

# L'HUMIDITE DANS LES BATIMENTS CAUSES, EFFETS, REMEDES

## INTRODUCTION

L'esprit humain n'a jamais dominé tout à fait l'esprit caché de la nature. Il n'a jamais réussi à résoudre complètement un problème imposé par celle-ci. Cet esprit propose seulement des solutions par « approximations successives » aux problèmes que la nature lui pose. D'où duplicité et pluralité.

L'eau existe partout sur notre planète, engendrant la matière vive, et monte les minéraux. Les cristaux n'existent pas sans une quantité déterminée d'eau de cristallisation. Et si nous parlons de cristaux, il faut admettre, implicitement, que leur formation est fonction de la présence ou de l'absence de cette quantité bien déterminée d'eau de cristallisation. La beauté inexprimable des cristaux et leur formation peuvent transformer simultanément la création humaine d'une manière irréversible. Le fait se produit à l'échelle micro-structurale, et les résultats se constatent à l'échelle de nos sens qui sont directement lésés par cette duplicité de la nature. Les œuvres, dont les monuments historiques eux-mêmes, considérés comme tels et dépouillés de toute signification sentimentale, restent au fond des matériaux plus ou moins poreux, plus ou moins actifs du point de vue chimique; ils agissent comme support de la migration de l'eau, sous forme de solutions de sels. Ces migrations d'humidité obéissent aux lois de l'équilibre thermodynamique. En fait, on a affaire à une correspondance fonctionnelle ambivalente : d'un gradient de température et d'un degré d'écoulement qui s'influencent réciproquement.

Le sens de la migration sera toujours du niveau énergétique le plus haut à celui le plus bas.

Le péril de l'affaissement de toute sorte de matériaux poreux qui sont parcourus par ces solutions de sels, est un phénomène naturel connu. Lors de l'évaporation de l'eau, la cristallisation des sels engendre une croissance de volume des pores où le phénomène se produit, et par suite, une destruction progressive du matériau au départ de sa surface.

Le mobile de la lutte contre l'humidité existante ou contre l'humidification des bâtiments, est essentiellement dicté par le fait de l'eau migratoire, soit qu'elle pénètre dans les matériaux poreux déjà chargés de sels (solutions entraînées des sols), soit qu'elle dissolve divers sels contenus dans les matériaux traversés, en les transportant vers la surface et en les recristallisant sur la surface et dans les pores, au voisinage de ces surfaces. En même temps, un pourcentage d'humidité plus grand que 3,5 % réduit considérablement les propriétés thermo-isolantes

des différents matériaux, rend inhabitable les pièces atteintes, ou stimule le développement de certains organismes végétaux (mérulius lacrymans, etc.).

## L'HUMIDIFICATION DES BATIMENTS ET SES CONSEQUENCES

Les causes de l'humidification des bâtiments sont diverses et complexes, chaque cas étant une superposition de causes. Aussi les moyens de lutte sont-ils aussi divers et eux-mêmes complexes. On peut dire, comme dans tout autre problème technique, que chaque groupe de cas a ses solutions, et que jusqu'à présent, il n'existe pas une méthode de combat « bonne à tout ».

Les principales formes sous lesquelles l'humidité peut paraître dans les constructions, sont :

- l'ascension capillaire par l'intermédiaire de fondations non isolées;
- la solution capillaire due à des catastrophes (inondations) ou à des matériaux inadéquats, utilisés maladroitement dans les bâtiments, et qui par micro-structure, permettent l'accumulation de l'humidité dans les pores;
- la condensation systématique, due à l'existence d'une structure faussée des éléments qui forment le bâtiment (parois, toits) et qui doivent par l'isolation thermique assurer un développement normal de l'activité dans le bâtiment;
- le processus technologique qui se produit obligatoirement dans certaines constructions à caractère industriel;
- les défauts constructifs de certains éléments et des détails d'architecture, du point de vue de la conception originelle : corniches, balcons, loggias, terrasses, écoulements, emplacements et choix des fondations, choix du type de toit en fonction du climat ou de la conception architecturale (fonction du même paramètre), etc.;
- la dégradation de certains éléments d'évacuation des eaux ou des installations;
- les trottoirs entourant les bâtiments qui peuvent être parfois la source de certaines humidifications locales, lorsqu'ils sont imperméables à l'élimination de l'humidité agglomérée sous eux et qui a tendance à s'éliminer à travers eux durant la saison chaude.

Dès le départ, on doit quand même noter que l'humidité de la construction, dans la majeure partie des cas, est une conséquence de l'ascension capillaire de l'humidité du terrain (manque d'isolation horizontale d'anciens immeubles) ou du processus provoqué par une ventilation

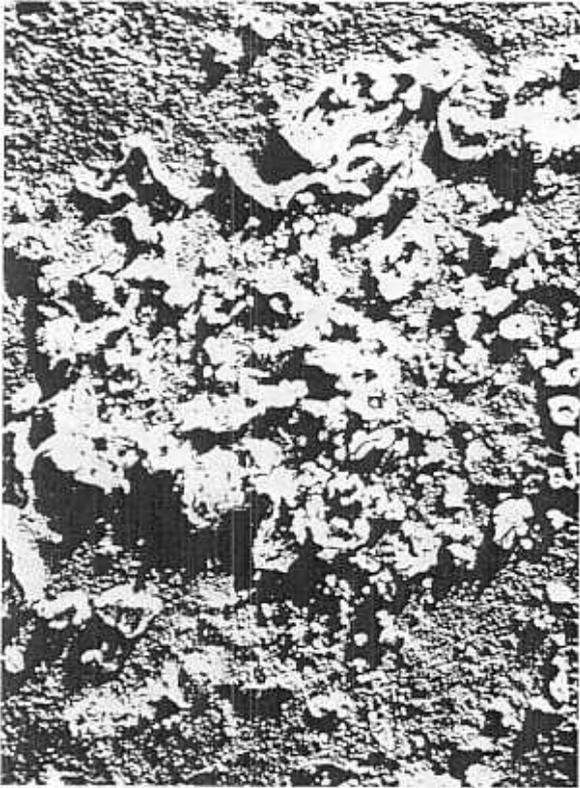


Fig. 1. — Recristallisation exfoliante des sels.

imparfaite de certaines pièces (parois froides et dégagement de vapeurs, par processus technologique ou par respiration d'une foule).

En ce qui concerne le sens de la migration, les phénomènes respectifs peuvent être divisés en deux catégories en fonction du sens du transport des particules : *phénomènes réversibles* : l'eau pénètre en respectant la même voie pour quitter le milieu poreux; et *phénomènes irréversibles* : l'eau pénètre à travers une face du milieu poreux et le quitte sur une autre face où se produisent des recristallisations de sels (sur la surface ou à une petite distance à l'intérieur), provoquant des exfoliations dues à la modification du volume initial.

Généralement un élément de construction, quelque soit le matériau, doit résister à l'humidité atmosphérique (pluie, neige, brumes, etc.) et à l'humidité. La pierre, la céramique, les bétons, les mortiers et les enduits peuvent résister sans d'autres moyens de protection, en fonction de leur position dans le bâtiment, si leur degré de porosité est tel qu'il permette une pénétration réduite de l'humidité dans leur masse; l'eau s'éliminant du même côté que sa pénétration. La migration de l'humidité doit être regardée comme le principal agent corrosif, pour les matériaux tant anciens que modernes. La lutte contre la pénétration de l'humidité nocive dans les constructions, qui s'opère en premier lieu sous la forme de

migration irréversible, doit constituer le principal objectif de la durabilité du système. En second lieu intervient la préoccupation concernant le combat des agents à substrat chimique; mais lorsqu'on analyse les causes, les effets et les méthodes de combat de certaines dégradations, ces actions doivent être regardées comme interdépendantes. Dans le combat contre la corrosion des bâtiments, les actions chimiques et physiques se conditionnent réciproquement, et le trait d'union en est l'humidité migratoire sous forme de solutions de sels, d'acides ou de bases.

Les matériaux pierreux par exemple savent se défendre eux-mêmes par la formation de croûtes auto-protectrices, comme dans les calcaires où les calcins protecteurs se forment par les migrations réversibles.

Si on assure dès le commencement à l'humidité un processus de va-et-vient à travers le matériau, et cela à une certaine profondeur, il se forme à la surface, sur une épaisseur qui varie de quelques dizaines de millimètres à quelques millimètres, une croûte protectrice. Sur les calcaires, cette croûte se forme lentement. A chaque pluie, l'eau chargée de  $\text{CO}_2$ , sous forme d'acide carbonique, décompose une infime partie du carbonate de calcium, sous forme de bicarbonate de calcium, et la transporte. Celui-ci est à nouveau déposé sous forme de carbonate de calcium dans les pores du matériau à la sortie de l'humidité, par la recristallisation et le dégagement du  $\text{CO}_2$ . Ce phénomène est provoqué par l'évaporation.

