

Rapport final

**N° NM/G2/04
NM/39/05**

Jan VENSTERMANS, Yves VANHELLEMONT, Rolf DE BRUYN & André PIEN

Eddy DE WITTE

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION
WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJ
Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947
Boulevard Poincaré 79
B-1060 BRUXELLES

INSTITUT ROYAL DU PATRIMOINE ARTISTIQUE
KONINKLIJK INSTITUUT VOOR HET KUNSTPATRIMONIUM
Parc du Cinquantenaire 1
B-1040 BRUXELLES

TABLE DES MATIÈRES

Résumé – Samenvatting – Summary

INTRODUCTION	7
1 Méthodologie.....	7
1.1 Comité d'accompagnement.....	7
1.2 Plan de travail.....	7
2 Résultats des essais	9
3 Diffusion et valorisation	9
4 Bilan et perspectives	10
5 Synthèse de la recherche - Proposition de méthodologie d'essais pour les produits d'injection contre l'humidité ascensionnelle.....	11
5.1 Préambule.....	11
5.2 Produits concernés.....	11
5.3 Prélèvement, identification et contrôle des produits.....	12
5.4 Mesure de l'efficacité potentielle des produits d'injection.....	14
5.4.1 Eprouvettes d'essai	14
5.4.2 Matériaux d'essai.....	14
5.4.3 Mesure de l'absorption d'eau initiale des éprouvettes	16
5.4.4 Conditionnement des éprouvettes avant traitements	16
5.4.5 Mise en place des produits	16
5.4.6 Conditionnement des éprouvettes après traitements.....	17
5.4.7 Mesure de l'absorption d'eau après traitement	17
5.5 Appréciation de l'efficacité potentielle des produits d'injection.....	17
5.6 Classes de performance des produits	18
5.7 Méthodologie de contrôle in situ de l'efficacité des traitements	18
5.7.1 Mesure du taux d'humidité des maçonneries.....	19
5.7.2 Mesures in situ au carbonate de rubidium	19
5.7.3 Mesure en laboratoire de l'effet hydrophobe de masse	20

Remerciements

Bibliographie - Références

RÉSUMÉ

Contexte général

L'humidité constitue la cause la plus importante de dégâts dans les bâtiments avec plus de 30 % des questions posées annuellement par l'ensemble des 60000 entrepreneurs membres du CSTC.

Parmi les causes d'humidité, l'ascensionnelle est l'une des plus destructives par les effets cumulés de l'eau et des sels migrants et se concentrant à la surface des matériaux.

Cette humidité ascensionnelle ne concerne pas uniquement les bâtiments anciens non munis à l'origine de membranes dans le bas des murs mais également les maçonneries plus récentes, en cas d'oublis à la conception, de mauvaise exécution ou encore de pontage accidentel des membranes anticapillaires.

Les enseignements de plus de vingt ans d'expérience de nos laboratoires en ce qui concerne les différents procédés de lutte contre l'humidité ascensionnelle ont mis en évidence les performances des techniques d'injection, par opposition à d'autres systèmes peu efficaces (électro-osmose, siphons atmosphériques) ou encore coûteux et d'application malaisée (placement de membranes dans des murs existants).

Les résultats particulièrement favorables obtenus à l'aide des techniques d'injection contre l'humidité ascensionnelle ont permis d'orienter progressivement les entreprises concernées vers ce procédé, utilisé de manière quasi généralisée à l'heure actuelle dans notre pays.

On pourrait considérer avoir atteint tous les objectifs souhaités par les praticiens, s'il n'existait pas une potentialité de contrainte nouvelle au niveau européen en ce qui concerne la *protection de l'environnement*. En effet, dans les prochaines années, il faut s'attendre à une obligation de remplacement des formulations habituelles de type siloxanes en phase solvant par des produits sans solvants ou en phase aqueuse.

Objectifs de la recherche

L'absence totale de recul quant aux performances des très nombreuses formulations proposées actuellement suite aux développements constants de la chimie et l'apparition d'une nouvelle génération de produits sans solvants ou en phase aqueuse, incitent à la prudence et motivent particulièrement le développement d'une méthodologie normalisée, représentative, simple et rapide, pour identifier et mesurer l'efficacité des différents produits.

En permettant de quantifier rapidement les propriétés des produits, cette méthodologie doit non seulement aider les utilisateurs dans la sélection de produits efficaces pour les matériaux et les usages considérés mais également motiver et faciliter le travail des fabricants dans la recherche de formulations offrant des performances optimales.

Dans cette optique, la recherche s'est en particulier orientée vers la mise au point et la définition:

- de techniques d'identification des caractéristiques physico-chimiques les plus pertinentes des produits,
- d'une procédure d'essais de laboratoire sur matériaux supports types visant à quantifier très rapidement l'efficacité potentielle des produits dans des conditions standardisées,
- de méthodologies de contrôle simples utilisables in situ après les traitements d'injection.

Conclusions

Les très nombreuses campagnes d'essais menées afin de répondre aux objectifs précités (voir rapports détaillés en annexe au présent rapport) ont, tout au long de la recherche, mis en évidence la complexité du sujet, le nombre important de paramètres à prendre en compte et les difficultés de cumuler le caractère représentatif des essais et la reproductibilité des résultats.

En effet, la nécessité de travailler en laboratoire dans des limites parfaitement définies et contrôlées entraîne en parallèle des contraintes quant à l'homogénéité des matériaux supports et à leur mise en œuvre. Si l'on sait qu'en réalité la quasi-totalité des maçonneries traitées par injection sont de nature particulièrement hétérogène et que la bonne pénétration des produits est fortement influencée par les différentes fissures et cavités présentes, on se rend compte de l'inévitable contradiction entre la réalité de chantier et celle du laboratoire d'essais.

Cette situation a incité à écarter, dans le cadre de la présente proposition, les ensembles maçonnés et à se limiter à des essais individuels sur chacun des matériaux rencontrés en pratique. De plus, il est apparu comme plus que souhaitable de définir et proposer des méthodes de contrôle utilisables in situ après injection, afin de confirmer les avis obtenus sur base de la procédure de laboratoire.

En parallèle, l'accent a porté sur la technique d'analyse optimale permettant d'identifier simplement, mais de manière non équivoque, les différents produits commercialisés.

Apport du projet dans le contexte d'appui aux processus de normalisation et de réglementations techniques

Au niveau national, cette proposition de méthodologie pourrait utilement servir de base à toute action normative ou d'agrément technique pour ce type de traitement ou de produit. Cette démarche devrait être grandement favorisée par l'apport actif du CSTC dans les activités de normalisation et d'accréditation en général, ainsi que par la participation des représentants de l'Institut Belge de Normalisation (IBN) et de l'Union Belge pour l'Agrément technique dans la construction (UBA_{tc}), en qualité de membre dans le comité d'accompagnement de la présente recherche.

Dans un contexte international, l'existence d'une proposition de procédure dans le domaine du traitement de l'humidité ascensionnelle est attendue afin de servir de base d'appréciation aux essais d'orientation menés à ce jour par une série de laboratoires confrontés à la problématique de jugement de traitements contre l'humidité ou d'efficacité de produits proposés dans cette optique.

En parallèle aux actions normatives et de réglementations techniques précitées, l'utilisation par nos laboratoires de la procédure d'essai est envisagée de manière pratique dans les prochains mois, afin de fournir des rapports d'essais comparatifs à la demande des principaux fabricants en Belgique, certains envisageant d'emblée un élargissement vers un agrément technique national.

A plus longue échéance et comme c'est le cas actuellement pour la proposition prénormative 'Hydrofuges de surface' (convention NO/D2/017), des collaborations internationales seront recherchées dans l'optique d'introduire le sujet auprès de l'EOTA (European Organisation for Technical Approvals) dans l'optique d'un marquage CE des produits.

Mots-clés: maçonneries, humidité ascensionnelle, injections, méthode d'essai.

SAMENVATTING

Algemene context

Vocht is één van voornaamste oorzaken van schade in gebouwen. Meer dan 30 % van de vragen die jaarlijks door het geheel van 60000 leden-aannemers aan het WTCB gesteld worden gaan over dit probleem.

Onder alle vochtproblemen is opstijgend vocht een van de meest destructieve, wegens de gecumuleerde effecten van water en migrerende zouten die zich aan het oppervlak van de materialen concentreren.

Opstijgend vocht is niet alleen een probleem voor oude gebouwen waar er onderaan de muren geen sperlaag aangebracht werd, maar ook bij meer recente gebouwen, wanneer deze laag vergeten werd in de ontwerpfase, bij een slechte uitvoering of bij toevallige overbruggingen van anti-capillaire membranen.

Meer dan twintig jaar ervaring in onze laboratoria met de verschillende methoden tegen opstijgend vocht hebben de efficiëntie van injectietechnieken duidelijk aangetoond. Dit in tegenstelling met andere technieken die weinig efficiënt blijken (electro-osmose, atmosferische droogbuizen) of duur en moeilijk toepasbaar (plaatsen van membranen in reeds bestaande muren).

De uiterst gunstige resultaten die bekomen worden met injectietechnieken hebben de ondernemingen ertoe aangezet zich progressief naar deze techniek te oriënteren. Heden ten dage wordt dit procédé in ons land vrij algemeen toegepast.

