

Références bibliographiques récentes et techniquement pertinentes dans le domaine du traitement de l'humidité ascensionnelle

De manière logique, un récapitulatif des éléments disponibles a été mené avant le début des travaux. Il se base sur le cumul d'une vingtaine d'années de recherche et du suivi de chantier dans le domaine particulier de l'humidité ascensionnelle et de son traitement au sein de nos laboratoires. Cette expérience assez unique des laboratoires du CSTC a permis de généraliser, en Belgique, l'usage de techniques d'injections performantes et d'être appelé, à l'étranger et à titre d'expert, lors de colloques ou dans le cadre de groupe de travail.

Chronologiquement, on peut résumer les principales actions CSTC dans ce domaine comme suit :

- 1976 – 1978 – 1980 : étude en laboratoire et in situ de l'efficacité des traitements contre l'humidité ascensionnelle (barrières mécaniques, diffusions, injections, électro-osmose, syphons atmosphériques,...); rapports janv 79 et déc.80 – conventions 2540 et 2962 "CSTC-IRSIA"
- 1983 – 1985 – 1987 : étude des principes d'action et de l'efficacité des produits d'injection contre l'humidité ascensionnelle (produits bouche-pores et/ou tensio-actifs); rapports janv.85 et fév. 87 – conventions 4080 et 4582 "CSTC-IRSIA"
- 1985 : publication de la Note d'Information Technique n° 162 du CSTC sur le sujet
- 1988 – 2001 : suivi d'un nombre très important (plusieurs centaines) de chantiers et dialogues avec les industriels en amont du secteur, dans le cadre de la guidance technologique en rénovation des bâtiments ;
- 1997 – 1999 : approche comparative des différents produits d'injection, en mettant l'accent sur les nouvelles tendances de produits plus écologiques ; rapport sept.99, n° CSTC 5239432.
- 1998 : publication de la Note d'Information Technique n° 210 sur l'humidité et le traitement de l'humidité ascensionnelle.

L'ensemble de ces travaux s'est basé sur le relevé systématique de la bibliographie publiée en la matière et sur des contacts permanents avec les entreprises spécialisées, les fabricants de produits, les bureaux d'études et d'architectes,...

Parmi les données bibliographiques examinées, les références les plus actuelles et les plus pertinentes scientifiquement sont reprises dans le relevé suivant.

Ce relevé est complété en annexe 2 par un examen plus détaillé des 5 articles faisant directement mention de campagnes d'essais en laboratoire.

Références bibliographiques

Arendt C.

Neue Erkenntnisse in der Mauerwerkstroekkenlegung ? Munich, Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung. Bautenschutz und Bausanierung, volume 17, n° 2, mars 1994.

Arendt C

Praktischer Vergleich von Untersuchungsgeräten und -verfahren zur Feuchtemessung. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, volume 16, n° 5, août 1993, et n° 6, septembre 1993.

British Board of Agreement
The assessment of damp-proof course systems for existing buildings. Garston, Watford, BBA, Method of Assessment and Testing, n° 39, 1988.

British Chemical Dampcourse Association
Methods of analysis for damp-proof course fluids. BCDA, TIC 4, 1986.

Bromm E.
Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit. Fribourg, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, n° 4, 1997.

Building Research Establishment
Rising damp in walls : diagnosis and treatment. Garston, Watford, Digest 245, BRE, janvier 1981.

Centre scientifique et technique de la construction
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.

Demberger L.
Elektroosmose contra Elektrolyse. Cologne, Baugewerbe, n° 1-2, 1992.

Dreyer J., Hecht C.
Ermittlung eines optimierten Paraffins zur Sanierung feuchtegeschädigter Bausubstanz. Fribourg, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 4, n° 5, 1998.

Firket L., Van Den Bossche T.
L'humidité dans les bâtiments : causes et remèdes. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n° 2, 1993.

Geudens P.
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.

Gratwick R.
Dampness in Buildings. Londres, Crosby Lockwood Staples, 2^e édition, 1974.

Grün H., Heising W., Paul O.
Mauerwerksinjektion. Theorie und Praxis gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, n° 7, octobre 1997.

Guillaume-Beduschi P.
Humidité au pied du mur. Bruxelles, Tu bâtis, je rénove, volume 12, n° 80, juin 1993.

Hettmann D.
Erkenntnisse und Erfahrungen mit Mauerwerksinjektionen. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, volume 16, n° 6, septembre 1993.

Honsinger D., Breitbach M.
Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtetem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 1. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, volume 15, n° 6, septembre 1992.

I'Anson S., Hoff W.
Chemical Injection Remedial Treatment for Rising Damp - I. The interaction of damp-proofing fluids with porous building materials. Oxford, Building and Environment, volume 23, n° 3, 1988.

I'Anson S., Hoff W.
Chemical Injection Remedial Treatment for Rising Damp - II. Calculation of Injection Times. Oxford, Building and Environment, volume 25, n° 1, 1990.

Institut belge de normalisation
NBN B 05-201 Essais des matériaux de construction - Gélivité - Capacité d'imprégnation d'eau par capillarité. Bruxelles, IBN, 1976.

Leenaerts J.
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.

Madra S., Wittmann F.H.
Quelques essais sur l'assèchement des murs. Chantiers/Suisse, volume 16, n° 8, 1975.

Menicali U.
La barriera chimica orizzontale. L'iniezione che asciuga. Milan, Costruire, n° 93, février 1991.

Morgenweck G.
Bausanierung - Sperren mit Pfiff. Cologne, Baugewerbe, n° 1-2, janvier 1998.

Niesel K.
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.

Österreichisches Normungsinstitut
Önorm B 3355-1 Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk. Bauwerksdiagnostik und Planungsgrundlagen. Vienne, Österreichisches Normungsinstitut, 1995.

Österreichisches Normungsinstitut
Önorm B 3355-2 Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk. Massnahmen gegen aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk. Vienne, Österreichisches Normungsinstitut, 1995.

...

Supprimer les remontées d'humidité dans les murs de maçonnerie. Paris, Les cahiers techniques du bâtiment, n° 173, septembre 1996.

Van Hees R., Koek J.
Bestrijding van optrekkend vocht in muren. Rotterdam, Stichting Bouwresearch, z.d.

Van Hees R., Koek J.

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.

Wagneur M.

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.

Weber H.

Injektionsverfahren gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 3, n° 5, octobre 1997.

Weber H.

Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk. Renningen, Expert Verlag GmbH, 2^e édition, 1997.

Winter K., Krus M., Künzel H.M.

Feuchtetransport in feinporigen Materialien. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, volume 3, n° 1, février 1997.

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege
Mauerwerksinjektion. Merkblatt, avril 1994.

Wittmann F.H.

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

Wittmann F.H.

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

Mao L and Kagi D

Method for Assessing Liquids for the Remedial Treatment of Rising Damp. ICCROM International Colloquium Rome 1995, ICCROM preprints

Mamillan M., Bouineau A, Goursat F.

Etude des moyens de lutte contre les remontées d'eau (procédés par injection) Marché 80-61-406, Ministère de l'Urbanisme et du Logement , St Rémy 1983

...

Methods of Analysis for Damp-Proof Course Fluids

British Chemical Dampcourse Association - , Technical Information TIC 4 - 1986

Remarques

L'examen de la bibliographie souligne le caractère souvent très ponctuel des recherches menées à l'étranger et le fait que les différents laboratoires ayant testé des produits et traitements restent confrontés à des problèmes importants de représentativité et de reproductibilité des résultats.

Les principales difficultés rencontrées dans les procédures d'essais sont liées : à l'alcalinité inévitable des mortiers hydrauliques (mortier de ciment, à la chaux ou bâtard), à la représentativité des paramètres d'essais en laboratoire par rapport aux conditions de chantier et en particulier l'humidité des matériaux lors de l'application des produits et les quantités de produits de traitement mises en œuvre. Concernant ce dernier point, deux tendances s'opposent :

- la première consiste à laisser toute liberté aux entreprises lors de l'application de leur procédé, le rôle du laboratoire se limitant au contrôle des paramètres de mise en œuvre. On évoque dans ce cas le parallélisme entre la procédure et la réalité, en oubliant les risques de dérives lorsque les firmes travaillent en excès afin de favoriser les résultats de laboratoire ;
- la seconde consiste à définir, au niveau du laboratoire, des paramètres d'application standardisés facilitant d'éventuelles comparaisons de l'efficacité des procédés et/ou produits. Dans ce cas, on risque très rapidement de s'écarter des paramètres d'application de chantier et de se trouver à la limite dans des conditions d'essais incompatibles avec certains systèmes.

Globalement, la première tendance se retrouve lors de campagnes d'essais visant des systèmes différents ; la seconde étant préférée lors de tests visant des détails d'application (par ex. étude des produits).

Gedetailleerd onderzoek van laboratoriumproeven

In de lijst van bibliografische referenties in appendix 1 vindt men vijf artikels die een beschrijving geven van laboratoriumproeven op injectieprodukten. Deze artikels werden onderzocht en de verschillende experimentele parameters zijn samengevat onder punt 6.

1- Mamillan M., Bouineau A, Goursat F.

Etude des moyens de lutte contre les remontées d'eau (procédés par injection)

Marché 80-61-406, Ministère de l'Urbanisme et du Logement , St Rémy 1983

Proefmonsters:

Testmuurtjes, opgebouwd uit blokken zachte kalksteen (250x250x450 mm³) of baksteen (60x105x220 mm³).

Materialen:

- Zachte kalksteen: Bonneuil, Vassins banc Royal Fin, Saint-Maximin demi-dure
- Tien baksteensoorten
- Mortels op basis van hydraulische kalk of cement

Materiaalkarakterisatie:

- Porositeit
- Schijnbare volumemassa
- Capillaire absorptie

Afmetingen

- natuurstenen muurtjes: 1 m hoog, 1,35 m breed en 0,25 m dik
- bakstenen muurtjes: 0,70 m hoog, 1,35 m breed en 0,25 m dik

Bovendien worden uit de natuurstenen muurtjes nadien blokken van 150x250x250 mm³ gezaagd om extra proeven uit te voeren. Deze blokken komen uit de eerste laag (behandeld) en de tweede laag (onbehandeld).

Voorbehandeling: capillaire absorptie

Applicatie van produkten: door injectie onder lage of hoge druk (afhankelijk van de richtlijnen van de fabrikant).

Metingen

Op de muurtjes: Plaatsing van de muurtjes in een waterbad. In functie van de tijd en van de hoogte in het muurtje wordt de capillaire absorptie gemeten door monsters van materiaalpoeder te nemen, te wegen voor en na droging (bij 80°C) om zo het vochtgehalte te bepalen.

Op de nadien gezaagde blokken worden capillaire absorptietesten uitgevoerd: zowel voor als na droging (bij 30°C) van de blokken: een lage absorptie voor en na droging duidt op een effectieve vochtblokkering.

De efficiëntie van het behandelingsprodukt wordt uitgedrukt als het percentage capillaire absorptie in een behandeld blok ten opzichte van de capillaire absorptie in een onbehandeld blok (watergehalte na 72 uur capillaire absorptie).

2- Van Hees R., Koek J.

Treatment of rising damp, a laboratory evaluation method. Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments. Rome, ICCROM, Internationaal Colloquium, juni 1995.

Twee methodes worden gehanteerd: de indicatieve methode en de testen op testmuurtjes

Indicatieve methode

Proefmonsters

Twee bakstenen worden aan elkaar bevestigd met behulp van epoxy. Het alzo bekomen blok heeft afmetingen van 100x100x200 mm³. In de vierkante bovenzijde wordt een gat met diameter 25 mm geboord tot een diepte van 105 mm. De vier zijden worden bedekt met een zand-cement mortel van 10 mm dik (om uitlekken van produkt te voorkomen). De onderzijde wordt gecoat met epoxy.

Voorbehandeling

Met water of een zoutoplossing (3 gewichtsprocent zout: 50% Na₂SO₄, 20% NaCl, 20% Na₂CO₃, 10% KNO₃).

Applicatie van produkten

- gieten (eenmaal, tot het gat volledig gevuld is)
- de gebruikelijke methode voor het produkt in kwestie (dus onder hydrostatische of hogere druk). Applicatie stopt wanneer het produkt zijdelings uit het monster loopt.

Na applicatie, stockage voor een maand in 20 °C/ 65 %RV.

Metingen

Diagonaal doorzagen van de monsters, één helft dient als referentie. Het effect wordt geëvalueerd aan de hand van de hoeveelheid geabsorbeerd water na 24 uur.

Testmuurtjes

Proefmonsters

Muurtjes uit baksteenmetselwerk met een afmeting van 200x200x800 mm³ (8 lagen metselwerk). Twee zijkanten en bovenkant verzegeld. Bedekking met een zand-cementmortel ter hoogte van de injectiegaten om weglekken van produkt tegen te gaan.

Voorbehandeling

Voorbevochtiging met een zoutoplossing (cfr. Supra). Capillaire absorptie via de zijkant van de muurtjes (20 mm ondergedompeld). Na 8 uur wordt er verder zoutoplossing geabsorbeerd gedurende 16 uur aan de andere kant van het muurtje.

Applicatie van produkten

In de derde laag bakstenen op de manier voorgeschreven door de fabrikant.

Metingen

Na een dag worden de muurtjes geplaatst in 20 mm water (geen zoutoplossing?). De hoeveelheid water, geabsorbeerd door de muurtjes, wordt gemeten via de hoeveelheid water die dient toegevoegd te worden om het waterniveau in de bak constant te houden.

Het vochtgehalte van de muurtjes wordt gemeten door boringen na drie, zes en twaalf maanden:

- bepaling van het vochtgehalte van het boorpoeder door weging voor en na droging.
- vervolgens bepaling van de hygroscopische vochtinhoud bij 93 %RV van hetzelfde boorpoeder.

Evaluatie

Als de vochtinhoud van het poeder groter is dan zijn hygroscopische vochtinhoud bij 93% RV, dan is er sprake van opstijgend grondvocht.

Criteria

Waterabsorptie van een behandelde t.o.v. een onbehandelde muur.

- > 60 % slecht
- 40-60 % redelijk
- 25-40 % goed
- < 25 % zeer goed

3- British Board of Agrément

The assessment of damp-proof course systems for existing buildings. Garston, Watford, BBA, Method of Assessment and Testing, n° 39, 1988.

Methode 1

Proefmonsters

Testmuurtjes uit 8 lagen baksteenmetselwerk (precieze aanduiding van de steensoort en mortelsamenstelling)

Voorbehandeling

Gedurende een maand plaatsen in gedistilleerd water.

Applicatie van produkten

Toepassing van de produkten in de tweede baksteenlaag of de mortellaag er net boven.

Metingen

Gedurende 3 à 4 maanden boringen in elke baksteen- en mortellaag. Uit weging van het boorpoeder voor en na droging ervan wordt het vochtgehalte in functie van de hoogte in het testmuurtje bepaald.

Een andere mogelijkheid voor deze muurtjes is om ze buiten op te stellen op een betonnen sokkel. Ze worden beschermd voor de regen, en opstijgend grondvocht wordt veroorzaakt door voortdurende irrigatie van de grond.

Methode 2

Proefmonsters

Een baksteenmetselwerk sokkel draagt een blok Weldon kalksteen (of een andere poreuze kalksteen) van 250x100x100 mm³. Tussen de sokkel en de kalksteen is een laag katoen aangebracht.

Voorbehandeling

Onderdompeling van de sokkel in 50 mm gedistilleerd water, tot het kalksteenblok een constante massa bereikt.

Applicatie van produkten

Na wegnemen van het kalksteenblok kan de sokkel geïnjecteerd worden. Na 2 dagen wordt het kalksteenblok teruggeplaatst.

Metingen

Dagelijks meting van het gewicht van het kalksteenblok, en zodoende bepaling van het vochtgehalte.

Evaluatie

Vergelijking van het vochtgehalte in functie van de tijd voor:

- referentiesysteem (niet behandeld)
- te testen systeem
- systeem met ondoorlatend membraan

4- Mao L and Kagi D

**Method for Assessing Liquids for the Remedial Treatment of Rising Damp.
ICCROM Internationaal Colloquium Rome 1995, ICCROM preprints**

Metingen op baksteen

Proefmonsters

Oude bakstenen die in vier worden gezaagd om monsters met identieke absorptieëigenschappen te bekomen.

Mortelmonsters (115x80x30 mm³), betaande uit zand, kalksteenpoeder, cement (1,5 massa%), water. Hieraan wordt ongeveer 1,5% CaH₄(PO₄)₂ toegevoegd om de pH van volledig gecarbonateerde mortel te benaderen.

Voorbehandeling

Een aantal van de baksteen- en mortelmonsters worden voorbevochtigd met gedistilleerd water tot een verzadiging van 25% of 50%, daarnaast worden een aantal monsters volledig droog gehouden.

Applicatie van produkten

Applicatie door capillaire absorptie: plaatsing van de monsters in een petrischaal met 25 g produkt. Van zodra een produkt volledig geabsorbeerd is door een monster wordt de absorptie door de andere monsters eveneens stopgezet.

Metingen

Proefstukken een aantal dagen op een natte spons plaatsen met het behandelde oppervlak bovenaan. Ook de waterabsorptiekenmerken van het behandelde oppervlak worden beschouwd.

Evaluatie

Het produkt wordt geëvalueerd aan de hand van de penetratiediepte en het drooggedrag van de monsters (visuele inspectie).

Criteria

Aan de hand van de oppervlaktekenmerken

Oppervlak wordt niet nat:	Zeer goed
Licht nat worden van het oppervlak:	Goed
Nat worden van het oppervlak:	Redelijk
Waterdruppel gedeeltelijk geabsorbeerd:	Slecht
Geen waterdruppels gevormd of geabsorbeerd binnen 5 minuten:	Geen effect

**5- Honsinger D., Breitbach M.
Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtetem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 1. Cologne, Bautenschutz und Bausanierung, volume 15, n° 6, september 1992.**

Proefmonsters

Materialen: baksteen, mortel, kunstmatige kalkzandsteen, natuursteen

Afmetingen:

- 50x50x300 mm³
- 50x100x100 mm³

Voorbehandeling

Bewaren onder 23°C/50% RV of 20°C/92%RV
Of bewaren in gedistilleerd water of een 5% KNO₃-oplossing

Applicatie van het produkt

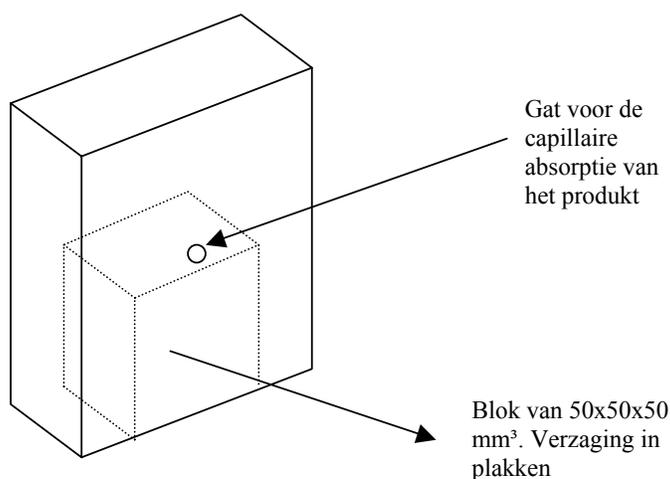
Steeds in omstandigheden 23°C/50%RV

De monsters van 50x50x300mm³ worden gedurende 20 minuten geïnjecteerd onder een druk van 5 bar in de kleine vierkante zijde.

De monsters van 50x100x100 mm³ worden behandeld door capillair zuigen gedurende twee dagen door een buisje geplaatst in het midden van de vierkantszijde (100x100 mm²).

Evaluatie

Dit gebeurt door de bepaling van het indringprofiel van het produkt. De monsters van 50x50x300 mm³ worden verzaagd in plakken van 50x50 mm². Hierna wordt iedere plak wordt gewogen en aldus wordt de hoeveelheid ingedrongen produkt wordt bepaald. Voor de monsters van 50x100x100 mm² is de procedure iets ingewikkelder. Uit het behandelde monster zaagt men een kleiner blok (zie figuur), dat op zijn beurt verzaagd wordt in plakken. Uit het gewicht van deze plakken bepaalt men de hoeveelheid ingedrongen produkt.



6- Samenvatting

Proefmonsters

Meestal worden er proefmuurtjes geconstrueerd. De testmuurtjes hebben meestal behoorlijk grote afmetingen zodat ze nooit door een enkel persoon gemanipuleerd kunnen worden. Slechts in één geval worden de zijkanten van de testmuurtjes verzegeld om de praktijksituatie te imiteren (namelijk het geval van een hoge en brede muur).

Een speciaal geval in de categorie testmuurtjes is de proefopstelling waar het gedeelte van de muur boven de behandelde zone losstaat van het onderste gedeelte van de muur. Op deze manier is het heel eenvoudig na te gaan in hoeverre het testmuurtje droogt, aangezien dit stuk van de muur gemakkelijk te wegen is. Een nadeel is evenwel dat deze methode niet extrapoleerbaar is naar de evaluatie van behandelingen *in situ*.

Het type monsters gebruikt in kleinschalige metingen is heel divers. In een geval wordt duidelijk aangegeven dat de metingen op kleinere monsters eerder indicatief zijn.

Materialen: typisch zijn bouwmaterialen die poreus zijn en zodoende last kunnen hebben van opstijgend grondvocht. In de beschouwde testmethodes beperkt men zich steeds tot baksteen of tot poreuze kalksteen.

In een geval wordt aan de alkalinitet van de mortel bijzondere aandacht besteed. De lagere pH van gecarbonateerde mortels wordt bereikt door toevoeging van een zuur aan de mortel.

Voorbehandeling

De monsters worden voor de toepassing van het produkt voorbevochtigd. Dit gebeurt in een enkel geval door de monsters te bewaren in een omgeving met een hoge relatieve vochtigheid. Slechts in één geval wordt er een eis gesteld aan het precieze vochtgehalte van een monster (0%, 25% of 50%).

Meestal worden de monsters voorbevochtigd door plaatsing in een container met water of een zoutoplossing, waardoor de monsters kunnen bevochtigd worden zoals in werkelijkheid, namelijk door capillaire absorptie.

De vloeistof waarmee de voorbevochtiging gebeurt is ofwel gedistilleerd water, ofwel een zoutoplossing (3 à 5 %) met zeer hygroscopische natrium- en kaliumzouten.

Applicatie van het produkt

In het geval van testmuurtjes gebruikt men steeds de richtlijnen van de fabrikant. Bovendien wordt geïnjecteerd zoals in de praktijk voorkomt, dit wil zeggen dat er geïnjecteerd wordt tot het produkt zijdelings begint weg te lekken.

Bij de kleinere proefmonsters kunnen deze richtlijnen ook gevolgd worden. Dikwijls ziet men een keuze voor een bepaalde injectieduur en –druk. Ook wordt gewone capillaire absorptie als methode gebruikt, weer gedurende een vastgestelde tijd.

Metingen en evaluatie

Sommige metingen richten zich op de indringdiepte van het produkt.

Meestal richten de metingen zich echter op de hoeveelheid water die geabsorbeerd wordt door de monsters. Dit kan bepaald worden door na te gaan hoeveel water er moet bijgevoerd worden in de containers waarin de monsters zich bevinden (om een van tevoren vastgesteld waterpeil te bereiken). Een andere mogelijkheid is de bepaling van het vochtgehalte in de monsters. Dit gebeurt door weging van het gehele monster, of door een boring waarna het vochtgehalte van het boorpoeder wordt bekeken.

In één geval maakt men een onderscheid tussen enerzijds het werkelijke vochtgehalte van het monster en anderzijds het hygroscopische vochtgehalte van het monster, aangezien de hoeveelheid aanwezig hygroscopisch vocht zegt immers niets over de efficiëntie van de barrière tegen opstijgend grondvocht.

Meestal vergelijkt men de resultaten van een systeem met het gedrag van onbehandelde proefmonsters, of ook wel met het gedrag van een volledig ondoordringbare barrière (membraan)

Criteria

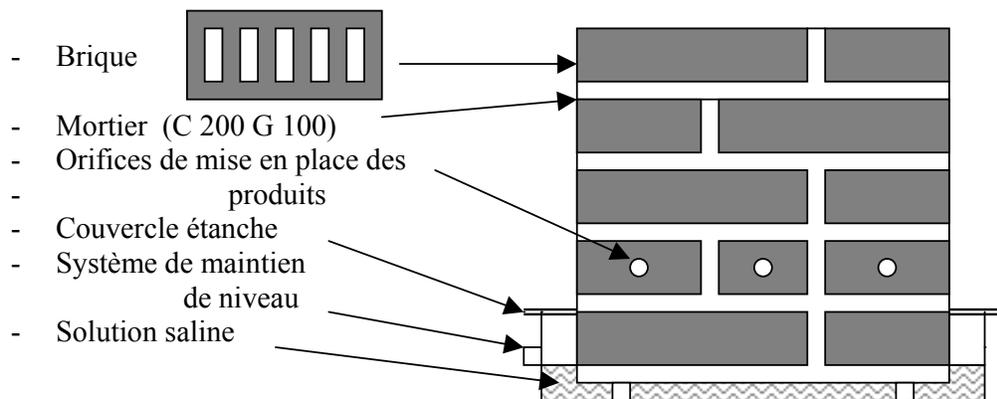
De voorhanden zijnde criteria richten zich op de vochtabsorptiekenmerken van de monsters. Men kan deze vergelijken met de kenmerken van onbehandelde monsters. Ook mogelijk is om het onmiddellijke gedrag van druppels op het oppervlak te beschouwen.

PREMIÈRE SÉRIE D'ESSAIS SUR MURETS

1.- Préambule

Cette première série d'essais est en grande partie basée sur les enseignements d'une précédente recherche menée de 1997 à 1999 dans le cadre de l'étude générale des techniques de restauration des bâtiments. Cette étude avait permis d'approcher de manière relativement globale l'efficacité potentielle d'une série de formulations utilisables en injection contre l'humidité ascensionnelle.

Le poste d'essai, schématisé en fig.1, ci-après, était inspiré des essais menés en Grande Bretagne (British Board of Agreement).



Le principe de contrôle de l'efficacité des traitements, d'une procédure néerlandaise du TNO.

L'application des produits s'est réalisée par nos soins de manière particulièrement homogène afin d'améliorer la reproductibilité des essais. De même, les quantités mises en œuvre, préalablement définies sur base d'essais d'orientation, ont été très faibles (2 litres par équivalent mètre carré de section traitée) de manière à permettre une meilleure approche comparative de l'efficacité des traitements.

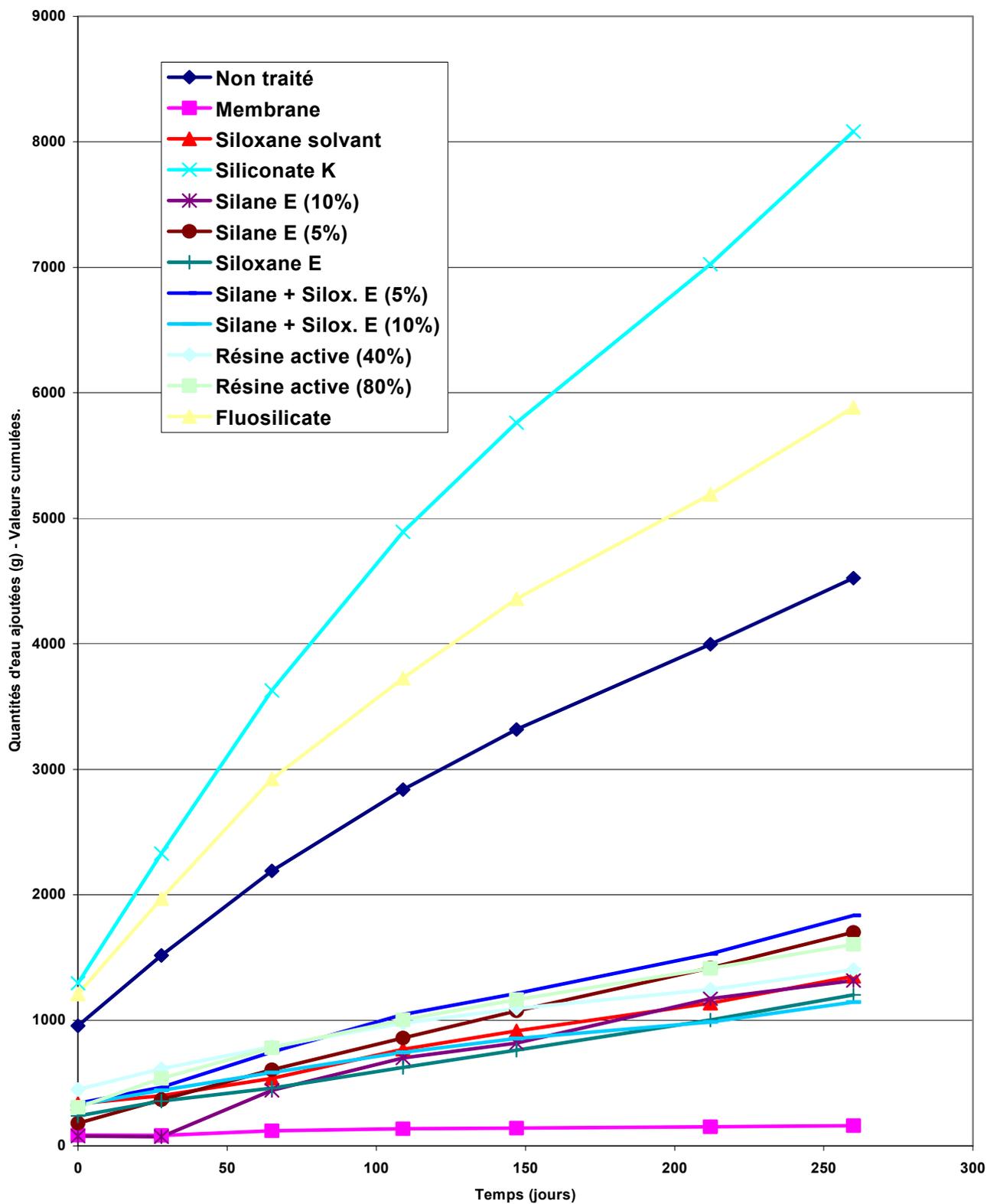
Environ 6 mois après leur construction, les murets ont été mis en contact durant 120 jours avec une solution saline à 3 % d'un mélange de sulfate, chlorure et nitrate. Après ce délai nécessaire à l'humidification complète des murets, ceux-ci ont été retirés des bacs d'essai et conditionnés 3 jours en ambiance de 20°C et 50 % HR, avant mise en place des produits de traitement. Vingt quatre heures l'application des produits, les murets ont été replacés dans les bacs d'humidification.

Les résultats des essais se retrouvent au graphique 1 en page suivante, qui reprend les quantités d'eau ajoutées dans les bacs d'essais en fonction du temps (en jour) après l'application des produits. Signalons que l'efficacité des traitements est inversement proportionnelle aux quantités d'eau ajoutées et destinées à compenser l'évaporation liée en grande partie au transfert de l'eau aux travers des zones traitées.

Ces essais ont mis en évidence :

- la bonne efficacité potentielle de l'ensemble des formulations à base de silanes et/ou de siloxanes en phases solvants ou en phases aqueuses. La précision des résultats n'a toutefois pas permis de classer ces différentes formulations par ordre d'efficacité, ni de pouvoir faire une distinction nette

Graphique 1 : Restauration des maçonneries - Traitement de l'humidité ascensionnelle - produits d'injection



entre les performances de solutions semblables à 5 % et à 10 % de matières actives ;

- le fait que pour l'ensemble de ces formulations performantes, on constate une légère évaporation de l'eau des bacs d'essai (par rapport au muret de référence traité à l'aide d'une membrane). Apparemment cette évaporation ne devrait pas être liée à une efficacité moindre des produits d'injection par
- rapport à la pose d'une membrane, mais au fait que les zones traitées par les produits restent perméables à la diffusion de vapeur d'eau ;
- l'inefficacité totale, dans les conditions d'essai, des solutions de type silicates et fluosilicates pourtant commercialisée pour cet usage !

Les enseignements très encourageants de ces essais ont, de plus, confirmé l'expérience pratique de plusieurs années de suivi de chantiers et ont incité à se baser sur cette procédure pour cette première série d'essai sur murets.

2.- Première série d'essais sur murets

2.1. But

Sur base des résultats des essais définis ci-avant, l'objectif principal de cette première série d'essais vise à s'assurer de la répétitivité des résultats obtenus et à tenter d'affiner la procédure et les paramètres afin de pouvoir chiffrer précisément les effets des produits et permettre une comparaison de leur efficacité.

2.2. Paramètres d'essais

- Murets

La géométrie des murets est comparable à celle reprise en fig. 1, mais la hauteur a été dans le cas présent réduite de 5 à 3 tas de briques (≈ 200 mm de hauteur) afin de favoriser dans la mesure du possible les phénomènes d'évaporation au-dessus de la zone injectée, réduire les temps d'équilibre et affiner la précision des mesures.

Les briques utilisées pour la construction des murets sont de type étiré et présentent 5 perforations. Leur masse volumique est de 2050 kg/m^3 , leur porosité de 22 % en volume et l'absorption d'eau de 11 %. Les teneurs en ions des briques sont voisines de 0.02 % de Ca, 0.003 % de Na, 0.004 % de K, 0.0008 % de Mg et 0.05 de SO_4^- .

Le mortier de pose et de jointoiment est élaboré à partir de 200 kg de ciment (CEM I) et 100 kg de chaux hydratée (chaux aérienne) par mètre cube de sable rude de carrière (module de finesse de 1.4).

- Conditionnement des murets

Après un délai de 6 mois, nécessaire au durcissement complet du mortier et à sa carbonatation partielle, l'ensemble des murets retenus pour les essais a été placé dans les bacs d'humidification, en contact sur 4 cm de hauteur avec une solution saline.

Cette solution contient 3 % d'un mélange de Na_2SO_4 (62.5 %), NaCl (25 %) et KNO_3 (12.5 %).

Dans l'optique d'éliminer l'influence des paramètres parasites liés à l'inévitable hétérogénéité des matériaux (briques et mortier), tous les murets ont fait l'objet d'une procédure de mesure d'évaporation complète durant 120 jours, avant et après les traitements.

- Formulations testées

Différentes formulations représentatives des produits utilisés en pratique ont été retenues, en mettant l'accent sur les produits à base de solvants peu toxiques ou encore

de produits sans solvants. Les principales caractéristiques de ces solutions sont reprises au tableau ci-après.

Pour information, les produits ont également fait l'objet d'analyses par techniques séparatives (Gas Chromatography (GC) et Gel Permeation Chromatography (GPC)) et par techniques d'identification (Spectrométrie en Masse (MS), Résonance Magnétique Nucléaire (NMR), Fluorescence X et Spectrométrie Infrarouge (IR)).

Produits retenus pour les essais

Référence	Matières actives	% matières sèches	Dilution/solvant
7/1	Silanes, siloxanes, silicones, stéarate Al	27	isoparafines
7/2	Silanes, siloxanes, silicones	8	aliphatiques*
7/3	Prépolymères à base de résines végétales	45	sans
7/4	Silanes, siloxanes	4	eau
7/5	Prépolymère dipropylène-méthyl siloxane.	18	eau
4/1	Oligomère siloxane	11	Aliphatique*
4/2	Oligomère à hauts poids moléculaires	9	isoparafines
4/3	Résines polysiloxaniques	3	eau
4/4	Microémulsion silane-siloxane (2 comp.)	5	eau

- Application des produits

Après identification de la courbe d'évaporation initiale (avant traitement), les produits ont été appliqués de manière homogène dans les différentes cavités des briques, à raison de 8 ml par cavité, soit 5 X 8 ml par forage, soit 3 X 40 ml par muret, soit encore 2 litres par équivalent mètre carré de section traitée.

Cette application des produits n'a pas été précédée d'un démontage des postes d'essais et d'un conditionnement des murs en ambiance laboratoire (comme dans les essais repris en préambule), mais a été menée sur des murs en contact permanent avec la solution d'humidification.