Cette croûte se forme par étapes, se répète et grandit, formant une auto-croûte protectrice de la pierre contre la migration et la pénétration de l'humidité. La grande faute de certains constructeurs non initiés est de nettoyer justement cette croûte lorsqu'ils s'imaginent qu'ils peuvent renouveler l'aspect du bâtiment au lieu de laver abondamment la surface à nettoyer à l'eau. La croûte auto-protectrice est justement la patine des pierres de bonne qualité qui sont exposées aux intempéries.

Le phénomène est en réalité beaucoup plus complexe que celui schématisé plus haut. On n'a pas mentionné que la formation de ces patines est accompagnée de transports de silice qui provoquent aussi une cimentation des pores sous forme de silicate de calcium. De même, le phénomène de formation du gypse, ou « gypsation », est le résultat de la décomposition d'une part du carbonate de calcium, sa réaction avec le  $\text{SO}_3\text{H}_2$  et la recristallisation sous forme minérale plus stable faisant parfois partie du phénomène de formation de la patine. Enfin, la tendance à l'entassement vers la surface de ces croûtes, ou patines, tient aussi à un phénomène interne : pendant la saison chaude, l'humidité migre de l'intérieur à travers les microfissures, les pores, les capillaires; l'endroit où l'eau s'est évaporée des couches extérieures, est occupé par l'eau des couches plus profondes et de ses minéraux dissouts, qui s'entassent ainsi à la surface.

A l'inverse de ces phénomènes, la migration de l'eau à sens unique entraîne de grands inconvénients. Nous avons déjà montré que les recristallisations expansives

sont la cause des exfoliations. L'explication en est le fait qu'en traversant les éléments, l'eau devient plus concentrée en sels et que la cristallisation se produit ainsi bien avant la surface du matériau; ce fait crée une perturbation brusque dans l'homogénéité interne du matériau, contraire à la formation de la croûte protectrice qui est progressivement plus dense de l'intérieur vers l'extérieur et non l'inverse. Cette absence d'homogénéité provoque des microfissures et finalement l'éclatement en plaquettes de la surface *traversée à sens unique* par l'humidité. Si des produits corrosifs sont entraînés en solution, la situation devient plus désastreuse encore.

Je crois donc que le but de l'étude des causes et de la lutte contre l'humidité des bâtiments est vital pour leur préservation. Bien entendu, on peut discuter longuement sur les problèmes des efflorescences, mais l'espace réservé à cet article empêche de le faire pour le moment. Signalons à ce propos le fait que parfois l'homme provoque lui-même, dans les constructions saines, des situations aux résultats similaires. Les injections de chaux, ou de caséate de calcium, réalisées sur place, provoquent des fines recristallisations dont l'aspect est celui d'un voile, outre des phénomènes biologiques, et qui apparaissent trente à quarante ans après l'opération.

## PROTECTION

### 1. Généralités

Après avoir vu les causes et les conséquences des phénomènes par lesquels l'eau influe sur l'existence des constructions, nous nous proposons de passer en revue les méthodes dont on dispose à présent pour empêcher l'action destructrice de l'humidité, comme telle, ou dans son interdépendance avec les facteurs climatiques ou de composition du milieu qu'elle traverse.

On peut classer comme suit les méthodes de lutte contre l'humidité :

- méthodes basées sur l'intervention au niveau de l'infrastructure des édifices (soubassements);
- méthodes basées sur la stimulation de la ventilation des maçonneries envahies par l'humidité;
- méthodes basées sur l'élimination de l'humidité en utilisant les phénomènes électrochimiques (électro-drainages électro-osmotiques);
- méthodes basées sur l'injection dans les milieux poreux de substances hydrofuges et imperméabilisantes, par pression ou par courant électrique;
- méthodes basées sur le chauffage local du milieu à déshumidifier.

Cette liste de méthodes permet une première observation intéressante et des plus importantes : l'enlèvement de l'humidité d'un milieu poreux implique un transfert d'énergie qui doit vaincre les forces électrocapillaires qui lient l'eau aux parois des micropores, des capillaires, etc., énergie qui étant communiquée, impose au milieu qu'il agisse en respectant les lois de la thermodynamique.

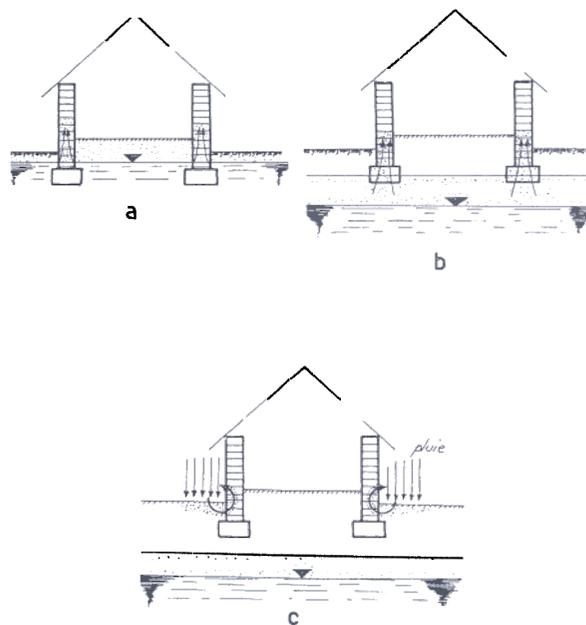


Fig. 2. — Position relative de la nappe fréatique par rapport aux fondations.

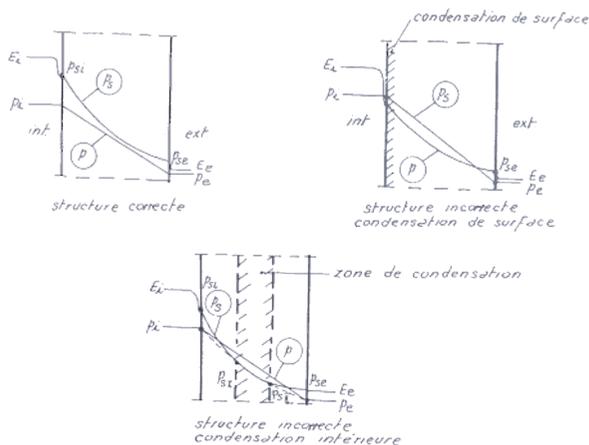
Fig. 3. — L'équilibre hygrique correct et incorrect de la structure d'un mur.

Courbe  $p_g$  : pression des vapeurs à saturation; courbe  $p$  : pression réelle (effective) des vapeurs;

$E_{i(e)}$  — pression de saturation des vapeurs dans l'atmosphère intérieure et extérieure, en mm Hg;

$P_{si(se)}$  : pression de saturation des vapeurs sur la surface intérieure et extérieure, en mm Hg;

$P_{i(e)}$  : pression effective des vapeurs dans l'air intérieur respectivement à l'extérieur, en mm Hg.





On peut donc observer dans cette liste qu'il s'agit d'interventions de l'énergie mécanique, thermique et électrochimique. Certains même pensent à l'utilisation de l'énergie électromagnétique (courants de haute-fréquence) pour l'assèchement des maçonneries. Toutes ces méthodes ont des avantages et des défauts qui les rendent plus ou moins utilisables. « De plano », il faut relever le fait qu'il n'existe pas, pour le moment, de méthode bonne à tout faire et que, pour chaque cas technique à résoudre, le constructeur avisé doit choisir la méthode ou les éléments de méthode compatibles dans leur application afin de donner satisfaction. Je suis d'avis qu'il vaut mieux s'adresser, lors d'un cas compliqué ou de responsabilité artistique, à un spécialiste réputé, vu qu'une mauvaise intervention peut parfois provoquer de vrais désastres dans la structure du matériau.

## 2. Les méthodes d'intervention sur l'infrastructure

Elles sont bien connues, souvent pratiquées et ont de grands désavantages par rapport aux méthodes modernes, en raison soit du prix et des difficultés de mise en œuvre, soit du péril de tassement des zones récemment touchées. Elles s'utilisent de plus en plus rarement. Ces dernières années, les traitements mécanisés ont tendance à les remplacer, même ceux à base de résines synthétiques à raidissement rapide. Mais, même dans le cas de ces perfectionnements, on n'a pas résolu le problème du coût et du vieillissement des résines qui peut provoquer ultérieurement des déformations dangereuses. On peut citer les essais tentés pour moderniser la technique en Italie, mais les difficultés d'exécution, le prix et principalement l'incertitude de la stabilité à longue échéance des nouveaux matériaux, voire même l'apparition de nombreuses fissures après deux ou trois ans, m'empêchent de recommander la poursuite de leur utilisation.

