bromblet :

- C'est des techniques de consolidation de particules qui sont chargées électriquement, et qu'on fait pénétrer profondément pour faire des consolidations en profondeur. C'est plutôt des consolidations expérimentales qui sont...

J. Désarnaud :

Ce n'est pas pareil.

P. Bromblet :

- ça a été publié, ce n'est pas une méthode traditionnelle, mais ça a été développé – des particules phosphatées notamment qu'on attire dans l'intérieur des murs par des courants électriques – pour de la consolidation.

J. Désarnaud :

- L'électrophorèse c'est, en fait, vous avez un mur, on fait du dessalement, donc on met une anode et une cathode et on envoie un courant pour récupérer, si on a du chlorure de sodium le Na⁺, d'un côté, le Cl⁻ de l'autre côté, et on fait des tampons pour éviter l'acidification. Ce dont parle Philippe ce n'est pas du tout ça, c'est au niveau de la consolidation.

P. Bromblet :

- Mais c'est de l'électrophorèse, c'est-à-dire c'est le déplacement sous courant électrique de particules. De toute façon, que l'on déplace des sels ou des phosphates, le principe c'est l'électrophorèse.

Par contre, Julie, je n'ai pas compris comment on annule le courant tellurique, comment on l'annule en mettant des câbles comme ça : on passe de 76 millivolts à 0, et si on avait eu 90 millivolts, parce qu'on n'a aucun régulateur ? On passe de n'importe quelle valeur à 0 ? Et comment ça marche, tu ne sais pas ?

J. Désarnaud :

- On fait un essai de pile inverse et ce n'est pas calibré, on ne va pas calibrer, le problème c'est qu'on ne calibre rien.

P. Bromblet :

- On ne calibre rien, et on passe à 0 automatiquement ? On met ses câbles et on passe à 0 ? Bon !

J. Désarnaud :

- On calibre en actif normalement.

P. Bromblet :

- On est capable de passer d'une différence de potentiel à une autre ?

J. Désarnaud :

- Tout à fait, parce que c'est actif, donc là c'est nous qui imposons un courant.

P. Bromblet :

- Mais là on prend n'importe quelle valeur et on la met à 0. Pourquoi 0 si on est à +200, à + 76, comment ça ? Ça paraît magique, on neutralise pile la valeur. Pourquoi on ne passe pas à plus ?

R. Jourdan :

- Bien, est-ce que quelqu'un souhaite intervenir ?

Pierre Mérindol (restaurateur) :

- Je voudrais poser une question de responsabilité, parce que j'avais travaillé à la chapelle des Pénitents Noirs à Avignon il y a plus de 30 ans avec Ronsseray, architecte en chef des Monuments historiques. Un dispositif avait été posé à cette époque-là, et on en parlait énormément il y a 30 ans. Comment se fait-il que, dans un secteur comme les monuments historiques, où on sait que les remontées d'humidité sont un problème, 30 ans après on est encore dans l'incapacité de savoir si on nous vend du bluff ou s'il y a une véritable efficacité ? Il serait peut-être temps de démarrer un programme et demander aux scientifiques de chercher et de voir si ça marche ou si ça ne marche pas. Parce que si ça marche, c'est phénoménal, il faut appliquer ça de manière générale, c'est intéressant. Par contre, si ça ne marche pas, il faut arrêter : il y a des communes qui investissent et qui ont à faire... Parce que les commerciaux sont là, nous les restaurateurs on avait tous les mois des rendez-vous avec des gens qui voulaient nous vendre des machines ou mettre en place des installations. Donc il serait quand même temps de se poser le problème, parce que moi là je ne comprends pas : on serait dans la médecine, un nouveau médicament sortirait, on n'attendrait pas 50 ans pour savoir si ça marche ou si ça ne marche pas.