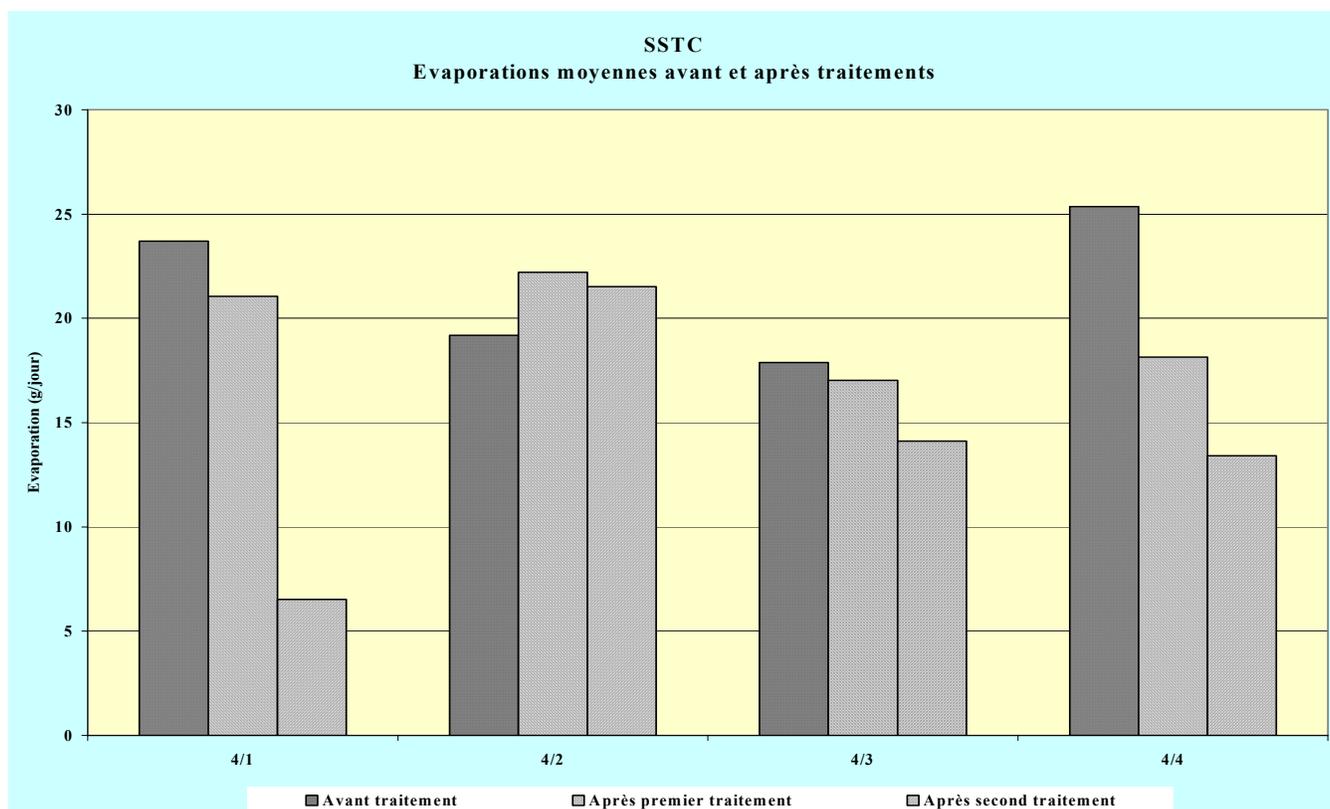
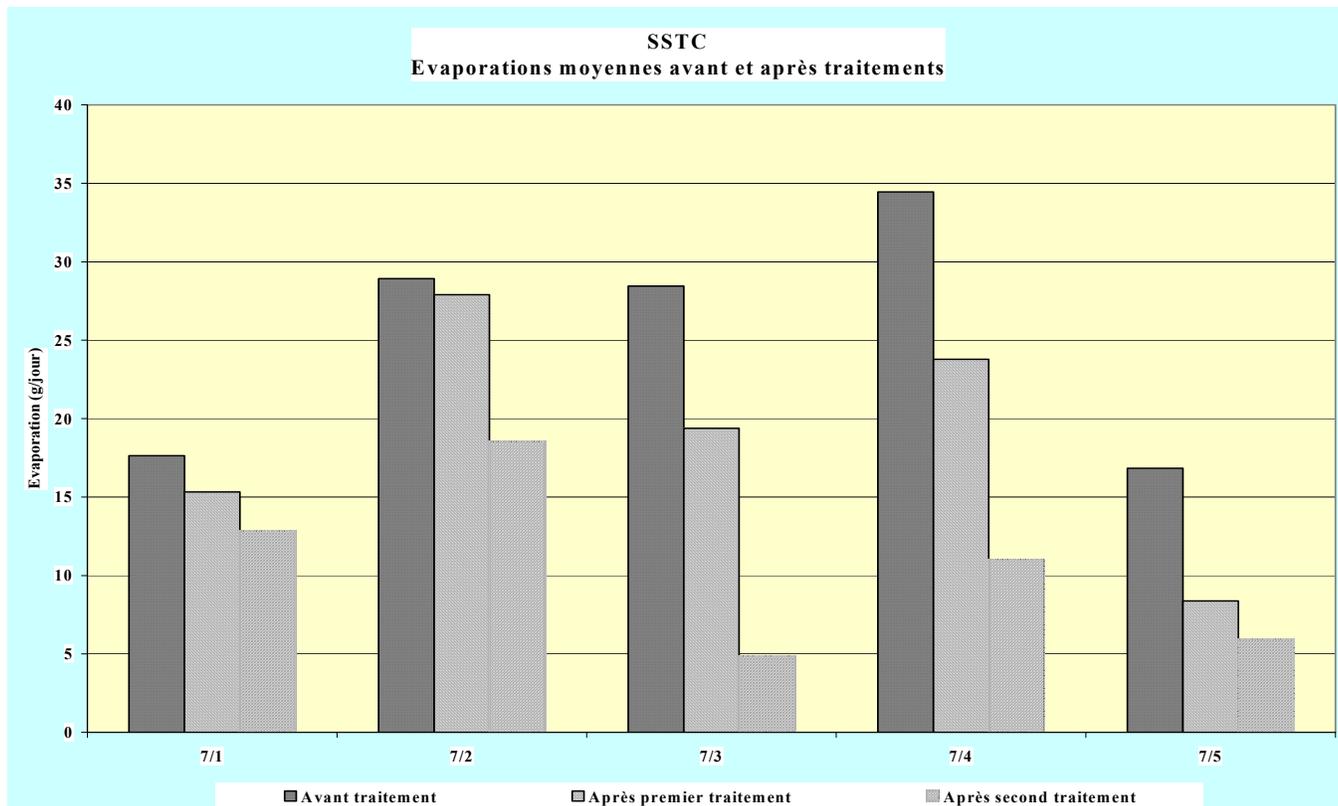
Il est à noter que les résultats relativement mitigés obtenus après cette première application (voir graphiques 2 et 3, premières et secondes colonnes) ont motivé, en accord avec le groupe de travail, la mise en place d'un second traitement complémentaire visant à augmenter les quantités appliquées, qui passent de 2 l/m² à 2 + 7 l/m² de section des murs. Les mesures d'évaporation après ce second traitement sont reprises dans les graphiques précités en troisièmes colonnes.

2.3. Mesures des taux d'évaporation

Les potentialités d'évaporation avant et après les traitements, ont été suivies sur les mêmes murets durant 120 jours, par la mesure régulière des quantités d'eau nécessaires à maintenir les niveaux constants dans les bacs d'essai. Pour rappel, cette mesure, inspirée d'une procédure néerlandaise du TNO, permet d'obtenir très rapidement une idée de la performance des barrières contre l'humidité ascensionnelle créées par les produits mis en place.

Les deux graphiques en pages ci-après résument, pour chaque formulation testée, les valeurs moyennes des évaporations mesurées (quantités d'eau ajoutées) ; respectivement avant traitement, après la première mise en place de produit à raison de 2 l/m² de section et après la seconde mise en place de 7 l/m² de produit complémentaire (soit un total de 9 l/m²).

Graphique 2 et 3 : Produits de traitement de l'humidité ascensionnelle – première série d'essais



3.- Essais de migration des produits dans les mortiers

En parallèle aux essais sur murets, les différentes formulations ont été mises en place dans des cavités forcées dans des éprouvettes de mortier de même type (C200G100) que celui utilisé pour la construction des murs.

Après fabrication et période de conditionnement de 24 semaines en laboratoire (20 °C, 50 % HR), deux séries d'éprouvettes de dimensions 40 X 40 X 160 mm², ont été utilisées.

Les produits ont été mis en place à raison de 8 ml par éprouvette respectivement dans des éprouvettes sèches (conditionnées en ambiance laboratoire) et dans des éprouvettes préalablement saturées en eau par capillarité.

Une semaine après l'application des produits (délais de migration et de réaction des produits), les éprouvettes ont été sciées longitudinalement dans l'axe des forages.

Les volumes concernés par les traitements ont été mis en évidence par humidification des éprouvettes et les mesures reprises au tableau ci-après.

Potentialités de migration des produits dans les mortiers

Réf.	Migration dans les mortiers secs			Migration dans les mortiers humides		
	Hauteur (mm)	Ø moyen	cm ³ traités	Hauteur (mm)	Ø moyen	cm ³ traités
7/1	60	16	8	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)
7/2	64	21	18	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)
7/3	55	19	12	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)
7/4	60	26	28	58	30	37
7/5	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)
4/1	65	30	42	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)
4/2	60	25	25	Diffus(*)	Diffus(*)	Diffus(*)
4/3	60	20	15	60	19	13
4/4	60	25	25	55	15	6

(*) pas d'effet hydrophobe sensible

Les mesures et constatations mettent en évidence :

- pour la mise en place des produits dans des éprouvettes de mortier sec et sauf pour le produit 7/5, une bonne efficacité des traitements qui peuvent toutefois présenter des potentialités de diffusion variant d'un facteur 1 à 5. Le fait de ne pouvoir identifier la migration du produit 7/5, de type bouche-pores est logique compte tenu qu'il réduit les migrations d'eau sans offrir d'effet hydrophobe sensible ;
- pour la mise en place des produits dans des éprouvettes de mortier saturé en eau par capillarité, une efficacité en général restreinte des produits, qui se traduit principalement par un effet hydrophobe peu significatif pour toutes les solutions à base de solvant (effet diffus). Ces mesures confirment en partie l'efficacité restreinte obtenue lors des essais sur les murets qui, pour rappel, présentaient dans la zone de traitement une quasi-saturation en eau au moment de l'application des produits.

4.- Remarques

Par rapport aux essais semblables menés dans le cadre de l'étude "97-99", cette première série d'essais montre des résultats anormalement faibles. En examinant les quelques modifications apportées à la procédure initiale et susceptibles d'expliquer les écarts observés, on peut relever :

- des formulations différentes, mais qui pour la plupart d'entre-elles devraient offrir des performances comparables ;
- la réduction du volume des murets d'essai, réduits d'une hauteur de 5 tas de briques à 3 tas. Cette modification ne devrait toutefois pas jouer un rôle sensible sur la répartition des produits, ni sur leurs potentialités de diffusion ou de réaction ;
- la mise en place dans des matériaux plus humides. En effet, lors de l'étude précédente, les murets étaient extraits des récipients d'humidification et conditionnés 3 jours à 20 °C et 50 % d'humidité relative avant l'application des produits. Les applications actuelles de produit se réalisent dans les murs maintenus en humidification, c.à.d. sans phase préalable d'assèchement. Notons également que les essais menés en parallèle sur des éprouvettes "sèches" et "humides" de mortier tendent à confirmer cette explication, c.à.d. que l'effet hydrophobe est nettement plus diffus lorsque l'on a affaire à des éprouvettes fortement humides lors de l'application des produits. Cette influence de l'humidité initiale des éprouvettes apparaît donc comme la plus probable et doit mener à une campagne d'essais complémentaires ;

Suite à la première application des produits, les quantités très faibles injectées avaient également été soupçonnées, ce qui avait justifié une seconde application avec des quantités totales se rapprochant de la réalité de chantier. Si les résultats sont en général meilleurs, ils ne permettent pas de retrouver l'efficacité obtenue lors de l'étude "97-99" sur des produits semblables.

5. Poursuite des essais

Dans les conditions d'essai précitées, l'efficacité systématiquement insuffisante constatée incite à mener des essais complémentaires en ce qui concerne :

- l'influence de l'humidité des supports sur les potentialités de migration des produits en phases aqueuses et à base de solvants ;
- les effets de l'alcalinité des matériaux sur la réaction (polymérisation et/ou dépôts), c.à.d. sur l'efficacité des traitements ;
- la recherche de matériaux d'essai aussi homogènes que possible afin de réduire l'impact de l'hétérogénéité sur les résultats d'essai.

PREMIERE CAMPAGNE D'ESSAI SUR LES MATÉRIAUX

1. Objectifs

Suite à l'efficacité systématiquement insuffisante des traitements constatée lors des essais sur murets (annexe 3) et aux discussions en comité d'accompagnement, il a été décidé d'examiner l'influence de l'humidité initiale des matériaux (brique et mortier) sur les potentialités de migration et de réaction des différentes formulations commercialisées et des différents solvants utilisés pour le traitement de l'humidité ascensionnelle.

2. Paramètres d'essai

Produits :

- siloxane solvant : 2 types de solvants (white désaromatisé D40, isoparaffinique), 2 concentrations (10 et 3 %)
- émulsion siloxane : 1 type, 1 concentration (7 %)
- méthylsiliconate de potassium, 1 concentration (14 %)
- produit bouche-pores : 1 type, à 100 %
- référence non traitée

Matériaux supports :

- 2 supports standardisés (brique et mortier) retenus sur base des résultats d'essais menés au CSTC et à l'IRPA.
- l'absorption capillaire de chaque éprouvette est caractérisée initialement et les résultats examinés au niveau de leur dispersion afin de sélectionner les éprouvettes les plus proches de la valeur moyenne.

Humidité des supports à l'application :

- éprouvettes "humides" (50 % du taux de saturation)
- - éprouvettes fort humides (80 % du taux de saturation)

Remarque : solution d'humidification : 0.5 % NaCl, 0.5% KNO₃, 2 % Na₂SO₄

Mise en place des produits : contact jusqu'à absorption totale du bas de l'éprouvette (face découpée) avec 4 ml de produit. L'humidité des éprouvettes est maintenue constante durant 7 jours après l'application des produits (conditionnements communs fermés par type d'humidité).

Identification de l'effet potentiel des produits :

- après les 7 jours de conditionnement et séchage à poids constant à 40 °C, établissement de la courbe d'absorption/temps, suivie de l'absorption par immersion. Les valeurs obtenues étant comparées aux valeurs initiales avant la mise en place des produits.
- après l'essai précité, constatations visuelles sur tranche sciée de l'effet des produits (bouche-pores, hydrophobe, mixte,...) et calcul du volume considéré par mesure de la section traitée.

Remarque : - pour un seul ensemble de paramètres d'essais, l'on retiendra 3 éprouvettes afin de s'assurer de la reproductibilité des mesures réalisées.

- afin de faciliter la visualisation des produits de traitement, des essais de coloration (voir annexe 5) ont été réalisés sur des éprouvettes de mortier. Les phénomènes de migrations différentielles entre les colorants et les produits incitent à beaucoup de prudence dans l'interprétation des résultats et à abandonner momentanément cette technique d'identification visuelle des pénétrations des traitements.

3. Résultats des essais

3.1. Examen de la dispersion des matériaux d'essais et sélection des éprouvettes

Sur base de différents essais d'orientation et d'analyses de mortiers rencontrés dans les maçonneries anciennes, deux matériaux ont été sélectionnés, il s'agit :

- d'une brique de terre cuite de type Avondrood
- d'un mortier bâtard de type C200, G100

Ces deux matériaux sont identifiés au point 2.2 de l'annexe 3.

Pour les deux matériaux, les éprouvettes ont été découpées et testées en absorption capillaire. Les résultats des mesures sont repris aux tableaux et graphiques repris en fig. 1 à 4. en pages suivantes

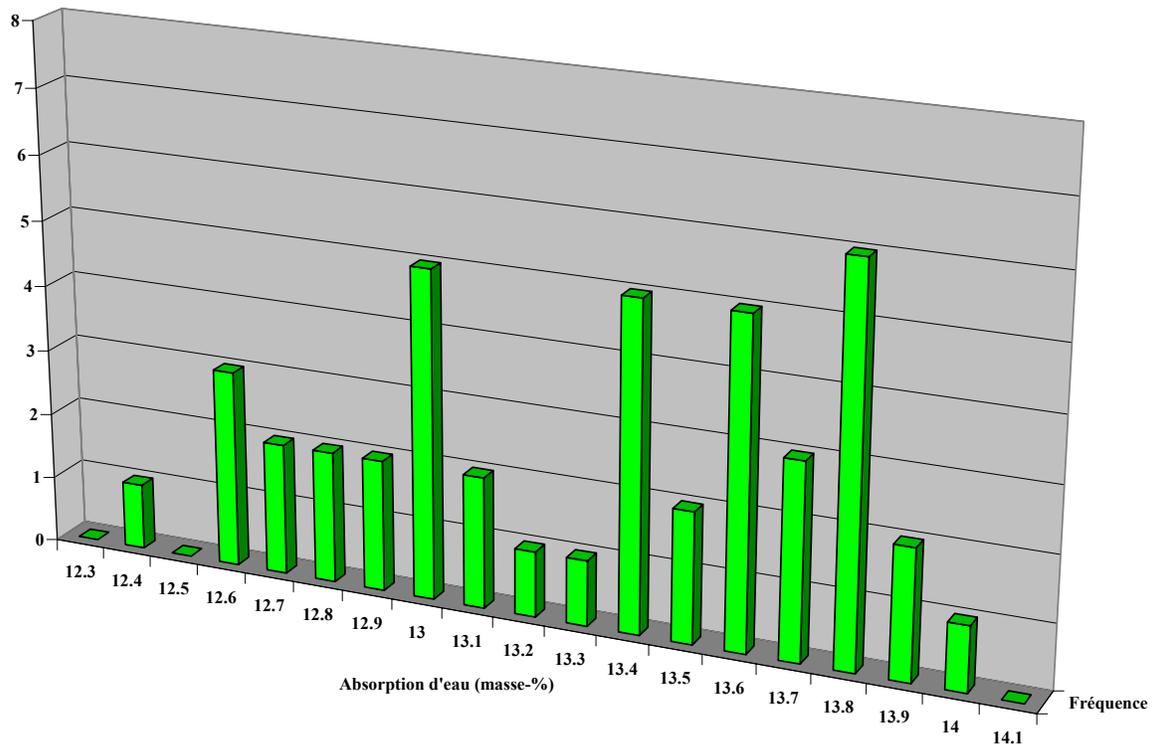
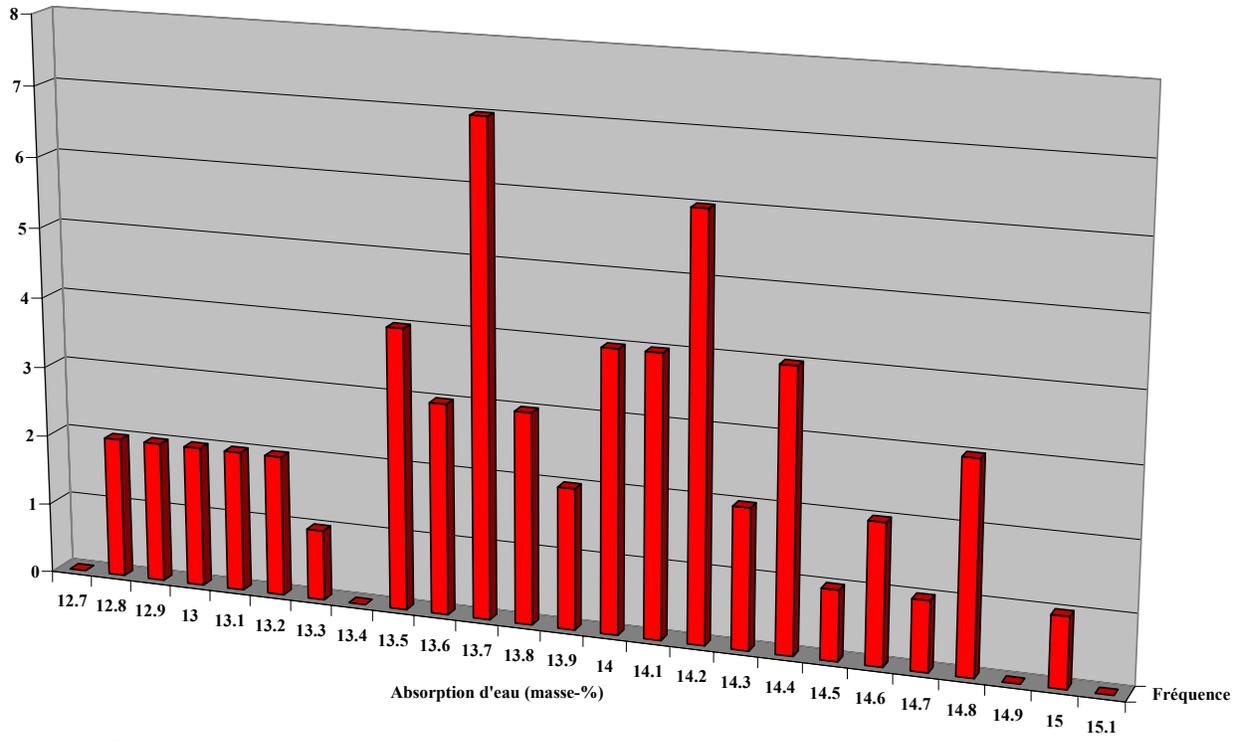
Figure 1 : Mesures d'absorption d'eau sur briques

Eprouvette:	Masse sèche (45°C):	Masse humide après immersion	Absorption d'eau:	Ecart par rapport à la moyenne:
	(g)	(g)	(masse-%)	(%)
14	208.11	234.58	12.72	-7.99
2	222.36	250.82	12.80	-7.42
6	209.29	236.09	12.81	-7.37
23	209.92	236.97	12.89	-6.79
10	212.72	240.31	12.97	-6.18
8	208.79	235.88	12.97	-6.15
38	210.88	238.44	13.07	-5.46
39	207.60	234.76	13.08	-5.36
16	203.22	229.92	13.14	-4.96
44	205.33	232.41	13.19	-4.60
53	211.56	239.65	13.28	-3.96
21	201.80	228.87	13.41	-2.97
26	210.11	238.32	13.43	-2.88
46	202.56	229.77	13.43	-2.83
41	194.13	220.32	13.49	-2.41
32	202.22	229.53	13.51	-2.31
28	202.34	229.67	13.51	-2.30
43	211.19	239.75	13.52	-2.18
33	206.71	234.86	13.62	-1.49
22	203.54	231.30	13.64	-1.34
15	202.56	230.20	13.65	-1.29
9	202.72	230.40	13.65	-1.23
34	204.39	232.32	13.67	-1.15
47	204.77	232.79	13.68	-1.02
35	198.11	225.23	13.69	-0.98
3	202.92	230.75	13.71	-0.79
17	206.07	234.40	13.75	-0.55
49	201.11	228.78	13.76	-0.48
25	203.49	231.70	13.86	0.28
4	201.77	229.76	13.87	0.35
51	202.37	230.50	13.90	0.55
40	206.61	235.38	13.92	0.73
5	195.95	223.33	13.97	1.08
13	206.73	235.63	13.98	1.12
56	196.76	224.31	14.00	1.28
30	216.36	246.67	14.01	1.34
54	207.70	236.80	14.01	1.35
20	195.83	223.41	14.08	1.88
18	198.48	226.48	14.11	2.05
1	196.87	224.67	14.12	2.15
12	195.49	223.10	14.12	2.16
24	206.23	235.39	14.14	2.28
55	203.02	231.77	14.16	2.44
36	204.73	233.79	14.19	2.68
58	195.07	222.77	14.20	2.72
48	205.35	234.68	14.28	3.32
57	200.29	228.95	14.31	3.51
52	201.72	230.60	14.32	3.56
27	199.67	228.29	14.33	3.68
50	193.45	221.30	14.40	4.14
31	197.70	226.29	14.46	4.61
11	205.98	236.02	14.58	5.49
45	198.66	227.64	14.59	5.52
29	202.67	232.44	14.69	6.25
37	196.23	225.08	14.70	6.35
42	195.42	224.21	14.73	6.57
7	200.37	229.93	14.75	6.72
19	198.70	228.45	14.97	8.30
		Moyenne:	13.82	
		Ecart type:	0.55	

Figure 2 : Mesures d'absorption d'eau sur mortiers

Eprouvette:	Masse sèche (45°C):	Masse humide après saturation capillaire (immersion):	Absorption d'eau:	Ecart par rapport à la moyenne:
	(g)	(g)	(masse-%)	(%)
10	230.22	258.93	12.5	-6.75
35	228.86	257.88	12.7	-5.18
14	229.92	259.09	12.7	-5.13
22	233.21	262.80	12.7	-5.12
26	230.87	260.26	12.7	-4.81
29	230.50	259.88	12.7	-4.69
28	230.64	260.25	12.8	-4.00
4	229.29	258.76	12.9	-3.89
15	231.17	261.10	12.9	-3.18
38	226.52	255.95	13.0	-2.85
20	227.57	257.16	13.0	-2.77
42	230.75	260.80	13.0	-2.62
8	226.97	256.55	13.0	-2.54
19	226.98	256.64	13.1	-2.28
21	228.60	258.54	13.1	-2.06
33	229.38	259.48	13.1	-1.87
39	228.02	258.00	13.1	-1.68
25	233.58	264.55	13.3	-0.85
34	233.87	265.20	13.4	0.18
41	233.90	265.25	13.4	0.23
36	229.22	260.00	13.4	0.41
3	224.87	255.11	13.4	0.56
43	226.17	256.62	13.5	0.68
9	234.68	266.29	13.5	0.72
17	231.04	262.26	13.5	1.05
11	231.94	263.33	13.5	1.20
1	233.62	265.40	13.6	1.72
30	235.65	267.78	13.6	1.96
40	234.40	266.38	13.6	2.02
5	234.99	267.09	13.7	2.15
44	234.87	267.03	13.7	2.39
37	237.37	269.92	13.7	2.54
24	232.51	264.41	13.7	2.60
12	233.04	265.11	13.8	2.91
16	238.89	271.86	13.8	3.20
2	237.83	270.67	13.8	3.26
18	234.26	266.62	13.8	3.30
6	234.90	267.37	13.8	3.37
31	237.41	270.26	13.8	3.47
7	232.04	264.29	13.9	3.93
23	237.30	270.33	13.9	4.09
27	229.13	261.04	13.9	4.14
32	233.50	266.27	14.0	4.95
13	232.21	264.89	14.1	5.24
		Moyenne:	13.37	
		Ecart type:	0.44	

Figures 3 et 4 : Graphiques des fréquences de répartition des absorptions d'eau sur briques et sur mortiers



Remarques

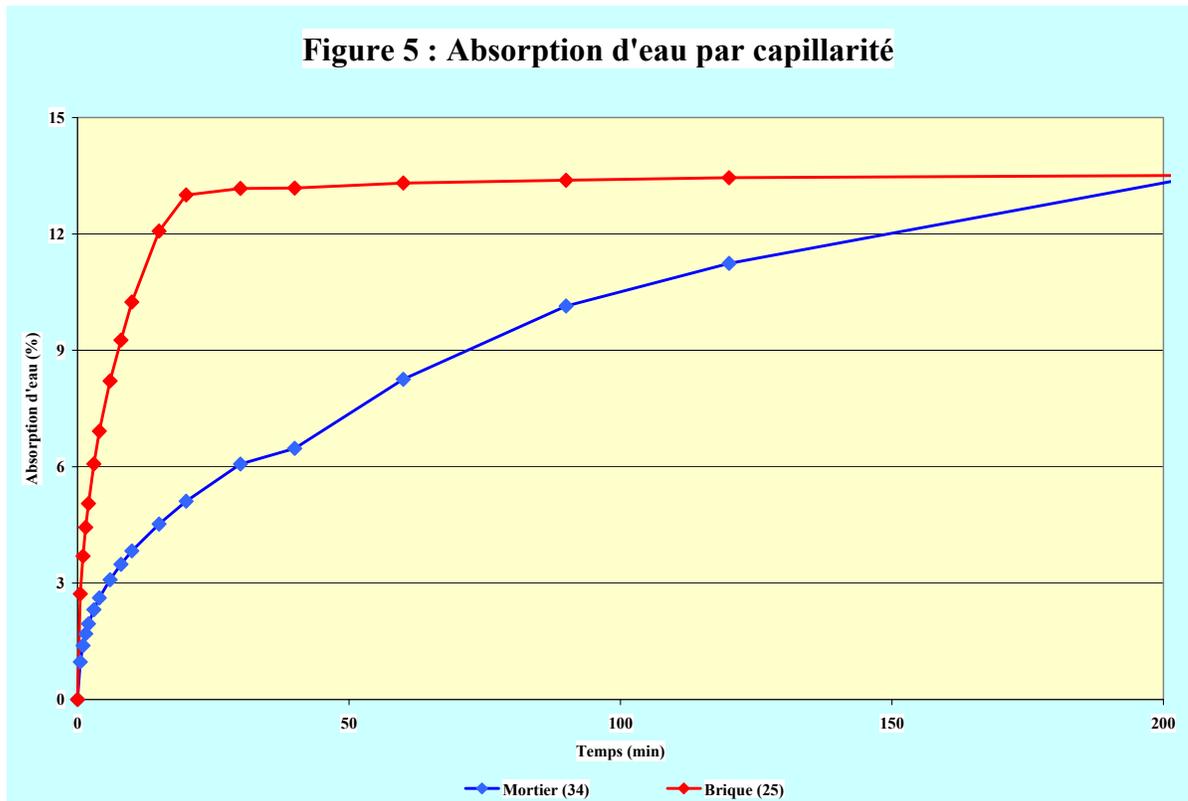
Les différences d'absorption obtenues sont assez semblables pour les éprouvettes de mortier et les éprouvettes de briques.

Pour les 58 éprouvettes de **briques**, l'absorption moyenne est de 13.82 % en masse, avec des valeurs extrêmes de 12.72 à 14.97 %. Le choix des 17 éprouvettes retenues pour les essais et soulignées en gris au tableau en fig.1 permet de limiter cette dispersion à des valeurs comprises entre 13.64 et 14.01 %.

Pour les **mortiers**, l'absorption moyenne est de 13.4 % en masse, avec des valeurs comprises entre 12.5 et 14.1 % .

Dans ce cas, la sélection des 17 éprouvettes les plus semblables en absorption permet de limiter la dispersion à des valeurs comprises entre 13.1 et 13.7 %.

Il est également à noter que si les valeurs moyennes d'absorption sont relativement semblables pour les briques et les mortiers, les vitesses d'absorption sont nettement différentes (voir graphique en figure 5 ci-après).



3.2. Efficacité potentielle des différents traitements

Les valeurs d'absorption d'eau par immersion avant et après traitements, ainsi que les valeurs d'absorption par capillarité et les volumes concernés par les traitements, sont reprises pour les briques et les éprouvettes de mortier aux tableaux des figures 6 et 7 en page suivante.

Les valeurs d'absorption par capillarité (via la face de traitement) sont également résumées aux graphiques en figures 8 et 9.

Remarques

Globalement, pour les différents produits, solvants et concentrations retenues, on ne constate pas d'écart systématique d'efficacité des traitements appliqués sur supports préalablement humidifiés à 50 ou à 80 % du taux maximal de saturation ;

Absorption capillaire (mesurée pendant 14 jours)

Pour les éprouvettes de **briques** et à l'exception du produit bouche-pores, l'efficacité des traitements mesurée par absorption capillaire est très bonne. Pour tous les produits hydrophobes et indépendamment de l'humidité initiale des éprouvettes lors de leur application, on constate des absorptions d'eau négligeables.

Pour les **mortiers**, les résultats sont plus variables dans le sens où l'efficacité est bonne pour les "siloxanes" à 3 et à 10 % dans l'eau et dans tous les solvants (à l'exception de la solution solvantée à 3 % lorsque le mortier est initialement humidifié à 80 % du taux de saturation). Pour ces mêmes mortiers le produit bouche-pores et surtout le méthylsiliconate de potassium donnent des résultats insuffisants dans tous les cas.

Absorption d'eau par immersion (24 heures)

De manière générale, l'efficacité des traitements obtenue par comparaison des valeurs d'absorption d'eau par immersion avant et après traitements est peu sensible. Elle atteint un maximum d'une petite cinquantaine de % dans le cas favorable de la brique et d'une petite vingtaine de % pour le mortier. Ceci est en partie lié à une imprégnation non complète des éprouvettes par les produits, mais également et surtout à un effet hydrophobe insuffisant en cas de matériaux fortement humides durant des périodes relativement importantes.

Ce type de mesure s'écartant également de la réalité de chantier, on pourrait imaginer dans le futur de ne plus reprendre cet essai dans le cadre de l'approche de l'efficacité des traitements de l'humidité ascensionnelle.

Volume traité par les 4 ml de produit appliqué

Comme dans le cas des mesures d'absorption par capillarité, les volumes considérés par les traitements sont de manière générale nettement plus importants pour la brique que pour le mortier. Pour la brique, les volumes traités maximums sont obtenus à l'aide des solutions aqueuses (notamment la résine 328 diluée à 7 % dans l'eau). Les différentes solutions en phase solvant présentent des volumes traités voisins (sauf éprouvettes n°5 et 56) qui se traduisent par une partie hydrophobe (répulsive de l'humidité) et une partie visuellement bouche-porée. L'effet du produit à tendance uniquement bouche-pores est difficile à mettre en évidence.

Pour les mortiers, les volumes traités par les solutions hydrofuges peuvent être considérés comme bons à très bons (voisins des valeurs obtenues sur les mortiers). Par contre, les deux produits en phase aqueuse (siloxane aqueux et méthylsiliconate) montrent de volumes traités insuffisants.