Men zou hieruit kunnen besluiten dat alle gewenste objectieven voor de praktijkmensen bereikt zijn, maar er rijzen nieuwe potentiële problemen op Europees niveau in verband met de *bescherming van het milieu*. Men moet zich inderdaad de komende jaren verwachten aan een verplichting om de gekende producten, type siloxanen in organische oplosmiddelen, te vervangen door oplosmiddelvrije of watergedragen producten.

Doel van het onderzoek

De totale afwezigheid van ervaring en precieze informatie over de prestaties van vele formuleringen die momenteel voorgesteld worden, als gevolg van een constante ontwikkeling in de chemische sector en het verschijnen van een nieuwe generatie van oplosmiddelvrije of watergedragen producten noden tot voorzichtigheid en motiveren de ontwikkeling van een gestandaardiseerde methodologie. Deze moet representatief zijn en op een eenvoudige en vlugge manier zowel een identificatie toelaten als de meting van de efficiëntie.

Via een vlugge bepaling van de eigenschappen van de producten moet deze methodologie niet alleen de gebruikers helpen bij de selectie van de efficiënte producten in functie van de verschillende materialen en technieken, maar ook de fabrikanten motiveren in hun onderzoek naar producten met optimale performanties.

In deze optiek werd het onderzoek vooral georiënteerd naar het op punt stellen en definiëren van:

- technieken om de fysico-chemische eigenschappen van de voorkomende producten te identificeren
- een testprocedure op standaarddragers in het laboratorium, met als doel zeer vlug en onder standaardomstandigheden de potentiële efficiëntie van de producten te kwantificeren
- een eenvoudige controlemethodologie die na een injectiebehandeling in situ kan gebruikt worden

Besluiten

De vele proefcampagnes die ondernomen werden teneinde te beantwoorden aan de hierboven vermelde objectieven (zie gedetailleerde rapporten in bijlage aan huidig verslag) hebben in de loop van het onderzoek aangetoond hoe complex het onderwerp is, hoeveel parameters er in rekening moeten gebracht worden en hoe moeilijk het is om de representativiteit van een proef en de reproduceerbaarheid van de resultaten te cumuleren.

De noodzaak om in het laboratorium onder wel gedefinieerde en gecontroleerde omstandigheden te werken, legt tegelijkertijd beperkingen op wat betreft de homogeniteit van de dragermaterialen en de wijze van uitvoering. Gezien in de praktijk het metselwerk dat geïnjecteerd wordt zeer inhomogeen is en dat de indringing van de producten sterk beïnvloed wordt door scheuren en holten, is er een duidelijke tegenstrijdigheid tussen de situatie op de werf en deze in laboratoriumomstandigheden.

Daarom werd de beslissing genomen om, in het kader van het huidige voorstel, geen metselwerk te weerhouden, en zich te beperken tot de proeven op de verschillende individuele materialen gebruikt in de praktijk. Daarenboven is het meer dan wenselijk gebleken om een controlemethode in situ en na injectie te definiëren en voor te stellen, teneinde de adviezen te bevestigen die gesteund zijn op de laboratoriumproeven.

Parallel daarmee werd de klemtoon gelegd op de optimale analysetechniek, die enerzijds op een eenvoudig manier een identificatie moet toelaten, anderzijds de mogelijkheid geeft om de verschillende commerciële producten van elkaar te onderscheiden.

Bijdrage van het project aan het normalisatieproces en de technische reglementeringen

Op nationaal niveau kan dit project dienen als basis voor elke actie in het kader van normalisatie of van technische goedkeuringen voor dit type van behandeling of product.

Dit zal bevorderd worden door de actieve medewerking van het WTCB in normalisatie- en accreditatie-activiteiten in het algemeen. Ook de vertegenwoordiging van het Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN) en de Belgische Unie voor Technische goedkeuringen in de bouw (BUtgb) in de begeleidingsgroep van het onderzoek is hiervoor een gunstige factor.

Ook buiten België zijn er verschillende laboratoria die regelmatig worden geconfronteerd met de problematiek van het beoordelen van behandelingen en injectieproducten tegen opstijgend grondvocht. De behoefte aan een proefprocedure bestaat dus ook op internationaal vlak.

Parallel met de acties in verband met normering en technische reglementeringen, zal ons laboratorium in de komende maanden gebruik maken van de ontwikkelde proefprocedure om vergelijkende proefrapporten af te leveren. Dit gebeurt op vraag van de belangrijkste Belgische fabrikanten, waarvan een aantal een uitbreiding naar een technische goedkeuring voor hun product op het oog hebben.

Op langere termijn wordt een internationale samenwerking nagestreefd, teneinde een testprocedure in te dienen bij de EOTA (European Organisation for Technical Approvals) in het kader van de CE-markering van producten. Dit is nu reeds het geval voor de in het recente verleden ontwikkelde testprocedure voor waterwerende oppervlaktebehandelingen (conventie NO/D2/017).

Sleutelwoorden: metselwerk, opstijgend vocht, injectie, proefmethode

SUMMARY

General context

Humidity is one of the major causes of damage in buildings. More than 30% of the questions formulated each year by the 60000 members-contractors of BBRI are dealing with this problem.

Among all humidity problems, capillary rising damp is the most destructive, due to the cumulated effect of water and migrating salts concentrating on the surface of the building materials.

Capillary rising damp is not only a problem in old buildings where a membrane in the bottom of the walls is lacking, but also in more recent constructions, e.g. when this membrane was not incorporated in the planning, in case of erroneous execution or accidental bridging in the anticapillary membranes.

More than twenty years of experience in our laboratories with the different methods against capillary rising damp have proven the effectiveness of injection techniques. This in contradiction with other techniques which proved to be less effective (electro-osmose, atmospheric drying tubes) or which are expensive and difficult to realise (insertion of membranes in existing walls).

The extremely good results obtained with the injection techniques have stimulated enterprises to use gradually these techniques. Nowadays this technique is quite generalised in our country. This could lead to the conclusion that all objectives of the practitioners are obtained. New problems however occur on the European level in the framework of protection of the environment. It can be expected that in the near future popular products, such as siloxanes dissolved in organic solvents, will have to be replaced by solvent free systems or water-based products.

Goals of the research

The lack of experience and precise information on the effectiveness of many formulations which are sold nowadays, due to a constant development in the chemical field and the appearance of a new generation of solvent-free or water-based products have to make us careful and have to motivate us to developing a standardised methodology. This has to be representative as well as allowing a simple and fast way to identify the products and to measure their effectiveness.

Starting from this point of view the research was mainly focused on the development and defining of:

- techniques to identify the physico-chemical properties of the most common products
- a test procedure on standard supports in the laboratory, in order to quantify in standard conditions the potential effectiveness of products
- a simple control methodology which can be used in situ after an injection treatment.

Conclusions

In the framework of this research, many test campaigns were carried out in order to give an answer to the objectives listed above (see detailed reports in annex). They have proven that the subject is very complex, that one has to take into account many parameters and that it is difficult to combine the representativity of a test with the reproducibility of the results.

The necessity to work in the laboratory under well-defined and controlled conditions involves also limitations in the field of homogeneity and working procedure. In practice masonry, which has to be injected, is very inhomogeneous and the penetration of products is strongly influenced by cracks and voids. There is a clear contradiction between the situation on the work site and the laboratory.

This made it necessary to eliminate, in the present proposition, combined masonry walls and to limit the testing methodology to the different individual materials used in practice. Moreover, it has been proven to be desirable to define an evaluation method in situ and injection, in order to confirm the recommendations based on laboratory experiments.

Parallel herewith the attention is stressed on the development of the optimal analytical technique, which on one hand allows a simple identification of the product, on the other hand gives the possibility to differentiate the commercial products.

The project's contribution to the process of standardization and technical regulations

On the national level this project might serve as a basis for each action in the field of standardization and in the field of technical agreements, regarding injection products against rising damp.

This will be promoted by the active contribution of the BBRI in standardization and accreditation in general. Another favourable factor to this aim is the presence of a representative of the Belgian Institute for Normalization (BIN) and the Belgian Union for technical agreements in construction (BUtac) in the steering committee of the research project.

Outside of Belgium one finds a whole series of laboratories seeing themselves confronted with the testing and judgement of injection products and treatments against rising damp. The need for a test procedure therefore exists on an international level.

Next to the actions in connection with standardization and technical regulations, our laboratory will make use of the developed test procedure in order to deliver comparative test reports in the near future. This will be done on the demand of Belgian producers of injection products, some of which having an extension to a technical agreement in mind.

On the longer term an international collaboration is aimed at, in order to come to a proposal for a test procedure for the EOTA (European Organisation for Technical Approvals) in the framework of the CE-marking of products. This path has been followed already for the recently developed test procedure for water repellent surface treatments (convention NO/D2/017).

Key-words : masonry, capillary rising damp, injection, test methods

INTRODUCTION

Par rapport aux nombreuses techniques existantes, l'expérience de chantier au même titre que les enseignements des nombreuses recherches ont mis en évidence les performances potentielles de la technique d'injection dans la lutte contre l'humidité ascensionnelle dans le bâtiment.

Cette efficacité est toutefois et logiquement liée à l'utilisation de produits parfaitement adaptés à cet usage.