Mais à mon avis, les principaux désavantages de ces méthodes consistent dans l'altération brutale de la structure originale, inadmissible dans le cas des monuments historiques, et dans les résultats qu'on espère obtenir, à savoir l'assèchement. Seule l'évaporation peut être dans de tels cas de traitement la possibilité d'enlèvement de l'humidité. Un édifice où l'on applique cette méthode, risque donc de rester encore humide pendant beaucoup d'années; en particulier dans les villes où l'humidité de l'air est forte (75 % à 85 %), comme à Venise par exemple, et où elle risque de maintenir l'humidité initiale pour des dizaines d'années. Mon opinion est que ces méthodes, utilisées seules, ne peuvent donner satisfaction. De plus, vu leur caractère « chirurgical », elles ne doivent être employées que pour des situations désespérées.

Fig. 4. — Tache d'humidité à la basilique Saint-Marc de Venise, après la haute marée de 1966.

Fig. 5. — Inondation des Archives de l'Etat de Florence en novembre 1966.

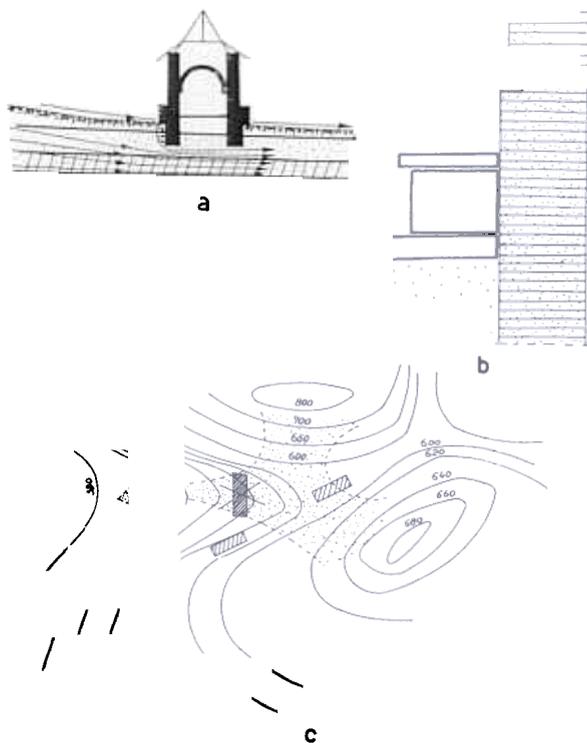


Fig. 6. — L'humidification d'une construction à cause du mauvais emplacement.

a, b, d, e. Cas de l'église de Voronet en Roumanie.  
c. Position correcte et incorrecte sur le site.

3. Les méthodes basées sur la stimulation de la ventilation des maçonneries, étaient aussi en usage dans les plus anciens temps. Connues depuis les Romains par les canaux d'aération, elles ont été améliorées durant l'histoire, en partant des plus simples : décapage des crépis, orifices d'aération qui sont parfois remplis de chaux vive pour stimuler l'extraction qui se transforme par son hygroscopicité en chaux avec dégagement de chaleur, ou par la construction des cours anglaises, couvertes ou non. Parfois, ces méthodes assez simples peuvent donner satisfaction, mais elles doivent toujours être utilisées avec compétence.

On connaît assez bien l'utilisation des siphons d'aération dits tubes Knappen. A l'origine, ces tubes étaient poreux et en céramique; puis ils ont subi différents perfectionnements tant de forme que de matériau. Nous nous excusons d'être obligé de parler d'un système à notre sens compromis et qui est source de ravages, notamment en Europe Centrale, mais cela nous est dicté par le fait que l'auteur même n'a pas compris à l'origine un détail essentiel pour le fonctionnement de son système. Le tube, l'orifice, ou le siphon d'aération, tend à absorber l'humidité comme une éponge et à la céder dans l'atmosphère par évaporation. L'idée est à première vue logique, mais elle a été compromise par le sens d'incli-



naison du tube ou de l'orifice, l'extrémité intérieure se plaçant plus haut que celle de l'extérieur. Selon nous, le problème est très complexe et l'état hygrothermique de l'intérieur de ces tubes transversaux dépend de l'état atmosphérique (température, humidité absolue, pression).

On sait (fig. 1) que l'humidité d'une maçonnerie humidifiée par ascension capillaire est plus grande à l'intérieur qu'à la surface, fait qui, dès le commencement, met l'intérieur dans une situation différente de l'extérieur. Par conséquent, l'air extérieur qui pénètre à l'intérieur, sera plus humide au fond du tube qu'à sa surface. Le tirage est exclu parce que le tube est fermé à l'une des extrémités; de plus, l'inclinaison est contraire à l'idée de tirage, puisque l'orifice extérieur est plus bas.

Fig. 7. — Défaut d'un tuyau d'écoulement, cause d'une humidification locale.

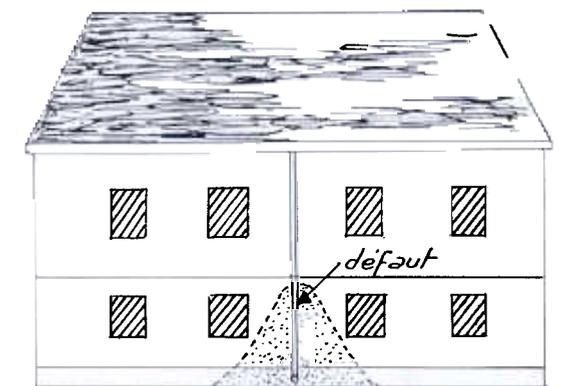
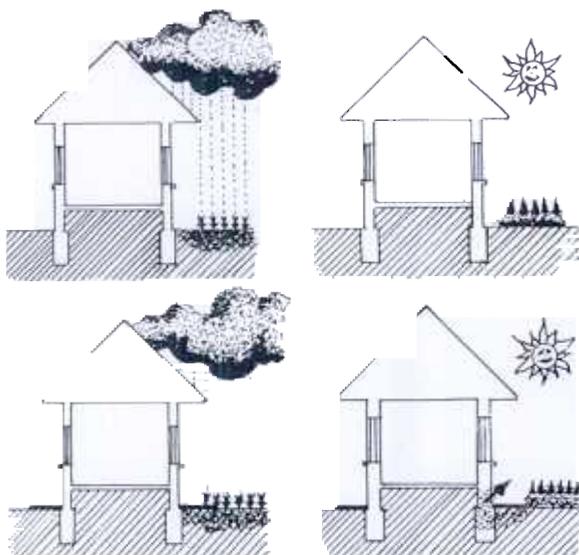


Fig. 8. Les trottoirs imperméables, cause de l'humidification locale.



Imaginons une inclinaison contraire avec l'orifice extérieur plus haut. Même dans cette position la différence de pression n'est pas suffisante, le tirage n'existant pas; on peut parler plutôt, du point de vue pratique, d'un état stationnaire de l'humidité. Mais un facteur sensible, même à de petites différences de niveau, est le potentiel électroosmotique. Dans le cas de l'inclinaison « anti-Knappen » (\*), le potentiel électroosmotique est plus grand à l'extérieur du tube qu'à l'intérieur; il se crée donc un sens de migration intérieur-extérieur. Au contraire, pour l'inclinaison Knappen, on constate une migration accrue extérieur-intérieur, ce qui, à mon estime et d'après les arguments susdits, a compromis les tubes et les orifices de ventilation, à cause de l'effet inverse de celui qu'on en attendait. Quelle que soit l'inclinaison, le colmatage des pores par les sels ou la poussière, qui se produit progressivement, peut empêcher l'évaporation. On peut imaginer une méthode d'évaluation de la distance souhaitable entre les tubes d'aération, mais ceci dépasse le cadre du présent article. Cette méthode ne me semble pouvoir être appliquée que lorsqu'on n'a pas affaire à un phénomène d'ascension capillaire.

L'application en de tels cas mène à un véritable « *perpetuum mobile* » de la migration ascendante, suivie de transports de sels de cristallisation expansés qui produisent lentement des désagréments. D'après ce qu'on voit, ce système est d'application assez limitée et doit être utilisé avec attention; outre le fait qu'il faut disséminer les orifices dans toute la masse à sécher.