Figure 6 : Efficacité des produits sur éprouvettes de brique

N°	Absorption d'eau avant traitement (par immersion)	Humidité théorique	Produit Concentration Solvant	Absorption d'eau après traitement (immersion):	Ecart par rapport à l'absorption initiale:	Absorption d'eau par capillarité (14 jours):	Volume traité:	Remarques:
	(masse-%)	(%)		(masse-%)	(%)	(masse-%)	(cm ³)	
22	13.64	50%	W 290 - 10 % - D40	11.50	-15.67	1.18	40	Double front: hydrophobe,BP*
15	13.65	50%	W 290 - 3 % - D40	11.41	-16.39	1.01	35	Double front: hydrophobe,BP*
9	13.65	80%	W 290 - 10 % - J	11.70	-14.31	1.16	40	Double front: hydrophobe,BP*
34	13.67	50%	W 290 - 3 % - J	9.36	-31.51	0.86	46	
47	13.68	80%	328 - 7 % - eau	7.73	-43.54	0.93	77	
35	13.69	50%	51 T - 14 % - eau	8.13	-40.60	0.76	64	Double front: hydrophobe,BP*
3	13.71	80%	Masse - 100%	17.06	24.40	14.62	34 ?	Bouche-pores; pas hydrofuge
17	13.75	50%	W 290 - 10 % - D40	11.42	-16.94	0.80	37	
49	13.76	80%	W 290 - 10 % - D40	11.53	-16.23	0.66	27	Double front: hydrophobe,BP*
25	13.86	50%	W 290 - 10 % - D40	11.14	-19.64	0.71	37	
4	13.87	50%	Masse - 100%	17.38	25.29	15.02	34 ?	Bouche-pores; pas hydrofuge
51	13.90	80%	51 T - 14 % - eau	7.74	-44.33	0.74	72	
40	13.92	50%	328 - 7 % - eau	7.25	-47.93	0.85	86	
5	13.97	80%	W 290 - 3 % - J	10.98	-21.44	1.03	> 128	
13	13.98	50%	W 290 - 10 % - J	11.18	-20.00	0.84	43	Double front: hydrophobe,BP*
56	14.00	80%	W 290 - 3 % - D40	11.98	-14.41	0.77	16	Double front: hydrophobe,BP*
30	14.01	50%	W 290 - 10 % - D40	11.47	-18.11	0.74	34	Double front: hydrophobe,BP*

(* BP =effet bouche-pores

Figure 7 : Efficacité des produits sur éprouvettes de mortier

N°	Absorption d'eau	Humidité théorique	Produit Concentration Solvant	Absorption d'eau	Différence par rapport à l'absorption initiale	Absorption d'eau par capillarité (14 jours)	Volume traité	Remarques:
	(masse-%)	(%)		(masse-%)	(%)	(masse-%)	(cm ³)	
19	13.07	50%	W 290 - 10 % - D40	11.51	-13.95	1.01	38	
21	13.10	80%	W 290 - 3 % - D40	13.20	-1.31	4.15	58	
33	13.12	50%	W 290 - 10 % - J	11.87	-11.26	0.49	42	
39	13.15	80%	W 290 - 3 % - J	13.17	-1.48	2.64	48	
25	13.26	50%	328 - 7 % - eau	13.35	-0.18	0.76	5	
34	13.40	50%	W 290 - 10 % - D40	11.19	-16.32	0.52	40	
41	13.40	80%	51 T - 14 % -eau	14.40	7.71	11.07	2	
36	13.43	50%	Masse - 100 %	13.56	1.39	4.63	42	Bouche-pores, pas hydrofuge
3	13.45	80%	W 290 - 10 % - D40	11.11	-16.90	0.31	50	
43	13.46	50%	W 290 - 10 % - D40	11.38	-14.90	0.30	42	
9	13.47	80%	Masse - 100 %	13.60	1.68	8.15	48	Bouche-pores, pas hydrofuge
17	13.51	50%	51 T - 14 % -eau	14.41	7.75	11.36	3	
11	13.53	80%	328 - 7 % - eau	13.95	4.33	1.16	6	
1	13.60	50%	W 290 - 3 % - J	11.81	-11.69	0.79	32	
30	13.63	80%	W 290 - 10 % - J	11.01	-17.68	0.39	51	
40	13.64	50%	W 290 - 3 % - D40	11.94	-10.74	0.86	35	
5	13.66	50%	W 290 - 10 % - D40	11.37	-15.00	0.64	48	

Figure 8 : ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE - Brique

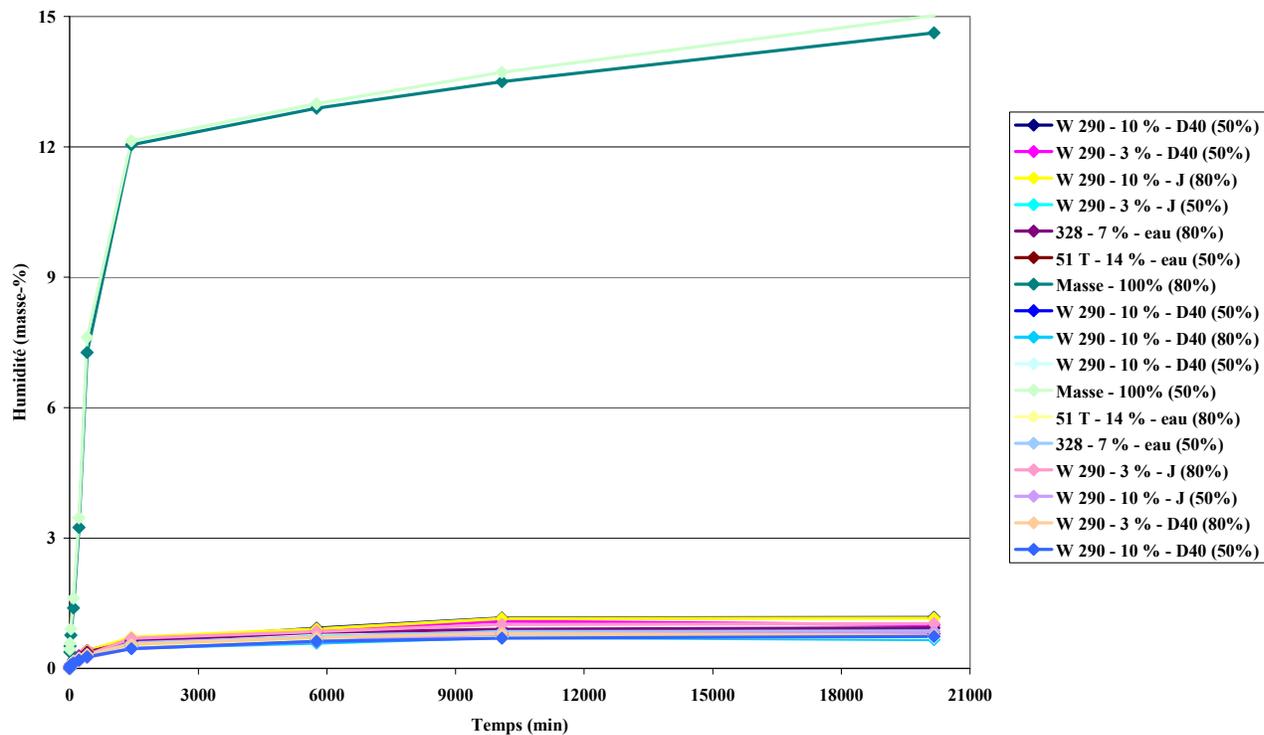
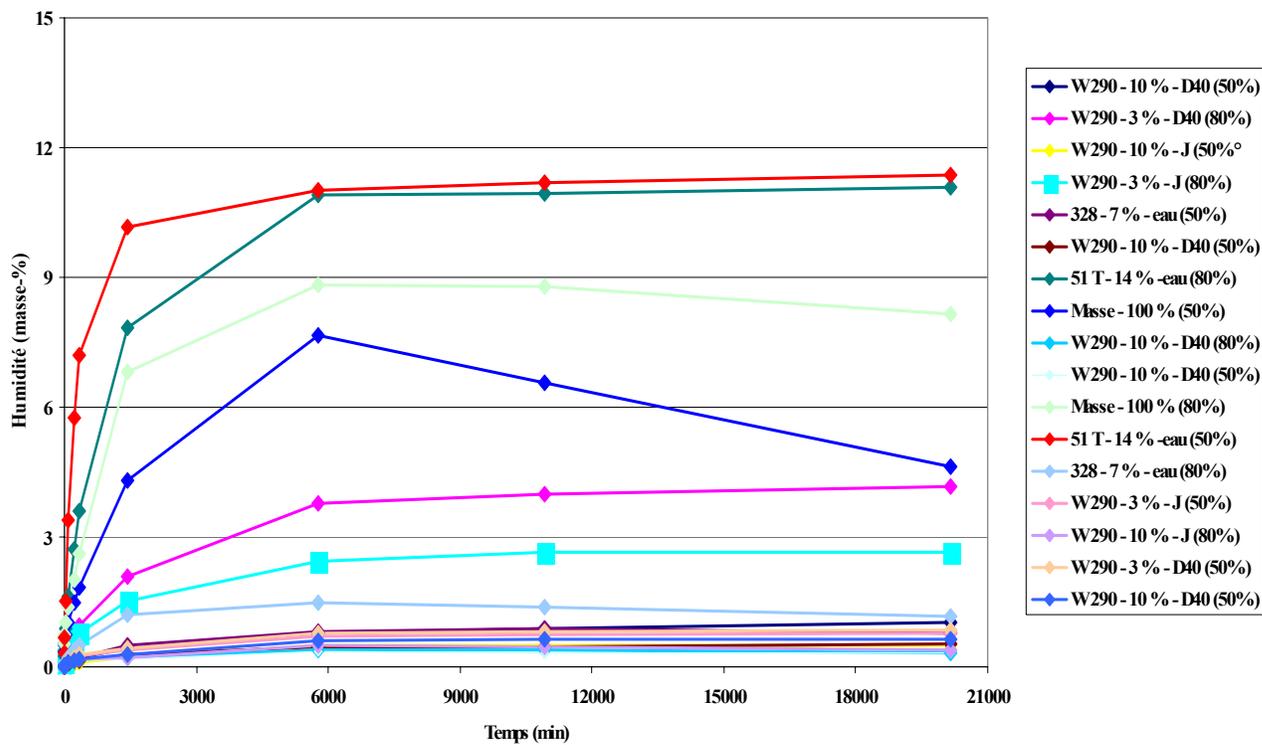


Figure 9 : ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE - Mortier



4. Remarques

- Dans les limites retenues pour les essais (50 et 80 % du taux de saturation), les pourcentages d'humidité lors de l'application des produits n'influencent pas sensiblement l'efficacité des traitements.

- La mesure de l'absorption capillaire semble mieux adaptée au contrôle des traitements contre l'humidité ascensionnelle, éventuellement complétée, pour les produits hydrophobes, par la mesure des volumes traités.

L'absorption par immersion ne donne que peu d'informations.

- Pour les éprouvettes de briques la méthodologie d'essais retenue montre une bonne efficacité pour l'ensemble des produits hydrofuges, même ceux dilués à l'extrême (3 %!).

- Pour les mortiers, l'efficacité des solutions "siloxanes" en solvant et en phase aqueuse est bonne et semblable à celle obtenue pour les briques, les siliconates présentant dans tous les cas des performances insuffisantes au même titre que les produits bouche-pores.

- Si dans l'ensemble, ces essais sur éprouvettes de brique et de mortier permettent de relativement bien cerner les performances potentielles des produits, on peut s'interroger sur l'influence de l'alcalinité des mortiers sur les résultats obtenus. En effet, le pH élevé des éprouvettes de mortier ne correspond pas à une réalité de chantier (maçonneries anciennes carbonatées dans la masse !) et peut, suivant les produits : soit jouer un rôle positif dans la catalyse des réactions de polymérisation,... soit détruire certaines molécules (les groupements organiques à bas poids moléculaires par exemple) et l'effet hydrophobe correspondant. Des essais complémentaires sur des supports de mortier artificiellement carbonatés sont à prévoir à ce niveau.

- Enfin, après application des produits les éprouvettes ont fait l'objet d'un conditionnement en ambiance fermée durant 7 jours. Ce paramètre peut également jouer un rôle sur la performance finale des traitements par rapport à un support soumis à une remontée d'eau par capillarité durant cette période de conditionnement. Les essais futurs viseront également à s'assurer de l'influence de ce paramètre.

ESSAIS DE COLORATION DES SOLUTIONS APPLIQUÉES

But : la coloration des produits injectés devrait faciliter la visualisation de leur migration dans les supports et éventuellement la mise en évidence d'effets chromatographiques liés à la structure porométrique des supports et entraînant des pénétrations différentes des matières actives et des solvants.

Paramètre des essais d'orientation : le matériau support retenu est celui de la recherche, à savoir le mortier C200/G100. Afin de simplifier le problème, les premiers essais ont été menés avec un solvant aliphatique courant (Varsol 40) et de l'eau.

Les colorants retenus : Bleu de solophényle et Morton-automate red B, sont respectivement solubles dans ces liquides. Ils ont été ajoutés à raison de 3 ‰.

Les supports présentent une humidité de l'ordre de 50 % en poids ; ils se présentent sous la forme de prismes de 4 X 4 X 8 cm, la petite surface étant placée en contact avec les liquides.

Résultats des essais

Remarquons d'emblée l'absorption nettement plus rapide du solvant que de la solution aqueuse.

Après 12 heures d'absorption, les éprouvettes qui présentaient une absorption jusqu'à leur surface supérieure ont été sciées et la tranche examinée visuellement.

Dans le cas du solvant et du colorant Morton-automate red B, on note une pénétration nette du colorant sur une hauteur de 20 mm et un effet plus diffus sur ≈ 10 mm complémentaires.

Pour l'eau et le bleu de solophényle, la migration du colorant est tout à fait négligeable et inférieure au dixième de millimètre. Tout au plus, peut-on noter la pénétration d'un résidu grisâtre sur une quinzaine de millimètres de hauteur.

Conclusion

Bien que limitée dans les paramètres choisis, cette approche montre la difficulté d'utilisation de colorants pour la mise en évidence de la migration des solutions dans les matériaux de construction courants. En effet et dans des conditions relativement favorables de mortier (porosité assez élevée) peu humide, les colorants présentent une migration nettement moins importante que les liquides porteurs. L'écart est net pour les solvants et la migration quasi nulle en cas de colorants en phase aqueuse.

L'utilisation éventuelle de colorants comme traceurs n'est donc pas réalisable d'emblée et nécessite des essais préalables complexes visant à rechercher les colorants de dimensions moléculaires aussi petites que possibles, compatibles avec les produits d'injection (phases aqueuses et solvantées) et n'entraînant pas d'effets secondaires néfastes (rupture d'émulsions, catalyse des hydrofuges, ...). Ces essais devraient également porter sur les affinités particulières des colorants vis à vis des matières actives et/ou des solvants.

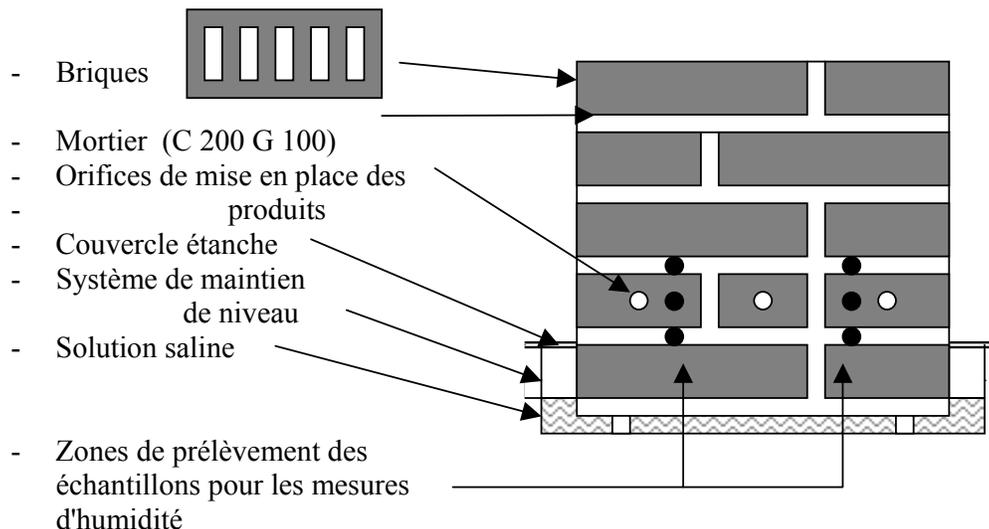
APPROCHE DE L'HUMIDITÉ INITIALE DES MURS DANS LA ZONE DE TRAITEMENT

But

Suite aux essais réalisés sur murets et à l'application des produits dans des conditions différentes (murs ayant ou non subi un séchage de 3 jours après saturation par capillarité) et aux enseignements variables recueillis, il apparaît souhaitable d'examiner dans le détail les gradients d'humidité à différentes profondeurs et leur variation en fonction des 2 types de conditionnement avant application des produits.

Paramètres d'essais

Les murets retenus sont ceux utilisés depuis quelques années au CSTC, pour l'étude des traitements de l'humidité ascensionnelle et définis ci-après.



Les briques utilisées, de masse volumique de 2050 kg/m³, de porosité totale de 22 % et d'absorption d'eau de 11 %, présentent 5 alvéoles. Les teneurs en ions des briques sont voisines de 0.02 % en Ca⁺⁺, 0.003 % en Na⁺, 0.004 % en K⁺, 0.0008 % en Mg⁺⁺ et 0.05 % en SO₄⁻.

Le mortier de pose et de jointoiement est de type C200/G100, soit 200 kg de ciment (CEM-I-42.5) et 100 kg de chaux hydratée (chaux grasse), par mètre cube de sable rude de carrière (module de finesse 1.4).

Après un délai minimum de 6 mois, destiné à favoriser le durcissement et la carbonatation des mortiers, la base des murets a été mise en contact avec une solution saline (0.5 % NaCl, 0.5 % KNO₃, 2 % Na₂SO₄)

La durée d'humidification, de l'ordre de 120 jours, correspond au délai nécessaire afin d'obtenir un état d'équilibre au niveau du front d'humidité dans les murets (linéarité de la courbe d'ajoute d'eau dans les bacs d'essai).

Mesures et constatations

Après les 120 jours d'humidification et dans le bac d'essai : mesure de l'humidité, respectivement de 0 à 1, 1 à 3, 3 à 7 et 7 à 10 cm de profondeur, au niveau des joints et des briques :

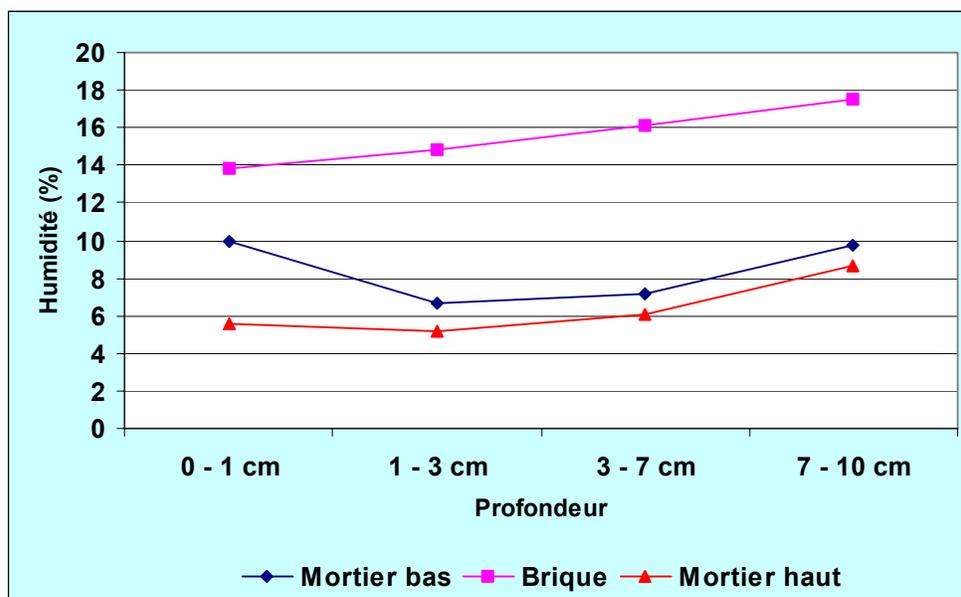
- du lit de mortier situé au niveau du couvercle (mortier directement considéré par les produits lors de leur application) ;
- du lit de mortier supérieur au précédent ;
- de la brique concernée par l'application

Le même muret est ensuite sorti du bac d'humidification et conditionné 3 jours à 50 % d'humidité relative et 20 ° C avant de nouvelles mesures de l'humidité comme défini ci-avant.

Résultats

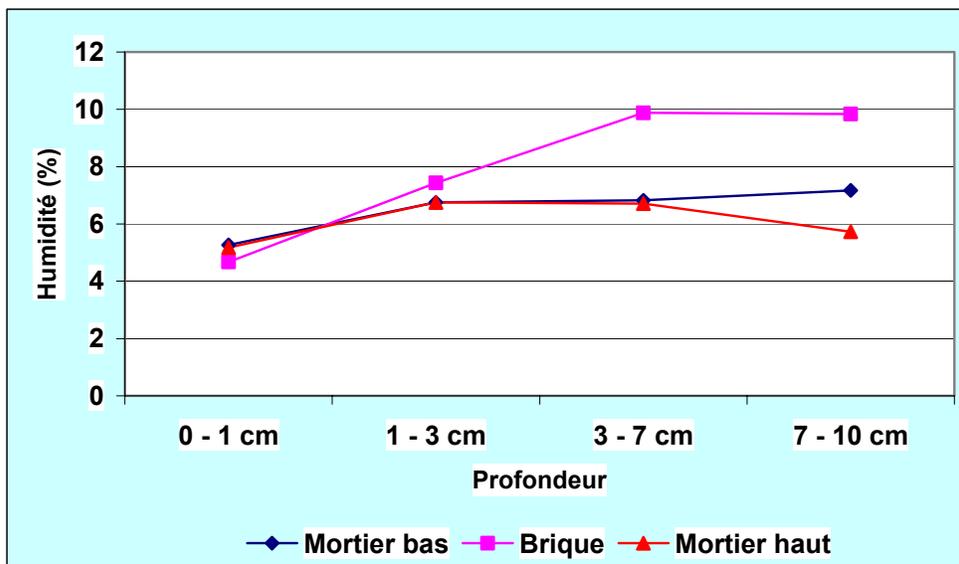
Les résultats des mesures d'humidité des différents échantillons prélevés dans les murets après 120 jours d'humidification (base des murs dans l'eau), sont repris au tableau et graphique ci-après.

Eprouvettes		Profondeur			
		0 - 1 cm	1 - 3 cm	3 - 7 cm	7 - 10 cm
Mortier bas	coupelle vide (g)	2.31	2.32	2.31	2.32
	coupelle + poudre (g)	3.30	4.25	5.89	5.36
	coupelle + poudre sèche (g)	3.21	4.13	5.65	5.09
	humidité (%)	10.0	6.6	7.2	9.7
Brique	coupelle vide (g)	2.35	2.27	2.38	2.33
	coupelle + poudre (g)	3.50	3.97	5.76	5.89
	coupelle + poudre sèche (g)	3.36	3.75	5.29	5.36
	humidité (%)	13.9	14.9	16.2	17.5
Mortier haut	coupelle vide (g)	2.27	2.30	2.29	2.33
	coupelle + poudre (g)	3.40	3.92	5.45	5.60
	coupelle + poudre sèche (g)	3.34	3.84	5.27	5.34
	humidité (%)	5.6	5.2	6.0	8.6



Les valeurs obtenues sur les échantillons prélevés à des endroits correspondants et à des profondeurs semblables, mais après 3 jours de séchage en laboratoire, sont reprises ci-après.

Eprouvettes		Profondeur			
		0 - 1 cm	1 - 3 cm	3 - 7 cm	7 - 10 cm
Mortier bas	coupelle vide (g)	2.27	2.32	2.31	2.32
	coupelle + poudre (g)	3.27	4.06	4.97	5.61
	coupelle + poudre sèche (g)	3.22	3.95	4.80	5.39
	humidité (%)	5.3	6.7	6.8	7.2
Brique	coupelle vide (g)	2.35	2.27	2.37	2.33
	coupelle + poudre (g)	3.47	4.15	6.04	5.01
	coupelle + poudre sèche (g)	3.42	4.02	5.71	4.77
	humidité (%)	4.7	7.4	9.9	9.8
Mortier haut	coupelle vide (g)	2.32	2.30	2.28	2.32
	coupelle + poudre (g)	3.54	4.04	5.30	4.72
	coupelle + poudre sèche (g)	3.48	3.93	5.11	4.59
	humidité (%)	5.2	6.7	6.7	5.7



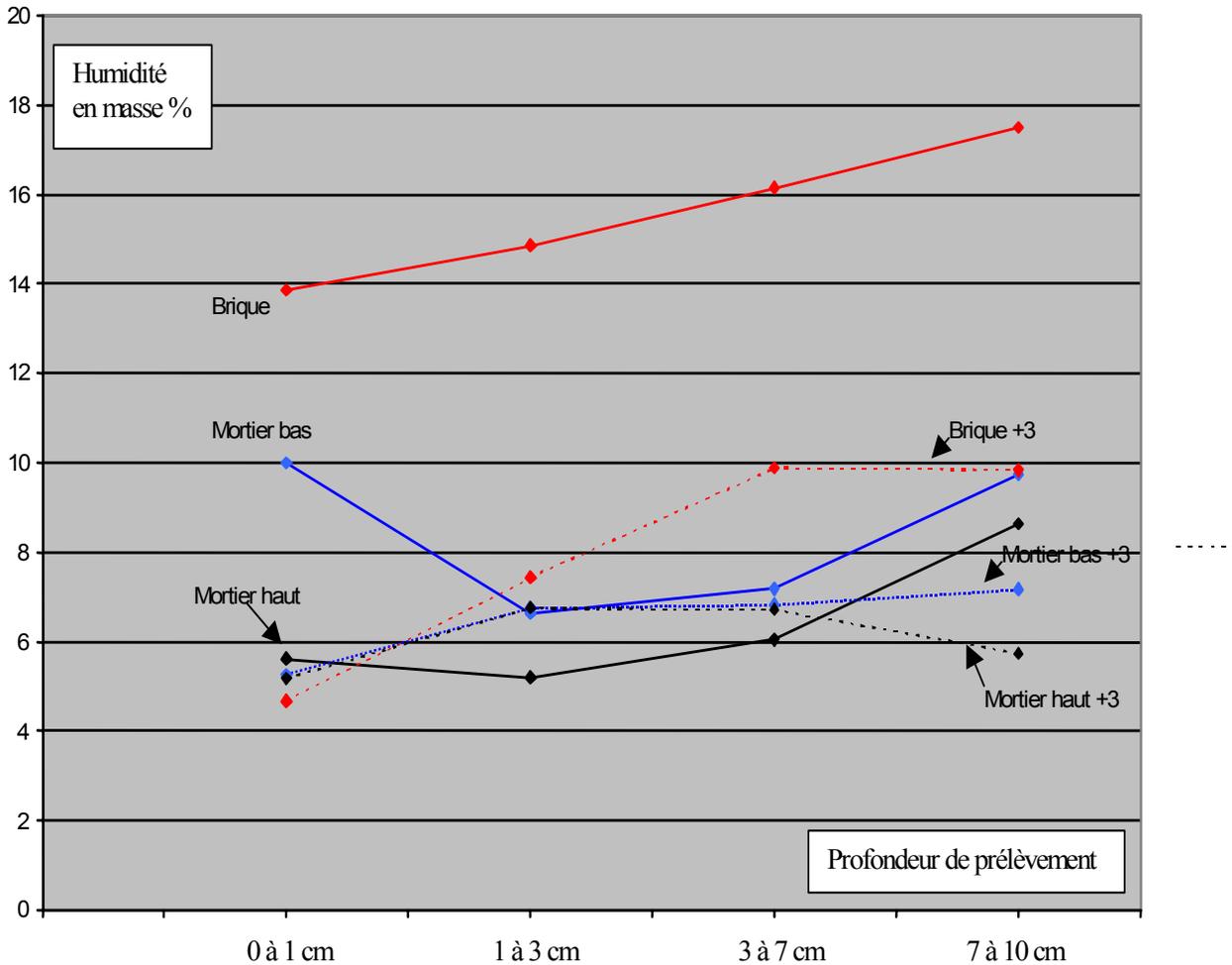
Remarques (voir également graphique comparatif en page suivante)

- On peut noter une certaine dispersion des résultats liée à l'hétérogénéité inévitable des matériaux de construction et au fait que les deux séries de prélèvements (avant et après séchage en labo), ont été menées à des endroits différents.
- Malgré cette dispersion, on peut constater une réduction de l'humidité des matériaux lors du séchage en ambiance de laboratoire ; réduction qui peut être très importante pour la brique (14 à 18 % ⇒ 5 à 10 %) et pour le lit de mortier inférieur (7 à 10 % ⇒ 5 à 7 %). La différence est moins nette pour le mortier prélevé au niveau du lit de mortier supérieur (5 à 8 % ⇒ 5 à 7 %), ce dernier n'étant toutefois que peu considéré par la mise en place des produits. Ces différences pourraient en grande partie expliquer les écarts importants d'efficacité observés entre les deux campagnes d'essais.
- De manière annexe et pour les mesures des murets dans les bacs d'humidification, on constate logiquement une humidité légèrement plus importante dans la partie centrale du

muret, mais également pour les mesures à la surface des matériaux ; ce dernier phénomène pouvant s'expliquer par une concentration plus importante de sels (entre autres des nitrates hygroscopiques) liée à l'évaporation superficielle.

- Après 3 jours de séchage en ambiance laboratoire, ce phénomène n'est plus apparent et l'on retrouve une allure des courbes d'humidité qui traduit le séchage normal des matériaux.

Muret d'essai – Humidité comparative dans la zone de traitement (avant et après conditionnement de 3 jours en labo).



- les droites reprises en traits pleins correspondent aux valeurs d'humidité des matériaux maintenus en continu dans les bacs d'essai ; ceux en pointillé aux valeurs après 3 jours de conditionnement des murs en ambiance laboratoire (50 % HR, 20°C).

CONTRÔLE DES REMONTÉES CAPILLAIRES – MÉTHODE AU CARBONATE DE RUBIDIUM**1. Principe de la méthode.**

Le carbonate de rubidium est un sel alcalin très soluble dans l'eau qui ne se trouve qu'à l'état de traces dans les matériaux de construction. Si, dans un forage de référence effectué à la base d'un mur soumis à l'action de remontées capillaires, on introduit une solution concentrée de carbonate de rubidium, la solution saline va se diluer dans l'eau capillaire et migrer jusqu'à une certaine hauteur dans le mur. La hauteur de montée capillaire pourra être déterminée en effectuant, 4 à 5 semaines après injection du rubidium, une série de forages à 5, 10... 30 cm au-dessus du forage de référence et en contrôlant au laboratoire la présence éventuelle de rubidium dans les prélèvements récoltés.

La méthode au carbonate de rubidium peut être effectuée au début de la procédure de restauration afin d'évaluer la nécessité de créer une couche imperméable à l'eau. Après traitement, cette méthode est utilisable afin de vérifier l'efficacité du produit appliqué.

2. Description de la méthode.

A 10 cm de la base du mur considéré, on effectue, à un endroit parfaitement localisé et débarrassé au préalable de son enduit d'égalisation, un forage de référence de 5 à 6 cm de profondeur. On évitera de pratiquer ce forage de référence dans un joint de mortier. Après prélèvement de la poudre, on injecte dans le trou de forage 1ml de solution aqueuse de carbonate de rubidium. Selon l'importance de la construction, plusieurs forages de référence peuvent être réalisés. On les désigne 1/R, 2/R, etc.

4 à 5 semaines après injection, on fore des trous à 5, 10... 30cm au-dessus du forage de référence. Deux forages sont également effectués à 5cm à gauche et à droite de la référence. La matière à l'intérieur du trou de référence est également récoltée. Tous les prélèvements sont recueillis dans des récipients tarés et bouchés. Pour un endroit considéré, endroit 1 par exemple, on dispose donc de 10 prélèvements répertoriés comme suit:

- 1/R : référence.
- 1/G : prélèvement à 5cm à gauche de la référence.
- 1/D : prélèvement à 5 cm à droite de la référence.
- 1/0 : raclage dans le trou de référence.

Prélèvements au-dessus de la référence, notamment :

- 1/5 : à 5cm
- 1/10 : à 10cm
- 1/15 : à 15cm
- 1/20 : à 20cm
- 1/25 : à 25cm
- 1/30 : à 30cm

La nature de tous les prélèvements est déterminée. Une étude préalable sur des échantillons de références a en effet permis de constater que les mortiers contiennent plus de rubidium que les briques. La nature des matériaux doit donc être prise en considération dans l'interprétation des résultats.

3. Analyses**3.1 Détermination de l'humidité.**

L'humidité est déterminée par gravimétrie. Les teneurs en humidité sont exprimées en % par rapport au poids de matière humide.

3.2 Dosage du rubidium.

L'extraction du carbonate de rubidium est effectuée sur l'ensemble du prélèvement au moyen d'eau déionisée. Le dosage du Rb de l'extrait est effectué par spectrophotomètre d'émission atomique. Les teneurs en Rb sont exprimées en mg/kg de matière sèche.

4. Présentation des résultats.

Les résultats des mesures de Rb sont présentés sous forme d'histogramme avec en abscisse la situation du prélèvement par rapport à la référence et en ordonnée la teneur en Rb exprimée en mg/kg. Une ligne horizontale donne la valeur moyenne en mg Rb/kg de tous les échantillons de références de briques examinés jusqu'à présent (voir ligne rouge dans la figure). Une autre ligne horizontale donne celle de tous les échantillons de références des mortiers (voir ligne bleue dans la figure). La comparaison de ces 2 droites horizontales montre bien que les mortiers contiennent plus de rubidium que les briques.

Les teneurs en Rb rencontrées dans les 2 prélèvements effectués à gauche et à droite de la référence permettent de constater un éventuel effet de diffusion du carbonate de rubidium dans le matériau. Si ces teneurs s'avèrent importantes, la présence éventuelle de Rb dans le prélèvement situé à 5cm au-dessus de la référence devra être considérée comme un effet de diffusion du sel et non comme une montée capillaire.

En l'absence de phénomènes de diffusion, toute teneur en Rb rencontrée dans une brique ou un mortier correspond à une montée capillaire si cette teneur dépasse le niveau de la droite horizontale correspondant au matériau considéré. A titre d'exemple, la figure présente les résultats obtenus pour une maison à Bogaarden.

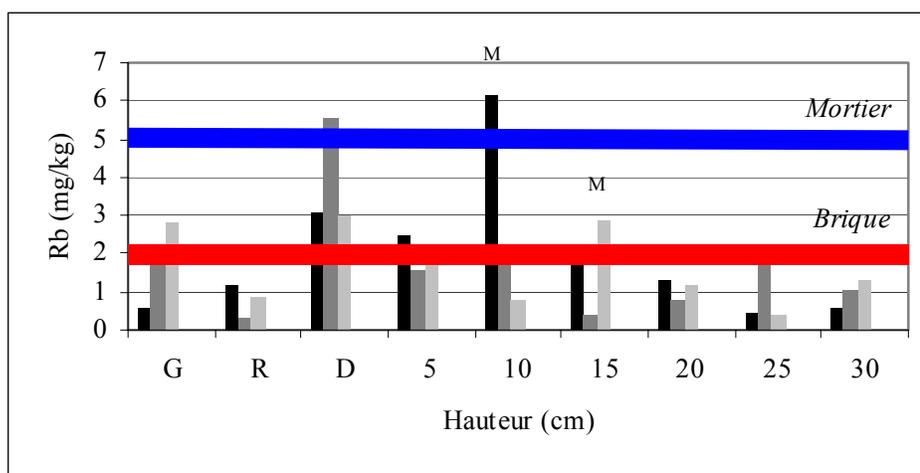


Figure : Dosage du rubidium dans les échantillons prélevés aux 3 endroits différents. (M = mortier)

Sur base de ces résultats, on peut conclure que, pour l'endroit 1, la quantité de rubidium de l'échantillon prélevé à une hauteur de 10 cm au-dessus de la référence est plus élevée que la valeur moyenne de tous les échantillons de références des mortiers, indiquant la présence de remontée capillaire jusqu'à cette hauteur. Pour l'endroit 2, vu que toutes les valeurs de rubidium sont inférieures à la valeur moyenne des briques, on peut conclure à une absence de remontée capillaire. Une même conclusion peut être établie pour l'endroit 3, pour lequel la quantité de rubidium du mortier prélevé à 15 cm au-dessus de la référence est inférieure à la valeur moyenne des mortiers.

En ce qui concerne la détermination de la teneur en eau, on utilise les résultats obtenus pour interpréter l'humidité des matériaux, mais ces teneurs ne sont pas toujours en corrélation avec la teneur en rubidium.

MONSTERNAME - IDENTIFICATIE - CONTROLE

Inhoud

1. Doelstelling
2. Werkwijze
 - 2.1. Monstername
 - 2.2. Identificatie
 - 2.3. Controle
3. Besluit

1. Doelstelling

Injectieproducten worden op de werf aangevoerd als gebruiksklare producten. Tussen het fabricageproces en het aanbieden als gebruiksklaar product zit er echter een lange weg. De fabrikant produceert immers een zuivere stof of een sterk geconcentreerde oplossing, die in relatief grote minimum hoeveelheden (bv. 120 kg) doorverkocht wordt aan de groothandel. Daar wordt het basisproduct aangelengd met een verdunningsmiddel en worden eventueel nog andere stoffen toegevoegd. De nieuwe formulering wordt voorzien van een nieuwe naam en in kleinere verpakkingen (1 - 25 l) aangeboden aan de kleinhandel.

In de praktijk komt het erop neer dat het voor de consument uiterst moeilijk wordt om een verband te leggen tussen een product, geproduceerd door een multinational, en een gebruiksklaar product dat in de detailhandel aangeboden wordt. Deze laatste heeft immers geen enkele verplichting om de aard van het oorspronkelijk product te vermelden en kan zelfs op elk ogenblik van leverancier veranderen, en dus een fundamenteel verschillend product aanbieden, zonder dat de commerciële naam gewijzigd wordt.

Deze situatie impliceert tevens dat de nodige voorzichtigheid moet aan de dag gelegd worden wanneer dergelijke producten getest worden. Het gevaar is immers niet denkbeeldig dat, eens een leverancier over een goed testrapport beschikt, overgeschakeld wordt op een basisproduct van mindere kwaliteit, zonder dat dit uit de commerciële naam of uit de bijgeleverde documentatie blijkt. Het is dus noodzakelijk om tijdens een testprogramma de onderzochte producten voldoende nauwkeurig te identificeren.

2. Werkwijze

2.1. Monstername

Injectieproducten zijn veelal reactieve stoffen die in aanwezigheid van water of luchtvochtig en van een geschikte katalysator kunnen polymeriseren, waardoor de oorspronkelijke samenstelling en concentratie grondig wijzigt. De monstername zal dus op een danige wijze uitgevoerd worden dat er tussen het ogenblik van de lichting en de analyse geen wijziging in de chemische samenstelling kan optreden. Daartoe worden in het laboratorium penicilineflessen van een aangepaste inhoud (150 ml) bij 105°C gedroogd tot constant gewicht. Na afkoelen in een exsiccator, voorzien van een droog middel worden ze gesloten met een rubber- of teflon stop. Op de plaats van de monstername worden per product 2 flessen gevuld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een droge pipet of een droge trechter. Na vullen van de flessen worden deze onmiddellijk afgesloten met de rubberen of teflon stop en wordt het geheel verzegeld met een aluminium capsule. Beide flessen worden gemerkt met : naam van het product, batch nummer, datum van monstername, identificatie van de persoon die het monster gelicht heeft. Eén fles wordt zo vlug mogelijk naar het laboratorium overgebracht voor analyse, de andere wordt in een verzegelde omslag bewaard voor een eventuele tegenexpertise.