Outre les développements constants de nouvelles formulations, l'évolution des mentalités et de la législation au niveau international amène au remplacement progressif des formulations "solvantées" utilisées à ce jour, par des produits en phase aqueuse ou sans solvants. Cette tendance est nettement ressentie au niveau des traitements dans le secteur du bâtiment et en particulier au niveau du traitement de l'humidité ascensionnelle où, jusqu'à présent, l'efficacité était liée à l'usage de produits contenant des solvants organiques particulièrement gênants lors de leur évaporation à l'intérieur des logements. Dans la phase actuelle de transition, la connaissance des potentialités des différentes formulations existantes en phases solvants et des nouvelles formulations en phase aqueuse, ainsi que l'influence des milieux de dilution, constituent une demande prioritaire des milieux concernés, afin de pouvoir juger des performances des formulations déjà commercialisées (optimisation du choix pour les utilisateurs) ou à mettre sur le marché (optimisation des nouveaux produits par les fabricants).

La définition d'une méthodologie standardisée, simple, rapide et représentative de la réalité constitue un passage obligé si l'on désire répondre à cette demande et favoriser dans le futur, non seulement la qualité des traitements réalisés, mais également les performances des produits formulés par nos entreprises.

La présente étude a donc pour but d'étudier, de rechercher, de mettre au point et de tester une procédure d'essai adaptée aux différents produits susceptibles d'être injectés dans des matériaux poreux plus ou moins humides et contaminés par les sels.

1 MÉTHODOLOGIE

1.1 Comité d'accompagnement

Vu l'importance de rassembler un maximum de compétences à tous les niveaux afin d'optimiser la mise au point de la procédure d'essai, l'accent s'est d'emblée porté sur le travail au sein d'un comité d'accompagnement regroupant : la Politique scientifique fédérale, l'IBN, l'UBAtc, les industriels "formulateurs" et fabricants de matières premières, les chercheurs concernés du CSTC et de l'IRPA. Le groupe s'est réuni tous les trois mois environ, afin de suivre dans le détail l'avancement des travaux, de discuter des résultats et des enseignements des essais et d'orienter la poursuite de la recherche. Toutes les remarques et décisions du comité ont été actées dans les procès-verbaux des réunions.

1.2 Plan de travail

Après une phase préalable d'actualisation : des données bibliographiques, des enseignements du suivi de chantiers, des nouvelles tendances industrielles dans le domaine des produits d'injection,..., la recherche s'est globalement déroulée conformément au plan de travail proposé dans la demande de subsides.

Pour information, le tableau ci-après en reprend les lignes directrices.

Table I : Planning des tâches

TÂCHES	2000				2001				2002			
	1 semestre		2 semestre		1 semestre		2 semestre		1 semestre		2 semestre	
Objet et domaine d'application												
Procédure d'identif. des produits												
Potentialité de migration												
Sélection des supports d'essais												
Préparation et conditionnement												
Formulations représentatives												
Paramètres d'application												
Principe des mesures de labo												
Méthode de contrôles in situ												
Contrôle des effets secondaires												
Analyse critique des résultats												
Collaboration avec les industriels												
Valorisation des résultats (M)												

Pour chaque volet repris au tableau, l'ensemble des données disponibles a fait l'objet de discussions en comité d'accompagnement afin d'en extraire les enseignements susceptibles de mener à la définition des paramètres de la méthodologie à développer.

Dans la grande majorité des cas, ces discussions ont mis en évidence la nécessité d'entamer des essais complémentaires, soit :

- pour confirmer les éléments disponibles et les adapter aux critères recherchés (procédure d'essais rapide et simplifiée au maximum),
- pour combler des lacunes dans la connaissance des paramètres d'influence liés aux matériaux (nature, structure porométrique,...), à leurs états (taux de saturation en humidité au moment de l'application des produits) et aux paramètres de mise en œuvre des produits (pressions ou non, quantités,...),
- ou encore afin d'optimiser la mesure de l'efficacité potentielle des produits et traitements réalisés.

Vu l'ampleur des différentes études réalisées dans cette optique, le détail des essais et des résultats obtenus fait l'objet de rapports spécifiques joints en annexe. Les références et les différents sujets abordés sont repris ci-après (en français ou néerlandais suivant la langue du rapporteur).

- Approche bibliographique et examen des éléments disponibles (annexe 1)
- Examen détaillé de procédures d'essais en laboratoire (annexe 2)
- Première série d'essais sur murets (annexe 3)
- Première campagne d'essais sur les matériaux (annexe 4)
- Essais de coloration des solutions appliquées (annexe 5)
- Approche de l'humidité initiale des murs dans la zone de traitement (annexe 6)
- Contrôle des remontées capillaires – Méthode au carbonate de rubidium (annexe 7)
- Monstername, identificatie en controle van injectieproducten (bijlage 8)
- Campagne d'essai de fabrication de mortier (annexe 9)
- Mesure de l'humidité des murets d'essais (annexe 10)
- Seconde série d'essais sur matériaux (annexe 11)
- Contacthoekmetingen op bakstenen behandeld met injectieproducten - Procedure
- Detectie opstijgend vocht op basis van Rb_2CO_3 op bakstenen testmuurtjes (bijlage 12)
- Metingen op boorkernen – Arenbergkasteel (bijlage 13)

- Troisième campagne d'essai sur les matériaux (annexe 14)
- Essais complémentaires sur montages simplifiés (annexe 15)
- Essais de confirmation sur murets (annexe 16)
- Essais complémentaires de l'efficacité potentielle des produits sur pierre calcaire de Savonnières (annexe 17)
- Efficacité des produits sur pierre de Savonnières (annexe 18).

2 RÉSULTATS DES ESSAIS

Compte tenu de la complexité du sujet et du grand nombre de variables à prendre en considération, les objectifs précités n'ont pu être approchés qu'en se basant sur une large expérience de chantier et sur les enseignements des nombreuses recherches menées sur le sujet par les laboratoires du CSTC et de l'IRPA (voir annexes), ainsi que sur la précédente étude prénormative (NO/D2/017) relative aux produits d'hydrofugation de surface.

Malgré cela et en fonction des résultats des différentes campagnes d'essais menées tout au long de ces trois années de la recherche, force est de constater qu'il a fallu souvent remettre en cause les acquis à tous les niveaux, qu'il s'agisse des principes d'essais, de la migration des produits dans les supports poreux humides, de l'influence fondamentale de la nature chimique des matériaux sur la polymérisation des produits, ou encore de l'appréciation de l'efficacité relative des traitements.

En finalité, tous ces éléments ont permis de développer la méthodologie d'essai telle que décrite au paragraphe 6 et qui, en qualité de document de synthèse, rassemble l'ensemble des enseignements issus de la recherche en général et des présentes campagnes d'essais en particulier, ainsi que des contacts et échanges d'informations avec les scientifiques concernés.

Ce document répond en tout point aux objectifs poursuivis et devrait constituer pour les milieux scientifiques en général et pour les fabricants de produits en particulier, un outil de travail pour l'appréciation des performances des produits existants et le développement de nouvelles formulations plus efficaces et/ou plus écologiques (remplacement des solvants organiques).

Il est évident que cette proposition de méthodologie d'essai est basée sur l'ensemble des données disponibles à l'heure actuelle et est sujette à une certaine évolution en fonction des enseignements liés à son utilisation directe ou à de nouvelles opportunités de développements dans le futur.

Signalons pour être complet que la proposition concerne l'efficacité initiale des produits et traitements mais n'englobe pas l'évolution des performances dans le temps. La durabilité, par ailleurs non reprise dans les objectifs, justifie à elle seule une approche spécifique compte tenu des lacunes importantes dans la connaissance du comportement dans le temps des différents produits au sein des matériaux de maçonneries (briques, mortiers, pierres naturelles) et des réactions susceptibles, soit de dégrader directement les molécules organiques fixées dans les structures capillaires (hydrolyse, oxydation, saponification, action des agents biologiques, ...), soit encore d'affecter le comportement capillaire, c.à.d. l'efficacité du traitement, sans spécialement détruire les produits en place (migration, cristallisation et hygroscopicité des sels présents dans les maçonneries).

3 DIFFUSION ET VALORISATION

La valorisation de la procédure d'essais concerne l'ensemble du secteur concerné par ce type de traitement et en particulier:

- les PME fabricant et/ou formulant les produits,
- les PME applicatrices de ces techniques,
- tous les utilisateurs potentiels.

Le transfert des connaissances s'organisera via différents canaux, tels par exemple :

- les contacts directs avec les entreprises concernées dans le cadre de la "Guidance

Technologique Rénovation" du CSTC;

- la description de la méthodologie, dans les publications des partenaires de l'étude;
- la présentation de la technique de mesure de l'efficacité des produits d'injection contre l'humidité ascensionnelle à l'occasion de cours et conférences organisés par les partenaires de l'étude;
- l'établissement de rapports d'essais standardisés concernant les produits d'injection contre l'humidité ascensionnelle ;
- la discussion avec des spécialistes étrangers de la méthodologie à l'occasion de congrès internationaux spécialisés;
- la sensibilisation à l'utilisation pratique des résultats de la méthode, pour les architectes et entrepreneurs ;
- la communication de l'approche suivie aux industries formatrices et productrices.