A la ventilation se trouve lié le problème des trottoirs, qui doivent être conçus de façon à être imperméables aux averses de pluie et perméables à l'humidité des terrains qu'ils recouvrent autour des immeubles, afin d'empêcher son élimination à travers les murs lors de l'évaporation.

4. *Les méthodes basées sur les phénomènes électrochimiques*, sans succès ni contestation, même aujourd'hui, ont des partisans, dont je suis, et des détracteurs. Mes ouvrages dans ce domaine étant assez connus, on pourrait soupçonner une tentative d'apologie, au détriment de toutes les autres méthodes. Toutefois, j'en présenterai les avantages et les inconvénients.

On entend par méthodes électrochimiques, deux types de méthode :

- celles qui utilisent le phénomène électroosmotique de transfert de l'humidité;
- celles qui se basent sur la création d'une couche imperméable dans la maçonnerie, au niveau des électrodes, par le transport d'une substance imperméabilisante, à l'aide du courant électrique.

Partant du brevet d'Ernst (1941) qui se fonde sur l'observation qu'entre la construction et le terrain voisin il existe toujours une différence de potentiel électrique,

(\*) Boutade de l'ing. G. Mass:

la construction étant au potentiel plus par rapport au terrain qui est dans la moyenne des cas négatifs, on a pu stimuler l'évacuation de l'humidité en créant un courant électroosmotique du pôle + au pôle -, donc dans le sens construction/terrain, en implantant des électrodes dans la construction, à une distance moyenne de 50 cm, liés à des prises de terre par des circuits électriques (méthode passive) (fig. 2). La différence de potentiel de la pile naturelle a été augmentée, en interposant dans le circuit construction/terrain, une source de courant continu, qui a eu pour effet d'accroître le courant électroosmotique (méthode active).

On constate dans le monde entier une prolifération de méthodes basées sur ces principes initiaux. On a obtenu des succès, mais aussi rencontré des ennuis avec cette nouvelle méthode, tant active que passive. Ce qui les a fait tomber en désuétude, ce sont les phénomènes électrochimiques d'électrode qui les accompagnent : polarisation de la pile naturelle, corrosion des électrodes et friction à vaincre dans le phénomène de transfert de l'humidité à travers les capillaires dans le circuit construction/terrain. Aux désavantages qui sont plus aigus dans la méthode classique dite passive, on pourra opposer des avantages, à savoir : coût de revient plus bas et temps de séchage assez court qui se chiffre, pour une maison normale, à quatre semaines en appliquant la méthode active et à quatre mois pour la méthode passive.

On m'excusera d'être tenté ici de souligner les recherches et solutions qui ont eu comme but d'éliminer les désavantages. Par la forme tubulaire des électrodes on a réussi à raccourcir la voie d'élimination de l'humidité, directement dans l'atmosphère, et le problème de la polarisation et de la corrosion en utilisant des mélanges dépolarisants dont les électrodes sont faits (fig. 3). Par la méthode active, on a réussi à éliminer les prises de terre, en utilisant des électrodes au niveau du séchage alternativement positif et négatif. Après séchage, ces électrodes sont reliés en court-circuit à des prises de terre d'une nouvelle facture. Un des types d'électrodes, étant conçu en un mélange ciment-graphite, est extrêmement plus durable que les électrodes classiques de type métallique.

On peut dire, à l'issue de nos dernières recherches, que la méthode passive peut être rejetée. Car on a réussi, en utilisant les mêmes électrodes d'extraction de l'humidité, à injecter et à imperméabiliser la maçonnerie à leur niveau, à l'aide du courant électrique comme agent de transport des solutions polaires appropriées.

Par la méthode active, on peut ainsi éliminer la majeure partie de l'humidité préexistante, et à l'aide de la méthode passive ou des électro-injections, empêcher les remontées nouvelles. On dispose même, aujourd'hui, de méthodes scientifiques de dimensionnement des installations d'électrodrenage en fonction des propriétés physicochimiques de la maçonnerie à traiter. Nous avons fait de telles applications en Roumanie, en Italie et en Belgique.

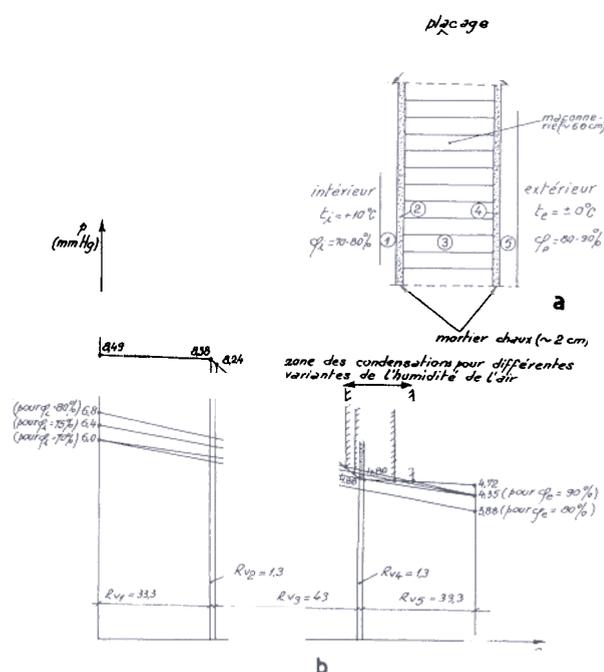


Fig. 9. — Condensation intérieure due à une structure faussée par rapport au climat. Cas de l'église Notre-Dame des Miracles à Venise.

a. Structure des murs; b. Equilibre hygrique de l'intérieur;  $R_v$  : Résistance à la diffusion des vapeurs;  $\psi, e$  : Humidité relative de l'air (intérieur, extérieur).

##### 5. Les méthodes basées sur l'injection dans les milieux poreux des solutions hydrofuges et imperméabilisantes.

Il semble qu'au stade actuel du traitement hydrofuge des maçonneries humides, les injections par pression ou par électroosmose puissent donner une satisfaction plus certaine.

Dans ce qui suit, nous nous permettons de faire des recommandations de principe qui seraient applicables à l'occasion de travaux du genre. On attire premièrement l'attention sur le fait que, si les injections ont un caractère superficiel, elles peuvent provoquer des exfoliations et des écailllements de la surface traitée.

Les huiles, la cire, les peintures à résines synthétiques sont pour la plupart dangereuses, principalement pour les éléments de construction extérieurs, surtout décoratifs. Vu que la pénétration d'un milieu fluide dans un milieu poreux est inversement proportionnelle à leur viscosité, les solutions protectrices doivent être très diluées. Le grand défaut de l'injection reste celui de la pénétration assez faible auquel on ne peut remédier que dans des conditions spéciales ou, ces derniers temps, par le transport électrique.

En principe, le problème du transport d'un liquide dans un milieu poreux sous l'action d'une pression, est un



Fig. 9 c. — Vue générale de l'église Notre-Dame de Venise.

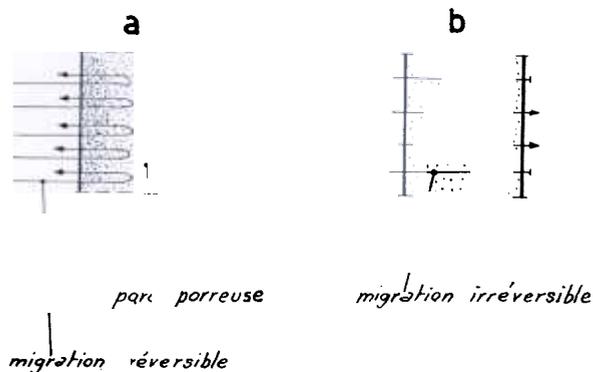


Fig. 10. — Sens possibles de la migration de l'humidité dans une muraille

problème de filtration. Les facteurs qui influencent une bonne injection sont d'après nos recherches les suivants :

- nature du matériau à traiter;
- porosité et degré de saturation avec l'eau du matériau à traiter;
- degré de corrosion des matériaux friables à stabiliser;
- épaisseur de la maçonnerie;
- pression hydrostatique dans la couche à traiter (la hauteur de l'humidité par rapport au niveau de l'injection);
- température ambiante et température de la solution utilisée;
- diamètre, interaxe et profondeur de fixation des tubes d'injection;
- pression à laquelle on doit faire l'injection.

On doit observer qu'on ne suit jamais le remplissage complet des vides (fig. 4) et qu'en pratique, on obtient seulement un badigeonnage intérieur des canaux capillaires et des cavernes, qui sans doute, en réduiront substantiellement la section. La couverture pelliculaire intérieure est suffisante, comme la pratique l'a démontré, pour assurer l'étanchéité.