2.2. Identificatie

- *Bepaling van het gehalte aan droge stof door gravimetrie*

0.5 g van het product wordt afgewogen in een aluminiumschuitje en bewaard bij 20°C en 40 % R.V. Op geregelde tijdstippen wordt het schuitje gewogen. Wanneer een constant gewicht bereikt wordt kan uit het gewichtsverlies het gehalte aan droge stof berekend worden.

Indien alle product blijkt te verdampen of indien na maximum 1 week zich nog geen vaste stof gevormd heeft, wordt de proef herhaald. Het aluminiumschuitje wordt dan wel op voorhand gevuld met 5 g gemalen en gedroogde steen. Als steensoort wordt een materiaal gekozen dat identiek is aan de ondergrond waarop het product zal getest worden. Vervolgens wordt dezelfde procedure gevolgd als hierboven beschreven.

Het resultaat wordt uitgedrukt in gew. % t.o.v. de oorspronkelijke hoeveelheid afgewogen product.

- *Bepaling van de aard van de actieve stof met behulp van rastelelectronenmicroscopie (SEM-EDX).*

Een kleine hoeveelheid van de droge stof, bekomen bij het bepalen van het gehalte aan droge stof, wordt onderzocht met SEM-EDX. Er wordt nagegaan welke elementen aanwezig zijn in het product (Si, Al, Sn, F...).

De aanwezigheid van silicium wijst op een siliconenverbinding, aluminium wijst op de aanwezigheid van aluminium stearaat. Kleine hoeveelheden tin, titaan, lood of zink kunnen wijzen op de aanwezigheid van een katalysator. De aanwezigheid van fluor verwijst naar gefluoreerde verbindingen.

- *Bepaling van de chemische samenstelling van het oplosmiddel en van de actieve stof met behulp van FTIR en/of GCMS*

Identificatie met Fourier Transformatie Infrarood (FT-IR) is gebaseerd op de IR absorptie van moleculen. In het bekomen spectrum worden de absorptie signalen gecorreleerd met de aanwezigheid van bepaalde bindingen. Het patroon maakt de identificatie mogelijk van de aard van het solvent en van de actieve stof.

De aangewende techniek is de Kaliumbromide (KBr) - techniek. Hiervoor wordt 0.25 g KBr samengeperst in een moule onder vacuüm bij 250 bar druk, waardoor een transparante pastille wordt bekomen. Hierop wordt een druppel injectieproduct aangebracht, waarna de pastille in het FTIR toestel wordt geplaatst. Voor de analyse van het uitgeharde product wordt 10 mg van dit laatste gemengd met 0.25 g KBr. Hiervan wordt een transparante pastille gemaakt zoals hierboven beschreven. In beide gevallen wordt het spectrum opgenomen met 20-100 scans in het gebied van 400 tot 4000 cm^{-1} .

Gaschromatografie-Massaspectroscopie (GC-MS) laat de identificatie toe van vluchtige bestanddelen zoals solvent, silaan - en oligomere siloxaan verbindingen. De techniek is gebaseerd op het scheiden van het mengsel in zijn componenten die elk afzonderlijk worden geïdentificeerd door MS.

- Bepaling van het gehalte aan reactieve groepen van silanen en siloxanen door titrimetrie

Het gehalte aan reactieve groepen, dat in verband kan gebracht worden met de lengte van de molecule, wordt bepaald door volumetrische titratie. Met deze techniek wordt informatie bekomen over de aard van het actieve bestanddeel (silaan, oligomeer siloxaan of polymeer siloxaan) naast de indicatie van een eventuele veroudering van het product.

Bij wijze van voorbeeld omvat volgende productfiche de resultaten van de chemische analyse.

**CONTROLE CHEMISCHE SAMENSTELLING
EN DROOGGEWICHT INJECTIEPRODUCTEN**

Naam firma :

Naam produkt :

Lotnummer/batch :

Datum fabricatie :

Datum analyse :

Percentage doge stof (%): 5.8

Chemische analyse : Verdunningsmiddel : alifatisch solvent, weinig aromatische verbindingen
(1,2,4-trimethylbenzeen)

Actieve bestanddelen :

- oligosiloxane verbindingen met methyl als hydrofobe groep
- dimethyltetraëthoxydisiloxaan
- triëthoxy gefunctionaliseerde verbindingen

SEM-EDX : Zr

Opmerkingen : verdunning : 1/6

2.3. Controle

- Bepaling van het gehalte aan droge stof door gravimetrie

0.5 g van het product wordt afgewogen in een aluminiumschuitje en bewaard bij 20°C en 40 % R.V. Op geregelde tijdstippen wordt het schuitje gewogen. Wanneer een constant gewicht bereikt wordt kan uit het gewichtsverlies het gehalte aan droge stof berekend worden.

Indien alle product blijkt te verdampen of indien na maximum 1 week zich nog geen vaste stof gevormd heeft, wordt de proef herhaald. Het aluminiumschuitje wordt dan wel op voorhand gevuld met 5 g gemalen steen. Als steensoort wordt een materiaal gekozen dat identiek is aan de ondergrond waarop het product zal getest worden. Vervolgens wordt dezelfde procedure gevolgd als hierboven beschreven.

Het resultaat wordt uitgedrukt in gew. % t.o.v. de oorspronkelijke hoeveelheid afgewogen product.

- Bepaling van de chemische samenstelling van het oplosmiddel en van de actieve stof met behulp van FTIR en/of GCMS.

Identificatie met Fourier Transformatie Infrarood (FT-IR) is gebaseerd op de IR absorptie van moleculen. In het bekomen spectrum worden de absorptie signalen gecorreleerd met de aanwezigheid van bepaalde bindingen. Het patroon maakt de identificatie mogelijk van de aard van het solvent en van de actieve stof.

De aangewende techniek is de Kaliumbromide (KBr)- techniek. Hiervoor wordt 0.25 g KBr samengeperst in een moule onder vacuüm bij 250 bar druk, waardoor een transparante pastille wordt bekomen. Hierop wordt een druppel injectieproduct aangebracht, waarna de pastille in het FTIR toestel wordt geplaatst. Voor de analyse van het uitgeharde product wordt 10 mg van dit laatste gemengd met 0.25 g KBr. Hiervan wordt een transparante pastille gemaakt zoals hierboven beschreven. In beide gevallen wordt het spectrum opgenomen met 20-100 scans in het gebied van 400 tot 4000 cm^{-1} .

Gaschromatografie-Massaspectroscopie (GC-MS) laat de identificatie toe van vluchtige bestanddelen zoals solvent, silaan - en oligomere siloxaanverbindingen. De techniek is gebaseerd op het scheiden van het mengsel in zijn componenten die elk afzonderlijk worden geïdentificeerd door MS.

3. Besluit

De bedoeling van de chemische identificatie van injectieproducten is tweërlei. Enerzijds wordt zij uitgevoerd in het kader van een testrapport, teneinde de initiële samenstelling te bepalen en deze te correleren met waargenomen eigenschappen na de behandeling ervan op diverse substraten. Anderzijds wordt ze uitgevoerd als productcontrole. Vaak wordt immers vastgesteld dat producten geleverd op de werf niet voldoen aan de specificaties vermeld in het lastenboek.

In het IRPA-KIK werd een identificatieprocedure op punt gesteld die het mogelijk maakt met behulp van diverse technieken de aard en hoeveelheid van het actief bestanddeel, de aard van het solvent en het type katalysator te analyseren. Samen met de opgebouwde databank van behandelingsprodukten laat dit toe een efficiënte product controle uit te voeren en tijdig in te grijpen indien niet aan de beschreven specificaties wordt voldaan.

Traitement de l'humidité ascensionnelle -Campagne d'essai de fabrication de mortiers

1. But des essais - problématique

Les campagnes d'essais précédentes ont confirmé l'importance des essais de potentialité de migration des produits d'injection dans les mortiers.

Toutefois, ces essais ont également mis en évidence la difficulté d'obtenir en laboratoire un mortier de nature et de porosité représentatives de celles généralement rencontrées dans les maçonneries.

Les problèmes de confection d'éprouvettes de mortier adaptées aux essais de migration des produits se situent principalement à deux niveaux :

- le premier concerne l'obtention d'éprouvettes de porosité importante et représentative de la réalité ;
- le second est lié à la persistance de l'alcalinité des éprouvettes du fait de la carbonatation très lente de ces mortiers (plusieurs années pour obtenir la carbonatation totale d'éprouvettes de 4 X 4 X 16 cm³).

- Problème lié à la porosité des éprouvettes

Il faut savoir que lors de la construction des murs, le mortier mis en place voit une grande partie de son eau de gâchage absorbée quasi instantanément par les briques, avec comme principale conséquence une structure finale très ouverte et fortement capillaire.

Par contre, le même mortier (même sable et même dosage en liants et en eau) mis en œuvre en laboratoire, offre une porosité nettement plus fermée, liée :

- à l'absence de succion d'eau par les surfaces de contact (parois des moules),
- aux moyens de compactages nécessaires au bon remplissage des moules (vibrations ou table à chocs).

Les éprouvettes de mortier obtenues en laboratoire sont dans tous les cas nettement plus denses, compactes et moins poreuses que les mortiers de pose courants.

- Problème lié à l'alcalinité des mortiers

Les essais précédents ont confirmé que la carbonatation naturelle des éprouvettes de mortier est un phénomène très lent. Pour atteindre l'entièreté d'échantillons de dimensions 4 X 4 X 16 cm³, le phénomène demande de nombreux mois, voire plusieurs années, ... même pour des mortiers relativement peu dosés en liant (C200-G100), pour lesquels on a tenté d'accélérer le processus de carbonatation par des cycles de séchages et d'humidification.

Il faut rappeler que la carbonatation des mortiers ne joue pas seulement un rôle sur l'évolution des porosités, mais également et surtout entraîne la neutralisation du pH très alcalin des mortiers frais, ...pH qui peut influencer la polymérisation des produits et leur durabilité.

2. Paramètres des essais

- dimensions des éprouvettes : 4 x 4 x 4 x 16 cm³, correspondantes aux dimensions retenues pour les essais de mise en place des produits ;
- composition des mortiers semblable à celle retenue pour les essais précédents (C200,G100), à savoir 200 kg de ciment CEM I et 100 kg de chaux hydratée (aérienne) par mètre cube de sable de module de finesse de 1.4. En variante et pour cerner l'influence du liant et de la granulométrie des sables sur la capillarité et la vitesse de carbonatation, des éprouvettes sont également prévues uniquement avec du ciment comme liant (C200) et/ou à base de sable "monogranulaire" (sable M32 axé sur 250 µm) ;
- les mortiers sont élaborés à l'aide d'un minimum d'eau afin d'éviter autant que possible de colmater la porosité intergranulaire lors du compactage ;
- compactage des mortiers dans les moules à l'aide de la table à secousse, de la table vibrante et de manière manuelle.

3. Constatations et mesures

Après une période de 14 jours de durcissement, les éprouvettes ont fait l'objet de mesures de vitesse d'absorption capillaire suivant la norme EN 196-1.

Les éprouvettes ont ensuite été respectivement exposées en ambiance de laboratoire et en chambre de carbonatation accélérée (T° et humidité de labo, mais % en CO2 de 10 %). Durant une trentaine de jours, les vitesses de carbonatation ont ensuite été régulièrement suivies.

4. Confection des éprouvettes

Code des mortiers	Dosages (kg) par mètre cube de sable			Compactage		
	Ciment	Chaux	Eau (*)	Manuel	Table à sec.	Table vibr.
REF	200	100	283	-	X	-
BNC	200	100	283	X	-	-
BNV	200	100	283	-	-	X
BMV	200	100	283	-	-	X
CMC	200	-	230	X	-	-

(*) dosage en eau nécessaire à l'obtention d'une consistance "terre-humide"

5. Résultats des essais

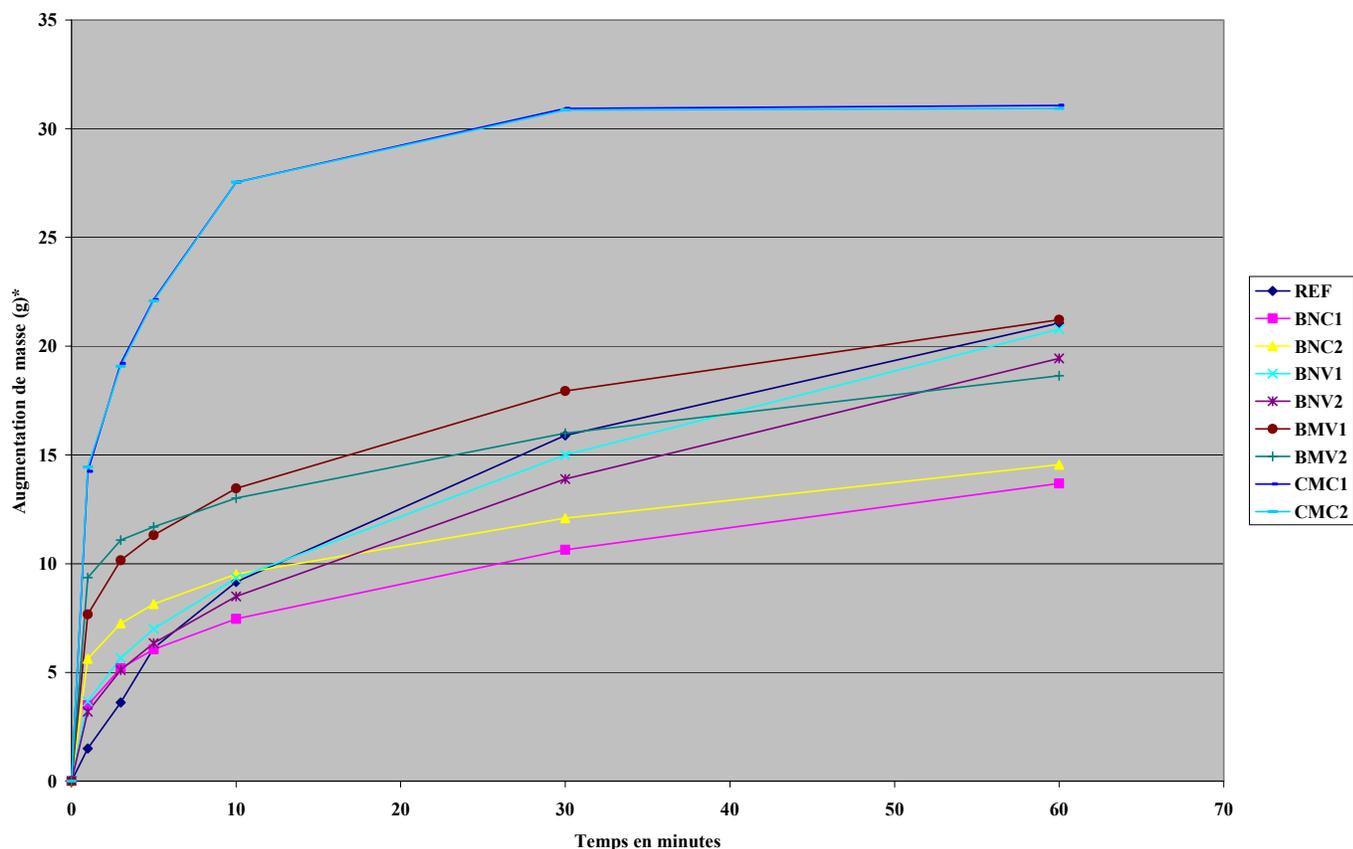
5.1. Vitesse d'absorption d'eau des mortiers

Éprouvettes	REF	BNC1	BNC2	BNV1	BNV2	BMV1	BMV2	CMC1	CMC2
poids sec	215.61	222.77	214.06	241.95	238.07	220	216.46	204.13	205.23
après 1 min.	216.11	226.27	219.69	245.61	241.26	227.67	225.82	218.37	219.67
après 3 min.	216.23	227.96	221.31	247.62	243.18	230.16	227.55	223.34	224.3
après 5 min.	218.73	228.83	222.21	248.95	244.41	231.31	228.15	226.27	227.31
après 10 min.	221.77	230.23	223.58	251.28	246.56	233.46	229.47	231.67	232.77
après 30 min.	228.51	233.41	226.15	256.95	251.97	237.94	232.46	235.06	236.09
après 60 min.	233.68	236.46	228.61	262.73	257.51	241.22	235.1	235.2	236.16

Remarques (voir également graphique en page suivante)

- notons l'excellent parallélisme des résultats d'absorption obtenu sur les couples d'éprouvettes semblables ;
- les résultats d'absorption de tous les mélanges bâtards (ciment + chaux) présentent des allures semblables, assez voisines des éprouvettes de mortier utilisé pour la confection des murs. Rappelons toutefois que les essais de migration des produits réalisés sur ce type de mortier ont montré dans le passé des résultats assez divergents ;
- dans la mesure où les mélanges sont mis en œuvre avec très peu d'eau, la vibration utilisée pour la mise en place des mortiers dans les moules ne semble pas affecter la compacité finale des éprouvettes. Au contraire, l'absorption d'eau des éprouvettes compactées (BNC1 et 2) est moins rapide que celle des éprouvettes semblables mais vibrée (BNV1 et 2) ;
- les mélanges à base de sable "monogranulaire" ou de sable rude de maçonnerie ne montrent pas de différence sensible de vitesse d'absorption d'eau ;
- par contre, les deux éprouvettes à base de ciment (CMC1 et 2) à raison de 200 kg par mètre cube de sable "monogranulaire", montrent une absorption nettement plus rapide et importante que celle de l'ensemble des autres éprouvettes. Pour ces deux éprouvettes, la parfaite correspondance des résultats entraîne pratiquement la superposition des 2 courbes au graphique ci-après.

Vitesse d'absorption des mortiers



(*) l'absorption d'eau est exprimée directement en grammes; pour convertir cette absorption en % (masse), il faut multiplier ces valeurs par ≈ 220 et les diviser par 100.

5.2. Profondeurs de carbonatation

Le tableau ci-après reprend la moyenne des profondeurs de carbonatation mesurées à la phénolphaléine sur deux éprouvettes placées respectivement en laboratoire et dans une ambiance de carbonatation accélérée (25 % de CO_2).

Code des mortiers	Profondeur de carbonatation en labo (mm) après ... jours						Prof. de carbonatation en ambiance CO_2 (mm) après ... jours				
	0	4	7	12	15	27	4	7	11	14	27
REF	0	-	3	-	6	7	-	3	-	20	20
BNC	0	-	2	-	6	7	-	3	-	20	20
BNV	0	-	3	-	7	7	-	1	-	20	20
BMV	0	1	-	8	-	10	3	-	20	-	20
CMC	0	20	-	20	-	20	6	-	20	-	20

Remarques

La vitesse de carbonatation en laboratoire du mortier bâtard est relativement lente et nécessite des délais qui peuvent dépasser ... pour la neutralisation totale de l'alcalinité des éprouvettes de $40 \times 40 \times 80 \text{ mm}^3$.

Pour le mortier élaboré uniquement à base de ciment (C200), cette vitesse de carbonatation est nettement plus rapide et l'on constate des profondeurs carbonatées supérieures à 20 mm après 4 jours. L'exposition dans une ambiance concentrée en CO_2 (25%) permet dans tous les cas d'obtenir une carbonatation totale des éprouvettes après 12 jours et plus précisément : 4 à 7 jours de séchage en étuve à 45°C et 7 jours en ambiance de carbonatation.

6. Conclusions

Sur base des résultats des mesures d'absorption d'eau et de vitesse de carbonatation, on peut constater des cinétiques d'absorptions variables pour les différents mortiers testés et notamment :

- pour les mortiers contenant du sable "monogranulaire" axé sur 250 μm , une absorption extrêmement rapide pour les deux éprouvettes liées au ciment pur (CMC1 et 2), suivie par le mortier bâtard (absorption très rapide mais limitée aux deux premières minutes). Pour ce dernier mélange on note également une quantité d'eau absorbée après les 60 minutes d'essai nettement plus faible et qui se rapproche de celle absorbée par certains mortiers bâtards ;
- pour les mélanges à base de sable courant de type "rude pour maçonneries" (module de finesse 1.4), l'absorption est nettement plus lente, surtout durant les premières minutes de l'essai. Par la suite, on constate après 60 minutes, une absorption sensiblement plus faible pour les éprouvettes compactée à la main par rapport aux mortiers mis en place par vibration ou à la table à chocs ;

Ces données devraient inciter à sélectionner pour nos essais les deux types de mortiers offrant des comportements "extrêmes", à savoir la composition CMC (liant ciment et sable monogranulaire) et BNC (liant mixte ciment-chaux et sable rude de maçonnerie – module 1.4). pour les deux mélanges, la mise en place dans les moules se réalise par compactage manuel.

La vitesse de carbonatation en ambiance laboratoire est fondamentalement différente pour les deux compositions précitées ; voisine de quelques jours pour le mortier de type CMC et ~très nettement supérieure à .27.jours pour le mortier bâtard BNC.

Dans cette optique et afin de réduire les délais de neutralisation des éprouvettes d'essai, il serait utile de prévoir la mise en carbonatation accélérée durant 7 jours des éprouvettes élaborées à partir de liant bâtard.

MESURE DE L'HUMIDITÉ DES MURETS D'ESSAIS

Préambule

En réunion du 14 décembre 2000 (doc. NM/G2/04 –doc.2001/1), il est apparu le souhait de contrôler l'évolution de l'humidité des matériaux avant et après les traitements d'injection des murets. Ces mesures devraient permettre de confirmer les données issues du suivi des quantités d'eau à ajouter dans les bacs d'essai afin de maintenir les niveaux constants.

Tenant compte que la mesure de l'humidité des matériaux de construction est et reste un problème extrêmement complexe vu la diversité des paramètres d'influence, les méthodes et paramètres ci-après ont été retenus en fonction des contraintes liées au poste d'essai.

Paramètres retenus pour les essais

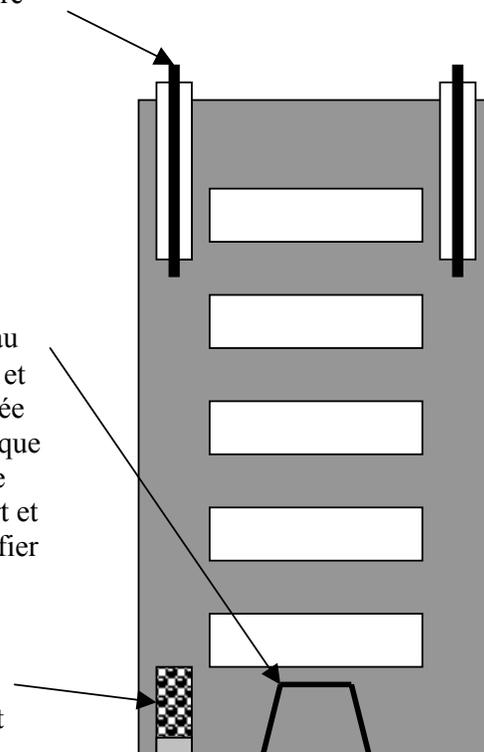
Pour le suivi de l'humidité, seule la brique a été retenue, du fait que la friabilité du mortier des joints ne permet pas la fabrication de "bouchons" amovibles.

Parmi les méthodes potentielles de contrôle de l'humidité, 3 techniques ont été testées comparativement. Elles sont brièvement décrites et illustrées ci-après.

(1) la mise en place de sondes pour la mesure de l'évolution de la résistivité électrique à l'intérieur des matériaux. Ces sondes en acier inoxydable, placées à demeure, assurent un contact électrique à leur extrémité via la poudre de forage du trou de placement. Cette technique est inspirée d'une ancienne recherche CSTC sur le traitement de l'humidité (convention CSTC-IRSIA 2692) ;

(2) la pesée de deux échantillons de matériau (\varnothing 26 et 32 mm) de même nature que la brique et placés de manière "amovible". La difficulté est liée dans ce cas à l'obtention d'un bon contact physique entre le matériau et le morceau rapporté, afin de garantir l'équilibre de l'humidité entre le support et l'échantillon de mesure. Les essais visent à vérifier la faisabilité et la fiabilité d'une telle mesure en utilisant le principe d'encastrement d'éléments coniques rodés ;

(3) le suivi et la mesure de l'humidité d'équilibre d'un échantillon de mousse souple et absorbante, placé dans une cavité forcée dans la brique.



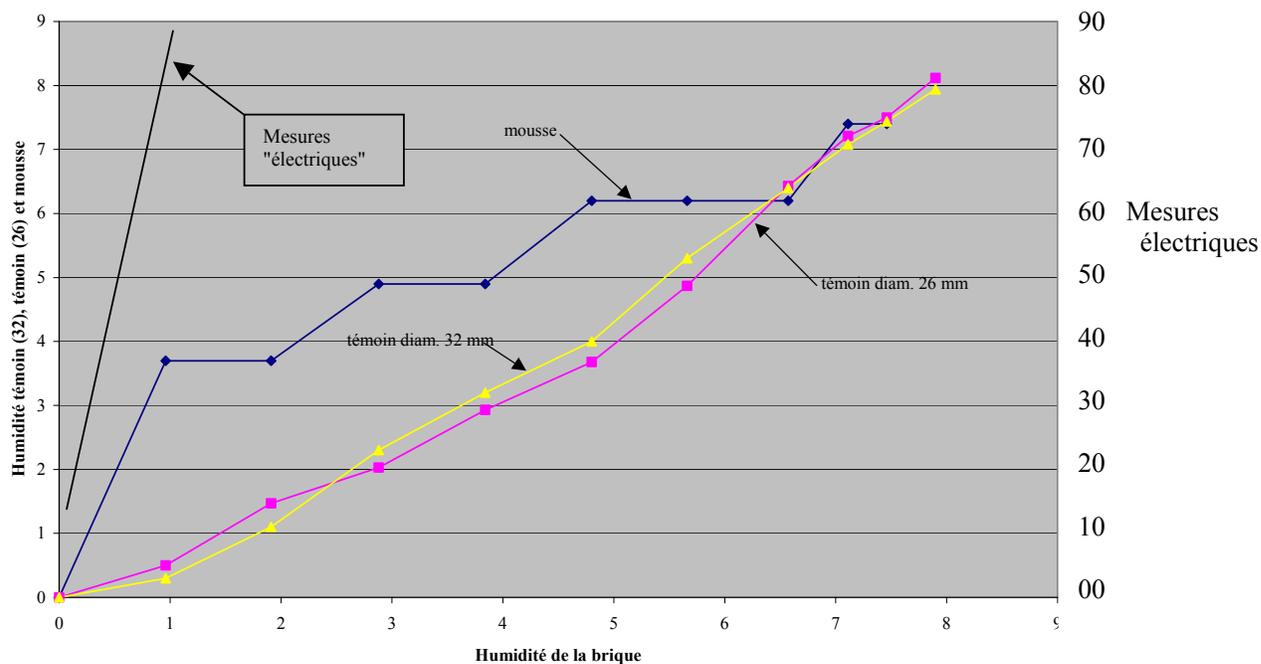
Pour les trois principes étudiés, des mesures ont été menées en fonction de différents taux d'humidification prédéfinis de manière à établir les courbes d'équivalence. L'humidité a été apportée par une solution saline de même type que celle utilisée dans les postes d'essai lors de l'humidification des murets (solution à 3 % d'un mélange de Na₂SO₄ (62.5 %), NaCl (25 %) et KNO₃ (12.5 %)). Après chaque ajoute d'eau (voisines de ≈ 1 % d'humidité), la brique est placée en conditionnement hermétique durant une semaine avant réalisation des mesures.

Résultats des essais

Les résultats des pesées aux différents stades de l'humidification sont repris au tableau et graphique ci-après.

Poids tot. brique	% H-Masse	Poids mousse	% H-Masse	Carotte 26	% H-Masse	Carotte 32	% H-Masse	Mesure électrique
1691.91	0	0.81	0	32.02	0	65.44	0	13
1708.22	0.96	0.84	3.7	32.18	0.5	65.65	0.3	93
1724.3	1.91	0.84	3.7	32.49	1.47	66.16	1.1	100
1740.7	2.88	0.85	4.9	32.67	2.03	66.92	2.3	100
1756.8	3.84	0.85	4.9	32.96	2.93	67.55	3.2	100
1773.11	4.8	0.86	6.2	33.2	3.68	68.09	4	100
1787.69	5.66	0.86	6.2	33.58	4.87	68.9	5.3	100
1803.09	6.57	0.86	6.2	34.08	6.43	69.66	6.4	100
1812.49	7.11	0.87	7.4	34.33	7.21	70.07	7.08	100
1818.07	7.46	0.87	7.4	34.42	7.5	70.31	7.44	100
1825.64	7.9	0.97	19.8	34.62	8.12	70.64	7.95	100

Contrôle de l'humidité



Remarques

- D'emblée on constate le caractère très aléatoire des mesures réalisées à l'aide d'un appareil électrique de type "résistif". En cas de brique parfaitement sèche, l'appareil indique déjà une valeur de l'ordre de 13 unités (correspondant à $\approx 10^8$ Ohm). Dès que la brique présente un taux d'humidité légèrement supérieur à 1 %, l'appareil se trouve en fond d'échelle (100 unités correspondant à $\approx 2 \cdot 10^4$ Ohm). Ces essais confirment donc que ce type d'appareil est totalement inadapté à la mesure de l'humidité des matériaux de maçonneries.
- Le témoin en mousse dense de "polyether", présente un comportement relativement complexe qui se traduit par des valeurs d'humidité nettement supérieures au support pour des taux d'humidité de la brique inférieurs à 6 %. Pour une humidité du support voisines de 7 à 8 %, il existe une bonne (mais difficilement explicable!) correspondance entre la mousse et la brique. Enfin, lorsque l'on arrive à des valeurs d'humidité proches de la saturation de la brique, l'humidité de la mousse augmente brusquement et de manière très importante.
- Les deux témoins de même nature que la brique et se présentant sous la forme de bouchons coniques parfaitement ajustés au support, offrent les résultats les plus probants. Si l'on note au début de la phase d'humidification un léger retard dans les équilibres entre ces témoins et le support, on constate assez rapidement une parfaite correspondance entre l'humidité mesurée dans les témoins et la brique. Cette méthode permet donc un suivi non destructif (par opposition par exemple aux prélèvements successifs pour pesées ou pour la mesure à la bombe à carbure), aisé et précis de l'humidité des matériaux. La principale difficulté de la méthode est liée à l'ajustement très précis entre le témoin et le support, qui ne peut s'obtenir que par un travail minutieux à l'aide d'outils diamantés spéciaux.

SECONDE CAMPAGNE D'ESSAI SUR LES MATÉRIAUX

1. Objectifs

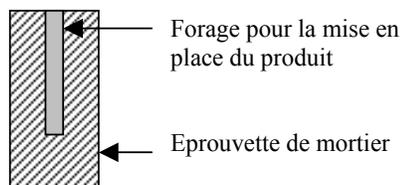
En fonction des enseignements obtenus lors de la première campagne d'essais sur les matériaux (voir annexe 4), il a été décidé en groupe de travail de poursuivre dans cette voie et d'affiner les paramètres d'essais afin d'obtenir un maximum d'informations pratiques sur l'efficacité potentielle des produits d'injection.

Les résultats assez mitigés obtenus sur les murs ont encore tendance à accentuer l'importance des essais sur matériaux et leur impact potentiel dans l'appréciation globale des performances des produits de traitement.

Les objectifs directs de ces essais se retrouvent dans le choix des paramètres détaillés ci-après et notamment, les supports les plus représentatifs et susceptibles d'offrir les résultats les plus pertinents, les modalités optimales d'application des produits et de conditionnement après leur application, les principes de mesure de l'efficacité potentielle des produits,

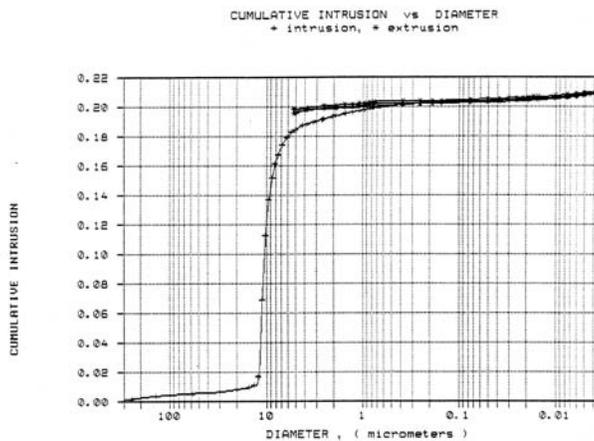
2. Paramètres d'essai

Eprouvettes d'essai : les éprouvettes ont comme dimensions : 40 X 40 X 80 mm³ et sont forées en Ø 10 mm sur les 2/3 de leur hauteur.

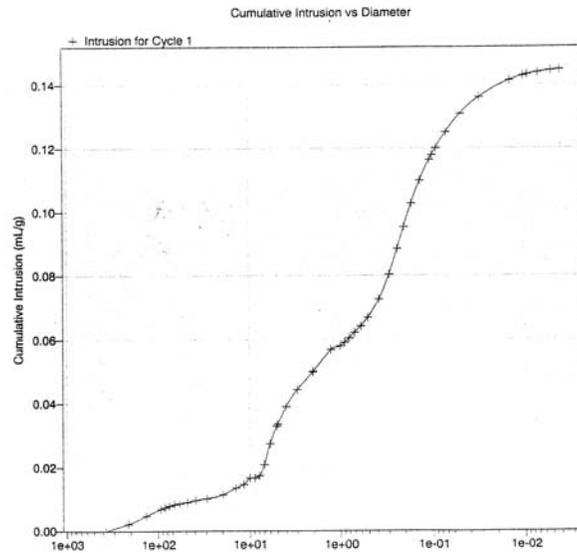


Les deux mortiers ont été sélectionnés sur base des résultats d'essais repris en annexe 9 et la brique est semblable à celle retenue en première campagne. Les trois matériaux sont identifiés ci-après :

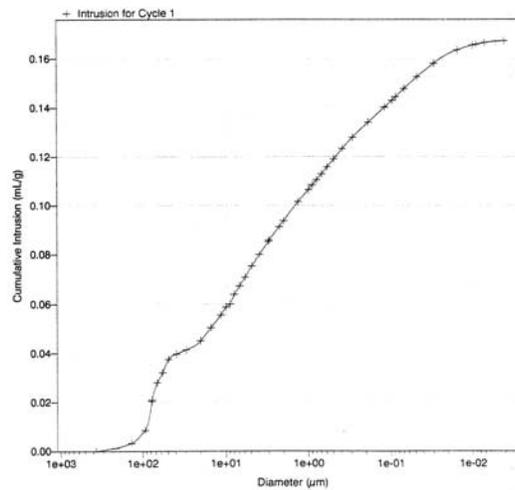
- brique pleine (type Avondrod) :
- masse vol. apparente:
- 1750 ± 50 kg/m³
- porosité totale Hg :
- 36 ± 5 vol. %



- mortier C200-G100
(sable rude, module 1.4)
masse volumique
apparente:
 $1880 \pm 30 \text{ kg/m}^3$
porosité totale au mercure :
 $27 \pm 3 \text{ vol. \%}$



- mortier C200
(sable monogranulaire M31)
masse volumique apparente:
 $1820 \pm 30 \text{ kg/m}^3$
porosité totale au mercure :
 $29 \pm 3 \text{ vol. \%}$



Humidité lors de l'application des produits : 60 % et 85 % des taux de saturation par capillarité (valeurs augmentées par rapport à la première campagne afin de se rapprocher des paramètres utilisés par WACKER)

Méthode de mise en place des produits : trois principes de mise en place des produits ont été examinés comparativement :

- 2 ml versés dans la perforation centrale, pénétration par capillarité
- 4 ml versés dans la perforation centrale, pénétration par capillarité
- 4 ml versés dans la perforation centrale, pénétration sous une pression de 2 bars

Produits retenus : - Wacker 280 (65.3 %) dilué à 7 % dans le solvant aliphatique D40
- Emulsion Goldschmidt 328 (50%) diluée à 7 %
- Emulsion Wacker 550 (100%) diluée à 7 %

- Emulsion Bayer WB (58%) diluée à 7 %
- Siliconate Rodia 51T (28%) diluée à 7 %
- Solution bouche-pores (40%)

Conditionnement après traitement : directement après mise en place des produits, les éprouvettes sont conditionnées dans une enceinte hermétique durant 7 jours (maintient des conditions initiales d'humidité).

Mesures et constatations :

- constatation du comportement du produit après le conditionnement (pénétration, gélification, effet de filtration,...)
- absorption par immersion avant et après traitements
- absorption par capillarité (via une face latérale)
- mesure des volumes traités (après découpe, séchage et "réhumidification")

Remarque : afin de mieux cerner la dispersion liée aux différents paramètres d'essais, trois éprouvettes semblables (mortier C200/G100 carbonaté, 60 % humidité) ont fait l'objet d'application dans des conditions identiques (4 ml, pression 2 bar, produit W280).