R. Jourdan :

- Ce matin, Julie Désarnaud nous a présenté toute une série d'expérimentation de suivi, donc c'était un programme européen. Ensuite, comme cela a été dit, il y a tellement de contextes différenciés qu'on ne sait pas trop ce qui fonctionne et ce qui ne fonctionne pas. Moi, la chapelle Saint-Michel de Lambesc, ça nous intéresserait de la mettre sous surveillance – de la mettre sous contrôle sur la durée, puisqu'on a quand même plusieurs phénomènes qui peut-être n'en sont qu'un, ou qui en sont plusieurs, et ce serait intéressant de voir les réactions sur la chapelle, dans la mesure où là il y a eu des travaux traditionnels, et puis l'installation de cette électro-osmose passive. C'est un site, mais après vous avez, dans les exemples qu'on a vus, dans un cas il n'y a pas d'électro-osmose, mais dans des cas où on a mis en œuvre plusieurs techniques d'intervention, et dans le passé aussi : depuis 20-30 ans on a aussi... –on souriait de la boîte noire, la boîte noire a marché dans certains cas et pas du tout dans d'autres, dans certains cas en tous cas moi je l'ai vue fonctionner, il y avait toujours des travaux annexes réalisés, sous forme de drainage, etc. Donc effectivement, ça demanderait des programmes très précis, en ciblant quelques exemples qui pourraient être des exemples-types, mais les combinaisons de facteurs sont très souvent, vous le savez aussi bien que nous, multiples et complexes. Nous avons ces programmes qui nous ont été présentés ce matin, et je ne pense pas que

les moyens du LRMH, pour parler des laboratoires publics, ou du CICRP, soient suffisants pour nous permettre de mettre en œuvre ces surveillances dans des cas-types qui pourraient être bien cernés et représentatifs. Donc effectivement, c'est un peu une forme d'empirisme, et on exploite des recettes qui ont marché, et on les teste. Mais je pense que c'est la multiplicité des contextes et des pathologies qui fait qu'on a du mal à mettre en place, effectivement, des suivis. Malheureusement cela vaut pour toutes les formes de problématiques. Nous désespérons ensemble de mettre en place des suivis de consolidation de pierre, ou de traitement de peinture murale dans des contextes très variables. On voudrait le faire mais on n'y arrive pas faute de moyens financiers et de personnel adapté.

Bien, le courant ayant faibli, je propose que l'on se quitte, et en vous remerciant tous de cette journée, dont la restitution se fera par voie numérique sur le site du CICRP et de la DRAC PACA.

Merci à tous et bonne fin de journée.





Journée d'étude

« Les remontées capillaires dans le bâti ancien »

Marseille, 29 novembre 2019

La Direction régionale des Affaires culturelles de Provence Alpes Côte d'Azur (Conservation régionale des Monuments historiques) et le Centre interdisciplinaire de Conservation et de Restauration du Patrimoine ont organisé le 29 novembre 2019 une journée technique sur le thème des remontées capillaires dans le bâti ancien, destinée aux professionnels du patrimoine. Plus de 170 personnes ont assisté aux présentations et aux débats. L'accueil au Musée d'Histoire de Marseille, implanté sur le site du port antique, a permis d'élargir le programme aux vestiges archéologiques. Les derniers travaux de requalification et de mise en valeur du site ont été présentés au cours d'une visite en fin de matinée.

Le programme et la publication ont été conçus en deux volets. La partie théorique, présentée par un ingénieur du Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC, Bruxelles), portait sur le diagnostic des remontées capillaires et sur les techniques de lutte disponibles, à partir des nouveaux résultats du programme Emerisda (programme européen d'évaluation de l'efficacité des méthodes de lutte contre les remontées capillaires auquel a participé le laboratoire « rénovation et patrimoine » du CSTC). Dans le second volet consacré à des retours d'expérience, des maîtres d'œuvre ont témoigné de leur approche et de leurs choix d'intervention sur plusieurs chantiers récents.

La publication rassemble les présentations de la journée et la retranscription des débats.