Dans la pratique de l'injection dans les constructions humides, on a établi qu'il était nécessaire de travailler, soit avec des solutions aqueuses de diverses substances imperméabilisantes, soit avec des polymères émulsionnables dans l'eau. La conclusion est liée à la présence de l'eau à éliminer des pores des matériaux, grâce au liquide à injecter qui doit être miscible ou qui ne produise pas de précipitation des résines injectées par suite du contact avec l'humidité présente.

Les principes du traitement avec des résines émulsionnées dans l'eau, sont les suivants :

- l'émulsification dans l'eau est strictement nécessaire à cause du contact de la solution imprégnante avec un

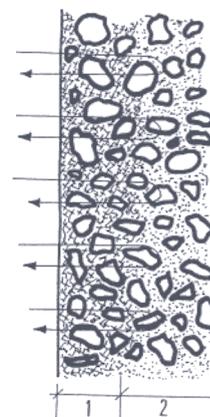


Fig. 11. — Formation du calcaire protecteur par la migration à double sens.

1. Calcaire protecteur; 2. Sels solubles répartis dans la masse.

milieu encore humide, afin d'empêcher la précipitation d'autres substances au contact de l'eau;

- la solution injectée doit imperméabiliser toute une zone sur l'épaisseur de deux à trois rangs de briques;
- la solution doit aussi avoir des propriétés liantes lorsqu'on désire reproduire l'état de cohésion d'un milieu friable;
- on travaille généralement à basse pression; mais au commencement, une pression supplémentaire est nécessaire pour vaincre la tension superficielle de l'humidité liée à la surface des pores.

Les principes à suivre lors d'une injection avec des substances anorganiques sont pour leur part :

- les cristaux du matériau à imprégner en contact avec un milieu contenant un ion réactionnable, peuvent se combiner soit avec l'anion soit avec le cation du matériau de base, selon des principes qui gouvernent l'équilibre chimique, en créant une phase nouvelle. C'est la base de la théorie de la « cristallisation induite » du professeur Lewin de l'Université de New York qui généralise l'idée que : « Il y a un effet caractéristique général, qui résulte de l'action prolongée des plus petits cristaux avec une solution aqueuse, même avec de l'eau distillée seulement. Le phénomène est dû à l'instabilité thermodynamique des particules minuscules, qui, à cause des tensions, des imperfections ou de la grande courbure des surfaces, ont une énergie libre plus grande que celle qui est caractéristique des grands cristaux. Il est naturel que le degré de recristallisation soit fonction de la nature de la substance dissoute dans le milieu aqueux. »

Selon la théorie de la « recristallisation induite », on a établi que les meilleurs catalyseurs pour la recristallisation sont l'hydroxyde de barium, les aluminates alcalins, certains sels solubles de barium, les sels de strontium et l'hydrate de calcium;

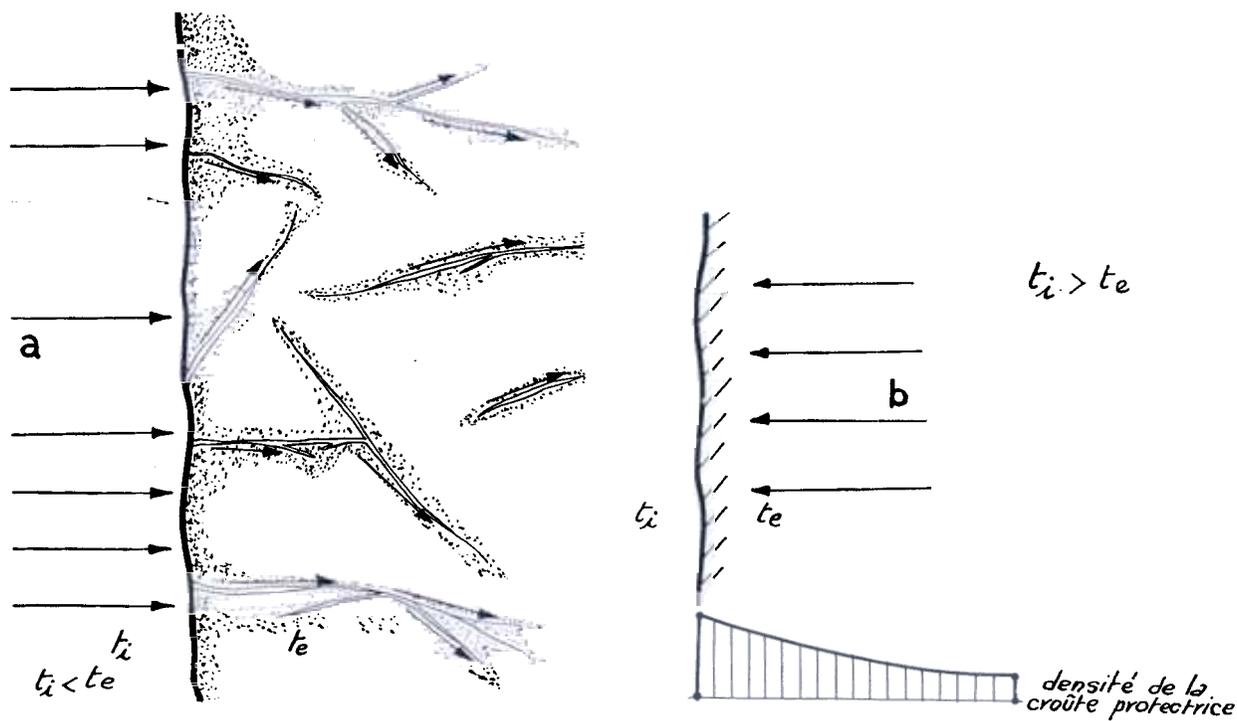


Fig. 12. — Dynamique de la formation de la croûte protectrice. a. Entrée de l'humidité; b. Sortie de l'humidité.

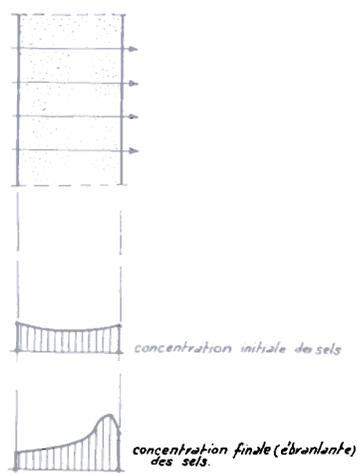


Fig. 13. — Migration des sels lors d'un transfert de l'humidité à sens unique.

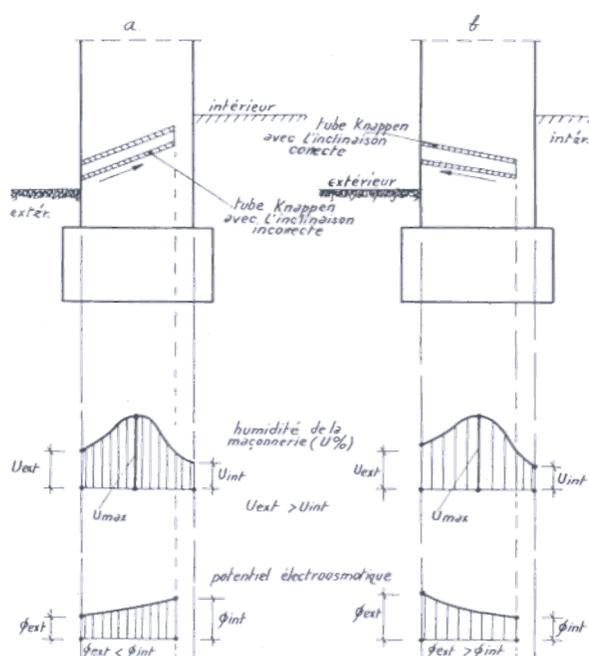


Fig. 14. — Le cas des tubes Knappen et leur fonctionnement.