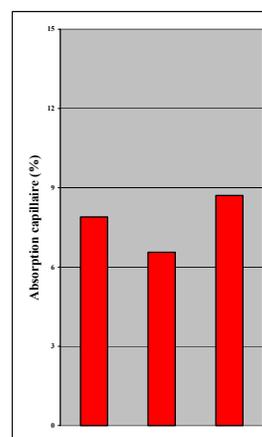
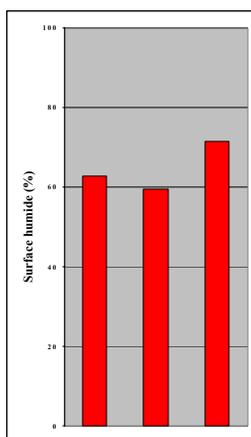
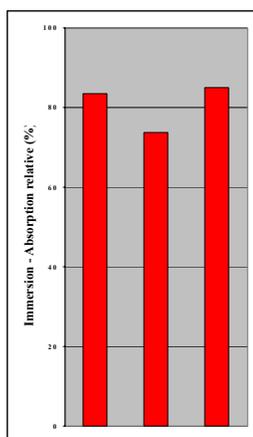
3. Résultats des essais

Les trois tableaux en pages suivantes reprennent l'ensemble des résultats obtenus pour les 6 formulations testées, les trois types d'application et les deux valeurs d'humidité ; ceci respectivement pour les éprouvettes de terre-cuite (page 4), pour le mortier bâtard (page 5) et pour le mortier de ciment élaboré à base de sable de granulométrie raide (page 6).

Comme pour la première campagne et préalablement aux essais, les éprouvettes sont caractérisées en absorption d'eau par immersion, de manière à écarter les éventuelles valeurs anormales. De plus, le classement des absorptions dans un ordre croissant en fonction des paramètres abordés (voir 4^{ème} colonne des tableaux), permet de compenser la très légère dispersion des éprouvettes, si l'on désire affiner l'interprétation des résultats.

Enfin, rappelons que trois éprouvettes retenues parmi les valeurs extrêmes en immersion, ont fait l'objet de traitements identiques afin de confirmer l'impact de l'hétérogénéité des éprouvettes sur les mesures de performance des traitements. Les résultats obtenus sont repris aux graphiques ci-après.

Différence potentielle d'efficacité du traitement (W280 – 4 ml – humidité de 60 % - pression de 2 bars) en fonction de l'hétérogénéité des éprouvettes (mortier bâtard)



BRIQUE

Numero:	Humidité (%)	Produit Concentration: 7 % (-)	Absorption d'eau par immersion AVANT TRAITEMENT	Absorption d'eau par immersion APRES TRAITEMENT	Reduction d'absorption	Surface traitée (mesure après 1 h d'absorption) (cm²)	Zone traitée par rapport à la surface de l'éprouvette (%)	Masse sèche (g)	Masse humide après absorption d'eau par capillarité (24 h) (g)	Absorption d'eau par rapport à l'ABS TRAITEMENT (%)
			(masse-%)	(masse-%)	(%)					
16	60%	W 280 - 2 ml - cap	12,73	5,81	54,36	20,0	57	91,54	96,46	5,4
62	85%	W 280 - 2 ml - cap	12,76	9,53	25,33	9,3	27	97,15	105,73	8,8
61	60%	W 280 - 4 ml - cap	12,86	5,14	60,01	29,1	83	99,45	103,37	3,9
53	85%	W 280 - 4 ml - cap	12,88	7,85	39,36	11,8	34	95,15	101,29	6,5
25	60%	W 280 - 4 ml - 2 bar	12,90	4,46	65,45	32,5	93	96,20	98,75	2,7
17	85%	W 280 - 4 ml - 2 bar	12,96	7,11	45,11	13,0	37	99,63	106,94	7,3
44	60%	G 328 - 2 ml - cap	12,96	0,95	92,65	35,0	100	89,30	89,45	0,2
13	85%	G 328 - 2 ml - cap	12,97	1,80	86,16	35,0	100	105,38	105,51	0,1
51	60%	G 328 - 4 ml - cap	13,02	1,29	90,09	35,0	100	98,74	98,91	0,2
60	85%	G 328 - 4 ml - cap	13,05	1,22	90,62	35,0	100	96,70	96,84	0,1
46	60%	G 328 - 4 ml - 2 bar	13,06	0,79	93,95	35,0	100	93,88	94,00	0,1
56	85%	G 328 - 4 ml - 2 bar	13,07	2,04	84,42	35,0	100	98,20	99,01	0,8
26	60%	Bayer - 2 ml - cap	13,07	12,38	5,30	0,1	0	97,77	109,86	12,4
30	85%	Bayer - 2 ml - cap	13,08	12,25	6,37	1,4	4	104,38	117,13	12,2
32	60%	Bayer - 4 ml - cap	13,08	11,91	9,00	4,9	14	91,20	101,80	11,6
41	85%	Bayer - 4 ml - cap	13,13	5,42	58,71	26,5	76	79,61	81,95	2,9
43	60%	Bayer - 4 ml - 2 bar	13,15	9,80	25,45	5,0	14	96,43	105,67	9,6
4	85%	Bayer - 4 ml - 2 bar	13,15	9,52	27,59	7,0	20	105,14	113,75	8,2
33	60%	W 550 - 2 ml - cap	13,18	6,49	50,76	11,5	33	93,00	97,61	5,0
64	85%	W 550 - 2 ml - cap	13,19	8,24	37,54	9,0	26	102,03	108,30	6,1
9	60%	W 550 - 4 ml - cap	13,19	2,70	79,51	27,5	79	100,66	102,57	1,9
21	85%	W 550 - 4 ml - cap	13,24	3,91	70,46	27,5	79	90,45	92,28	2,0
59	60%	W 550 - 4 ml - 2 bar	13,28	1,22	90,84	32,5	93	105,50	106,20	0,7
28	85%	W 550 - 4 ml - 2 bar	13,29	1,48	88,88	35,0	100	93,31	94,39	1,2
66	60%	R 51 T - 2 ml - cap	13,33	2,12	84,09	35,0	100	103,05	103,52	0,5
49	85%	R 51 T - 2 ml - cap	13,35	2,21	83,48	35,0	100	96,58	96,97	0,4
65	60%	R 51 T - 4 ml - cap	13,46	2,69	80,04	35,0	100	102,44	103,20	0,7
15	85%	R 51 T - 4 ml - cap	13,48	2,58	80,84	35,0	100	97,37	98,08	0,7
54	60%	R 51 T - 4 ml - 2 bar	13,57	2,39	82,37	35,0	100	98,42	99,05	0,6
20	85%	R 51 T - 4 ml - 2 bar	13,58	2,96	78,25	35,0	100	87,08	87,73	0,7
1	60%	BP - 2 ml - cap	13,61	12,67	6,89	0,0	0	93,86	106,38	13,3
18	85%	BP - 2 ml - cap	13,68	13,50	1,34	0,0	0	88,28	100,23	13,5
58	60%	BP - 4 ml - cap	13,70	12,26	10,55	0,0	0	85,84	96,80	12,8
36	85%	BP - 4 ml - cap	13,71	12,78	6,75	0,0	0	95,15	107,53	13,0
24	60%	BP - 4 ml - 2 bar	13,71	12,65	7,74	0,0	0	93,46	104,78	12,1
12	85%	BP - 4 ml - 2 bar	13,71	12,49	8,89	0,0	0	85,56	96,51	12,8

MORTIER BATARD (BNC)

Numéro	Humidité		Absorption d'eau par immersion AVANT TRAITEMENT	Absorption d'eau par immersion APRÈS TRAITEMENT	Réduction d'absorption (%)	Surface traitée (cm ²)	Zone traitée par rapport à la surface de l'épave (%)	Masse sèche (g)	Masse humide après absorption d'eau par capillarité (24h) (g)	Absorption d'eau par capillarité APRÈS TRAITEMENT (%)
	(%)	Produit Concentration: 7 % (g)								
17	60%	W 280 - 4 ml - 2 bar	10,88	9,07	16,61	13,0	37	98,37	106,14	7,9
3	60%	W 280 - 4 ml - 2 bar	10,92	8,05	26,32	14,2	41	105,23	112,13	6,6
18	60%	W 280 - 4 ml - 2 bar	10,93	9,05	17,85	7,3	21	95,56	102,54	7,2
7	85%	W 280 - 2 ml - cap	10,93	9,11	16,68	35,0	100	103,79	109,10	5,1
35	60%	W 280 - 4 ml - cap	10,94	7,03	35,72	13,0	37	97,81	102,62	4,9
29	85%	W 280 - 4 ml - cap	10,96	8,08	26,27	35,0	100	99,83	104,38	4,6
42	60%	W 280 - 4 ml - 2 bar	11,03	9,38	15,02	10,0	29	95,55	103,87	8,7
26	85%	W 280 - 4 ml - 2 bar	11,04	8,26	25,19	35,0	100	96,52	99,46	3,0
33	60%	G 328 - 2 ml - cap	11,07	10,79	2,48	0,0	0	93,67	103,12	10,1
11	85%	G 328 - 2 ml - cap	11,07	10,95	9,28	1,0	3	106,62	116,76	9,5
16	60%	G 328 - 4 ml - cap	11,09	10,36	6,56	4,6	13	95,43	105,01	10,0
2	85%	G 328 - 4 ml - cap	11,13	9,65	13,27	20,0	57	93,12	98,36	5,6
9	60%	G 328 - 4 ml - 2 bar	11,15	9,64	13,55	18,1	52	98,92	105,80	7,0
24	85%	G 328 - 4 ml - 2 bar	11,21	9,93	11,25	2,5	7	93,16	101,96	9,4
15	60%	Bayer - 2 ml - cap	11,24	11,03	1,92	0,0	0	98,97	110,02	11,2
21	85%	Bayer - 2 ml - cap	11,25	11,06	1,65	0,0	0	95,55	105,25	10,2
6	60%	Bayer - 4 ml - cap	11,26	11,06	1,80	0,0	0	93,66	104,15	11,2
23	85%	Bayer - 4 ml - cap	11,27	11,29	-0,18	0,0	0	96,59	106,26	10,0
8	60%	Bayer - 4 ml - 2 bar	11,31	11,11	1,77	0,0	0	96,21	107,09	11,3
34	85%	Bayer - 4 ml - 2 bar	11,34	11,07	2,38	0,0	0	103,65	113,78	9,8
28	60%	W 550 - 2 ml - cap	11,40	10,85	4,80	1,0	3	99,86	110,63	10,8
30	85%	W 550 - 2 ml - cap	11,44	10,94	4,37	0,0	0	93,23	103,65	11,2
41	60%	W 550 - 4 ml - cap	11,44	10,43	8,87	1,8	5	94,58	104,37	10,4
36	85%	W 550 - 4 ml - cap	11,44	10,34	9,66	5,0	14	99,24	108,63	9,5
14	60%	W 550 - 4 ml - 2 bar	11,47	9,60	16,32	10,8	31	94,62	103,52	9,4
27	85%	W 550 - 4 ml - 2 bar	11,48	10,21	11,01	17,5	50	96,71	105,10	8,7
22	60%	R 51 T - 2 ml - cap	11,56	11,30	2,24	0,0	0	93,39	103,94	11,3
38	85%	R 51 T - 2 ml - cap	11,64	11,29	3,03	0,0	0	95,74	106,53	11,3
32	60%	R 51 T - 4 ml - cap	11,65	11,28	3,12	7,0	20	93,99	103,15	9,7
31	85%	R 51 T - 4 ml - cap	11,68	11,41	2,33	12,5	36	97,81	106,25	8,6
5	60%	R 51 T - 4 ml - 2 bar	11,71	10,61	9,39	12,5	36	91,59	99,14	8,2
12	85%	R 51 T - 4 ml - 2 bar	11,86	11,29	4,81	0,0	0	91,32	100,72	10,3
19	60%	BP - 2 ml - cap	11,87	8,11	31,69	11,0	31	88,69	95,51	7,7
4	85%	BP - 2 ml - cap	11,91	8,74	25,57	19,0	54	95,93	102,30	6,6
10	60%	BP - 4 ml - cap	11,93	6,42	46,20	25,0	71	100,06	105,65	5,6
37	85%	BP - 4 ml - cap	11,98	7,46	37,79	35,0	100	104,90	110,12	5,0
20	60%	BP - 4 ml - 2 bar	12,03	6,86	42,96	27,5	79	95,80	99,91	4,3
40	85%	BP - 4 ml - 2 bar	12,08	7,32	39,44	35,0	100	91,48	95,09	3,9

MORTIER CIMENT MONOGRANULAIRE (CMC)

N°:	Humidité (%)	Produit Concentration: 7 % (-)	Absorption d'eau par immersion AVANT TRAITEMENT	Absorption d'eau par immersion APRES TRAITEMENT	Reduction d'absorption	Surface traitée (mesure après 1 h d'absorption) (cm²)	Zone traitée par rapport à la surface de l'éprouvette (%)	Masse sèche (g)	Masse humide après absorption d'eau par capillarité (24 h) (g)	Absorption d'eau par capillarité APRES TRAITEMENT (%)
			(masse-%)	(masse-%)	(%)					
23	60%	W 280 - 2 ml - cap	12.71	7.30	42.53	15.0	43	106.51	114.08	7.1
16	85%	W 280 - 2 ml - cap	12.73	9.42	26.01	7.0	20	101.87	110.79	8.8
27	60%	W 280 - 4 ml - cap	12.75	4.73	62.93	35.0	100	111.31	114.57	2.9
2	85%	W 280 - 4 ml - cap	12.87	7.60	40.95	17.5	50	95.72	103.09	7.7
10	60%	W 280 - 4 ml - 2 bar	12.99	4.80	63.06	35.0	100	104.19	107.34	3.0
41	85%	W 280 - 4 ml - 2 bar	13.01	7.59	41.64	25.0	71	99.16	106.33	7.2
30	60%	G 328 - 2 ml - cap	13.03	10.26	21.26	6.5	19	105.90	116.42	9.9
9	85%	G 328 - 2 ml - cap	13.05	9.61	26.34	10.0	29	102.91	110.87	7.7
11	60%	G 328 - 4 ml - cap	13.06	10.28	21.31	4.0	11	96.34	106.44	10.5
36	85%	G 328 - 4 ml - cap	13.06	7.21	44.84	12.5	36	91.57	97.67	6.7
12	60%	G 328 - 4 ml - 2 bar	13.11	7.64	41.70	20.0	57	99.48	105.20	5.7
34	85%	G 328 - 4 ml - 2 bar	13.15	6.85	47.95	31.0	89	103.28	108.50	5.1
5	60%	Bayer - 2 ml - cap	13.21	12.09	8.49	0.0	0	95.13	107.78	13.3
13	85%	Bayer - 2 ml - cap	13.21	12.30	6.91	0.0	0	102.10	115.09	12.7
29	60%	Bayer - 4 ml - cap	13.21	12.31	6.82	0.0	0	105.83	119.67	13.1
8	85%	Bayer - 4 ml - cap	13.24	12.46	5.83	0.0	0	97.83	110.35	12.8
22	60%	Bayer - 4 ml - 2 bar	13.30	11.27	15.21	0.0	0	101.58	113.32	11.6
3	85%	Bayer - 4 ml - 2 bar	13.33	11.58	13.17	0.0	0	94.66	106.19	12.2
19	60%	W 550 - 2 ml - cap	13.34	10.71	19.72	0.0	0	93.15	102.83	10.4
28	85%	W 550 - 2 ml - cap	13.34	10.52	21.14	1.3	4	96.48	106.54	10.4
26	60%	W 550 - 4 ml - cap	13.40	10.42	22.25	7.5	21	88.99	97.70	9.8
6	85%	W 550 - 4 ml - cap	13.40	10.12	24.48	2.5	7	98.66	108.89	10.4
17	60%	W 550 - 4 ml - 2 bar	13.44	9.36	30.33	7.0	20	96.70	104.62	8.2
42	85%	W 550 - 4 ml - 2 bar	13.50	8.51	36.96	19.5	56	104.56	113.22	8.3
25	60%	R 51 T - 2 ml - cap	13.50	12.59	6.76	0.0	0	99.14	111.35	12.3
31	85%	R 51 T - 2 ml - cap	13.53	12.10	10.51	0.0	0	106.98	119.20	11.4
14	60%	R 51 T - 4 ml - cap	13.55	13.69	-1.06	7.0	20	105.21	116.60	10.8
32	85%	R 51 T - 4 ml - cap	13.55	11.63	14.14	0.8	2	99.46	110.42	11.0
21	60%	R 51 T - 4 ml - 2 bar	13.62	13.22	2.93	0.5	1	97.16	108.58	11.8
37	85%	R 51 T - 4 ml - 2 bar	13.63	11.94	12.38	0.0	0	96.72	108.54	12.2
35	60%	BP - 2 ml - cap	13.66	9.15	33.00	12.5	36	106.91	116.55	9.0
18	85%	BP - 2 ml - cap	13.67	10.22	25.23	6.6	19	101.09	111.15	10.0
38	60%	BP - 4 ml - cap	13.72	8.07	41.18	21.4	61	96.55	103.56	7.3
40	85%	BP - 4 ml - cap	13.73	8.75	36.27	16.0	46	96.60	104.60	8.3
1	60%	BP - 4 ml - 2 bar	13.77	9.23	32.98	13.0	37	125.78	135.56	7.8
15	85%	BP - 4 ml - 2 bar	13.80	6.98	49.43	21.0	60	95.35	101.86	6.8

4. Enseignements des essais et remarques

4.1. Dispersion des résultats

Compte tenu de l'hétérogénéité inévitable des matériaux de construction, les résultats d'ensemble des essais (voir graphiques en page 9, 10 et 11), ainsi que les valeurs obtenues sur les trois éprouvettes traitées de manière semblable (voir graphiques en page précédente), incitent à considérer la dispersion liée aux supports et aux principes de mesures comme relativement faible et ne devant pas jouer un rôle sensible dans l'appréciation de l'efficacité potentielle des traitements.

On constate de plus que la pression de 2 bars, retenue comme un des paramètres d'application, représente une cause importante de dispersion des résultats suite aux pertes visibles de produit durant cette phase. Dans cette optique et compte tenu de l'influence négligeable de la pression sur les performances des traitements (voir point ci-après), il est décidé dans le futur, d'éliminer ce paramètre afin d'augmenter la reproductibilité des essais.

4.2. Influence des paramètres de traitement

De manière assez inattendue et pour les trois supports étudiés, la mise en place de 2 ml ou de 4 ml de produits (quels qu'ils soient !) ne semble pas apporter de différence importante d'efficacité. Il en est de même de l'application sous une pression de 2 bars. L'explication la plus plausible avancée en groupe de travail concerne un effet chromatographique dans les premiers millimètres (ou centimètres suivant les dimensions des pores), contrariant la pénétration de la matière active qui présente des poids moléculaires importants (grosses molécules).

Si l'on tient compte du fait que pour certaines solutions l'on obtient des diffusions de produits maximales à partir de 2 ml et que l'usage de pressions entraîne des fuites visibles de produit avec les erreurs que cela engendre, on peut utilement retenir dans le futur des applications par simple gravité de quantités maximales de 2 ml.

4.3. Influence de l'humidité initiale lors de l'application

Malgré l'interaction de nombreux autres paramètres, on peut considérer que l'humidité des supports voisine de 60 % du taux de saturation par immersion, favorise sensiblement les performances du produit siloxane et accessoirement du produit bouche-pores, tous les deux en phase solvant. Cette constatation est semblable pour les trois supports retenus.

Par opposition, une humidité de l'ordre de 85 % du taux de saturation par immersion, semble entraîner des performances meilleures pour la formulation en phase aqueuse (émulsion) la plus efficace.

Pour les émulsions montrant des performances moindres, de même que pour le silicate, les résultats sont très variables et non liés à l'humidité initiale des supports. Ces résultats devraient inciter à retenir pour les essais futurs les deux taux d'humidité actuels, si l'on désire éviter une procédure favorisant l'une ou l'autre famille de produits.

De plus, l'examen de ces résultats en groupe de travail a soulevé la question de l'efficacité potentielle de ces produits face à des matériaux proches de la saturation. Cette situation n'est certes pas courante dans la réalité de chantier (voir également l'article publié à ce sujet par nos collègues australiens), mais les difficultés rencontrées dans ce cas par les applicateurs, mérite que l'on retienne une humidité

complémentaire voisine de 95 % du taux de saturation lors de la prochaine campagne d'essais sur les matériaux.

4.4. Influence du support sur l'efficacité des traitements

L'influence des supports sur les résultats d'essais est fondamentale. Cette influence varie fortement suivant les formulations testées et l'on note pour :

- **les briques**, des performances :
 - assez bonnes pour les siloxanes en phase solvant,
 - bonnes à très bonnes pour les produits en phase aqueuse (siloxane en émulsion et méthylsiliconate),
 - totalement insuffisantes pour le produit bouche-pores.
- **les mortiers bâtards**, des résultats souvent opposés aux précédents c.à.d. :
 - bons à très bons pour les siloxanes en phase solvant et le produit bouche-pores,
 - moyens à faibles pour les produits en phase aqueuse (siloxane en émulsion et méthylsiliconate).
- **les mortiers de ciments contenant du sable de granulométrie raide**, des variations d'efficacité assez semblables à celles constatées pour les mortiers bâtards avec une ampleur moindre.

Les résultats assez semblables obtenus pour les deux types de mortier, incitent à ne retenir qu'une seule formulation pour la prochaine campagne d'essais. Ceci permettrait d'envisager d'autres matériaux tels la pierre blanche calcaire et un second type de brique.

4.5. Efficacité des différentes formulations

Même s'il faut rappeler que cette campagne d'essais ne vise aucunement la comparaison de l'efficacité des différents produits, mais bien la mise au point d'une procédure adaptée à l'ensemble des formulations utilisées contre l'humidité ascensionnelle, on ne peut que constater les différences très importantes d'efficacité entre des produits pourtant couramment utilisés pour ce type de traitement.

Le **produit bouche-pores**, qui présente une bonne efficacité sur les mortiers, est totalement inopérant en cas de support en brique de terre cuite.

A l'inverse, le **méthylsiliconate** et les **siloxanes en phase aqueuse**, présentent de bons à très bons résultats sur la brique, mais moins d'effet sur les mortiers.

Notons qu'un des siloxanes en phase aqueuse (WB), montre systématiquement et sur tous les supports, des performances insuffisantes. Ce manque d'efficacité peut en partie s'expliquer par l'instabilité de l'émulsion qui, notamment en cas de supports de mortier, présente visuellement une rupture d'émulsion dès les premières secondes d'application.

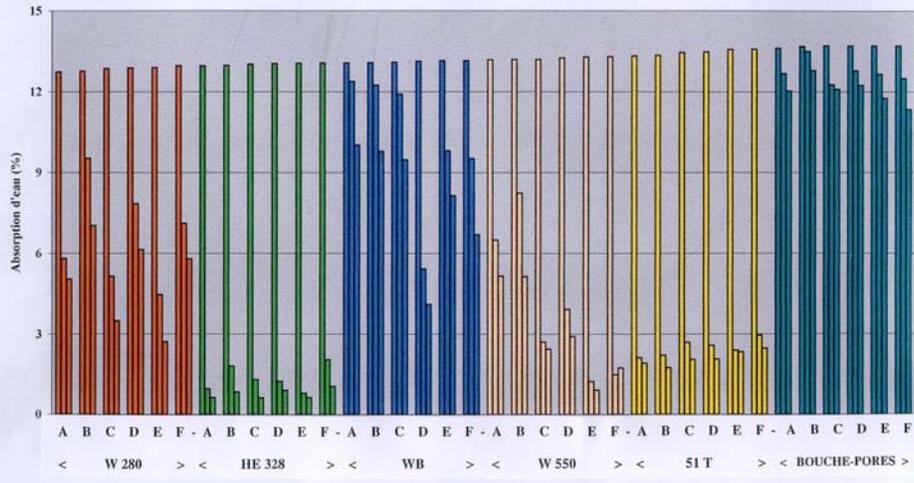
Le **siloxane en phase solvant** apparaît comme le plus polyvalent sur les trois supports, avec des résultats relativement bons dans tous les cas.

4.6. Influence de cycles d'humidification et de séchage sur l'efficacité des produits

L'ensemble des éprouvettes d'essai a fait l'objet d'une dizaine de cycles d'humidification/séchage, afin de s'assurer de l'impact de ces conditions, couramment rencontrées sur chantier, sur les performances potentielles des traitements. Les résultats de ces essais sont repris aux graphiques en pages 9, 10 et 11. L'examen de ces résultats montre pour la quasi-totalité des produits et pour les trois matériaux, une

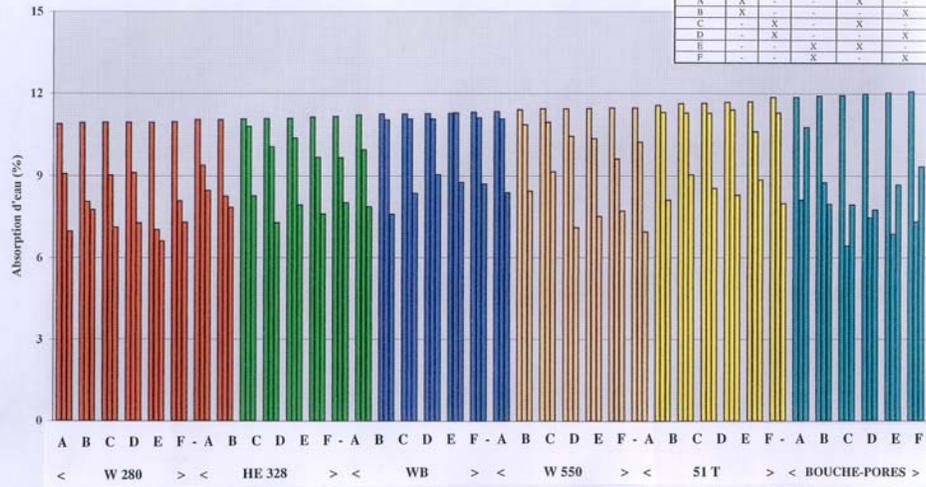
COLONNE	APPLICATION			HUMIDITE DES MAT.	
	2 nd	4 th	4 th + P	60 %	85 %
A	X	-	-	X	-
B	X	-	-	-	X
C	-	X	-	X	-
D	-	X	-	-	X
E	-	-	X	X	-
F	-	-	X	-	X

BRIQUE
Absorption d'eau par immersion:
 avant traitement (1° colonne), après traitement (2° colonne) et après 10 cycles
 d'humidification/séchage (3° colonne)



MORTIER BATARD (BNC)
Absorption d'eau par immersion:
 avant traitement (1° colonne), après traitement (2° colonne) et après 10 cycles
 d'humidification/séchage (3° colonne)

COLONNE	APPLICATION			HUMIDITE DES MAT.	
	2 ml	4 ml	4 ml + P	60 %	85 %
A	X	-	-	X	-
B	X	-	-	-	X
C	-	X	-	X	-
D	-	X	-	-	X
E	-	-	X	X	-
F	-	-	X	-	X

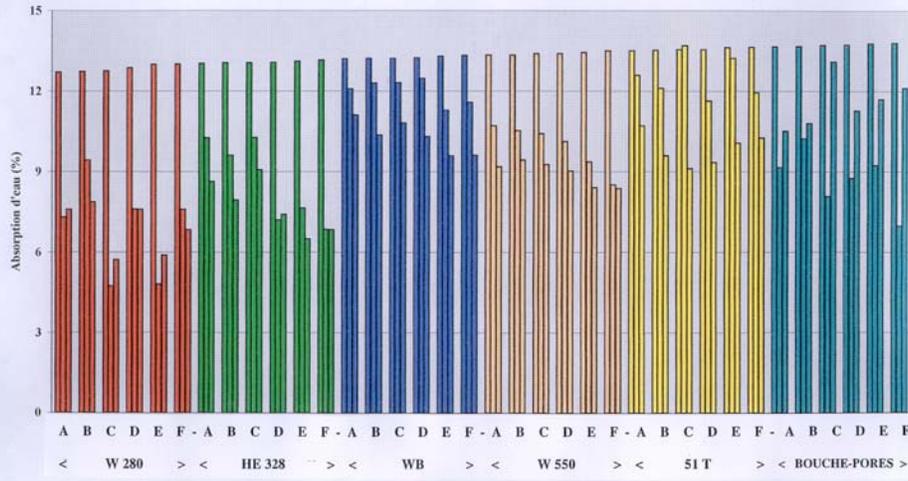


COLONNE	APPLICATION			HUMIDITE DES MAT.	
	2 ml	4 ml	4 ml + P	60 %	85 %
A	X	-	-	X	-
B	X	-	-	-	X
C	-	X	-	X	-
D	-	X	-	-	X
E	-	-	X	X	-
F	-	-	X	-	X

MORTIER CIMENT MONOGRANULAIRE (CMC)

Absorption d'eau par immersion:

avant traitement (1° colonne), après traitement (2° colonne) et après 10 cycles d'humidification/séchage (3° colonne)



amélioration des performances après les cycles. Seul le produit bouche-pores fait exception à cette règle et uniquement pour les deux supports en mortier.

4.7. Méthodes de mesure de l'efficacité potentielle des produits

Pour cette campagne d'essais, nous avons retenu en parallèle différentes méthodes de mesure de l'efficacité potentielle des produits, à savoir : l'absorption d'eau par capillarité, par immersion (méthodes inspirées de la norme EN 1925), la mesure de la surface d'imprégnation des produits après découpe, séchage et humidification des éprouvettes, ainsi que plus accessoirement la mesure de l'angle de contact.

L'examen comparatif de l'ensemble des résultats obtenus (voir notamment les graphiques en pages 13 à 15 pour les éprouvettes de brique, 16 à 18 pour le mortier bâtard et 19 à 21 pour le mortier au ciment), montre :

- des résultats comparatifs relativement semblables quelle que soit la méthode de mesure utilisée, c.à.d. que les produits performants présentent des résultats favorables quel que soit la méthodes de mesure et inversement ;
- pour la mesure des surfaces traitées, certaines difficultés d'appréciation du fait que l'effet des produits à tendance bouche-pores ne peut que très difficilement être mis en évidence lors de l'humidification des éprouvettes. De plus, pour les produits offrant des potentialités de migration importantes, on arrive rapidement à une imprégnation de l'entièreté de la section des éprouvettes (même en cas d'application de 2 ml de produit !), sans que l'efficacité de ces traitements n'atteigne en parallèle les 100 % en absorption ou en immersion !
- pour la mesure de l'angle de contact qui traduit la tension superficielle des surfaces traitées, de très nombreuses difficultés liées à la définition précise des angles sur des supports tels que ceux repris dans la recherche (brique et mortiers). La rugosité de surface de ces matériaux entraîne en effet une dispersion des mesures qui peut s'avérer plus importante que les écarts liés à l'effet direct des traitements. Il est de plus évident, que cette mesure n'apporte que peu d'informations en cas de produits de type bouche-pores.

En fonction de ces remarques, la mesure d'absorption d'eau par immersion progressive telle qu'utilisée dans le cadre de ces essais et inspirée du projet de norme prEN-1925, apparaît comme la plus fiable et la plus adaptée si l'on désire caractériser l'efficacité comparative des différents produits utilisables pour le traitement de l'humidité ascensionnelle.

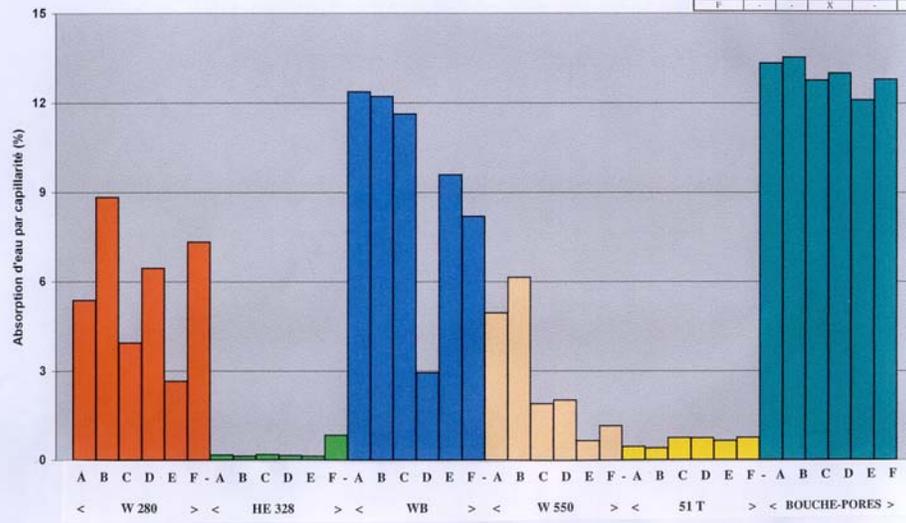
5. Poursuite des travaux

Au stade actuel de l'étude, après les deux séries d'essais sur matériaux, les enseignements obtenus permettent d'orienter les paramètres afin de recueillir un maximum d'informations pratiques lors de la future campagne et de définir au mieux la méthodologie d'essais définitive. Il s'agit notamment des paramètres ci-après.

- **Dimensions et géométrie des éprouvettes.** Les dimensions de 4 X 4 X 8 cm³ sont retenues comme minimales et suffisantes pour la diffusion des produits et les mesures de performances. Les éprouvettes sont forées sur les 2/3 de leur plus grande dimension en \varnothing 10 mm ; ce trou borgne servant à la mise en place de 2 ml de produit sous simple gravité.
- **Matériaux.** Suivant les souhaits du groupe de travail et sur base des nombreuses campagnes d'essais menées, on retiendra en priorité pour la prochaine campagne : 2 types de briques de 2 porosités différentes (Avondrood et Ghlin), un mortier (C200-G100) et une pierre naturelle de type Savonnières demi-fine.