Pour les deux laboratoires directement concernés par la recherche (CSTC et IRPA), la méthodologie proposée servira d'élément de référence pour la réalisation d'essais dans un futur très proche, qu'il s'agisse de demandes émanant des milieux industriels (activités de développement) ou de campagnes d'essais dans le cadre de recherches. Notons qu'à l'heure actuelle, de nombreuses firmes belges sont demanderesse et en attente de cette procédure, soit afin d'obtenir un avis technique de nos laboratoires sur la validité de leur traitement de l'humidité ascensionnelle, soit afin d'obtenir un dossier technique probant permettant de solliciter un agrément de l'UBAtc (voir point ci-après).

Au niveau national, cette proposition de méthodologie pourrait utilement servir de base à toute démarche normative ou d'agrément technique pour ce type de traitement ou de produit. Rappelons à ce sujet que les représentants de l'Institut Belge de Normalisation (IBN) et de l'Union Belge pour l'Agrément technique dans la construction (UBAtc), siègent en qualité de membre dans le comité d'accompagnement de la recherche.

Dans un contexte international, l'existence d'une proposition de procédure dans le domaine du traitement de l'humidité ascensionnelle est attendue afin de servir de base d'appréciation aux essais d'orientation menés à ce jour par une série de laboratoires confrontés à la problématique de jugement de traitements contre l'humidité ou d'efficacité de produits proposés dans cette optique.

4 BILAN ET PERSPECTIVES

Le fait de devoir à de nombreuses reprises remettre en cause les acquis de très nombreuses années de recherche sur le sujet (principes d'essais, migration des produits en milieu humide,...), de bouleverser des idées acquises sur l'efficacité potentielle des produits hydrophobes (influence des matériaux sur la polymérisation des produits), ou encore de modifier les critères habituels d'appréciation de l'efficacité relative des traitements, a, si nécessaire, encore renforcé l'intérêt de la recherche et l'importance de la mise au point d'une procédure adaptée à ce type d'intervention.

Si, de ce fait, l'investissement en travaux de recherche a été plus important que prévu initialement, l'ensemble des résultats obtenus a permis de développer une méthodologie d'essai qui devrait directement répondre à une attente du secteur. Ce document qui répond en tout point aux objectifs poursuivis devrait constituer pour les milieux scientifiques en général et pour les fabricants de produits en particulier, un outil de travail pour l'appréciation des performances des produits existants et le développement de nouvelles formulations plus efficaces et/ou plus écologiques (remplacement des solvants organiques).

Il est évident que cette proposition de méthodologie d'essais est basée sur l'ensemble des acquis disponibles actuellement et donc susceptible d'évoluer dans le futur.

De même, il n'est pas fait mention dans cette procédure de la durabilité des traitements d'injection. Vu les lacunes scientifiques en la matière, ce point, à lui seul, justifierait une recherche spécifique.

De manière pratique, l'utilisation par nos laboratoires de la procédure d'essai est envisagée dans les mois à venir afin de pouvoir fournir des rapports d'essais comparatifs

à la demande des principaux fabricants en Belgique, certains envisageant d'emblée un élargissement vers un agrément technique national.

A plus longue échéance et comme c'est le cas actuellement pour la proposition prénormative 'Hydrofuges de surface' (convention NO/D2/017), des collaborations internationales seront recherchées dans l'optique d'introduire le sujet auprès de l'EOTA (European Organisation for Technical Approvals) dans l'optique d'un marquage CE des produits.

5 SYNTHÈSE DE LA RECHERCHE - PROPOSITION DE MÉTHODOLOGIE D'ESSAIS POUR LES PRODUITS D'INJECTION CONTRE L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE

5.1 Préambule

L'humidité ascensionnelle affecte une partie très importante du patrimoine ancien, non pourvu initialement de membranes anti capillaires aux pieds des murs. Ce phénomène est également présent dans les bâtiments plus récents, suite à des lacunes de conception, d'exécution, ou encore au pontage des membranes existantes par des enduits poreux, le relèvement des terres, des ouvrages annexes,...

Pour lutter contre l'humidité ascensionnelle, les nombreuses recherches réalisées en Belgique et à l'étranger, ont mis en évidence l'efficacité potentielle et la grande polyvalence des techniques d'injection par rapport à d'autres procédés nettement plus difficiles à mettre en œuvre ou sensiblement moins performants.

Ces résultats, diffusés depuis plus d'une trentaine d'année auprès des entreprises spécialisées, ont généralisé l'utilisation de techniques performantes d'injection de produits de type siloxanes dilués dans des solvants organiques.

Afin d'optimiser ces traitements et surtout face aux limitations d'usage des solvants organiques, il existe une demande de plus en plus pressante de l'ensemble du secteur afin de pouvoir disposer d'une méthodologie d'essai, simple, rapide et représentative permettant de caractériser les performances des différentes formulations existantes ou en cours de développement.

La présente proposition tend à répondre à cette demande sur base des connaissances disponibles à l'heure actuelle, qu'il s'agisse de l'ensemble des données bibliographiques sur le sujet, les enseignements des recherches, ou encore du suivi d'un nombre très important de chantiers tout au long de ces trente dernières années.

5.2 Produits concernés

Définition

Dans le cadre de ce document, le terme 'produit d'injection contre l'humidité ascensionnelle' englobe les différentes formulations susceptibles de pénétrer la porosité des matériaux de maçonnerie et de réduire sensiblement les phénomènes d'absorption capillaire de ces matériaux.

Formulations

Les produits les plus souvent utilisés à l'heure actuelle et dans notre pays pour ce type de traitement, sont constitués de résines siloxaniques diluées dans des solvants organiques de type aliphatique. Toutefois la tendance actuelle visant limiter au maximum l'usage de solvants organiques, particulièrement en cas d'habitations occupées, tend à favoriser le développement d'autres produits, sans solvants, ou en phase aqueuse. Qu'il s'agisse de l'application de résines réactives bouche-pores peu ou non solvantées, du développement de nouveaux hydrofuges en émulsion à base de silanes et/ou de siloxanes, de stéarates d'aluminium, de copolymères fluorés,..., de l'utilisation d'anciennes solutions aqueuses de siliconates, de bitume, de coumarone,...

Si les produits injectés appartiennent le plus souvent à l'une ou l'autre de ces familles de produits, certains sont élaborés par mélange de deux ou plusieurs des formulations précitées, avec ou sans traces de catalyseurs et/ou d'additifs susceptibles de favoriser les performances, la migration dans les supports humides, la tenue face aux agents biologiques, ...

Dans le cadre de cette procédure, il a été décidé de ne pas opérer de sélection restrictive des produits au départ des essais. L'acceptabilité ou non des produits pour l'usage considéré, sera définie sur base de l'ensemble des propriétés mesurées et de leur conformité aux critères de performance minimaux édictés.

5.3 Prélèvement, identification et contrôle des produits

Prélèvement

Comme signalé au précédent, il existe une grande variabilité potentielle au niveau de la formulation des produits qui sont non seulement constitués de produits de base, mais également d'agents de dilution, d'additifs spécifiques, de catalyseurs,... et ce à différentes concentrations.

En fonction de ces nombreuses variables et afin de pouvoir réaliser un contrôle de qualité, il est important de pouvoir identifier et caractériser les produits testés par une série d'analyses en laboratoire.

Ces analyses débutent par la définition d'une procédure de prélèvement qui exclut toutes possibilités de modification volontaire ou non des caractéristiques de la solution ; qu'elles soient liées à la prise d'échantillon auprès des fabricants, détaillants ou sur chantier, au transport vers le laboratoire d'analyse ou encore à la période de stockage en laboratoire. Dans cette optique, des flacons 'à pénicilline' de contenance adaptée (150 ml) seront préalablement séchés en laboratoire à 105°C jusqu'à poids constants et refroidis dans un dessiccateur avant d'être temporairement obturés à l'aide du bouchon de fermeture en téflon. Sur les lieux de prélèvement, 2 flacons seront remplis par produit à contrôler. Le transfert du produit se réalisera au moyen d'une pipette parfaitement sèche. Les flacons seront fermés immédiatement après le remplissage et scellés par une capsule inviolable en aluminium. Les 2 flacons seront identifiés par le nom du produit, le code de fabrication, la date de prélèvement et le nom de la personne ayant effectué le prélèvement.

L'un des flacons est envoyé aussi rapidement que possible vers le laboratoire pour analyse, l'autre est scellé dans une enveloppe et gardé auprès du fabricant, pour contre-expertise éventuelle.

Identification

Ce protocole d'analyse comprend les phases ci-après:

- Détermination de la teneur en matières sèches par gravimétrie.
Une quantité de 0,5 g de produit est placée dans une coupelle d'aluminium et conditionnée à 20° C et 55 % d'humidité relative (HR). L'ensemble est pesé à intervalle régulier avec une précision de 1/1000 de gramme. Dès que le poids d'équilibre est atteint (écart < 0,01 g entre 2 pesées à 24 heures d'intervalle), on calcule le pourcentage de matière sèche sur base de la perte de matière.
Dans le cas où l'on constate une évaporation totale du produit ou l'absence de dépôt après 1 semaine, le test est recommencé. Dans ce cas, l'essai se déroule comme décrit ci-avant, la coupelle étant préalablement chargée de 5 g de poudre de même nature que celle du support d'essais du produit.
Le résultat est exprimé en masse % par rapport à la quantité de produit initialement pesée.
Il est important de signaler que la teneur mesurée en matière **sèche**, peut être différente du pourcentage de matières **actives** utilisées par les formulateurs. Des coefficients de conversion sont publiés à ce sujet par les fabricants de résines mères.
- Détermination de la nature des matières actives par "XRF" (*X-ray Fluorescence*).