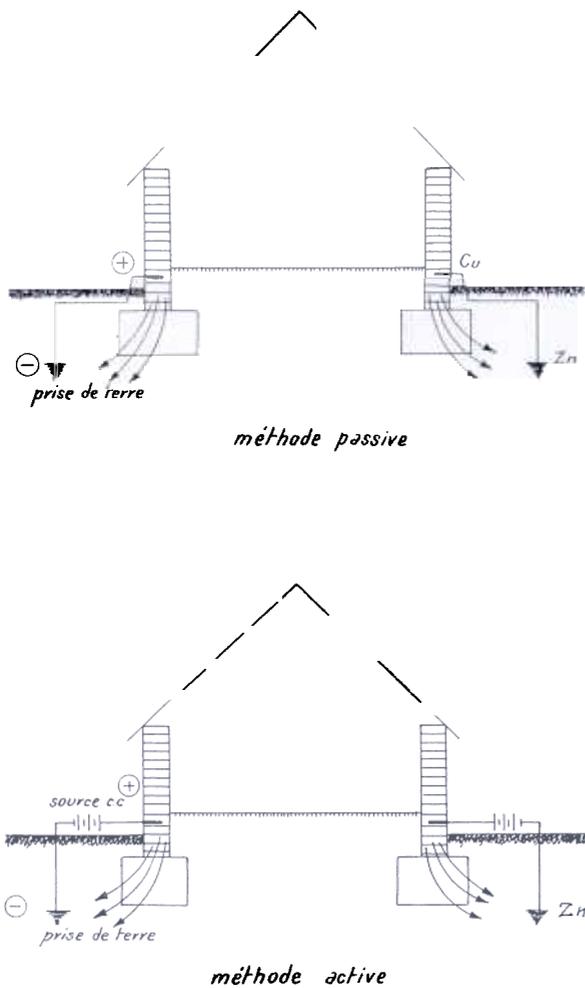


Fig. 15. L'électrodrainage classique.

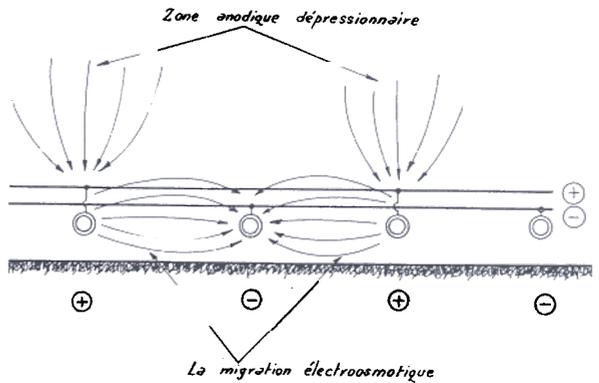
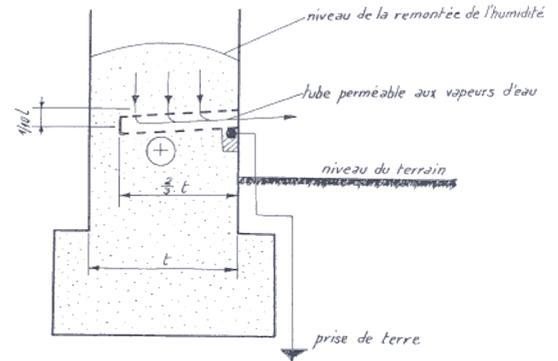


Fig. 16. — L'électrodrainage breveté par l'INCERC de Bucarest (Roumanie).

- il est nécessaire de réduire par l'injection le nombre des petites particules qui agrandissent la surface intérieure et la capacité d'absorption;
- la formation des grands cristaux, ou des petits, diminue les dimensions des capillaires dans le système du réseau intérieur;
- pour le traitement, on doit suivre la formation d'une structure spatiale qui augmente la résistance, la cohésion et la densité du matériau;
- le traitement ne doit pas mener à la modification de la couleur et du volume du matériau où l'on injecte.

On peut signaler beaucoup d'ouvrages réussis en ce domaine. Nous nous bornerons à en citer dans la bibliographie.

Les méthodes électroosmotiques d'amélioration de la structure d'un certain matériau devenu friable, qui peut être en même temps humide, ont pour base des applications opérées en géotechnique. Il faut quand même noter que la transposition directe de ces méthodes dans un autre milieu poreux, à savoir les maçonneries, qui cumulent parfois de grandes valeurs artistiques, n'est pas possible.

Comme méthode, on pourra retenir l'électrosilicatisation (Cassagrande, 1939) utilisée par Cabertowicz au palais ducal à Venise, mais qui a comme défaut pour les œuvres architecturales de grande valeur, de favoriser la formation du chlorure de sodium qui peut provoquer des efflorescences fâcheuses et qui est en même temps hygroscopique.

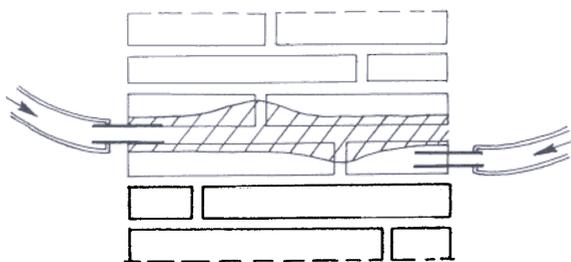


Fig. 17. — Position du tube d'injection par rapport aux assises de briques d'une maçonnerie. A gauche, position correcte. A droite, position incorrecte.

Le procédé utilisant les électrodes d'aluminium (Endell, 1935) qui se dissolvent sous l'action du courant, forment la bauxite et l'oxyde d'aluminium qui ont la propriété de cimenter le matériau. Bien entendu, l'utilisation de cette méthode comme telle est impossible, en tenant compte des propriétés physiques des briques et de son coût. Mais nous avons réussi à mettre au point une méthode qui découle de celle-ci, en utilisant des solutions de sels d'aluminium, combinés selon la théorie de « cristallisation induite » avec un catalyseur qui fait cristalliser les produits liants et imperméabilisants dans les pores du matériau de base.

En concluant ce sous-chapitre, nous sommes obligés de remarquer qu'utilisée avec compétence, la méthode des injections peut donner satisfaction. Nous considérons que la méthode de l'avenir reste l'électrotraitement imperméabilisant et raidissant.

6. *Les méthodes basées sur le chauffage local du milieu à déshumidifier* peuvent être classées en deux catégories : à chauffage direct, ou indirect. Le chauffage direct, plus brutal, est admissible seulement dans des œuvres de peu de valeur et consiste en l'installation de divers types de radiateurs (à flamme, électriques, infrarouges) dirigés vers la surface à sécher. On peut même utiliser des brûleurs introduits directement dans des trous, comme ceux des électrodes. Mais à cause de la nécessité d'un tirage, ils doivent soit être percés (trous), soit relever d'une construction spéciale. L'installation d'une ventilation forcée agit notamment contre l'humidification par condensation sur les parois. Les dernières idées qu'on agit dans le monde scientifique, se réfèrent aussi à l'utilisation de courants à haute-fréquence.

## CONCLUSIONS

Les raisons de l'application de telle ou telle méthode, basée sur un certain phénomène physique, ont toutes les chances de garantie si le procédé technologique aboutit à respecter les principes de la thermodynamique. On doit donc dépenser une quantité d'énergie supérieure à celle de la surface qui lie l'eau aux matériaux poreux à déshumidifier, et on doit toujours suivre la méthode qui a les chances d'obéir le mieux au principe du minimum énergétique.

Dans les cas plus délicats comme ceux des monuments à surfaces peintes, il faut toujours préférer les méthodes raisonnablement lentes aux méthodes rapides, à cause des circonstances liées à l'inertie physique du matériau de base, où peuvent se produire des perturbations dangereuses pour sa stabilité.

Ce tour d'horizon a eu comme seul but de faire le point des problèmes et de présenter des jalons, la bibliographie pouvant quant au reste remplacer des lacunes inévitables.

Dinu Stefan MORARU  
(Bucarest)