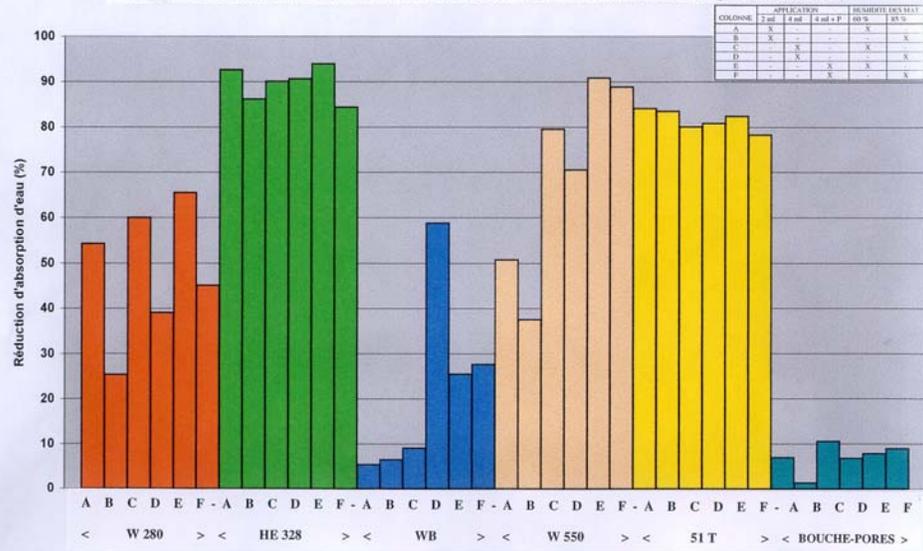
BRIQUE
Absorption d'eau par capillarité (après traitement)

COLONNE	APPLICATION			HUMIDITE DES MAT	
	2 ml	4 ml	4 ml + P	60 %	83 %
A	X	-	-	X	-
B	X	-	-	-	X
C	-	X	-	X	-
D	-	X	-	-	X
E	-	-	X	X	-
F	-	-	X	-	X



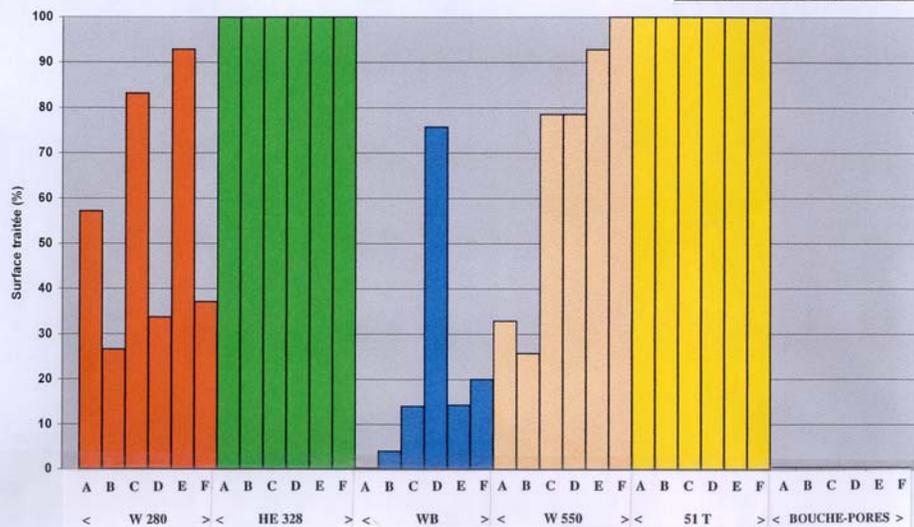
BRIQUE

Réduction de l'absorption d'eau mesurée par immersion (rapport des mesures avant et après traitements)

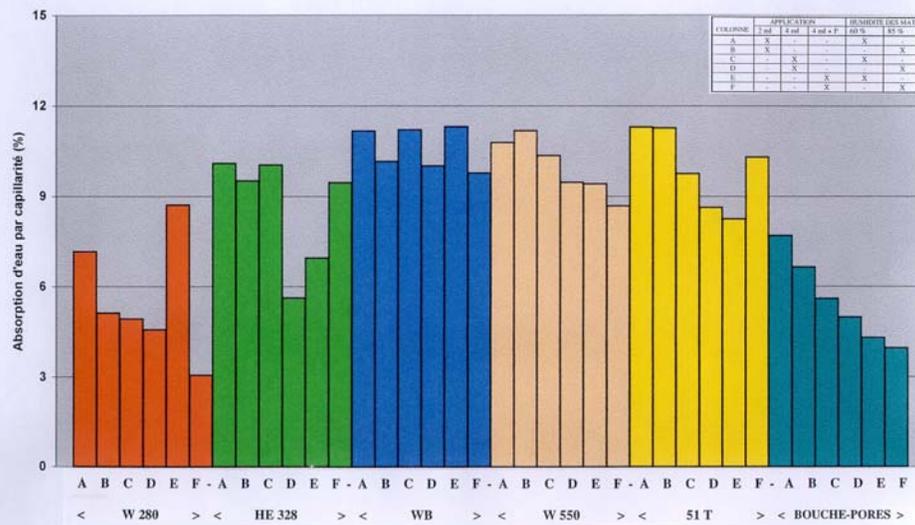


BRIQUE
Surface traitée

COLONNE	APPLICATION			HUMIDITE DES MAT.	
	2 ml	4 ml	4 ml + P	60%	85%
A	X	-	-	X	-
B	X	-	-	-	X
C	-	X	-	-	X
D	-	X	-	-	X
E	-	-	X	X	-
F	-	-	X	-	X

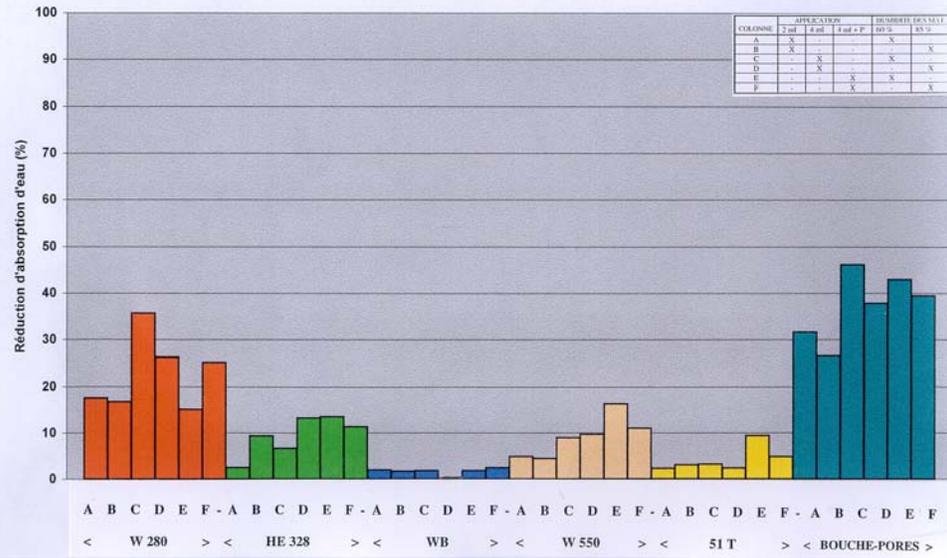


MORTIER BATARD (BNC)
Absorption d'eau par capillarité (après traitement)



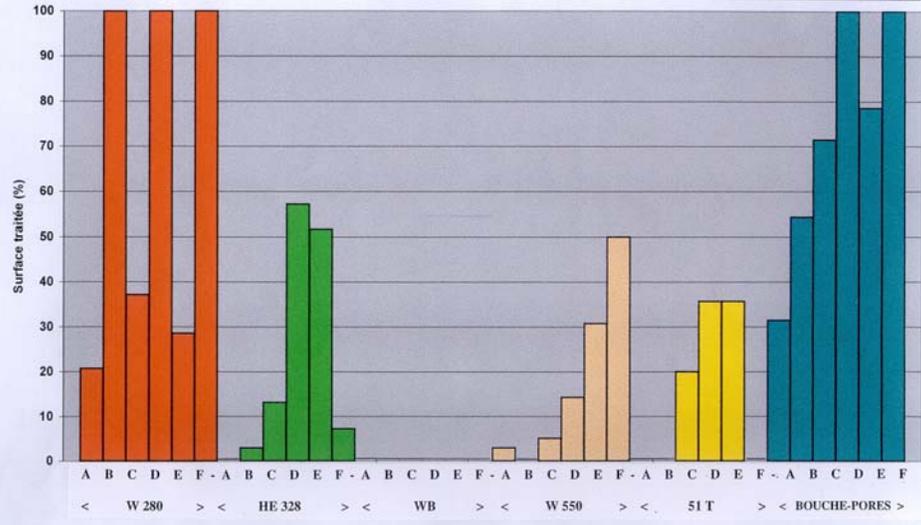
MORTIER BATARD (BNC)

Réduction de l'absorption d'eau mesurée par immersion (rapport des mesures avant et après traitements)



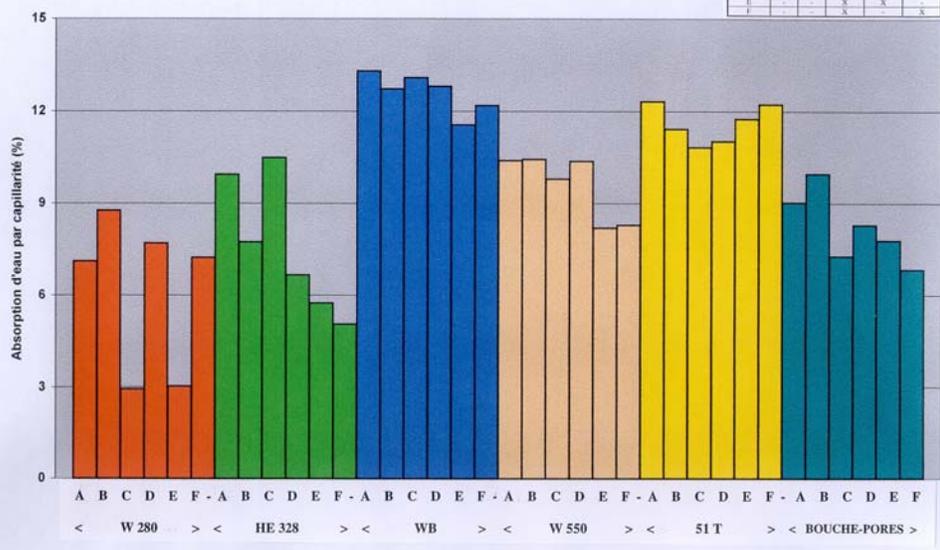
MORTIER BATARD (BNC)
Surface traitée

COLPONE	APPLICATION			NOMBRE DES M2	
	2 m ²	4 m ²	2 m ² + P	40 %	85 %
A	X	-	-	X	-
B	X	-	-	X	-
C	X	X	-	X	X
D	-	X	-	-	X
E	-	X	X	X	-
F	-	X	-	X	X



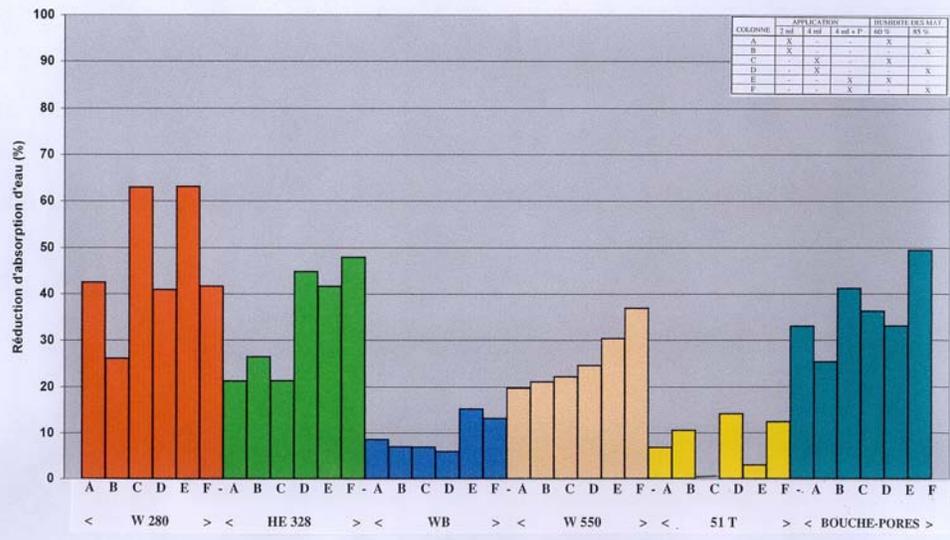
MORTIER CIMENT MONOGRANULAIRE (CMC)
Absorption d'eau par capillarité (après traitement)

SÉRIE	APPLIQUÉS			TRAVAUX DE MAI	
	T. 1	T. 2	T. 3	MAI	MAI
A	X	-	-	X	-
B	X	X	-	X	X
C	-	X	-	-	-
D	-	X	-	X	X
E	-	-	-	X	X
F	-	-	-	X	X

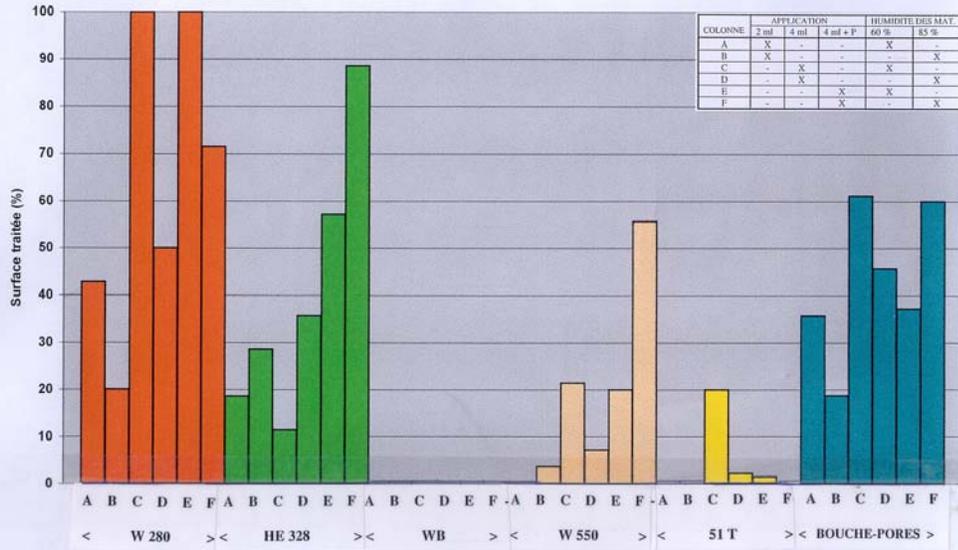


MORTIER CIMENT MONOGRANULAIRE (CMC)

Réduction de l'absorption d'eau mesurée par immersion (rapport des mesures avant et après traitements)



MORTIER CIMENT MONOGRANULAIRE (CMC)
Surface traitée



- **Alcalinité des supports.** Pour les mortiers, l'application des produits se réalisera sur des éprouvettes préalablement carbonatées (si nécessaire via un conditionnement en ambiance à 15 – 20 % de CO₂).
- **Humidité des éprouvettes lors de la mise en place des produits.** Des taux de 60 %, 85 % et 95 % par rapport aux taux de saturation par immersion seront retenus. Il s'agit de valeurs représentatives de conditions d'application respectivement sur matériaux humides, fortement humides et quasi saturés en eau.
- **Application.** La mise en oeuvre des produits par contact sur une des faces de l'éprouvette (annexe 4) a été abandonnée au profit de la technique de mise en place via un forage central. Les essais ont également permis d'écarter les applications de 4 ml par gravité et sous pression, au profit de la mise en place de 2 ml par simple diffusion.
- **Conditionnement après traitement.** Ce paramètre peut également jouer un rôle sur la performance des produits qui, suivant les formulations et les vitesses de polymérisation, peuvent être déplacés et/ou dilués dans les premières heures suivant leur mise en œuvre. Afin de se rapprocher au maximum des conditions réelles de chantier, l'application des produits sur les matériaux (briques et mortiers) sera suivie d'une période de 7 jours de conditionnement confiné afin de maintenir l'humidité initiale des éprouvettes.
- **Appréciation de l'efficacité des produits.** Diverses mesures de l'efficacité potentielle des produits ont été testées et comparées et notamment : les mesures d'absorption d'eau par capillarité, par immersion, la définition des angles de contact ou des volumes affectés par la migration des produits. De ces essais, il ressort que l'absorption d'eau par immersion constitue une mesure simple, rapide et parfaitement représentative de l'efficacité des produits.
- **Evolution de l'efficacité des traitements dans le temps.** Les résultats avant et après une dizaine de cycles d'humidification et de séchage ont montré pour la quasi-totalité des traitements une amélioration de leurs performances. Ces résultats ne signifient pas automatiquement que tout les traitements voient leur efficacité s'améliorer dans le temps, mais bien qu'il semble peu utile pour les formulations courantes, de retenir pour la prochaine campagne ce type d'essai.

Contacthoekmetingen op bakstenen behandeld met injectieproducten - Procedure detectie opstijgend vocht op basis van Rb_2CO_3 op bakstenen testmuurtjes

1 Inleiding

Poreuze materialen in contact met water of met een vochtige grond nemen vocht op ten gevolge van capillaire krachten. Vochtproblemen veroorzaakt door capillair opstijgend grondvocht kunnen doeltreffend opgelost worden door het opstijgend grondvocht te blokkeren door middel van het aanbrengen van een waterdicht materiaal (bvb soepele folies) of het metselwerk te injecteren.

Het werkingsprincipe van injectiemiddelen is gebaseerd op het onderdrukken van de capillaire krachten ten gevolge van de toename van de oppervlaktespanning tussen het poreus materiaal en water. Visueel wordt dit waargenomen door een verhoogde contacthoek met water na de behandeling. Het verband tussen de contacthoek met water en de oppervlaktespanning wordt weergegeven door de formule van Young ^[1]:

$$\cos(\Theta) = (\sigma_s - \sigma_{is}) / \sigma_l$$

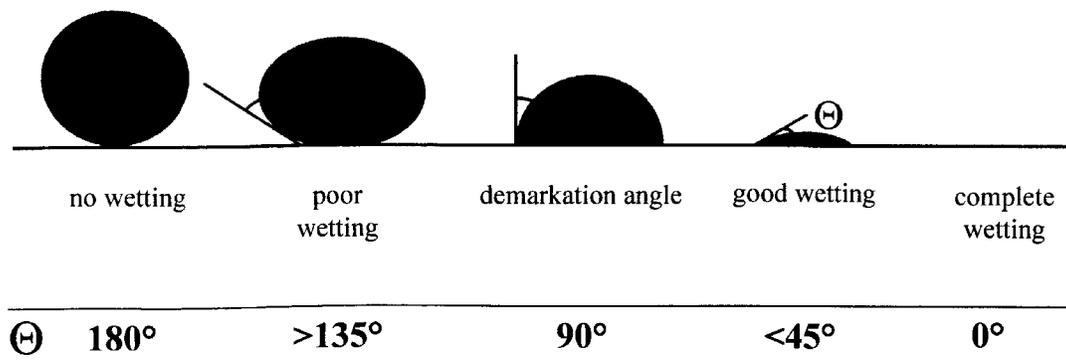
waarbij :

Θ : contacthoek vloeistof-vaste stof

σ_s : oppervlaktespanning van de vaste stof

σ_{is} : oppervlaktespanning tussen vloeistof en vaste stof

σ_l : oppervlaktespanning van de vloeistof



¹ T. Young, Phil. Trans. Roy. Soc. (London) 95, 65 (1805)

Figuur 1 : verband tussen de contacthoek met water en de bevochtiging van een oppervlak

Zoals weergegeven in figuur 1 zal, indien de contacthoek met water 0° bedraagt ($\cos(\Theta) = 1$, $\sigma_{1s} = \sigma_s - \sigma_1$), het oppervlak volledig bevochtigd worden. Een hoek van 180° ($\cos(\Theta) = -1$, $\sigma_{1s} = \sigma_s + \sigma_1$) reflecteert een ideaal waterwerend karakter.

De contacthoek met water wordt vaak gebruikt om het waterwerend karakter van een materiaal behandeld met een hydrofoberingsproduct te beoordelen^[2, 3]. Tijdens het laatste onderzoeksjaar werd nagegaan of de contacthoek tussen een waterdruppel en een poreus materiaal behandeld met een injectiemiddel significant verschillend is voor verschillende behandelingen en bijgevolg als maatstaf kan worden gebruikt om de kwaliteit van een behandeling te beoordelen. Daarnaast werd voor een aantal behandelde bakstenen nagegaan of de afstand tot het injectiegat de meetwaarde van de contacthoek beïnvloedt.

De procedure voor het detecteren van opstijgend vocht, ontwikkeld door het KIK, is gebaseerd op het injecteren van een oplossing rubidiumcarbonaat (Rb_2CO_3) en de evaluatie van de verplaatsing van dit product ten gevolge van capillaire opstijging van grondvocht. Deze proefprocedure werd uitgebreid beschreven in het eerste jaarverslag.

In de praktijk wordt de testprocedure uitgevoerd tijdens het vooronderzoek naar de aanwezigheid van vocht en de oorzaak ervan of als controlemeting na behandeling van opstijgend grondvocht. Tot op heden beperkte de toepassing zich tot historische gebouwen waar het metselwerk eerder heterogene eigenschappen vertoont. De heterogeniteit van de materialen en het gebrek aan nader onderzoek maken dat uit de bekomen resultaten meestal geen verband kan worden gelegd met de hoeveelheid water dat zich ten gevolge van capillaire opstijging heeft verplaatst. De testprocedure laat bijgevolg geen besluitvorming toe naar de procentuele efficiëntie van de uitgevoerde behandeling. De mogelijkheid om met dergelijke meettechniek een eerder kwantitatieve evaluatie van het vochttransport en een classificatie van de gebruikte producten uit te voeren werd tijdens het laatste onderzoeksjaar uitgetest op de proefmuurtjes van het laboratorium van het WTCB. Deze muurtjes, geconstrueerd in het kader van dit project en behandeld met verschillende producten tegen opstijgend vocht, bieden het voordeel dat de gebruikte materialen gekend zijn, op een homogene wijze verwerkt en behandeld tegen opstijgend vocht waardoor de doeltreffendheid van verschillende behandelingen onderling kan geëvalueerd worden. De bekomen resultaten worden vergeleken met de gemeten hoeveelheden water die door capillaire opstijging in de testmuurtjes zijn verplaatst en verdampt.

2 Experimenteel gedeelte

2.1 Contacthoekmetingen

Contacthoekmetingen worden uitgevoerd met een contacthoekgoniometer (Ramé-Hart model 100-00), op het gedeelte dat na besprenkeling met water geen absorptie vertoont.

² B. Schwamborn, B. Riecken, Behaviour of impregnated natural stones after different weathering processes, Proceedings of the First International Symposium on "Surface treatments of Building Materials with Water Repellent Agents", Delft, F. H. Wittmann, T.J.M. Siems and L.G.W. Verhoef, Editors, 26/1-26/14 (1995)

³ G. Biscontin, A. Bakolas, E. Zendri, A. Moropoulou, Interaction of some protective agents with building materials, Proceedings of the Int. Col. Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments, Rome, 317-330 (1995)

Voor de eerste meetreeks worden per oppervlak 10 metingen uitgevoerd op een willekeurige meetplaats waarvan de gemiddelde waarde wordt berekend. De afstand van de meetplaats tot het injectiegat varieert van 0 tot 2.5 cm.

Voor de tweede meetreeks worden, in functie van de afstand tot het injectiegat, 10 tot 15 metingen uitgevoerd waarvan telkens de gemiddelde waarde wordt berekend. Hiervoor wordt het bakstenen vlak ingedeeld in 3 meetzones waarvan de afstand tot het injectiegat onderling verschilt.

2.2 Detectie opstijgend vocht door middel van het injecteren van Rb_2CO_3 .

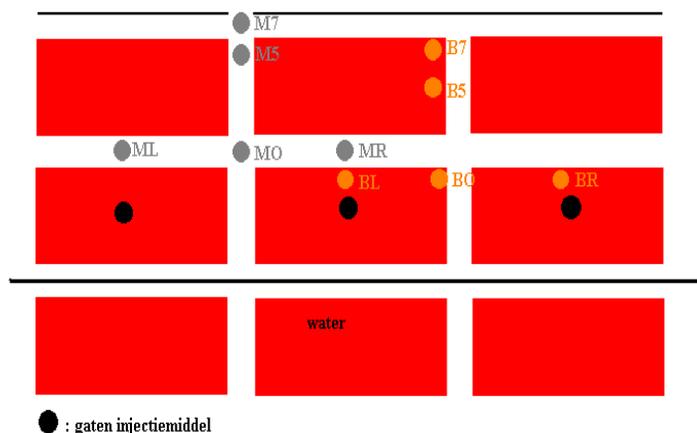
De keuze van de testmuurtjes onderworpen aan de proefprocedure met Rb_2CO_3 is gebaseerd op het vochttransport gemeten door het WTCB. Er werden telkens 2 muurtjes getest waarvoor het vochttransport hetzij sterk gereduceerd was na de behandeling tegen opstijgend vocht, hetzij nog vrij belangrijk was ondanks de aanwezigheid van een sperlaag. De resultaten worden vergeleken met deze van een onbehandeld muurtje. Tabel 1 geeft een overzicht van de geselecteerde testmuurtjes.

Tabel 1 : overzicht van de testmuurtjes onderworpen aan de procedure voor het detecteren van opstijgend vocht

Code	Vochttransport voor behandeling (g/dag)	Vochttransport na behandeling (g/dag)	Efficiëntie van de behandeling (%) ^(a)
Onbehandeld			
7/2	29	18	40
7/3	28	5	82
4/1	23	7	78
4/2	19	22	0

(a) : $(\text{vochttransport voor behandeling} - \text{vochttransport na behandeling}) \times 100 / \text{vochttransport voor behandeling}$

Figuur 2 illustreert de proefopstelling en de posities van de boorgaten.



Figuur 2 : testmuurtje behandeld met een injectiemiddel – boorgaten van de proefprocedure voor het detecteren van opstijgend vocht.

M : mortel ; B : baksteen

Er dient bemerkt dat op het ogenblik van de proefprocedure de oorspronkelijke testmuurtjes deels afgebroken waren waardoor het muurgedeelte dat blootstaat aan verdamping overeenstemt met 2 baksteenlagen (figuur 2). Hierdoor kon de volledige testprocedure, waarbij monsternamen worden uitgevoerd tot 30 cm boven de injectieplaats van Rb_2CO_3 (BO en MO), met telkens een tussenafstand van 5 cm, niet worden uitgevoerd. Capillair transport kon enkel gemeten worden tot maximaal 7 cm hoogte (B7 en M7). De boormonsters gelicht op 5 cm links (BL en ML) en rechts van het injectiegat (BR en MR) worden gebruikt om de migratie van de Rb_2CO_3 -oplossing te beoordelen.

De gelichte monsters worden gedroogd bij 60 °C en vervolgens geëxtraheerd met water. Het rubidiumgehalte van het extract wordt bepaald met Atomaire Adsorptie Spectroscopie (AAS).

3 Resultaten

3.1 Contacthoekmetingen

3.1.1 Gemiddelde contacthoeken van bakstenen behandeld met verschillende injectiemiddelen

Op willekeurige meetplaatsen van het testvlak worden 10 metingen uitgevoerd waarvan de gemiddelde waarde wordt berekend. De afstand van de meetplaats tot het injectiegat varieert van 0 tot 2.5 cm.

De gemiddelde contacthoek voor bakstenen behandeld met verschillende injectiemiddelen is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 : gemiddelde contacthoek met water en standaarddeviatie van bakstenen behandeld met verschillende producten.

Code baksteen	Injectieproduct	Verdunningsmiddel	Gemiddelde contacthoek (°)	Standaarddev
36	Poriën vullend product	?	< 90	-
15	Rhodia 51T , silicaat	Water ^(a)	124.8	8.7
21	Wacker 550	Water ^(a)	124.3	3.8
60	Goldschmidt HE328	Water ^(a)	140.4	6.9
53	Wacker 290	Alifatisch solvent ^(a)	131.8	5.7
41	Bayer, Baysilone WB	Water ^(a)	128.1	7.6

(a) : verdund tot 7 G%.

Voor baksteen 36 behandeld met het poriënvullend product is de contacthoek telkens lager dan 90 °. Dit impliceert dat de waterdruppel door capillaire zuiging door de baksteen wordt opgenomen, waardoor tijdens de meetprocedure de contacthoek continu sterk daalt. De fouten tijdens het meten van de contacthoek zijn bijgevolg erg belangrijk.

De gemiddelde contacthoek van de overige behandelde vlakken varieert tussen 124.3 en 140.4 °, hetgeen volgens de illustratie van figuur 1 ongeveer overeenstemt met een situatie van “poor wetting”. De baksteen behandeld met HE328 vertoont de hoogste contacthoek (140.4 °) en bijgevolg een hoger parelend effect en een lagere bevochtiginggraad. Statistische verwerking van de resultaten (T-test) hebben aangetoond dat de contacthoek 140.4 ° verschillend is van de overige waarden.

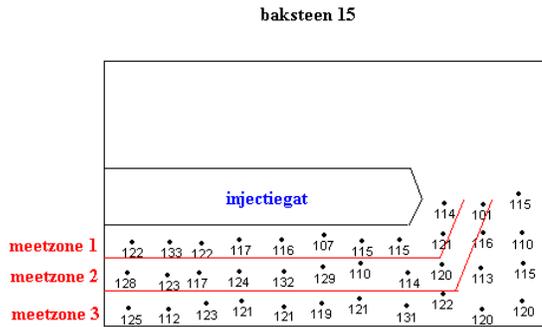
Met uitzondering van HE328, wordt een behandeling met het injectiemiddel op basis van een silicaat (51T) gekenmerkt door een vergelijkbare bevochtiginggraad als deze met de overige siliciumhoudende producten.

Er wordt geen invloed waargenomen van de aard van het verdunningsmiddel van het injectieproduct op de contacthoek van het behandelde vlak. W290 en BWB zijn beide oligomere siloxaanverbindingen met methyl en octyl als hydrofobe groep terwijl de contacthoek vergelijkbaar is.

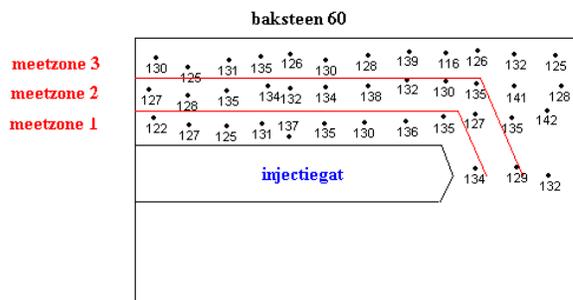
De afwijkingen tussen verschillende meetwaarden van een zelfde behandeld vlak zijn vrij groot. In hoeverre de meetafstand tot het injectiegat de contacthoek beïnvloedt en bijgevolg de standaarddeviatie verklaart zal worden uiteengezet in 3.1.2.

3.1.2 Invloed van de meetafstand tot het injectiegat op de contacthoek

Figuur 3 a en b illustreert voor de 3 zones de meetplaatsen en de overeenkomstige contacthoeken van de bakstenen 15 en 60.



Figuur 3a : contacthoek op diverse plaatsen van 3 meetzones van de baksteen behandeld met 51.T.
(afmetingen van het testvlak : 8.0 x 5.5 cm²)



Figuur 3 b : contacthoek op diverse plaatsen van 3 meetzones van de baksteen behandeld met HE328.
(afmetingen van het testvlak : 8.0 x 5.5 cm²)

De gemiddelde contacthoek en de standaarddeviatie per meetzone zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 : gemiddelde contacthoek met water en standaarddeviatie gemeten op 3 zones van bakstenen behandeld met 51.T en HE328 (zie figuur 3 a en b)

Code baksteen	Injectieproduct	Meetzone	Gemiddelde contacthoek (°)	Standaarddeviatie
15	51.T	1	118.2	6.9
		2	119.8	9.5
		3	119.0	5.3
60	HE328	1	131.2	5.1
		2	131.7	3.6
		3	130.6	6.7

Deze resultaten tonen aan dat de verschillende zones van beide bakstenen een vergelijkbare gemiddelde contacthoek vertonen en dat per meetzone de afwijking tussen de meetwaarden van dezelfde grootte orde is als deze weergegeven in tabel 2. Dit impliceert dat tot een afstand van 2.5 cm van het injectiegat er geen invloed wordt waargenomen van de plaats waar de meting wordt uitgevoerd.

Het valt op dat voor beide bakstenen de meetwaarden telkens 5 tot 6 % lager zijn dan deze weergegeven in tabel 2. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door variaties van de conditionering van de monsters en eventueel van de meetomstandigheden van temperatuur en vochtigheid.

3.2 Detectie opstijgend vocht

3.2.1 Vocht- en rubidiumgehalte van baksteen en mortel vóór de injectie van de Rb_2CO_3 -oplossing

Van het boormeel verzameld tijdens het boren van het injectiegat in baksteen en mortel wordt het vocht- en het rubidiumgehalte gedoseerd. Dit laatste dient als referentiewaarde voor de rubidiumgehaltes gedetecteerd na de injectie en de eventuele verplaatsing van Rb_2CO_3 . De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 : vocht- en rubidiumgehalte van baksteen en mortel vóór de injectie van de Rb_2CO_3 oplossing

Monster	Behandeling	Materiaal	Vochtgehalte (G%)	Rubidiumgehalte (mg/g)
1'	Onbehandeld	Baksteen	10.45	0.00
2'		Mortel	5.79	0.00
3'	4/1	Baksteen	0.07	0.00

4'		Mortel	0.82	0.00
5'	4/2	Baksteen	1.85	0.00
6'		Mortel	1.66	0.00
7'	7/2	Baksteen	0.05	0.00
8'		Mortel	1.78	0.00
10'	7/3	Baksteen	0.06	0.00
11'		Mortel	1.72	0.00

Deze resultaten tonen aan dat het vochtgehalte van zowel baksteen als mortel van het onbehandeld muurtje opmerkelijk hoger is dan dit van de behandelde muurtjes. Met uitzondering van de baksteen van muurtje 4/2, worden nauwelijks verschillen in vochtgehalte gemeten tussen de muurtjes behandeld met verschillende producten. Zo is bijvoorbeeld het vochtgehalte van de baksteen en de mortel behandeld met 7/2 of 7/3 vergelijkbaar, alhoewel de efficiëntie van de behandeling, berekend op basis van het vochttransport (tabel 1), verschillend is.

Er wordt geen rubidium gedetecteerd in de baksteen en de mortel.

3.2.2 Vocht- en rubidiumgehalte na de injectie van de Rb_2CO_3 -oplossing

Het vocht- en rubidiumgehalte van de boormonsters gelicht 4 weken na de injectie van de Rb_2CO_3 -oplossing (zie figuur 2) zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5 : vocht- en rubidiumgehalte van baksteen en mortel, 4 weken na de injectie van de Rb_2CO_3 -oplossing.

Monster	Positie boorgat ^(a)	Materiaal	Behandeling	Vochtgehalte (G%)	Rubidium gehalte (mg/g)
1	BO	Baksteen	Onbehandeld	16.08	3.66
2	BL			9.10	0.20
3	BR			5.35	0.16
4	B5			0.16	0.01
5	B7			0.17	0.00
6	MO	Mortel		9.75	3.86
7	ML			4.31	0.06
8	MR			5.51	0.40
9	M5			2.41	1.11
10	M7			1.01	0.01
11	BO	Baksteen	4/1	1.28	24.45
12	BL			0.30	0.19
13	BR			0.27	0.02
14	B5			0.15	0.00
15	B7			0.14	0.00
16	MO	Mortel		0.59	0.04
17	ML			0.51	0.02
18	MR			0.66	0.01
19	M5			0.52	0.01
20	M7			0.36	0.00
21	BO	Baksteen	4/2	5.02	5.20
22	BL			0.32	0.04
23	BR			0.21	0.02
24	B5			0.15	0.00
25	B7			0.14	0.00
26	MO	Mortel		0.81	0.39
27	ML			1.24	0.01
28	MR			0.47	0.00
29	M5			0.22	0.00
30	M7			0.34	0.00
31	BO	Baksteen	7/2	0.58	9.78
32	BL			0.17	0.01
33	BR			0.12	0.00
34	B5			0.13	0.00
35	B7			0.16	0.00
36	MO	Mortel		0.91	9.56
37	ML			0.43	0.08
38	MR			0.46	0.01
39	M5			0.61	0.02
40	M7			0.87	0.01
41	BO	Baksteen	7/3	1.25	24.79
42	BL			0.13	0.21
43	BR			0.18	0.05
44	B5			0.08	0.01
45	B7			0.04	0.01
46	MO	Mortel		0.81	4.19
47	ML			0.36	0.06
48	MR			0.34	0.02
49	M5			1.01	0.02
50	M7			0.93	0.01

(a) : zie figuur 2

Deze resultaten tonen aan dat :

- het vochtgehalte van de injectieplaats van baksteen (BO) toegenomen is terwijl dit van de mortel (MO) gedaald is (zie tabel 2), waarvoor geen verklaring kan worden gegeven.
- voor het onbehandeld muurtje wordt een sterk variërend vochtgehalte waargenomen van de baksteen en de mortel gemeten op een zelfde hoogte (monsters BO, BL en BR en monsters MO, ML en MR). Het hoger vochtgehalte van de mortelmaterie van het injectiegat (MO) in vergelijking met dit van de horizontale laag tussen twee bakstenen (ML en MR) laat vermoeden dat vochttransport in belangrijke mate plaatsvindt via de opstaande mortelmaterie. De systematische daling van het vochtgehalte van deze opstaande mortelmaterie met de hoogte bewijst het opstijgend vochttransport, terwijl voor de baksteen het vochtgehalte boven het injectiepunt verwaarloosbaar is. Het hoger vochtgehalte van het baksteengedeelte onmiddellijk naast opstaande mortelmaterie (BO) in vergelijking met dit van de monsters BL en BR bevestigt het belang van de opstaande mortel voor het capillair opstijgend vocht.

De resultaten van de rubidiumdosering tonen aan dat voor de baksteen hoofdzakelijk migratie naar links en rechts optreedt, weinig naar boven. Het veel lagere rubidium gehalte op 5 cm boven het injectiepunt laat vermoeden dat hier eerder sprake is van migratie en diffusie dan van capillair opstijgend vocht. Voor de mortel wordt in sterkere mate opstijgende vochtverplaatsing gemeten, hetgeen bevestigt dat het vochttransport in belangrijke mate plaatsvindt via de opstaande mortelmaterie.

- Zowel de resultaten van de vochtdosering als deze van het rubidiumgehalte van muurtje “4/1” zijn conform aan de verwachtingen van een efficiënte behandeling en dan ook conform aan deze vermeld in tabel 1. Het rubidium gehalte in de mortel op 5 cm boven het injectiepunt is vergelijkbaar met dit gemeten op 5 cm links en rechts en waarschijnlijk veroorzaakt door migratie. Het laag rubidiumgehalte in het injectiegat van de mortel laat vermoeden dat er een holte aanwezig is in de onmiddellijke omgeving waarin de Rb_2CO_3 oplossing is gediffundeerd.

- voor de behandeling 4/2 wordt enkel in het injectiegat van de baksteen een eerder belangrijk vochtgehalte gemeten. Dit werd reeds in mindere mate waargenomen vóór de injectie van Rb_2CO_3 (tabel 4). Voor het overige worden dezelfde resultaten bekomen als voor muurtje “4/1”, en wordt bijgevolg geen capillair opstijgend transport gemeten. Vermoed wordt dat de behandeling één of meerdere lokale defecten vertoont, die eventueel de lagere efficiëntie vermeld in tabel 1 verklaren.