Une petite quantité de matière sèche provenant de la mesure précitée de l'extrait sec est analysée en fluorescence X. On détermine, à ce stade, la nature des métaux présents dans le produit (Si, Al, Sn, ...).

La présence de silicium correspond aux produits silicones, d'aluminium à des stéarates d'aluminium; l'existence de faibles quantités d'étain, de titane, de plomb ou de zinc traduisant la présence de catalyseurs.

- Détermination de la composition chimique du solvant et des matières actives par "FTIR" (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) et/ou "GC-MS" (*Gas Chromatography-Mass Spectroscopy*).

L'identification par FTIR est basée sur l'absorption des rayonnements infrarouges par les molécules. Le spectre d'analyse des signaux d'absorption met en évidence la nature des liaisons chimiques et permet l'identification du solvant et des composés actifs.

La technique de transmission solide utilisée nécessite 0,25 g de *bromure de potassium* (KBr) comprimé sous vide dans un moule à une pression de 250 bar, afin d'obtenir une pastille transparente. On dépose sur cette pastille une goutte de produit hydrofuge, qui à son tour est couverte d'une seconde pastille de KBr, l'ensemble étant ensuite placé dans l'appareil d'analyse.

Pour l'analyse de produits d'injection polymérisés, on mélange 10 mg de ce produit avec 0,25 g de KBr. Ceci permet d'obtenir, de la manière décrite ci-avant, une pastille transparente servant à l'analyse.

Dans les deux cas, on retient un spectre avec un balayage de 20 à 100 % de transmission dans la zone de 400 à 4000 cm^{-1} .

La chromatographie en phase gazeuse - spectroscopie de masse (GC-MS) permet d'identifier les composés volatils tels que les solvants de même que les liaisons silanes et oligomères siloxanes. Cette technique est basée sur la séparation des composants des mélanges qui, ensuite, sont identifiés séparément par spectroscopie de masse.

- Détermination par titrimétrie de la teneur en groupes réactifs des silanes et des siloxanes.

La longueur des molécules peut être extrapolée de la teneur en groupes réactifs qui est préalablement définie par titrage volumétrique. Cette technique donne des informations concernant la nature des résines silicones actives (silane, siloxane oligomère et/ou polymère) de même qu'une indication d'un éventuel vieillissement du produit.

Contrôle

En complément à l'identification des produits et à la mise en évidence de leurs performances, il est important, en cas de doute ou de litige, de pouvoir identifier ultérieurement de manière simple et rapide si un produit est conforme à la formulation initialement testée.

Cette procédure simplifiée de contrôle a été développée sur base:

- de la détermination de la teneur en matières sèches par gravimétrie,
- de la détermination de la composition chimique du solvant et des matières actives par "FTIR" et/ou "GC-MS".

Les méthodes d'analyses utilisées sont décrites en détail au paragraphe "identification" ci-avant. La principale différence se situe au niveau de l'interprétation des résultats d'analyses qui, dans ce cas de contrôle, se limite à une simple vérification de la conformité des produits par comparaison des résultats obtenus pour l'échantillon et le produit de référence correspondant.

5.4 Mesure de l'efficacité potentielle des produits d'injection

5.4.1 Epruvettes d'essai

Les éprouvettes ont comme dimensions : 40 X 40 X 80 mm³, trois sont forées au diamètre de 10 mm et trois au diamètre de 16 mm, sur 50 ±5 mm de profondeur.

Les éprouvettes sont découpées dans les matériaux disponibles, indépendamment du litage pour la pierre et du sens de pose pour la brique.

Pour les mortiers, les éprouvettes sont directement moulées à dimensions et forées une dizaine de jours après démoulage.

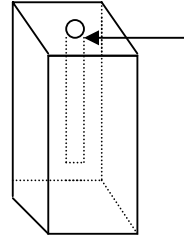


Figure 1 : Forage pour la mise en place du produit

Par formulation testée il est, pour rappel, prévu six (2X3) éprouvettes pour chaque type de matériau, définis au point 6.4.2 ci-après.

5.4.2 Matériaux d'essai

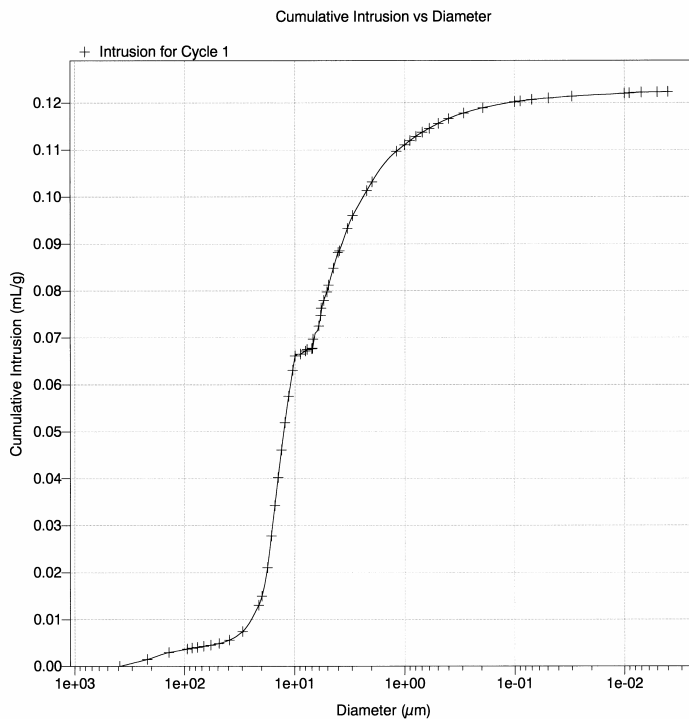
Lors du traitement des maçonneries contre l'humidité ascensionnelle, la diffusion des produits injectés concerne de manière quasi limitative : les briques de terre cuite, les pierres naturelles poreuses et les mortiers de pose et de jointoiment. Or, les résultats des campagnes d'essais ont montré, pour de nombreuses formulations, des variations importantes d'efficacité en fonction de la nature des matériaux. Différences qui se sont avérées dans de nombreux cas, plus sensibles que celles liées à l'humidité ou aux diamètres des pores de ces matériaux.

Ces constatations ont incité à retenir dans le cadre de la procédure les trois matériaux précités et identifiés ci-après.

Graphique 1 : brique pleine (type Ghlin) - courbe porométrique

Fournisseur: briqueteries de Ghlin

masse vol. apparente:
1948 ± 50 kg/m³
porosité totale Hg :
24 ± 5 vol. %



Graphique 2 : mortier
C200- G100 (sable de
module 1.4) – courbe
porométrique

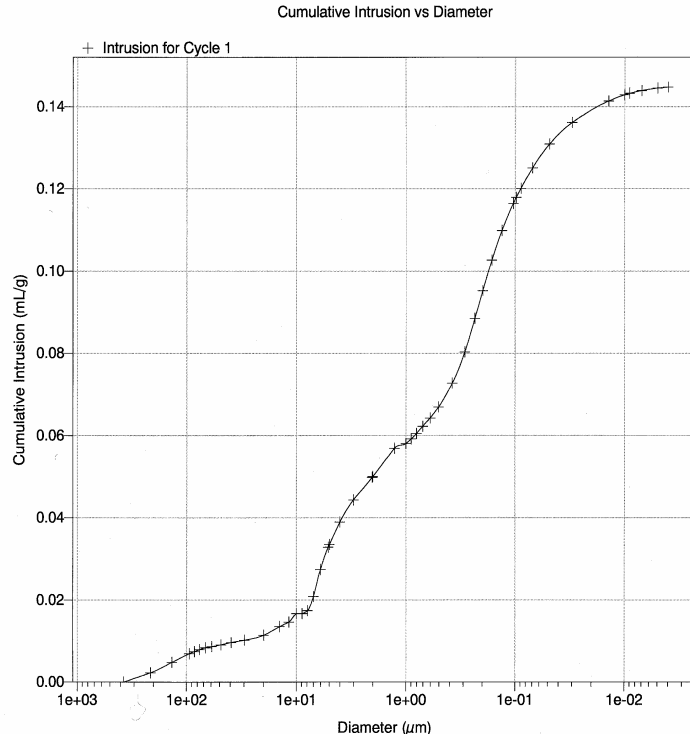
Soit 200 kg de ciment
CEM I et 100 kg de chaux
hydratée
par m³ de sable rude de
carrière :

masse volumique
apparente:
1880 ± 30 kg/m³
porosité totale au Hg :
27 ± 3 vol. %

Remarque :