## BIBLIOGRAPHIE

- REUSS F. F., *Sur un nouvel effet de l'électricité galvanique*, « Soc. Nat. Mém. », II, Moscou, 1809;
- HITTORF W., *Über die Wanderungen der Ionen während der Elektrolyse*, Ann., 98, 1856 (On the migration of ions through electrolysis);
- QUINCKE G., *Über die Fortführung materiellen Teilchen durch strömende Elektrizität*, Pogg. Ann., 113, 1861 (On the directing of material particles by the electric current);
- LAMB H., *On the theory of electric endosmose and other allied phenomena, and on the existence of a coefficient for a fluid in contact with a solid*, « Philosophical Magazine », 25, Londres, 1888;
- HIRSCHWALD J., *Testing of natural building stones as regards the behaviour of atmospherical factors*, Berlin, 1908 (en allemand);
- KIESLINGER A., *Zerstörung an Steinbauten*, Vienne, 1932 (The destroying of stone brickwork);
- SCHAAD W. - HAEFELI R., *Elektrokinetische Erscheinungen und ihre Anwendung in der Bodenmechanik*, « Schweiz. Bauzeitung », 65, 1947, n° 16-18 (Electrokinetic phenomena and their use in soil mechanics);
- SCHAAD W. - HAEFELI R., *Electrokinetic phenomena and their application to soil mechanics*, « National Research Council of Canada. Division of Building Research », 61, Ottawa, 1948;
- CAMERMAN C. M., *Les pierres de taille calcaires. Leur comportement sous l'action des fumées*, Bruxelles, 1952;
- VAN DEN HEEVER L. L., *The measurement of temperatures, moisture contents and electrical potentials in the soil, under a building at Vereeniging*, « South African Council of Scientific and Industrial Research. National Building Research Institute », bulletin n° 8, juin 1952;
- KLUKOWSKI K. I. - MANUILOW L. K., *Physical Chemistry and Silicium Chemistry*, Moscou, 1952 (en russe);
- FLÜGGE R., *Die Feuchtigkeit im Hochbau*, Halle, 1953 (The moisture in Buildings);
- KOIRANSKY P., *Un nouveau moyen de lutte contre l'humidité; le procédé électroosmotique*, « Ann. Ponts et Chaussées », Paris, n° 123, 1953, p. 352;
- X., *Assainissement des constructions humides*, « J. Constructions Suisse Romande », Lausanne, 82, 1956, p. 24;
- CADIERGUES R., *Isolation et protection des bâtiments*, Paris, 1955 (Insulation and protection of buildings);
- GRIGARJAN J. M. - OSIPOV L. A., *The research of electroosmosis and his action for the diminution of water content in concrete*, « Ghidrotechnicestvo stroitelstvo Moskvj », 25, 1956, p. 15-18 (en russe);
- FÈVRE J., *La conservation des monuments en pierre*, « Rythme », n° 23, 1957;
- GRABSKI W. - NOWAK J., *The deterioration problem of stones in old buildings of Krakow*, « Materialy Budowlane », n° 2 (en polonais);
- KIESLINGER A., *Feuchtigkeitschutz an Bauwerken*, « Zement u. Beton », 9, 1957 (Protection against moisture in buildings);
- BICZÓK J. - LIPCSEY M., *Electroosmotical wall drying*, « Magyar Epitöypar », 4, 1958, p. 154-160;
- X., *The drying of moisted walls by the electroosmosis method in Hungary*, « Vystavba a Architektura (CSR) », 12, 1958, p. 16-17 (en tchèque);
- GRABSKI W., *On the problem of patina formation on the Pintchowsk limestone*, « Czasopismo techniczne », 7, 1958 (en polonais);
- MASSARI G., *Risanamento igienico dei locali umidi*, Hoepli, 1958, 1969;
- MORARU D. - SPOIALA L., *Restauration and consolidation principles and methods used in Rumania for architectural and historical monuments*, « Ochrona Zabytkow », 3-4 (en polonais). En français dans le volume du Congrès International des Architectes et Techniciens des Monuments Historiques, Paris 6-11 mai 1958 : *La restauration et la consolidation des monuments historiques ou architecturaux en Roumanie*, p. 212-222;
- WINTERKORN F. H., *Mass transport phenomena in moist porous systems as view from the thermodynamics of irreversible processes*, « Water and its conduction in soils. Special Report 40. Highway Research », Washington, 1958, p. 324-333;
- LÉVY J.-P., *Les mesures de protection contre l'humidité*, « Encyclopédie pratique de la Construction et du Bâtiment », juillet 1959 (Protection measures against moisture);
- GYÖRGY, J., *The drying of moisted walls by electric current*, « Ezermester », oct. 1960 (en hongrois);
- TAYLOR S. A. - CARRY I. W., *Analysis of the simultaneous flow of water and heat or electricity with the thermodynamics of irreversible processes*, « Transactions of the 7th International Congress of Soil Science », Vol. I, Madison-Wiscosin, 1960, p. 80;
- FRIDMAN O., *The moisture removal from old building walls, using the electroosmosis*, « Jilishchino comunalnnoe hosiastvo », 3, 1961 (en russe);
- MATFEEV B. V., *Electroosmotical methods for wall drying and preventive measures against moisture*, « Promishlenaya Stroitelstvo », 12, 1961 (en russe);
- ASTAVCIATUROV H. S. - BOGDANOV E. V., *The electroosmotic method for the building drying in the case of complex reparations*, « Gorodsko hoziatstvo Moskwj », 7, 1962, p. 40-41 (en russe);
- BICZOK J. - LIPCSAY M., *Elektroosmotische Mauerwerkstrocknung*, « Bauzeitung (DDR) », 16, 1962, p. 646-648 (Electroosmosis wall drying);
- X., *Erfolgreich Kampf gegen feuchtes Mauerwerk*, « Tonindustrie Zeitung. Keram. Rundschau », Goslar, 86, 1962, p. 216 (Successful fight upon moisted masonry);
- FRANKE E., *Überblick über den Entwicklungsstand der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Elektroosmose und seine neuere Schlussfolgerungen*, « Die Bautechnik », n° 6 et 10, 1962 (A view upon the research and the knowledge stadium in electroosmosis and his new results);
- FRIDMAN O., *The brickworks electroosmotical properties*, « Physics Review of Engineering », t. V, n° 9, Léningrad, 1962 (en russe);
- GENSEL J., *Elektroosmotische Trockenlegung von Altbauten*, « Bauzeitung (DDR) », 21/22, 1962, p. 587-591 (Electroosmosis drying methods of old buildings);
- HOLMES W. J., *Electroosmotic damp proofing*, « The architect & building news », n° 47, 1962, p. 767-769;
- X., *Electroosmotical methods for drying and prophylactical measures against moisture*, Instructions of the URSS Building Ministerium, « Jilischinoe promyshlenost », 1962 (en russe);