-het testmuurtje “7/2” vertoont geen enkele verplaatsing van vocht in de baksteen. Alhoewel de mortel vrij droog is, wordt toch een capillair transport gemeten tot 7 cm boven het injectiepunt. In dat opzicht zijn de resultaten conform aan deze vermeld in tabel 1.

-voor het testmuurtje “7/3” wordt in de baksteen als in de mortel op 7 cm hoogte een capillair opstijgend transport gemeten, voor de baksteen zelfs belangrijker dan van het onbehandeld muurtje, en dit terwijl de hoogste efficiëntie werd bekomen op basis van het gemeten vochttransport (tabel 1)

Rekening houdende dat het rubidium op 5 cm boven het injectiegat afkomstig kan zijn van migratie van de geïnjecteerde oplossing, en dat in het onbehandelde muurtje het capillair transport via de baksteen verwaarloosbaar is, kunnen bijgevolg slechts de meetpunten “M7” gebruikt worden om een classificatie van de behandelingen uit te voeren. In tabel 5 worden

efficiëntie-waarden, berekend op basis van het vochttransport zoals vermeld in tabel 1 en op basis van het gedetecteerd rubidiumgehalte, vergeleken.

Tabel 5 : Efficiëntie van behandelingen tegen opstijgend vocht

Behandeling	Efficiëntie 1 (%) ^(a)	Efficiëntie 2 (%) ^(b)
4/1	70	85
4/2	0	100
7/2	40	31
7/3	82	0

(a) : $(\text{vochttransport voor behandeling} - \text{vochttransport na behandeling}) \times 100 / \text{vochttransport voor behandeling}$

(b) : $(\text{rubidiumgehalte M7}_{\text{onbehandeld muurtje}} - \text{rubidiumgehalte M7}_{\text{behandeld muurtje}}) \times 100 / \text{rubidiumgehalte M7}_{\text{onbehandeld muurtje}}$

Uit deze tabel volgt dat de efficiëntie van de behandelingen 4/1 en 7/2 op basis van beide methoden vrij goed overeenstemmen. Voor het muurtje behandeld met 4/2 wordt een duidelijk vochttransport gemeten terwijl geen rubidium wordt gedetecteerd in de mortel op 7 cm hoogte. Zoals reeds beschreven werd wel een hoger vochtgehalte gedetecteerd in het injectiegat van de baksteen, wat eventueel wijst op lokale defecten van de behandeling. Het grote verschil voor de behandeling 7/3 kan niet worden verklaard.

4 Besluit

Contacthoekmetingen uitgevoerd op baksteen behandeld met een injectiemiddel worden gekenmerkt door belangrijke afwijkingen. Systematische metingen uitgevoerd op zones gelegen op een afstand tussen 0 en 2.5 cm van het injectiegat hebben aangetoond dat deze onderling een vergelijkbare gemiddelde contacthoek vertonen en dat per meetzone de afwijking tussen de meetwaarden van dezelfde grootte orde is. Hieruit kan worden besloten dat de afstand tot het injectiegat de gemiddelde contacthoek niet beïnvloedt en bijgevolg geen verklaring biedt voor de hoge standaardafwijking. Deze wordt veroorzaakt door de heterogeniteit van het testvlak ten gevolge van de ruwheid van het oppervlak en eventuele lokale verschillen in efficiëntie van de behandeling.

Ondanks de belangrijke afwijkingen tussen individuele meetwaarden van een zelfde behandeld vlak, kunnen significante verschillen in gemiddelde contacthoek worden bekomen afhankelijk van het injectiemiddel. Hieruit kan een verschillend parelend effect en een verschillende bevochtigingsgraad worden besloten naargelang de aard van het injectiemiddel. De aard van het oplosmiddel blijkt geen invloed uit te oefenen op de contacthoek na de behandeling.

Voor eenzelfde testvlak getest tijdens 2 meetcampagnes werd een verschillende meetwaarde bekomen, wat vermoedelijk wordt veroorzaakt door variaties in meetomstandigheden en conditionering van de monsters. Hieruit volgt dat gemiddelde contacthoeken met de nodige voorzichtigheid dienen geïnterpreteerd worden.

De proefprocedure voor het detecteren van opstijgend vocht op basis van het injecteren van een waterige Rb_2CO_3 oplossing heeft uitgewezen dat voor het onbehandeld muurtje de resultaten vrij goed overeenkomen met deze bekomen door vocht doseringen. Voor de

baksteen blijft de geïnjecteerde Rb_2CO_3 hoofdzakelijk geconcentreerd in de eerste steenlaag en wordt nauwelijks verplaatst naar de hogere baksteenlaag. Voor de mortel wordt een belangrijk transport gemeten tot het midden van de tweede steenlaag, terwijl het gehalte voor het mortelgedeelte boven deze laag sterk gedaald is. Parallele vochtmetingen hebben aangetoond dat voor de baksteen enkel de eerste steenlaag vochtig is, terwijl het vochtgehalte van de volgende steenlaag verwaarloosbaar is. Voor de mortel wordt vanaf het injectiepunt tot 7 cm hoger een continue daling van 9.75 tot 1.01 G% gemeten. Beide resultaten tonen aan dat enerzijds de stijghoogte van het capillair transport vrij laag is waardoor de bruikbaarheid van dergelijke muurtjes voor de proefprocedure van opstijgend vocht beperkt is en anderzijds het vochttransport alsook de vochtverdamping hoofdzakelijk plaatsvindt via de mortel. Deze laatste bevindingen zijn een bevestiging van de voorkeur om in situ dergelijke methodiek, daar waar mogelijk, toe te passen in de mortel eerder dan in de baksteen of natuursteen.

Voor de behandelde muurtjes wordt niet steeds een overeenstemming bekomen tussen de resultaten bekomen op basis van het injecteren van Rb_2CO_3 oplossing en deze van vocht doseringen. Zo kan een ondergrond gekenmerkt door een snelle verdamping eerder droog zijn, terwijl het gedetecteerde rubidium getuigt van capillaire verplaatsing onder invloed van opstijgend vocht. Indien behalve opstijgend vocht geen andere vochtbron actief is kunnen vochtmetingen soms aanvullende informatie bieden. Voor een behandeling die bvb (lokaal) defecten vertoont waardoor opstijgend transport optreedt tot een beperkte stijghoogte (0 tot 5 cm boven het injectiegat) bestaat de kans dat met de methode op basis van Rb_2CO_3 geen capillair transport wordt gemeten terwijl de materialen op deze hoogte wel vochtig zijn.

Ondanks de mindere bruikbaarheid van de testmuurtjes werd getracht om de meetresultaten bekomen voor de mortelmaterie gelicht op 7 cm boven het injectiegat van de verschillende behandelde muurtjes onderling te vergelijken en eventueel tot een classificatie te komen op basis van efficiëntieberekeningen. Voor 2 van de 4 geteste behandelingen blijkt de efficiëntie berekend op basis van de getransporteerde hoeveelheid Rb_2CO_3 , hetgeen de capillaire opstijging van vocht reflecteert, goed overeen te komen met de efficiëntie berekend op basis van het gemeten vochttransport wat gelijk staat met de hoeveelheid water die in de bak moet toegevoegd worden om het niveau constant te houden. De tegenstrijdige resultaten bekomen voor het muurtje waarvoor een vochtverlies wordt geconstateerd maar evenwel geen opstijgend vocht werd gedetecteerd kan, zoals uiteengezet in vorige paragraaf, worden verklaard door een of meerdere lokale defecten in de aangebrachte sperlaag. Het belangrijk vochtgehalte in de baksteen van de eerste steenlaag beaamt deze veronderstelling. Voor één testmuurtje konden de tegenstrijdige resultaten niet worden verklaard : er wordt geen vochttransport gemeten, terwijl wel degelijk rubidium gedetecteerd wordt tot 7 cm boven het injectiegat. In het laatste onderzoeksjaar zal dan ook het belang van diffusie van Rb_2CO_3 en van migratie van de geïnjecteerde Rb_2CO_3 oplossing worden nagegaan en dit in functie van het vochtgehalte van de ondergrond.

Metingen op boorkernen (Arenbergkasteel)

In de loop van oktober 2000 werd in een binnenmuur in de noordvleugel van het Arenbergkasteel te Heverlee een injectie tegen optrekkend grondvocht uitgevoerd. Het geïnjecteerde produkt was een oligomeer siloxaan in een waterige emulsie. De problemen met optrekkend grondvocht uiten zich door vochtige zones, loskomend pleister en zoutuitbloeiingen vlak boven een cementeringslaag die zich van het vloerniveau tot ongeveer een meter hoogte uitstrekt.





Eind november 2001 werden in het kader van dit onderzoek boorkernen van deze muur ontnomen, twee kernen ter hoogte van de injectiegaten, en twee kernen 10 à 15 cm lager. Primair doel van deze kernname was om na te gaan waar het injectieproduct in de realiteit het meest werkzaam is. Na bepaling van de algemene waterabsorptie-eigenschappen werden vervolgens de baksteen en de mortel gescheiden, en werden de absorptie-eigenschappen van beide afzonderlijk nagegaan.

De boorkernen werden achtereenvolgens onderworpen aan de volgende handelingen:

- Droging op 35°C tot constante massa
- Capillaire waterabsorptie gedurende 24 uur, waarbij de kernen verticaal staan
- Waterabsorptie door onderdompeling gedurende 24 uur
- Droging op 35°C tot constante massa
- Impregnatie met water onder vacuüm gedurende 24 uur
- Droging op 35°C tot constante massa
- Capillaire waterabsorptie gedurende 24 uur, de kernen staan horizontaal
- Scheiding van de baksteen en de mortel
- Droging van de baksteen- en mortelstukjes op 35°C tot constante massa
- Waterabsorptie door onderdompeling gedurende 24 uur
- Droging op 35°C tot constante massa
- Impregnatie met water onder vacuüm gedurende 24 uur

De impregnatie onder vacuüm heeft als doel om de maximale waterinhoud van de proefstukken te bepalen.

Boorkernen 1 en 3 werden genomen ter hoogte van de injectie.
Boorkernen 2 en 4 werden zo'n 10 à 15 cm lager genomen.

Metingen op de boorkernen in hun geheel

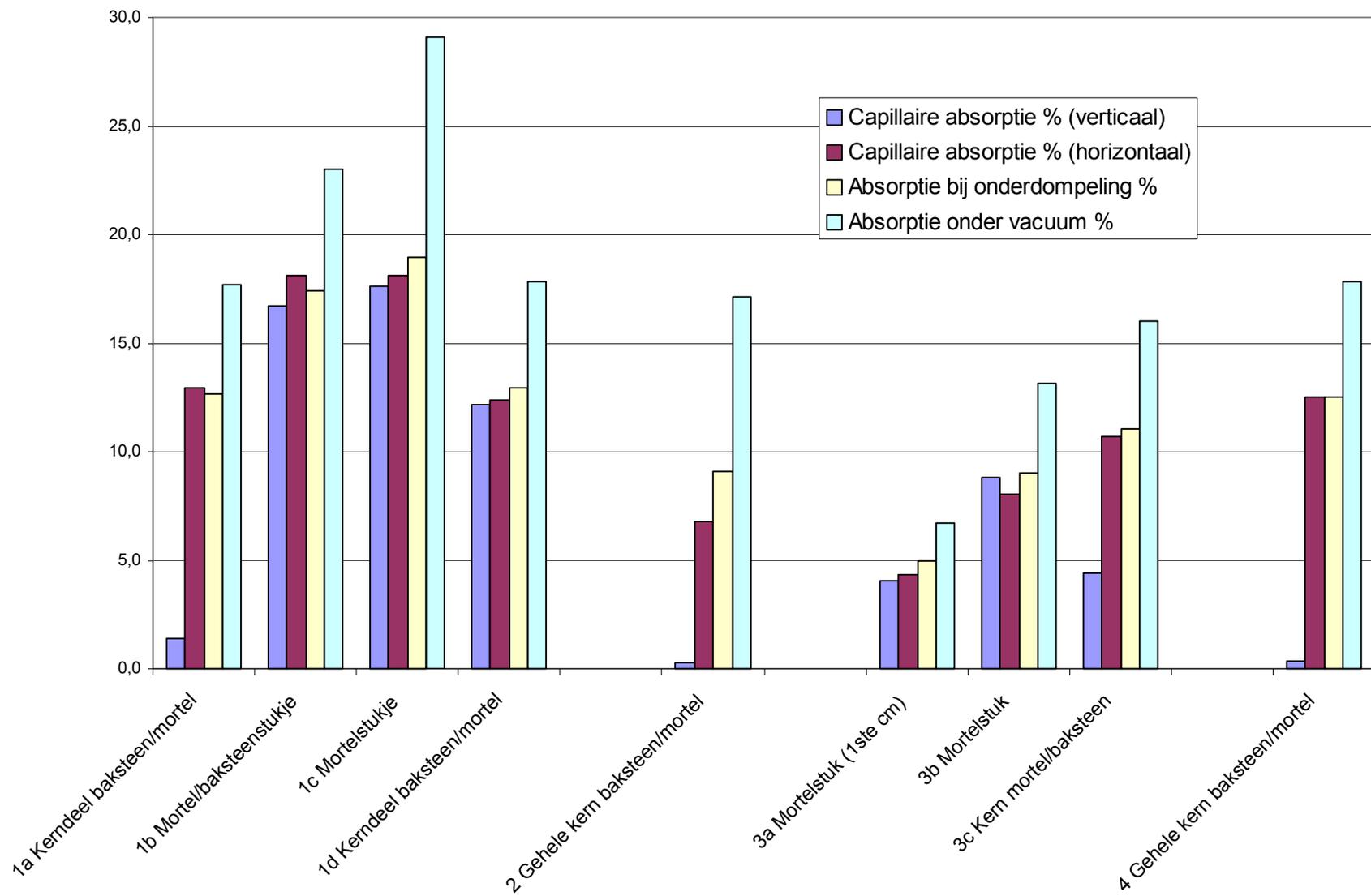
Enkel de boorkernen 2 en 4 (genomen zo'n 10 à 15 cm lager dan de injectie) waren èèn geheel, de andere waren in stukken. Een beeld van de capillaire absorptieproeven (proefstukken verticaal) wordt gegeven op de volgende twee foto's. De resultaten worden samengevat in volgende tabel.



Monster Nr.	Beschrijving	Massa droog (g)	Massa na 24 h capillariteit (g) proefstukken verticaal	Waterabsorptie (%)	Massa na 24 h capillariteit (g) proefstukken horizontaal	Waterabsorptie (%)	Massa na 24 h onderdompeling (g)	Waterabsorptie (%)	Massa na totaal vacuum (g)	Waterabsorptie (%)	efficiëntie bij capillaire absorptie (verticaal)	efficiëntie bij capillaire absorptie (horizontaal)	efficiëntie bij onderdompeling
1a	Kerdeel baksteen/mortel	259,87	263,48	1,4	293,5	12,9	292,79	12,7	305,92	17,7	92	27	29
1b	Mortel/baksteenstukje	17,02	19,87	16,7	20,1	18,1	19,98	17,4	20,94	23,0	27	21	24
1c	Mortelstukje	39,57	46,53	17,6	46,7	18,1	47,07	19,0	51,08	29,1	40	38	35
1d	Kerdeel baksteen/mortel	86,77	97,32	12,2	97,5	12,4	97,99	12,9	102,26	17,9	32	31	28
2	Gehele kern baksteen/mortel	550,80	552,49	0,3	588,3	6,8	600,85	9,1	645,30	17,2	98	60	47
3a	Mortelstuk (1ste cm)	27,49	28,60	4,0	28,7	4,3	28,85	4,9	29,33	6,7	40	35	26
3b	Mortelstuk	19,11	20,79	8,8	20,7	8,1	20,84	9,1	21,62	13,1	33	39	31
3c	Kern mortel/baksteen	510,85	533,46	4,4	565,5	10,7	567,31	11,1	592,59	16,0	72	33	31
4	Gehele kern baksteen/mortel	533,13	534,87	0,3	599,8	12,5	599,84	12,5	628,04	17,8	98	30	30

De procentuele waterabsorptie (capillaire absorptie, absorptie door onderdompeling en absorptie onder vacuum) geven het massapercentage geabsorbeerd water ten opzichte van de droge massa van de monsters.

De drie laatste kolommen geven de efficiëntie van de behandeling voor elk van de absorptie proeven. Deze werd berekend door vergelijking van de procentuele waterabsorptie, ten opzichte van de procentuele waterabsorptie onder vacuum. 100 % staat voor een compleet efficiënte behandeling, er is geen waterabsorptie. 0 % staat voor een waterabsorptie even hoog als absorptie onder vacuum. De waterabsorptie en de efficiëntie worden grafisch voorgesteld in de volgende figuur.



Doorgaans geeft de proef met capillaire absorptie, waarbij de proefstukken verticaal staan, de beste efficiënties, wat vrij logisch is omdat het contactoppervlak tussen het water en het proefstuk klein is. De verschillen tussen de resultaten van de drie experimenten blijven doorgaans klein, met enkele uitzonderingen.

Bij proefstukken 1a, 2 en 4 blijkt de efficiëntie bij capillaire absorptie met verticale proefstukken zeer hoog. Iets wat in het geheel niet meer tot uiting komt als de proefstukken horizontaal liggen. De oorzaak kan gezocht worden in de cementeringslaag op het oppervlak van de muren (die ook in de proefstukken zaten). Alleen de hoge efficiëntie van proefstuk 3c kan zo niet verklaard worden, aangezien de cementeringslaag van boorkern 3 op proefstuk 3a zit (proefstuk 3c stond met de baksteenkant in het water).

We besluiten dat in dit geval de drie soorten metingen vergelijkbare resultaten opleveren.

Metingen op de gescheiden mortel- baksteenstukken

De baksteen- en mortelstukken van de boorkernen werden gescheiden, en er werd een bijkomende opsplitsing gemaakt: de gedeeltes aan het oppervlak (buitenste 5 à 6 cm: opp.), in het midden (middelste 5 à 6 cm: mid.) en de gedeeltes die het diepst lagen (binnenste 5 à 6 cm: diep). Elk van deze fragmenten werd onderworpen aan proef met waterabsorptie door onderdompeling, en waterabsorptie onder vacuum. De resultaten worden samen gevat in volgende tabel (B=baksteen, M=mortel). De waterbasorptie en de efficiëntie van de behandeling werden berekend zoals in voorgaand deel.

Kern	plaats	materiaal	massa droog (g)	massa na 24 h onderdompeling (g)	waterabsorptie (%)	massa na 24 h vacuumimpregantie (g)	waterabsorptie (%)	Efficiëntie (%)
1	Opp.	M	82,23	94,7	15,2	97,23	18,2	16,9
		B	52,63	59,69	13,4	61,08	16,1	16,4
	Mid.	M	33,86	43,11	27,3	44,55	31,6	13,5
		B	95,06	106,83	12,4	110,78	16,5	25,1

	Diep.	M	59,58	72,17	21,1	77,44	30,0	29,5
		B	62,73	68,77	9,6	71,63	14,2	32,1
2	Opp.	M	48,48	52,7	8,7	54,03	11,4	24,0
		B	96,63	105,05	8,7	112,96	16,9	48,4
	Mid.	B	199,6	217,12	8,8	234,20	17,3	49,4
	Diep	B	167,62	183,86	9,7	196,44	17,2	43,7
3	Opp.	M	46,39	50,54	8,9	50,87	9,7	7,4
		B	143,69	157,42	9,6	163,28	13,6	29,9
	Mid.	B	125,52	137,21	9,3	143,19	14,1	33,8
	Diep	M	37,49	45,87	22,4	47,01	25,4	12,0
		B	105,18	114,47	8,8	119,58	13,7	35,5
4	Opp.	M	66,84	73,79	10,4	75,53	13,0	20,0
		B	71,14	80,17	12,7	82,35	15,8	19,4
	Mid.	M	31,1	38,26	23,0	39,74	27,8	17,1
		B	72,29	80,78	11,7	82,77	14,5	19,0
	Diep	M	26,57	32,73	23,2	33,89	27,5	15,8
		B	132,73	147,35	11,0	152,07	14,6	24,4

De resultaten zijn uitgezet in volgende grafieken.

De eerste grafiek toont de waterabsorptie in % voor zowel baksteen als mortel, voor onderdompeling en voor absorptie onder vacuum. De rode balken slaan op baksteen, de grijze op de mortel. De lichte kleur slaat op absorptie door onderdompeling gedurende 24 uur, de donkere kleur door absorptie onder vacuum.

De tweede grafiek toont de efficiëntie van de behandeling. Ook hier slaat rood op baksteen, grijs op mortel.

Waterabsorptie

Bekijken we eerst de grafiek met de waterabsorptie. Duidelijk is dat de bakstenen stukken vrij homogeen van waterabsorberingsgedrag zijn: de donkerrode balken (opzuiging onder vacuum) zijn alle ongeveer even hoog. Ook de lichtrode balkes bliken per boorkern ongeveer even hoog te zijn: op lokaal niveau blijkt de injectie het gedrag van de bakstenen homogeen te beïnvloeden. Slechts bij vergelijking tussen de verschillende

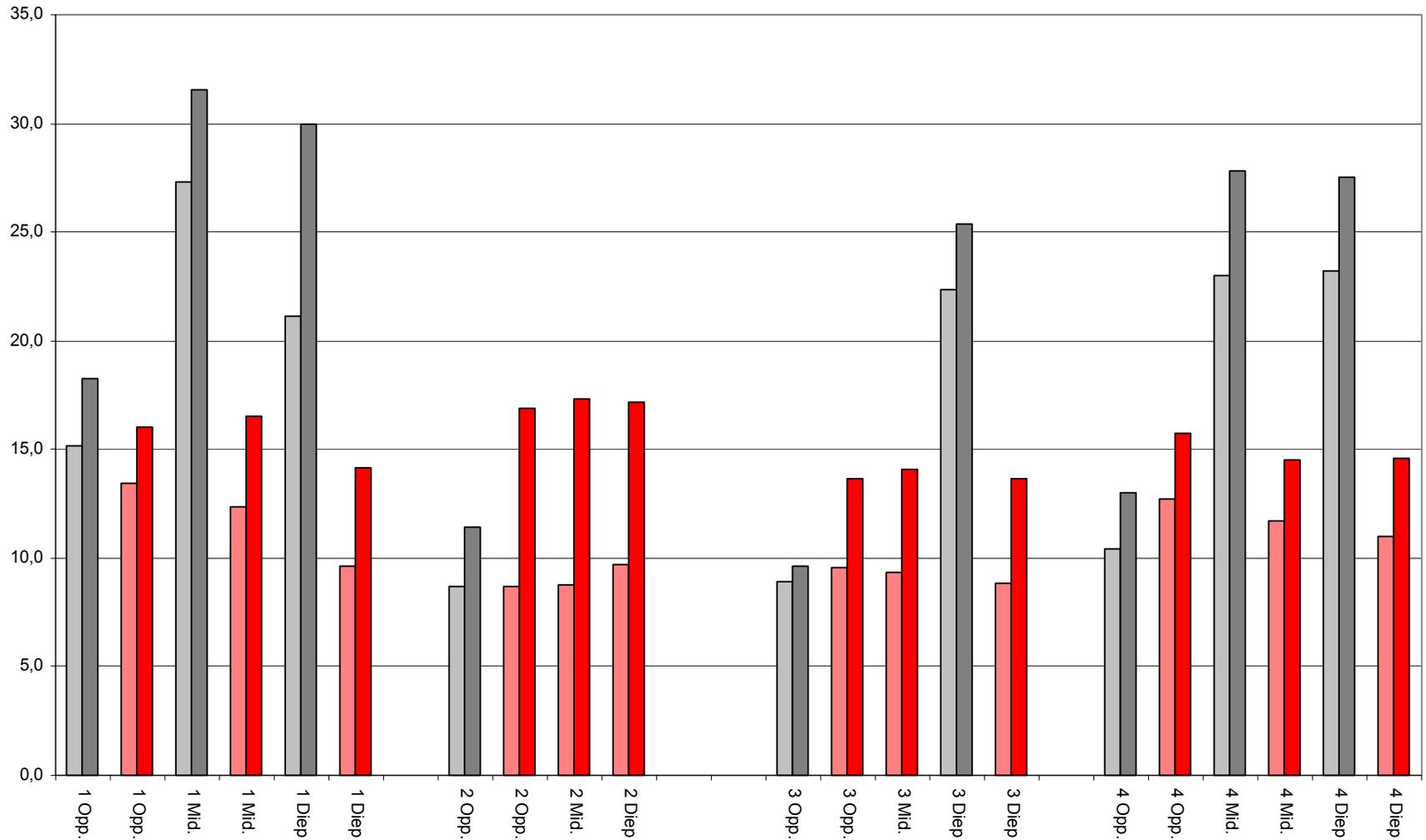
boorkeren komen er belangrijke verschillen aan het licht, die eventueel te wijten zijn aan lokale defecten in de buurt van de kernen, die we evenwel niet kunnen waarnemen.

Wat de mortel betreft blijkt uit de vacuumabsorptie dat mortel, zoals verwacht, veel meer water op kan nemen. Slechts de mortelgedeelten aan het oppervlak van de muren blijkt een lage absorptie te hebben, te wijten aan de cementeringslaag die zich ook aan het oppervlak bevindt. De resultaten van de waterabsorptie zijn zeer heterogeen, hetgeen ook te verwachten is voor de mortelgedeelten.

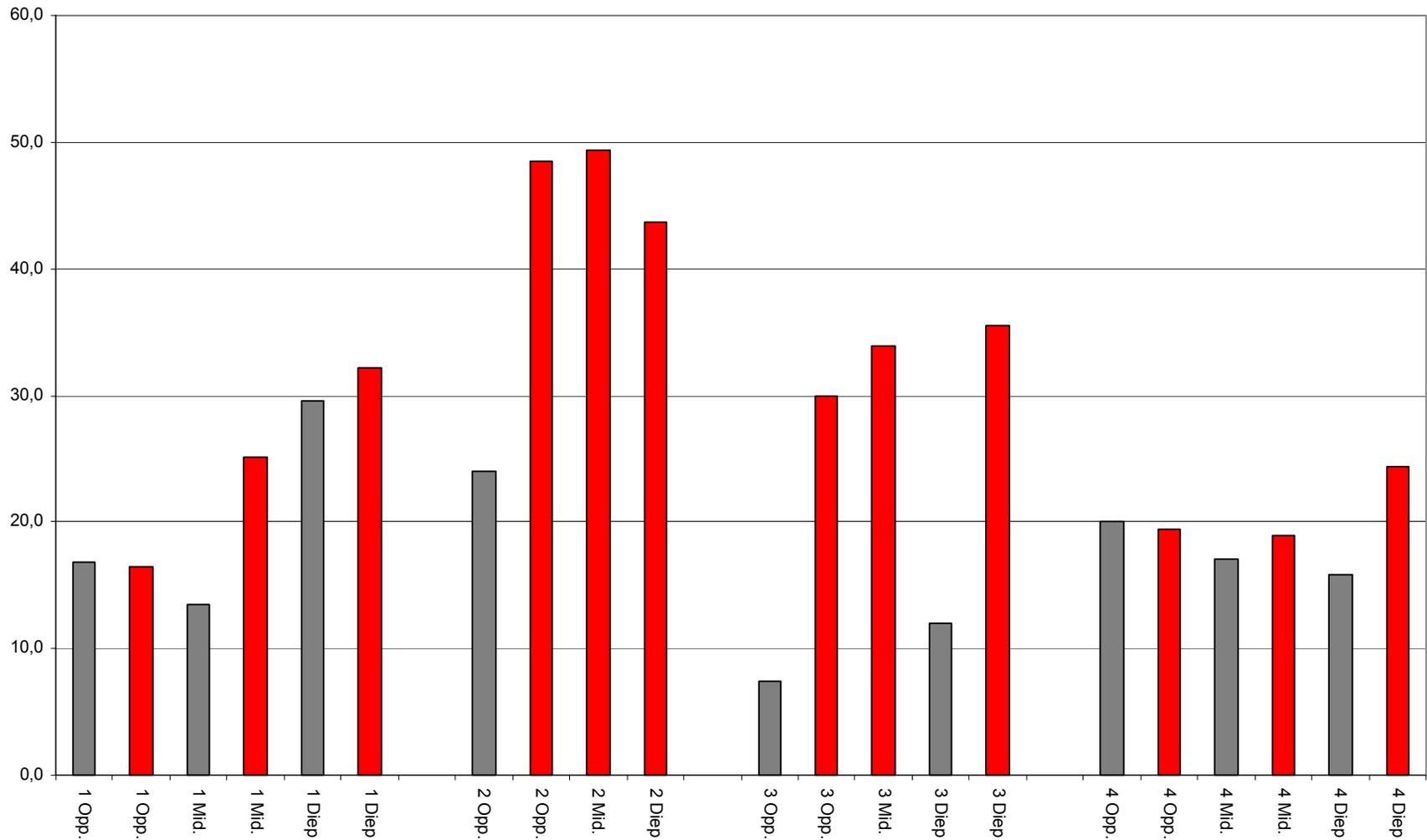
Efficiëntie

De resultaten zijn niet geheel duidelijk. Er zit een grote spreiding op de resultaten, zelfs als we gelijkaardige materialen op een gelijkaardige diepte vergelijken. Globaal gezien blijkt de behandeling wel steeds effectiever te zijn voor de bakstenen als voor de mortel. Het duidelijkst is dit wel te zien aan boorkernen 2 en 3. Bij kernen 1 en 4 blijkt het verschil veel minder uitgesproken, waar baksteen en mortel gelijkaardige prestaties tonen. Als algemeen besluit kan gesteld worden dat de prestaties in de mortel in het beste geval evenwaardig zijn aan de prestaties van de baksteen, maar dat de mortel meestal toch beduidend slechter presteert.

waterabsorptie (%)



Efficiëntie (%)



TROISIEME CAMPAGNE D'ESSAI SUR LES MATÉRIAUX

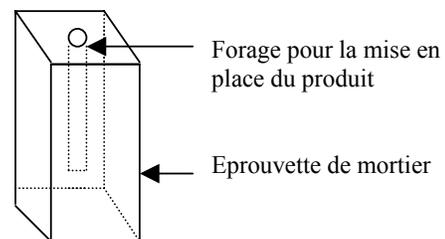
1. Objectifs

En fonction des enseignements obtenus après les essais sur les murets (annexes 3 et 6), ainsi qu'après les deux premières campagnes d'essais sur les matériaux (voir annexes 4 et 11) il est apparu que ce dernier type d'essais revêt une importance capitale dans l'appréciation globale des potentialités des produits d'injection contre l'humidité ascensionnelle. Il a donc été décidé en groupe de travail de poursuivre dans cette voie et d'affiner les paramètres d'essais afin d'optimiser cette procédure sur les matériaux.

Dans cette optique, les paramètres d'essais ci-après ont été retenus.

2. Paramètres d'essai

- **Eprouvettes d'essai** : les éprouvettes ont comme dimensions : 40 X 40 X 80 mm³ et sont forées en Ø 10 mm sur les 2/3 de leur hauteur.



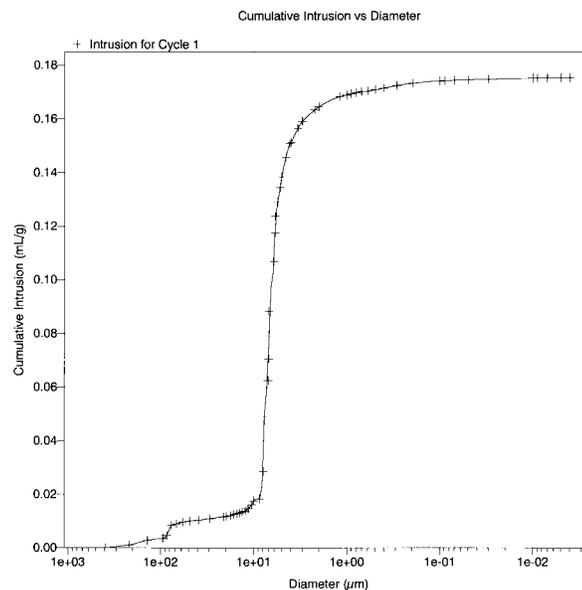
- **Matériaux**

Sur base des résultats assez semblables obtenus lors de la campagne précédente sur les deux mortiers, nous n'avons repris ici que le seul mortier C200-G100, comme le plus représentatif de celui rencontré en pratique dans les maçonneries anciennes. Le fait de ne retenir qu'un seul mortier a également permis d'élargir la campagne d'essais à une seconde brique et à une pierre naturelle calcaire de porosité élevée.

Les différents matériaux sont caractérisés ci-après.

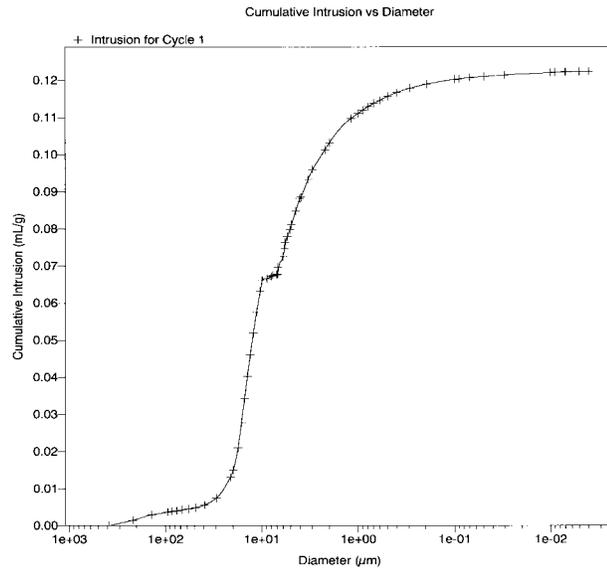
- **brique pleine (type Avondrood)** :
 masse vol. apparente:
 1750 ± 50 kg/m³
 porosité totale Hg :
 36 ± 5 vol. %

Graphique 1



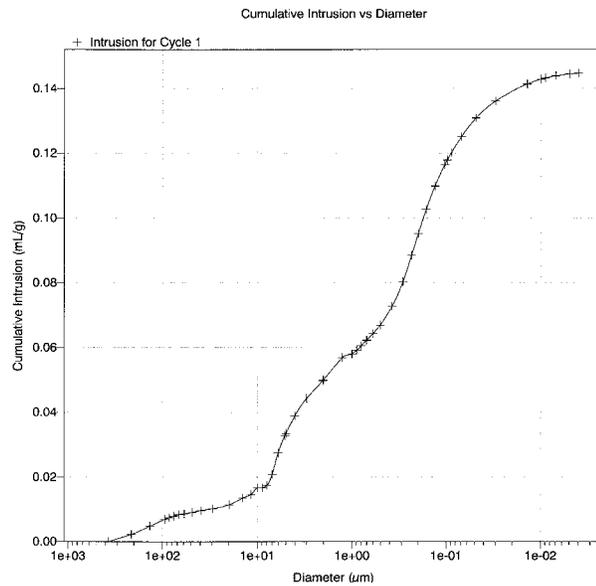
- **brique pleine (type Ghlin) :**
 masse vol. apparente:
 $1992 \pm 50 \text{ kg/m}^3$
 porosité totale Hg :
 $28 \pm 5 \text{ vol. \%}$

Graphique 2



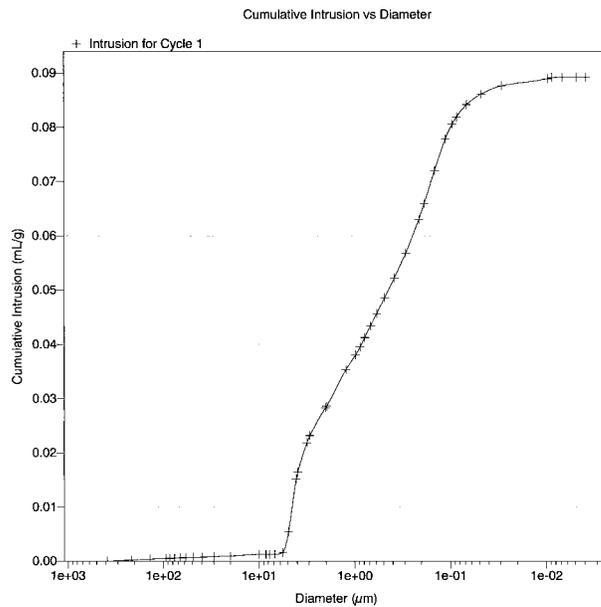
- **mortier C200-G100 (sable rude, module 1.4)**
 masse volumique apparente:
 $1880 \pm 30 \text{ kg/m}^3$
 porosité totale au mercure :
 $27 \pm 3 \text{ vol. \%}$

Graphique 3



- **Pierre blanche calcaire type Savonnières demi-**
 masse volumique apparente:
 $1845 \pm 50 \text{ kg/m}^3$
 porosité totale au mercure :
 $34 \pm 5 \text{ vol. \%}$

Graphique 4



- **Alcalinité des supports.** Pour les mortiers, les éprouvettes sont préalablement carbonatées (via un conditionnement en ambiance à 15 – 20 % de CO₂).
- **Humidité des éprouvettes lors de la mise en place des produits.** Des taux de 60 %, 85 % et 95 % par rapport aux taux de saturation par immersion sont retenus. Il s'agit de valeurs représentatives de conditions d'application respectivement sur matériaux humides, fortement humides et quasi saturés en eau.
- **Application** de 2 ml par simple diffusion.
- **Produits appliqués :**
 - Wacker 280 (65.3 %) dilué à 7 % en solvant aliphatique D40
 - Emulsion Goldschmidt 328 (50%) diluée à 7 %
 - Emulsion Wacker 550 (100%) diluée à 7 %
 - Emulsion Goldschmidt 899 (50%) diluée à 7 %
 - Siliconate Rodia 51T (28%) diluée à 7 %
 - Stéarate d'aluminium dilué à 7 % en solvant aliphatique D40
 - Solution bouche-pores (40%)
- **Conditionnement après traitement** de 7 jours en ambiance confinée afin de maintenir l'humidité initiale des éprouvettes.
- **Appréciation de l'efficacité des produits** par comparaison des absorptions d'eau par immersion (suivant prEN 13755) avant et après traitements, complétée si nécessaire par l'absorption par capillarité et par la mesure du volume ou de la surface de diffusion.