Afin d'assurer une
carbonatation totale, les

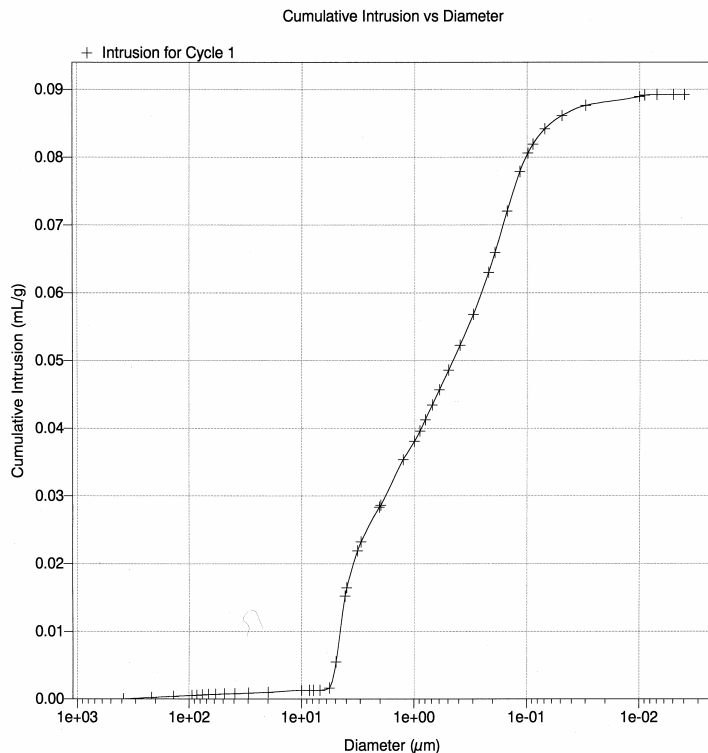
éprouvettes sont, après le démoulage et forage, conditionnées 7 jours en ambiance à 15 - 20 % de CO₂. Si ce type d'ambiance n'est pas disponible, un stockage de l'ordre de 56 jours en ambiance laboratoire (20°C, 55%HR) devrait permettre d'obtenir un résultat semblable. Dans tous les cas et avant essais, un contrôle à la phénolphtaléine sur la tranche fraîchement brisée d'une éprouvette confirmera la carbonatation totale des mortiers.



Graphique 3 : pierre blanche
calcaire, type
Savonnières ½ fine –
courbe porométrique

Fournisseur : Rocamat :

masse volumique
apparente :
2163 ± 50 kg/m³
porosité totale au Hg :
19 ± 5 vol. %



5.4.3 Mesure de l'absorption d'eau initiale des éprouvettes

Outre les données de masse volumique et de porosité au mercure reprises au point 6.4.2. et qui caractérise les lots de matériaux retenus pour les essais, chaque éprouvette d'essai est caractérisée par son absorption en eau (à pression atmosphérique). Cette mesure est réalisée conformément à la prénorme pr EN 13755 (juin 2001), avant application des produits.

De manière pratique, les éprouvettes préalablement découpées, forées et éventuellement carbonatées (mortiers), sont séchées à $70 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante (écart à 24 heures inférieur à 0,1%).

Après pesée au centième de gramme, les éprouvettes sont placées verticalement, l'ouverture du trou préforé vers le haut :

- 1 heure dans de l'eau à mi-hauteur, suivi d'une pesée au 1/100 de g après essuyage;
- + 1 heure dans l'eau au $\frac{3}{4}$ de la hauteur, suivi d'une pesée au 1/100 de g après essuyage;
- + 46 heures sous 25 ± 5 mm d'eau, suivi d'une pesée au 1/100 de g après essuyage;
- les éprouvettes sont pesées au centième de gramme et replacées en immersion par tranches de 24 heures, jusqu'à masse constante ($\pm 0,1$ %).

Le rapport de la quantité d'eau absorbée, sur la masse de l'éprouvette permet de définir l'absorption totale exprimée au dixième de pourcent.

Compte tenu de l'absorption très rapide des matériaux retenus pour les essais et dans un souci de représentativité de l'essai, signalons d'emblée que la valeur d'absorption après deux heures est retenue par la suite pour l'appréciation de l'efficacité des traitements.

Taux d'absorption initial en % après deux heures d'essai (Ab_{2h}) = (masse après 2 heures d'essai - masse sèche de l'éprouvette) X 100 / masse sèche de l'éprouvette.

5.4.4 Conditionnement des éprouvettes avant traitements

Après mesure de l'absorption totale, les éprouvettes sont à nouveau séchées à $70 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante (écart à 24 heures inférieur à 0,1%) et placées ensuite séparément et pendant 7 jours dans des conditionnements hermétiques, en contact direct avec de l'eau, en quantités calculées équivalentes à 75 % de l'absorption d'eau totale préalablement définies au point 6.4.3.

5.4.5 Mise en place des produits

Après les 7 jours de conditionnement précité, permettant à l'eau ajoutée de migrer et de se répartir uniformément dans les éprouvettes, les échantillons sont pesés (1/100^e de g) afin de quantifier précisément le taux d'humidité contenu dans les éprouvettes lors de la mise en place du produit et le pourcentage correspondant par rapport au taux de saturation (valeur en général légèrement inférieure aux 75 % prévus en théorie).

Pour chaque matériau, les trois éprouvettes :

- préforées à 10 mm de diamètre, sont ensuite traitées par mise en place à raison de $2 \pm 0,1$ ml par trou préforé (dosage à la micro burette ou par pesée) et les éprouvettes d'essais directement replacées dans les conditionnements hermétiques utilisés précédemment. Ces 2 ml correspondent aux quantités optimales permettant l'appréciation comparative des différentes formulations testées; elles ne correspondent pas aux quantités nettement supérieures habituellement utilisées sur chantier.

- préforées au diamètre de 16 mm, sont traitées à raison de 10 ml par trou préforé (dosage à la micro burette ou par pesée). Cette quantité nettement plus importante de produit devrait permettre de se rapprocher de l'efficacité 'maximale' que l'on peut potentiellement attendre du produit. Après traitement, ces éprouvettes sont également replacées immédiatement dans les conditionnements hermétiques utilisés précédemment.

5.4.6 Conditionnement des éprouvettes après traitements

Après mise en place des produits d'injection, les éprouvettes sont conditionnées en ambiance humide à 90-95 % durant 7 jours. Ce type de conditionnement a pour but de maintenir l'humidité des supports durant la phase de migration des produits, tout en permettant la polymérisation et/ou l'évaporation des solvants.

5.4.7 Mesure de l'absorption d'eau après traitement

Après le conditionnement de 7 jours en ambiance humide, les éprouvettes sont placées en étuve à 50 ± 5 °C, jusqu'à masse constante ($\pm 0,1$ % entre deux pesées espacées de 24 heures). Par rapport à la température de séchage reprise au 6.4.3, on se limite dans ce cas à 50° C, afin de limiter l'influence potentielle de températures élevées sur le comportement des produits organiques de traitement.

Après refroidissement, la mesure de l'absorption totale en eau à pression atmosphérique est réalisée conformément à la prénorme pr EN 13755 (voir 6.4.3) sur des éprouvettes placées verticalement avec le trou préforé vers le haut.

Comme pour la mesure de l'absorption avant le traitement, les pesées au centième de gramme se réalisent après chaque stade d'humidification, c.à.d. après :

- 1 heure dans de l'eau à mi-hauteur,
- + 1 heure dans l'eau au $\frac{3}{4}$ de la hauteur,
- + 46 heures sous 25 ± 5 mm d'eau.

Le taux d'absorption après deux heures est calculé comme ci-après, afin de servir à l'appréciation de l'efficacité du traitement réalisé.

Taux d'absorption en % de l'éprouvette traitée après deux heures d'essai (Ab_{2t}) = (masse après 2 heures d'essai - masse sèche de l'éprouvette) X 100 /masse sèche de l'éprouvette.

5.5 Appréciation de l'efficacité potentielle des produits d'injection

L'efficacité des traitements sur les trois supports d'essai (brique, pierre blanche calcaire de Savonnières, mortier) est calculée en pourcent sur base des taux d'absorption mesurés suivant prEN 13755, avant et après la mise en place des produits.

Sont prises en considération, les pesées réalisées après 2 heures (1 heure à mi-hauteur + 1 heure au $\frac{3}{4}$ de la hauteur) et les taux d'absorption correspondants :

- Ab_{2i} : avant le traitement
- Ab_{2t} : après le traitement

Efficacité du traitement en laboratoire (%) = $(Ab_{2i} - Ab_{2t}) \times 100 / Ab_{2i}$

En ce qui concerne les éprouvettes traitées à l'aide de 2 ml de produit, il est important de rappeler que vu les quantités très faibles mises en place (dix fois moins qu'en pratique), les valeurs d'efficacité des traitements réalisés en laboratoire, ne sont pas directement extrapolables à l'efficacité potentielle du produit lors de traitements in situ. Les valeurs obtenues dans ce cas servent principalement à situer le produit testé dans les classes de performances reprises au point 6.6 ci-après.

Pour les éprouvettes traitées à l'aide de 10 ml, les efficacités calculées devraient permettre d'approcher les performances réelles du traitement en question.

5.6 Classes de performance des produits

Des classes de performance sont reprises ci-après pour remarques, elles sont basées sur les résultats des essais menés au cours des travaux de recherche sur les formulations représentatives des différentes familles de produits. Les limites fixées dans ce classement seront probablement à adapter en fonction des résultats obtenus sur un grand nombre de formulations commerciales.