- ORZOL E. - NIENDORF H., *Maschinenkomplexe für die elektroosmotische Spannung*, « Bauzeitung (DDR) », 23/24, 1962, p. 648 (Engine-complexes for electroosmosis tension);
- ZIEN J. H., *Elektroosmotische Mauerwerkstrocknung*, « Bauzeitung (DDR) », 23/24, 1962, p. 646-648 (Masonry drying by electroosmosis);
- COLOMBO G., *Esperienze sul prosciugamento elettroosmotico delle murature umide*, Rome, CNR, 1963;
- COREMANS P., *La protection du patrimoine culturel dans les climats chauds et humides* (Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles), Communication à la Réunion Mixte ICOM, Léningrad, sept. 1963;
- X., *L'humidité dans les constructions et l'assèchement des murs*, « Revue technique du bâtiment », 104, 1963, p. 19-23;
- HURST H., *The Actane process for the injection of dampproof courses*, The University Press, Londres, 1963;
- KIESLINGER A., *Verwitterungseinflüsse an Ziegelmauerwerk*, « Die Wienerberger », 3, 1963 (Intemperies influences on brickworks);
- MALL G., *Bauschäden*, Wiesbaden et Berlin, 1963 (Building defects);
- MATVEEV R. V., *Elektroosmotische Methoden zur Trocknung von Wänden*, « Bauzeitung (DDR) », 17, 1963, p. 183-185 (Electroosmosis methods for wall drying);
- MORARU D., *The application of natural electric potential differences and current sources, to moisture removal from buildings*, « Rev. Constructiilor si Materialelor de Constructii », 7, 1963 (en roumain);
- ROSENTHAL G., *Über Ausblühung, über Frostbeständigkeit und über Silikonisierung von Ziegeln*, « Ziegelind », 16, 1963;
- SCHÖLGL, *Elektroosmotische Bautrockenlegung*, « Bauzeitung », 6, 1963, p. 328 (Electroosmotic methods for buildings drying);
- SNEYERS R., *Rapport sur l'étude des matériaux pierreux*, Communication au Congrès de l'ICOM, Léningrad, Sept. 1963;
- WITTMANN W., *Mauertrocknung mit Hilfe der Elektroosmose*, « Mitt. d. Österr. Inst. f. Bauforschung », Nov. 1963, p. 16-25 (Brickwork using electroosmosis drying);
- ZIEN J. H., *Unsere Altbauten und die elektroosmotische Mauerwerkstrocknung*, « Bauzeitung (DDR) », n° 1, p. 30-31; n° 2, p. 87-90; n° 3, p. 145-147 et 202 (Our old buildings and the electroosmotic masonries drying);
- BESSINGER, *Neue Arbeitstechnik bei der electro-osmotischen Bauwerkstrocknung*, « Bauzeitung (DDR) », 4, 1964, p. 584-587 (New procedures for building drying by electroosmosis);
- CASTLE R. W., *Damp walls*, The Technical Press Ltd, Londres, 1964;
- CHILDS E., *The effect of soil compression on the equilibrium of pore water*, extrait du Colloque RILEM, Paris, 1964;
- DEHLER E., *Elektroosmotische Mauerwerkstrocknung nach der Engelsdorfer Methode*, « Bauzeitung (DDR) », 11, 1964, p. 584-587 (Electroosmotic masonry drying by the Engelsdorf Method);
- EVERETT D. H. - HEINES S. N., *Capillary properties of some model pore system with special reference to frost damage*, Colloque RILEM « Les transferts de l'eau dans les milieux poreux », Paris, 1964, p. 16;
- GENSEL J., *Physikalische Grundlagen der Elektroosmotischen Bautrockenlegung*, « Bauzeitung (DDR) », 10, 1964, p. 535-538 (Physical basis of electroosmosis drying methods in building);
- NERPINN S. - DERJAGUIN B., *Role of capillary and surface forces in moisture transfer in porous bodies*, extr. du Colloque RILEM, Paris, 1964;
- Colloque RILEM, *Les transferts de l'eau dans les milieux poreux*, Paris, 6-10 avril 1964, 450 pp.;
- POMELT W., *Neue Methoden der elektroosmotischen Mauerwerkstrocknung*, « Bauzeitung (DDR) », 8, 1964, p. 424 (New Methods for masonry drying by electroosmosis);
- X., *Secado de edificios por electroosmosis*, « Copula », n° 173, Mars 1964, p. 146-151 (en espagnol) (The drying of buildings by electroosmosis);
- X., *Sitzungen des FUA-Elektroosmose bei der KDT, insbesondere am 5.2.1964 in Weimar*, « FUA Meeting electroosmosis of KDT », 5 février 1964, Weimar;
- SOEIRO F., *Contribution à l'étude du mouvement de l'humidité dans les milieux poreux isothermes*, « Cahiers de la Recherche », 18, Paris, 1964;
- VARLAN G. E., *L'étanchéité dans la construction*, Paris, 1964 (The tightness in building);
- X., *L'assèchement des murs*, « Bâtir », n° 136, Fév. 1965, p. 21-30;
- BARCS W., *Condensation in constructions due to vapour diffusion*, « Bulletin RILEM », 29, 1965;
- BONDARENKO N. - NERPIN S., *Rheological properties of water in porous media*, « Bulletin RILEM », 29, 1965;
- X., *The electroosmotic method*, « The Builder », n° 6359, Avril 1965, p. 752;
- GARBADE E. - PRIMKE K. - MILITZER H. - WAGEMANN G., *Electroosmose nach der Engelsdorfer Methode*, « Bauzeitung », 6, 1965, p. 143-146;
- MARLE C., *Application des méthodes des processus irréversibles à l'écoulement d'un fluide à travers un milieu poreux*, « Bulletin RILEM », 29, 1965;
- MORARU D., *La dynamique de formation de la croûte des fresques dans la peinture murale classique* (Chapitre sur la migration irréversible de l'humidité du point de vue thermodynamique), dans le volume de la Conférence de Cracovie sur la conservation des peintures murales, Sept. 1964: « Biblioteka Muzealnictwa i Zabytkow », Varsovie, 1965 (en polonais);
- MURATA Y., *Studies on the permeability of concrete*, « Bulletin RILEM », 29, 1965;
- RITTER K., *Die elektroosmotischen Mauerwerkssperrung*, « Bauzeitung (DDR) », 11, 1965, p. 588-591 (Hydrophobic insulation of masonries by electroosmosis);
- ROSE D. A., *Water movement in unsaturated porous materials*, « Bulletin RILEM », 29, 1965;
- WIEDEN P., *Das Entfeuchten von Mauerwerk*, « Bauingenieur Praxis », t. 3, 1965, Berlin (Drying of brickwork);
- PĂUNEL E., *Observatii de laborator pri vind indepartarea igrasiei in constructii, aplicind principiul electrodrainarii*, « Rev. Constructiilor si Materialelor de Constructii », n° 9-10, 1966 (en roumain) (Laboratory observations regarding the removal of moisture in constructions by means of electrodrainage);
- MORARU D. - DUMITRESCU I., *Eléments pour une théorie des trottoirs*, « Rev. Constructiilor si Materialelor de Constructii », n° 4, 1967 (en roumain);
- MORARU D. - DIMITRIU V. E., *L'humidité dans les bâtiments et son enlèvement*, Edit. techniques, Bucarest, 1969 (Moisture in building and the fight against).

The author sets out to review total progress to date on moisture problems in ancient buildings. He deals successively with the divers factors in which damage to a building through moisture may originate, his basic assumption being that the direction in which water travels inside a wall is always from the lower to the higher energy level. The possible causes of damp may frequently be reduced to two main phenomena, the presence of moisture rising from the ground by capillarity and faulty ventilation of certain areas, causing condensation. It is observed that the movement of moisture may be either "reversible" (where entry and evacuation are along the same channel), or "irreversible" (where the opposite is the case).

1. — Recrystallization of salts with scaling off.

2. — Position of the underground water-level in relation to the foundations.

and incorrect moisture equilibrium for the

Pa in St. Mark Venice, after the  
166.

Fig. 5. — Flooding of the Florence State Archives in November 1966.

Fig. 6. — Dampness in a building owing to faulty location a, b, d, e. Church at Voronet, Rumania.  
c. Correct and incorrect locations.

Fig. 7. — Faulty drain pipe causing local dampness in a building.

ness cause. waterproof pavement

Fig. 9. — Condensation inside a building owing to use of building technique unsuited to the climate.  
Case of Santa Maria dei Miracoli in Venice.

Protection may be afforded in various ways. The author reduces these to five basic methods, i.e. : 1) treatment of the foundations (now becoming progressively rarer); 2) improved ventilation of masonry (here the author criticizes the Knappen method); 3) electrochemical phenomena (electro-osmosis), preferred by the author and developed in Rumania; 4) grouting with water-repellent and waterproofing solutions (resins); 5) central heating and high-frequency current.

In his conclusion the author stresses the need for cautiousness in applying these methods and the wideness of the range of the different cases requiring treatment. There is an abundant bibliography covering over 80 back issues (up to 1969).

a. Structure of the walls. b. Moisture equilibrium inside.  
c. General view of the church.

Fig. 10. — Possible directions in which moisture may travel inside a wall.

Fig. 11. — Formation of a protective salt surface deposit through two-directional travel of moisture.

1. Protective coating. 2. Penetration of soluble salts inside the wall.

Fig. 12. — Dynamics of the formation of the protective crust.  
a. Entry of moisture. b. Evacuation of moisture.

Fig. 13. — Movement of salts due to transfer of moisture in a single direction.

Fig. 14. — Use of Knappen tubes.

Fig. 15. — Conventional electro-drainage.

Fig. 16. — Electro-drainage process patented by INCERC, Bucharest (Rumania).

Fig. 17. — Position of the grouting tube in relation to the brick courses in masonry. Left, correct position. Right, incorrect position.

## KORTE INHOUD

De auteur beoogt het opstellen van een status quaestionis inzake vochtigheid in historische gebouwen.

Hij vernoemt achtereenvolgens de verschillende oorzaken die — wat de vochtigheid betreft — een eventuele alteratie in het gebouw veroorzaken.

Als postulaat stelt hij dat de beweging van het water in een muur steeds van de laagste energiehoogte naar de hoogste gaat. De mogelijke oorzaken van vochtigheid komen vaak neer op de volgende twee hoofdfenomenen : capillaire opstijging in het gebied en slechte ventilatie van sommige zones, met condensatie.

Er worde op gewezen dat de beweging van het water als volgt gebeurt : op omkeerbare wijze wanneer het indringen en het wegtrekken langs een zelfde weg gebeuren, of op onomkeerbare in het tegengestelde geval.

De verschillende beschermingswijzen worden door de

auteur teruggebracht tot vijf fundamentele methodes :

1° ingrijpen in de infrastructuur (meer en meer verlaten);

2° beter ventileren van het metselwerk (met kritiek van het systeem Knappen);

3° electrochemische fenomen voorgestaan door de auteur (electroosmose bestudeerd in Roemenië);

4° injectie van harshoudende oplossingen met vochtwerende en waterdicht makende eigenschappen;

5° centrale verwarming en hoog frequente stroom.

Tenslotte insisteert de auteur opdat een grote voorzichtigheid zou aan boord gelegd worden bij het toepassen van de methodes, rekening houdend met de grote diversiteit van de te behandelen gevallen.

Hij voegt er een uitgebreid literatuuroverzicht van een tachtigtal referenties (tot 1969) aan toe.



Plan n° 1. — Carte générale et particulière de la région d'Ani.