Table II : Classes de performances

Classe	Efficacité du traitement en labo Traitement à l'aide de 2 ml	Efficacité du traitement en labo Traitement à l'aide de 10 ml
A	> 30 %	> 80 %
B	15 à 30 %	40 à 80 %
C	< 15 %	< 40 %

Remarques

Les types et éléments constitutifs des maçonneries concerné par l'humidité ascensionnelle et susceptibles d'être rencontrés dans notre pays sont dans la grande majorité des cas, soit des ouvrages :

- en briques de terre cuite maçonnés au mortier bâtard;
- en moellons de pierres (peu poreuses) avec de larges joints de mortier bâtard ou à la chaux;
- en blocs de pierres avec des joints de mortier bâtard ou à la chaux, d'épaisseur réduite.

En fonction des cas, l'efficacité potentielle d'un traitement à l'aide d'un produit d'injection prendra en compte les pourcentages d'efficacité mesurés en laboratoire sur l'un et/ou l'autre des matériaux et à titre d'exemple et de manière pratique, on retiendra de manière générale les valeurs d'efficacité :

- sur brique et mortiers pour les murs en briques de terre cuite, en accordant une importance prépondérante aux résultats sur mortier;
- sur mortier uniquement, pour la grande majorité des maçonneries de moellons (pierres le plus souvent peu poreuses);
- sur pierre de Savonnières, pour des maçonneries de blocs de pierres calcaires poreuses, vu les joints de faible épaisseur.

5.7 Méthodologie de contrôle in situ de l'efficacité des traitements

Les essais de laboratoire définis ci-avant permettent de chiffrer l'efficacité potentielle des produits de manière simple et rapide et de ce fait se montrer particulièrement utiles pour l'examen comparatif de l'efficacité des formulations commercialisées ou en cours de développement.

Par contre, pour les démarches liées à l'obtention d'un agrément technique couvrant non seulement les performances du produit mais également l'efficacité des traitements mis en œuvre, ce type de démarche pourrait utilement s'accompagner d'une campagne de contrôles in situ basée sur l'une et/ou l'autre des méthodologies définies ci-après.

5.7.1 Mesure du taux d'humidité des maçonneries

De manière générale et dans la grande majorité des cas, le contrôle de l'efficacité d'un traitement contre l'humidité ascensionnelle se limite à la mesure de l'humidité des matériaux prélevés au-dessus de la zone d'intervention. Vu les différences très importantes entre les propriétés des briques d'une même maçonnerie, il est conseillé d'orienter les mesures sur les mortiers de pose. De même et afin d'éviter de prendre en compte des phénomènes superficiels de séchage et/ou de migration de sels, il est important d'effectuer les prélèvements dans une zone généralement comprise entre trois et une dizaine de centimètres de profondeur.

La mesure du taux d'humidité se réalise soit directement in situ par la mesure à la bombe à carbure, soit, par pesées comparatives en laboratoire avant et après séchage à 50 °C (transport et stockage des prélèvements dans des conditionnements étanches à la vapeur d'eau).

L'appréciation de l'efficacité ou non du traitement contre l'ascensionnelle peut se faire de manière plus ou moins directe et précise :

- par comparaison directe des valeurs d'humidité mesurées dans les mêmes matériaux et dans la même zone, avant traitement et après quelques mois;
- par comparaison des valeurs d'humidité de prélèvements réalisés respectivement au-dessus de la zone de traitement et, à la même hauteur, dans une zone non considérée par l'intervention (influence importante de l'hétérogénéité des matériaux) ;
- par mesure unique après le délai nécessaire à l'assèchement, en considérant des pourcentages d'humidité résiduelle de 3 à 5 % (en moyenne 4 %), comme valeurs acceptables pour la mise en place des nouvelles finitions (ne tient pas compte de l'état initial).

Cette technique de contrôle de l'efficacité d'un traitement est simple et peu coûteuse, mais ne peut par définition fournir des informations valables qu'après un délai suffisant et nécessaire à l'assèchement des maçonneries en question, c.à.d. au minimum quelques mois pour des maçonneries d'épaisseurs courantes (<32 cm) et dans des conditions hygrothermiques favorables.

Dans les cas où des informations plus rapides sont nécessaires, par exemple dans les semaines suivant un traitement par injection, les méthodes décrites ci-après peuvent être utilisées.

5.7.2 Mesures in situ au carbonate de rubidium

Les zones de contrôle seront définies de commun accord avec le demandeur et leur nombre dépendra de l'importance et de la difficulté de l'intervention, ainsi que de l'hétérogénéité des matériaux.

Une dizaine de centimètre au-dessus du niveau du sol, on effectue un forage à l'aide d'une mèche de 8 mm de diamètre et sur 4 cm de profondeur, à un endroit parfaitement localisé et débarrassé au préalable d'éventuels enduits ou finitions.

Après prélèvement de la poudre de forage et conditionnement dans un emballage hermétique, on injecte dans le trou 2 ml d'une solution aqueuse à 33 % de concentration en poids de carbonate de rubidium (Rb_2CO_3).

Après un délai minimum de 3 semaines on réalise des prélèvements complémentaires par forage au diamètre de 10 mm et sur 4 cm de profondeur dans l'axe du trou initialement injecté, de même que dans un axe vertical respectivement à 5, 10, 15, 20, 25 et 30cm au-dessus de ce forage de référence.

Tous les prélèvements sont récoltés et conditionnés rapidement dans des emballages hermétiques.

Les échantillons sont ensuite pesés en laboratoire (1/1000 g), séchés à l'étuve à 50 °C jusqu'à poids constant (écart inférieur à 2/1000 g entre deux pesées à 24 heures d'intervalle). Les teneurs en humidité sont calculées à partir de ces valeurs et exprimées en masse %. Elles permettent d'affiner l'interprétation des résultats d'analyses des teneurs en rubidium.

Pour le diagnostic direct de l'humidité ascensionnelle ou le contrôle de l'efficacité du traitement mis en place, la teneur en ion rubidium des échantillons est analysée après extraction du carbonate au moyen d'eau déminéralisée. Le dosage du Rb de l'extrait est effectué par spectrophotomètre d'émission atomique ou fluorescence X. Les teneurs en Rb sont exprimées en mg/kg de matière sèche en tenant compte du facteur de dilution lié à l'extraction.

Les résultats des mesures de Rb seront en général présentés sous forme d'histogramme avec en abscisse la situation des différents prélèvements par rapport à la référence et en ordonnée la teneur en Rb exprimée en mg/kg. L'interprétation des résultats tiendra compte des variations de concentrations en Rb à différents niveaux, de même que des concentrations existant à l'état naturel dans les briques et les mortiers.

5.7.3 Mesure en laboratoire de l'effet hydrophobe de masse

Cette technique, inspirée de la norme NBN B 05-201(1976), concerne de manière limitative, le contrôle de traitements par injection de produits à caractère hydrophobe.

Elle consiste à prélever, dans une zone de référence non traitée ainsi que dans la zone considérée par le traitement et au minimum 4 semaines après celui-ci, une série d'échantillons de maçonnerie. Ces éprouvettes sont séchées à l'étuve à 50° C jusqu'à masse constante (écart à 24 heures <0,1 %) à et soumises en laboratoire à un essai de capillarité et de taux de saturation sous vide.

Les résultats sous vide et par capillarité permettent de calculer un facteur relatif (e) pour chaque éprouvette :

$$e (\%) = (\text{absorption sous vide} - \text{absorption capillaire}) \times 100 / \text{absorption sous vide}$$

La comparaison entre les facteurs 'e' de l'éprouvette de référence (zone non traitée) et des éprouvettes prélevées dans les zones traitées permet de chiffrer l'efficacité hydrophobe (E) du traitement mis en œuvre.

$$E (\%) = (e_{\text{(épreuve de réf.)}} - e_{\text{(épreuve zone traitée)}}) \times 100 / e_{\text{(épreuve de réf.)}}$$

Remerciements

Nous tenons à remercier en priorité la Politique scientifique fédérale, pour l'aide à l'élaboration du programme et le soutien financier apporté dans le cadre de cette recherche.

De même, sont vivement remerciés pour leur participation active aux travaux du comité d'accompagnement :

Mmes	A. Calderone et M. Vancauwenberghe (Politique scientifique fédérale)
MM	E. Broeckx (Min. des Transports et de l'Équipement – Division Agrément & Spécification)
	R. Keppens (Rewah nv)
	M. Pien (Technichem sa)
	B. Vanden Houte (Th Goldschmidt nv)
	J. Wustenbergh (Institut Belge de Normalisation)

Références bibliographiques

1. Arendt C. (1993)
Praktischer Vergleich von Untersuchungsgeräten und -verfahren zur Feuchtemessung. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, volume 16, n°5, août 1993, et n°6, septembre 1993.
2. Arendt C. (1994)
Neue Erkenntnisse in der Mauerwerkstrockenlegung - Munich,**Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung. Bautenschutz und Bausanierung, volume 17, n°2, mars 1994.
3. Arendt C., Seele J. (1994)
Leider gibt es kein Allheilmittel. Cologne, Baugewerbe, n°10, mai 1994.
4. British Board of Agreement (1996)
The assessment of damp-proof course systems for existing buildings. Garston, Watford, BBA, Method of Assessment and Testing, n°39, 1988.
5. British Chemical Dampcourse Association (1996)
Methods of analysis for damp-proof course fluids. BCDA, TIC 4, 1986.
6. Bromm E. (1997)
Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit. Fribourg, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, n°4, 1997.
7. Building Research Establishment (1981)
Rising damp in walls: diagnosis and treatment. Garston, Watford, Digest 245, BRE, janvier 1981.
8. Centre scientifique et technique de la construction (1982)
Hydrofuges de surface. Choix et mise en œuvre. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°140, février 1982.
9. Centre scientifique et technique de la construction (1983)
Fondations de maisons. Guide pratique pour la conception et l'exécution des fondations de constructions petites et moyennes. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°147, juin 1983.
10. Centre scientifique et technique de la construction (1984)
Problèmes d'humidité dans les bâtiments. Causes des dégradations. Ponts thermiques. Climat intérieur. Données pour la conception et l'exécution des bâtiments. Conditions d'occupation des bâtiments. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°153, juin 1984.
11. Centre scientifique et technique de la construction (1990)
CSTC-Magazine, n°4, cahier n°4 1990
12. Centre scientifique et technique de la construction (1990)
Le traitement curatif du bois dans le bâtiment. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°180, juin 1990.
13. Centre scientifique et technique de la construction (1993)
La pose des menuiseries extérieures. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°188, juin 1993.
14. Centre scientifique et technique de la construction (1993)
Protection des constructions enterrées contre l'infiltration des eaux de surface. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°190, décembre 1993.
15. Centre scientifique et technique de la construction (1994)
La ventilation des habitations. 1ère partie : principes généraux. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°192, juin 1994.
16. Centre scientifique et technique de la construction (1997)
La ventilation des habitations. 2e partie : mise en œuvre et performances des systèmes de ventilation. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n°203, mars 1997.
17. Centre Scientifique et Technique de la Construction (1998)
L'humidité dans les constructions – Particularités de l'humidité ascensionnelle. Bruxelles,CSTC,Note d'information technique,n° 210, décembre 1998.
18. Demberger L. (1992)
Elektroosmose contra Elektrolyse. Cologne, Baugewerbe, n°1-2, 1992.

19. Dreyer J., Hecht C. (1998)
Ermittlung eines optimierten Paraffins zur Sanierung feuchtegeschädigter Bausubstanz. Fribourg, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 4, n°5, 1998.
20. Firket L., Van Den Bossche T. (1993)
L'humidité dans les bâtiments : causes et remèdes. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n°2, 1993.
21. Frössel F. (1998)
Mauerwerksanierung. Der Markt hat das letzte Wort. Geislingen, Stuck - Putz - Trockenbau, n°1, 1998.
22. Geudens P. (1993-1994)
Studie betreffende proefmethode en vergelijking van verschillende produkten ter bestrijding van optrekkend grondvocht. Malines, Katholieke Industriële Hogeschool, De Nayer, travail de fin d'étude B94/33, année académique 1993-1994.
23. Gratwick R. (1974)
Dampness in Buildings. Londres, Crosby Lockwood Staples, 2e édition, 1974.
24. Grün H., Heising W., Paul O. (1997)
Mauerwerksinjektion. Theorie und Praxis gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, n°7, octobre 1997.
25. Guillaume-Beduschi P. (1993)
Humidité au pied du mur. Bruxelles, Tu bâtis, je rénove, volume 12, n°80, juin 1993.
26. Hettmann D. (1993)
Erkenntnisse und Erfahrungen mit Mauerwerksinjektionen. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, volume 16, n°6, septembre 1993.
27. Honsinger D., Breitbach M. (1992)
Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtetem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 1. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, volume 15, n°6, septembre 1992.
28. Institut belge de normalisation (1976)
NBN B 05-201 Essais des matériaux de construction - Gélivité - Capacité d'imprégnation d'eau par capillarité. Bruxelles, IBN, 1976.
29. Institut belge de normalisation (1991)
NBN D 50-001 Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation. Bruxelles, IBN, 1991.
30. Knauer A. (1997)
Entfeuchtung. Neuer Schutz für alte Mauern. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, n°7, octobre 1997.
31. l'Anson S., Hoff W. (1988)
Chemical Injection Remedial Treatment for Rising Damp - I. The interaction of dampproofing fluids with porous building materials. Oxford, Building and Environment, volume 23, n°3, 1988.
32. l'Anson S., Hoff W. (1990)
Chemical Injection Remedial Treatment for Rising Damp - II. Calculation of Injection Times. Oxford, Building and Environment, volume 25, n°1, 1990.
33. Leenaerts J. (1996-1997)
Optimalisatie van een proefmethode voor vergelijkende testen van injectiemiddelen tegen optrekkend vocht. Malines, De Nayer Instituut, Hogeschool voor Wetenschap en Kunst, travail de fin d'étude, année académique 1996-1997.
34. Madra S., Wittmann F.H. (1975)
Quelques essais sur l'assèchement des murs. Chantiers/Suisse, volume 16, n°8, 1975.
35. Menicali U. (1991)
La barriera chimica orizzontale. L'iniezione che asciuga. Milan, Costruire, n°93, février 1991.
36. Morgenweck G. (1998)
Bausanierung - Sperrern mit Pfiff. Cologne, Baugewerbe, n°1-2, janvier 1998.

37. Niesel K. (1994)
Détermination de l'ascension capillaire de liquide dans des matériaux poreux de construction. Paris, Section française du Conseil international des monuments et des sites, Colloque : Les remontées d'eau du sol dans les maçonneries. Diagnostic, expériences de contrôle, mise en œuvre, 25 janvier 1994.
38. Österreichisches Normungsinstitut (1995)
Önorm B 3355-1 Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk. Bauwerksdiagnostik und Planungsgrundlagen. Vienne, Österreichisches Normungsinstitut, 1995.
39. Österreichisches Normungsinstitut, (1995)
Önorm B 3355-2 Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk. Massnahmen gegen aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk. Vienne, Österreichisches Normungsinstitut, 1995.
40. Pien A., Wagneur M. (1990)
Pénétration d'eau au travers de maçonneries de parement en blocs de béton. Bruxelles
41. Rechsteiner A., Wolfseher R. (1998)
Das Sägeschnittverfahren als Horizontalabdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit Sanierungsbeispiel Schulhaus Heinrich Bosshard. Fribourg, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 4, n°1, mars 1998.
42. Sneyers R., Meert E., Soubrier D., Van Ackere G. (1979)
Intensité de la pluie battante et pression du vent sur les façades. Calculs basés sur les mesures de la pluie et du vent à l'air libre. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n°2, 1979.
43. Les cahiers techniques du bâtiment (1996)
Supprimer les remontées d'humidité dans les murs de maçonnerie. Paris, Les cahiers techniques du bâtiment, n°173, septembre 1996.
44. Van Hees R. (1996)
Test methods for the evaluation of the in situ performance of water-repellent treatments. Fribourg, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 2, n°2, avril 1996.
45. Van Hees R., Koek J.
Bestrijding van optrekkend vocht in muren. Rotterdam, Stichting Bouwresearch, z.d.
46. Van Hees R., Koek J. (1995)
Treatment of rising damp, a laboratory evaluation method. Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments. Rome, ICCROM, Colloque international, juin 1995.
47. Wagneur M. (1992)
Murs enduits d'un mortier de plafonnage : problème d'humidité au pied du mur. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n°1, 1992.
48. Weber H. (1997)
Injektionsverfahren gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 3, n°5, octobre 1997.
49. Weber H. (1997)
Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk. Renningen, Expert Verlag GmbH, 2e édition, 1997
50. Winter K., Krus M., Künzel H.M. (1997)
Feuchtetransport in feinporigen Materialien. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 3, n°1, février 1997.
- 51 (1994) Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege Mauerwerksinjektion. Merkblatt, avril 1994.
52. Wittmann F.H. (1981)
Kann das Prinzip der Elektroosmose zur Trockenlegung von Mauerwerk angewendet werden? Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, n°4, 1981.
53. Wittmann F.H., Boekwijt W.O. (1982)
Grundlage und Anwendbarkeit der Elektroosmose zum Trocknen durchfeuchteten Mauerwerks. Berlin, Bauphysik, n°4, 1982.
54. Wittmann F.H., Madra S., Ferraris C (1984)
Versuche zur Mauertrocknung durch Elektroosmose. Bau, n°2, 1984.

55. Wittmann F.H.(1994)

Feuchtigkeitsaufnahme und Feuchtigkeitstransport in porösen Baustoffen. Renningen-Mahnesheim, H. Weber Herausgeber, Expert Verlag, Fassadenschutz und Bausanierung, 1994.

56. Wittmann F.H. (1994)

Le potentiel-zeta et le transport d'humidité dans les matériaux poreux. Paris, Section française du Conseil international des monuments et des sites, Colloque : Les remontées d'eau du sol dans les maçonneries. Diagnostic, expériences de contrôle, mise en œuvre, 25 janvier 1994.

57. Wittmann F.H. (1995)

Über unwirksame Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit. Fribourg, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 1, n°4, août 1995.

Publié en 2005 par la Politique scientifique fédérale

La responsabilité scientifique de ce rapport est assumée par les auteurs.

**POLITIQUE
SCIENTIFIQUE FEDERALE**

rue de la Science 8 ■ B-1000 BRUXELLES
Tél. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12
www.belspo.be