Remarque : afin de mieux cerner la dispersion liée aux différents paramètres d'essais, trois éprouvettes semblables (mortier C200/G100 carbonaté, 60 % humidité) ont fait l'objet d'application dans des conditions identiques (2 ml de produit W280).

3. Résultats des essais

Les trois tableaux et les graphiques 6, 7, 8 et 9 en pages suivantes reprennent l'ensemble des résultats obtenus pour les 7 formulations testées et les trois valeurs d'humidité ; ceci respectivement pour les 2 éprouvettes de terre-cuite, pour le mortier bâtard et pour la pierre calcaire de Savonnières.

Comme pour les précédentes campagnes et préalablement aux essais, les éprouvettes sont caractérisées en absorption d'eau par immersion, de manière à écarter les éventuelles valeurs anormales.

Enfin, pour les éprouvettes de mortier, rappelons que deux éprouvettes ont fait l'objet de traitements identiques pour chaque taux d'humidité, afin de confirmer l'impact de l'hétérogénéité des éprouvettes sur les mesures de performance des traitements. Les résultats obtenus sont repris au graphique 5 ci-après.

Graphique : 5

Différence potentielle d'efficacité du traitement (W280 – 2 ml – humidité de 60 %, 80 % et 95 %) en fonction de l'hétérogénéité des éprouvettes de mortier bâtard

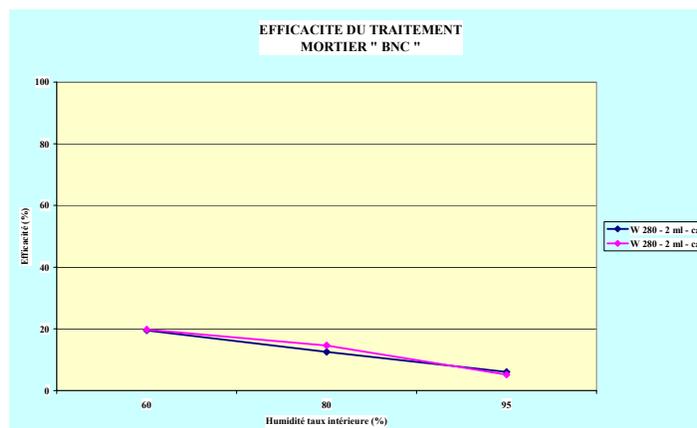


Tableau résumé des résultats sur éprouvette de brique (Avondrood)

Produits	Humidité des éprouvettes à l'application	absorption avant traitement	Absorption après traitement	efficacité des traitements en %
51 T - 2 ml - cap	60%	14.12	6.01	57.44
51 T - 2 ml - cap	80%	13.59	4.62	65.99
51 T - 2 ml - cap	95%	14.48	5.03	65.24
BP - 2 ml - cap	60%	13.71	12.28	10.44
BP - 2 ml - cap	80%	14.35	12.51	12.80
BP - 2 ml - cap	95%	13.20	11.84	10.26
G 328 - 2 ml - cap	60%	11.70	5.82	50.31
G 328 - 2 ml - cap	80%	12.35	5.26	57.45
G 328 - 2 ml - cap	95%	12.38	6.01	51.42
G 899 - 2 ml - cap	60%	13.56	3.90	71.25
G 899 - 2 ml - cap	80%	13.29	4.66	64.93
G 899 - 2 ml - cap	95%	13.60	6.20	54.42
STEA - 2 ml - cap	60%	13.21	12.53	5.14
STEA - 2 ml - cap	80%	13.89	13.79	0.73
STEA - 2 ml - cap	95%	14.00	13.85	1.08
W 280 - 2 ml - cap	60%	13.87	10.67	23.06
W 280 - 2 ml - cap	80%	13.83	10.21	26.16
W 280 - 2 ml - cap	95%	13.52	10.27	24.08
W 550 - 2 ml - cap	60%	12.47	8.55	31.46
W 550 - 2 ml - cap	80%	13.13	9.46	27.97
W 550 - 2 ml - cap	95%	14.18	9.69	31.66

Tableau résumé des résultats sur éprouvette de mortier (BNC)

Produits	Humidité des éprouvettes à l'application	absorption avant traitement	absorption après traitement	efficacité des traitements en %
51 T - 2 ml - cap	60%	13.84	11.99	13.34
51 T - 2 ml - cap	80%	13.93	12.49	10.35
51 T - 2 ml - cap	95%	13.98	12.90	7.77
BP - 2 ml - cap	60%	13.88	12.46	10.25
BP - 2 ml - cap	80%	13.86	13.00	6.24
BP - 2 ml - cap	95%	13.97	12.88	7.80
G 328 - 2 ml - cap	60%	14.03	12.84	8.47
G 328 - 2 ml - cap	80%	13.79	13.68	0.80
G 328 - 2 ml - cap	95%	13.83	13.20	4.60
G 899 - 2 ml - cap	60%	13.99	12.77	8.70
G 899 - 2 ml - cap	80%	13.83	13.19	4.63
G 899 - 2 ml - cap	95%	13.88	13.14	5.29
STEA - 2 ml - cap	60%	13.77	12.90	6.33
STEA - 2 ml - cap	80%	13.98	13.53	3.24
STEA - 2 ml - cap	95%	14.19	13.87	2.30
W 280 - 2 ml - cap	60%	13.93	11.21	19.49
W 280 - 2 ml - cap	60%	13.82	11.09	19.76
W 280 - 2 ml - cap	80%	14.02	12.26	12.53
W 280 - 2 ml - cap	80%	14.05	12.00	14.62
W 280 - 2 ml - cap	95%	13.80	12.97	6.02
W 280 - 2 ml - cap	95%	14.03	13.30	5.16
W 550 - 2 ml - cap	60%	13.98	12.96	7.33
W 550 - 2 ml - cap	80%	13.89	13.28	4.38
W 550 - 2 ml - cap	95%	13.92	13.30	4.44

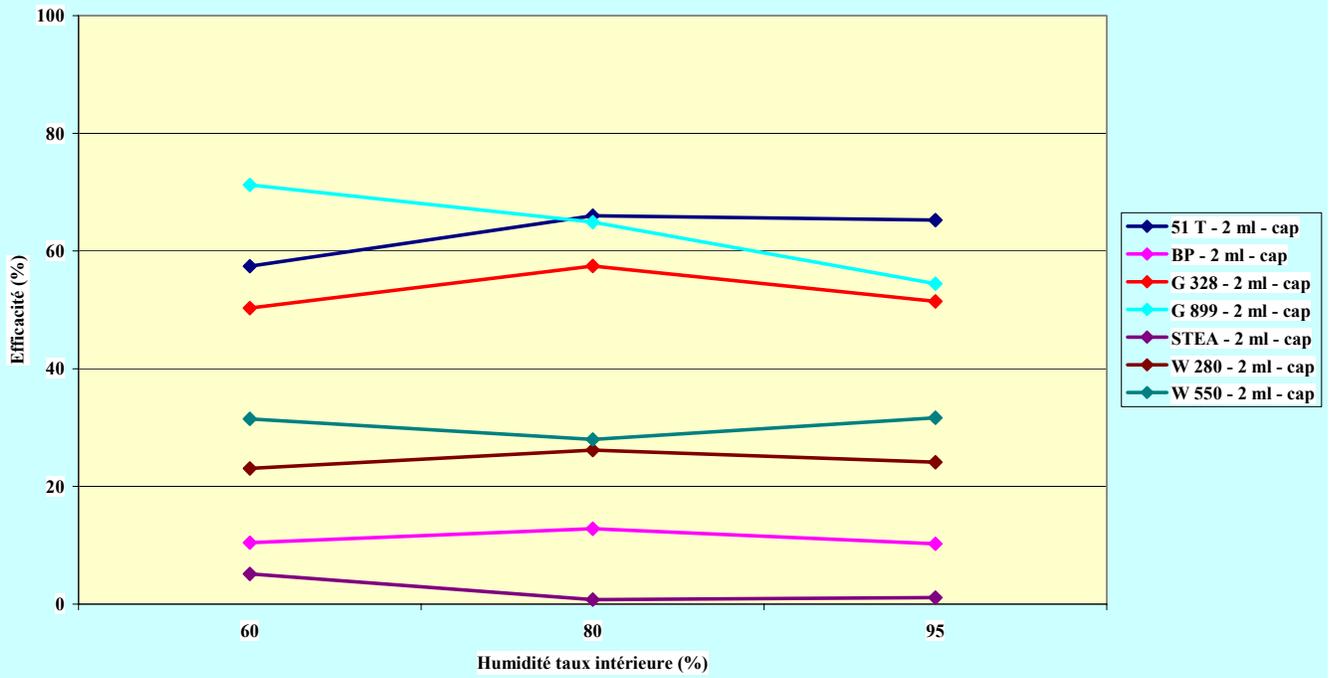
Tableau résumé des résultats sur éprouvette de brique (Ghlin)

Produits	Humidité des éprouvettes à l'application	absorption avant traitement	absorption après traitement	efficacité des traitements en %
51 T - 2 ml - cap	60%	11.77	8.23	30.04
51 T - 2 ml - cap	80%	11.62	5.53	52.38
51 T - 2 ml - cap	95%	11.55	5.71	50.57
BP - 2 ml - cap	60%	9.68	8.67	10.47
BP - 2 ml - cap	80%	11.41	10.17	10.89
BP - 2 ml - cap	95%	11.67	10.49	10.04
G 328 - 2 ml - cap	60%	11.56	8.38	27.54
G 328 - 2 ml - cap	80%	10.65	6.09	42.80
G 328 - 2 ml - cap	95%	11.71	9.55	18.47
G 899 - 2 ml - cap	60%	11.96	8.94	25.28
G 899 - 2 ml - cap	80%	8.93	4.91	44.94
G 899 - 2 ml - cap	95%	10.17	6.16	39.38
STEA - 2 ml - cap	60%	10.19	8.70	14.61
STEA - 2 ml - cap	80%	9.79	9.01	8.02
STEA - 2 ml - cap	95%	11.84	11.72	1.04
W 280 - 2 ml - cap	60%	11.37	5.30	53.40
W 280 - 2 ml - cap	80%	12.00	6.94	42.15
W 280 - 2 ml - cap	95%	11.36	6.39	43.79
W 550 - 2 ml - cap	60%	11.67	9.99	14.45
W 550 - 2 ml - cap	80%	11.83	9.95	15.90
W 550 - 2 ml - cap	95%	12.03	10.66	11.42

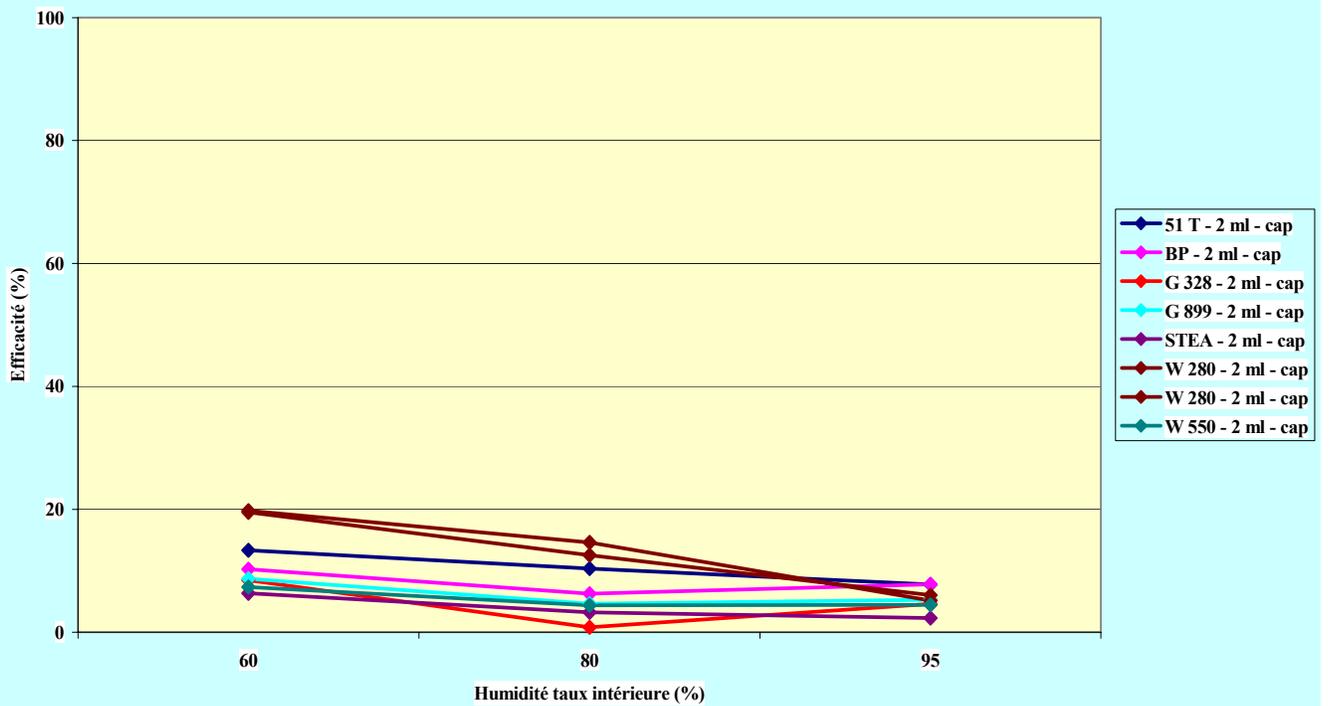
Tableau résumé des résultats sur éprouvette de pierre de Savonnières

Produits	Humidité des éprouvettes à l'application	absorption avant traitement	absorption après traitement	efficacité des traitements en %
51 T - 2 ml - cap	60%	9.08	7.99	12.04
51 T - 2 ml - cap	80%	9.38	7.57	19.32
51 T - 2 ml - cap	95%	9.84	7.85	20.27
BP - 2 ml - cap	60%	9.71	8.90	8.35
BP - 2 ml - cap	80%	8.37	6.61	21.01
BP - 2 ml - cap	95%	8.48	7.92	6.62
G 328 - 2 ml - cap	60%	9.78	9.28	5.18
G 328 - 2 ml - cap	80%	8.44	8.34	1.22
G 328 - 2 ml - cap	95%	8.30	8.18	1.38
G 899 - 2 ml - cap	60%	8.42	8.05	4.30
G 899 - 2 ml - cap	80%	8.23	8.10	1.62
G 899 - 2 ml - cap	95%	8.23	8.11	1.54
STEA - 2 ml - cap	60%	8.37	7.50	10.36
STEA - 2 ml - cap	80%	8.29	8.03	3.14
STEA - 2 ml - cap	95%	9.50	9.18	3.45
W 280 - 2 ml - cap	60%	9.37	7.56	19.32
W 280 - 2 ml - cap	80%	9.79	8.02	18.02
W 280 - 2 ml - cap	95%	9.31	8.18	12.14
W 550 - 2 ml - cap	60%	8.21	7.80	4.98
W 550 - 2 ml - cap	80%	9.76	9.31	4.59
W 550 - 2 ml - cap	95%	8.41	8.19	2.53

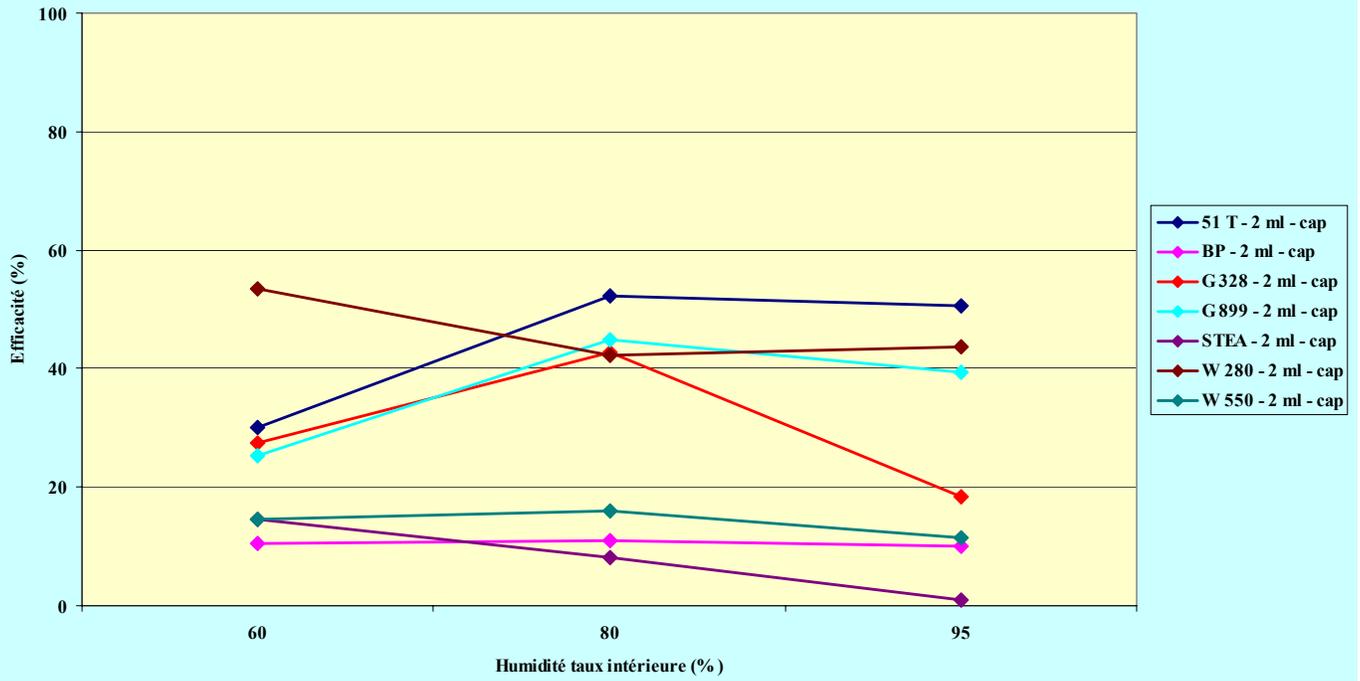
**GRAPHIQUE 6 : EFFICACITE DES TRAITEMENTS
SUR BRIQUE " AVONDROOD "**



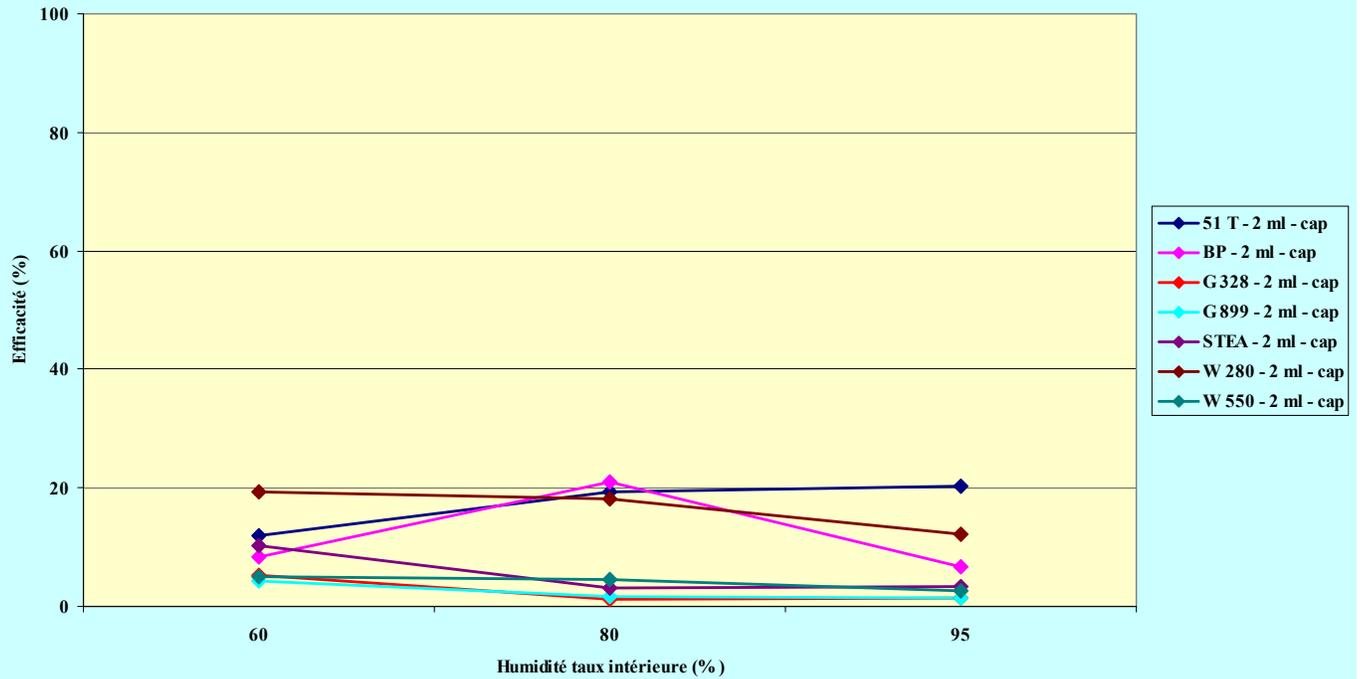
**GRAPHIQUE 7 : EFFICACITE DES TRAITEMENTS
SUR MORTIER " BNC "**



**GRAPHIQUE 8 : EFFICACITE DES TRAITEMENTS
SUR BRIQUE DE " GHLIN "**



**GRAPHIQUE 9 : EFFICACITE DES TRAITEMENTS
SUR PIERRE DE SAVONNIERES**



4. Enseignements des essais et remarques

4.1. Dispersion des résultats

Sur base des résultats obtenus sur les trois couples d'éprouvettes de mortier (voir graphique 5) on peut constater une dispersion assez faible des résultats. De nuls à quasiment nuls, les écarts les plus importants en efficacité (humidité de 80 %) restent inférieurs à 3 %.

Ces écarts ne devraient pas influencer de manière significative les enseignements à tirer de cette campagne d'essais.

4.2. Influence de l'humidité initiale lors de l'application

En parallèle aux constatations des essais précédents sur les matériaux (annexes 4 et 11), le taux d'humidité des supports à base de terre cuite (briques) et de pierre naturelle, ne semble pas jouer un rôle fondamental sur l'efficacité potentielle des produits. Une humidité anormalement importante (90 à 95 % du taux de saturation) semble même favoriser l'efficacité des siliconates.

Par contre, pour le mortier et pour la quasi-totalité des produits, on constate une diminution légère mais progressive de l'efficacité potentielle (déjà faible!!) en fonction des teneurs en eau des supports lors de l'application.

4.3. Influence du support sur l'efficacité des traitements

L'influence de la nature des supports déjà observée lors des deux précédentes campagnes d'essais (annexes 4 et 11) se vérifie de manière flagrante et l'on note :

- pour les deux briques, des performances moyennes (W550, W280) à bonnes (G328, G899, 51T), avec des résultats insuffisants pour le stéarate et le produit bouche-pores ;
- pour le mortier et la pierre de Savonnières, des performances faibles (51T, W280, bouche-pores) à totalement négligeables (toutes les émulsions et le stéarate d'aluminium.

Cette différence très nette d'efficacité entre les supports de terre-cuite et les matériaux calcaires a pu faire croire, lors des premiers essais, à une certaine influence négative de l'alcalinité. Cette cause ne peut être invoquée dans le cas présent pour la pierre calcaire et le mortier parfaitement carbonaté avant l'application des produits (pH quasi neutre pour ces deux matériaux). Notons également l'efficacité globale excessivement faible obtenue sur les éprouvettes de mortier contenant un pourcentage très élevé d'humidité ; les "meilleurs" produits ne réduisent pas de plus de 10 % l'absorption d'eau.

4.4. Efficacité des différentes formulations

- le méthylsiliconate offre de manière générale et par rapport aux différents produits testés, de bonnes performances sur l'ensemble des supports ;
- le produit bouche-pores est potentiellement peu performant sur les briques, mais présente une certaine efficacité sur la pierre calcaire et le mortier ;
- les deux émulsions de la firme "G" présente des performances assez voisines, càd. particulièrement bonnes sur les briques, mais moyennes à assez faible respectivement sur le mortier et la pierre de Savonnières ;
- l'émulsion de la firme "W" présente de moins bonnes caractéristiques que les deux précédentes, surtout sur la brique de Ghlin et la pierre de Savonnières ;
- la solution de siloxanes en phase solvantée "W280", est globalement bonne sur tous les supports par rapport à l'ensemble des formulations retenues.

5. Conclusions

Bien que l'influence de la nature des supports sur l'efficacité des traitements aient déjà été observés dans le cadre d'autres recherches (notamment lors des essais d'hydrofugation de surface), les trois campagnes d'essais menés dans le cadre de cette recherche sur les matériaux ont particulièrement mis en évidence :

- la bonne efficacité et la bonne migration de la majorité des produits hydrofuges dans les supports de terre-cuite (briques) ;
- les performances nettement plus faibles, notamment au niveau de la migration des produits, sur les supports de type calcaire (mortiers carbonatés et pierre calcaire) et ce pour l'ensemble des formulations.

Les résultats des analyses porométriques au mercure (voir graphiques 1 à 4) incitent à écarter les hypothèses de migration différentielle des produits suite à des structures porométriques fondamentalement différentes. De même l'examen de l'ensemble des résultats des trois campagnes d'essais amène à écarter les causes liées à la dégradation des produits par des pH (alcalinité) plus élevés des éprouvettes de mortier et/ou de la pierre calcaire.

Les fabricants sollicités à ce sujet n'ont apparemment pas de réponse à cette question et les causes les plus plausibles avancées par les laboratoires du CSTC et de l'IRPA, pourrait être liée au moins partiellement :

- à l'affinité des molécules "siloxanes" pour les surfaces contenant de la silice (silicates des briques), par rapport aux surfaces de nature carbonatée (mortier et pierre calcaire) ;
- à la cinétique de polymérisation des produits, qui sur supports de pH très légèrement alcalins de 7.5 à 9 (mortiers carbonatés et pierre calcaire) serait fortement accélérée au détriment des possibilités de pénétration dans ces supports.

En ce qui concerne la validité de la procédure d'essais telle que retenue pour cette dernière campagne sur matériaux, son intérêt ne fait aucun doute dans le cadre de l'appréciation de l'efficacité potentielle des produits. Elle permet une meilleure compréhension et l'interprétation des résultats globaux obtenus sur les murets et/ou les assemblages. De plus elle offre la possibilité de pouvoir chiffrer, sur base d'un essai très rapide, l'efficacité potentielle des produits ; en sachant que les valeurs obtenues sont à relativiser en fonction des constatations et résultats sur murets.

Pour le détail des paramètres d'essais :

- le nombre de matériaux retenus pourrait être limité en ne retenant qu'un seul type de brique. Les résultats sont en effet tout à fait parallèles pour les deux briques retenues (Ghlin et Avondrood). La carbonatation préalable du mortier C200-G100 reste importante afin d'éviter la dégradation potentielle des produits par des pH anormalement élevés. La pierre de Savonnières permet de confirmer les résultats obtenus sur le mortier ;
- les trois taux d'humidité des éprouvettes lors de l'application des produits pourraient être élargis par rapport à la fourchette actuelle (retenue dans l'optique de l'étude de l'humidité initiale). Des valeurs plus représentatives de la réalité, par exemple 50, 70 et 90 % du taux de saturation des éprouvettes pourraient utilement être envisagées ;
- les quantités de produits de traitement retenues pourraient varier entre 2 et 4 millilitres. Des quantités très faibles, telles qu'utilisées dans cette dernière campagne (2 ml) favorisent les possibilités de comparaison des résultats (on ne risque pas une saturation plus ou moins systématique des éprouvettes), mais les performances obtenues sur certains supports peuvent paraître insuffisantes, voir négligeables
- Pour l'appréciation de l'efficacité potentielle des produits, les mesures comparatives d'absorption d'eau par immersion (suivant prEN 13755) avant et après traitements apparaissent comme les plus fiables. Elles pourraient

toutefois être complétées et/ou relatives par le volume de matériau concerné par les traitements (calculé d'après la section traitée après découpe et humidification). A ce sujet, signalons que des essais complémentaires ont été menés sur pierre de Savonnières, afin de s'assurer de l'efficacité potentielle des produits en cas d'imprégnation totale de ce type d'éprouvettes qui apparaît comme particulièrement difficile à traiter (voir annexe 17).

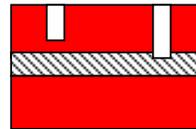
ESSAIS COMPLÉMENTAIRES SUR MONTAGES SIMPLIFIÉS

1. Objectifs

Suite aux discussions en groupe de travail concernant la migration préférentielle des produits injectés dans les matériaux de terre cuite et dans les mortiers, ainsi que sur l'influence d'éventuelles microfissures d'interface, il a été décidé de mener quelques essais d'orientation sur des montages simplifiés.

Le montage d'essai est constitué de deux briques (Avondrood) liées au mortier (C200-G100).

La brique supérieure est préalablement forée de 2 trous de \varnothing 10 mm, le premier sur une profondeur de 30 mm, le second traversant la brique jusqu'au mortier.



Paramètres d'essai

Les produits et leurs concentrations sont renseignés ci-après, avec entre parenthèse la lettre d'identification de l'éprouvette traitée. Il s'agit de formulations identiques à celles retenues pour la troisième campagne d'essais sur les matériaux.

- Wacker 280 (65.3 %) dilué à 7 % en solvant aliphatique D40 (F)
- Emulsion Goldschmidt 328 (50%) diluée à 7 % (B)
- Emulsion Wacker 550 (100%) diluée à 7 % (G)
- Emulsion Goldschmidt 899 (50%) diluée à 7 % (D)
- Siliconate Rodia 51T (28%) diluée à 7 % (A)
- Stéarate d'aluminium dilué à 7 % en solvant aliphatique D40 (C)
- Solution bouche-pores (40%) (E)

Après un minimum de 28 jours et carbonatation complète du mortier de montage (7 jours en ambiance à 20 % de CO_2) et conditionnement des éprouvettes à 85 % du taux de saturation par immersion, deux millilitres de produit sont introduit par simple gravité dans les deux forages des briques. L'ensemble est ensuite maintenu 7 jours en ambiance confinée, afin de maintenir les conditions d'humidité initiales des matériaux durant la phase de "polymérisation des produits.

Le contrôle de la diffusion préférentielle des produits se réalise visuellement après découpage des ensembles dans l'axe des trous et séchage des éprouvettes.

Pour la visualisation des zones touchées par les traitements, la capillarité a été retenue au vu des meilleurs résultats obtenus par rapport à la pulvérisation d'eau et le suivi de l'absorption superficielle des microgouttes.

Compte tenu des résultats de diffusion et d'efficacité décevants obtenus sur les mortiers après 7 jours de capillarité, les éprouvettes ont été séchées après les premières constatations et remises en capillarité durant 7 jours. L'objectif de cette seconde série d'essai vise à s'assurer de l'influence ou non d'un délavage des produits tensio-actifs (émulsion) et/ou d'un complément de polymérisation (siloxanes, stéarates, bouches-pores sur les performances des produits. Lors de cette seconde série d'essais, on suit également de manière progressive (après 1, 2, 4, 8, ... heures) l'évolution de l'effet hydrophobe en fonction de la durée de la mise en capillarité des éprouvettes.

2. Résultats des essais

- Les constatations respectivement après 2 heures et 7 jours d'absorption capillaire sont reprises aux photos 1 et 2. Elles sont complétées par les photos de détail des absorptions après 2 heures pour chaque éprouvette (photos 3 à 9) et par 5 photos d'ensemble illustrant l'évolution des mesures de capillarité en fonction du temps.
- Notons d'emblée les différences dans les constatations en fonction de la durée de mise en capillarité des assemblages. Ces différences sont relativement peu importantes en ce qui concerne les potentialités de migration des produits dans la terre cuite, mais sont très nettes pour le mortier. Pour ce dernier lors des deux premières heures de capillarité et , on constate pour la quasi totalité des produits une bonne efficacité et une migration importante dans les mortiers. Toutefois et après plusieurs heures de maintien des éprouvettes dans des conditions d'humidification capillaires, les résultats deviennent systématiquement mauvais et les mortiers ne laissent pratiquement plus apparaître d'effet hydrophobe notable. Cette constatation, en partie déjà notée lors des essais sur les matériaux (efficacité plus problématique sur les mortiers), apparaît ici de manière particulièrement flagrante et inquiétante. En effet, les produits d'injection devraient en principe et en priorité, présenter une bonne efficacité sur les joints qui représentent le milieu continu de migration capillaire. Sur base des constatations sur assemblages (efficacité non décelable sur les mortiers après quelques heures d'absorption) et des résultats obtenus sur matériaux, on pourrait penser que l'efficacité des produits d'injection devrait être lié à une réduction des phénomènes capillaires, n'entraînant pas automatiquement un effet répulsif de l'eau. Sur base de ces données, on devrait constater que l'essai de capillarité prolongé sur des assemblages, bien qu'intéressant, ne constitue pas un test directement représentatif pour l'appréciation directe de l'efficacité des produits.
- En ce qui concerne les potentialités de migration des produits on peut remarquer:
 - **pour le silicate** (éprouvette A) : la très bonne migration dans la brique, mais l'effet quasi négligeable dans le mortier après quelques heures;
 - **pour l'émulsion 328** (éprouvette B) : une excellente répartition dans la brique, qui se traduit pour les 2 ml de produit mis en place par un volume traité voisin de 73 cm³. Dans le mortier on constate également une très bonne répartition après 2 heures d'absorption. Après 7 jours d'absorption et avec l'émulsion 899, il s'agit des deux produits montrant encore une efficacité décelable (même restreinte) sur le mortier ;
 - **pour le stéarate d'aluminium** (éprouvette C) : pour la brique, un effet hydrophobe restreint sur un volume de l'ordre de 10 cm³. Sur le mortier, l'effet est quasi négligeable dès les premières constatations après 2 heures de capillarité ;
 - **pour l'émulsion 899** (éprouvette D) : des résultats sur brique assez comparables bien que légèrement inférieurs à l'émulsion 328, avec un volume traité de 38 cm³. Sur le mortier, les constatations sont également semblables à celles de l'émulsion 328 ;
 - **pour la solution de type bouche-pores** (éprouvette E) : l'impact très restreint sur les tensions superficielles (pour rappel, il ne s'agit pas d'un produit à caractère hydrophobe), ne permet pas une visualisation directe de la zone concernée par la migration du produit. Toutefois, un examen attentif de l'évolution de l'humidification permet de déceler un volume de brique traité de l'ordre de 58 cm³. Au niveau du mortier et après 2 heures de capillarité, on constate un bon effet "retardateur" de l'humidification, qui disparaît assez rapidement dans le temps ;
 - **pour la formulation siloxane en phase solvant** (éprouvette F) : le volume de brique traité est moyen ($\approx 6 \text{ cm}^3$) et si, pour le mortier, on note une bonne

efficacité après 2 heures de capillarité, cet effet s'atténue sensiblement après 4 à 6 heures, pour disparaître quasi-totalement lors des mesures après 7 jours ;

- **pour l'émulsion 550** (éprouvette G) : le volume de brique traité est bon et voisin de 24 cm^3 . Dans le mortier les constatations de diffusion et de l'effet sont bonnes après 2 heures de capillarité, mais, comme pour la solution solvantée de siloxane, diminuent dans le temps et deviennent quasi nulles après 22 heures.

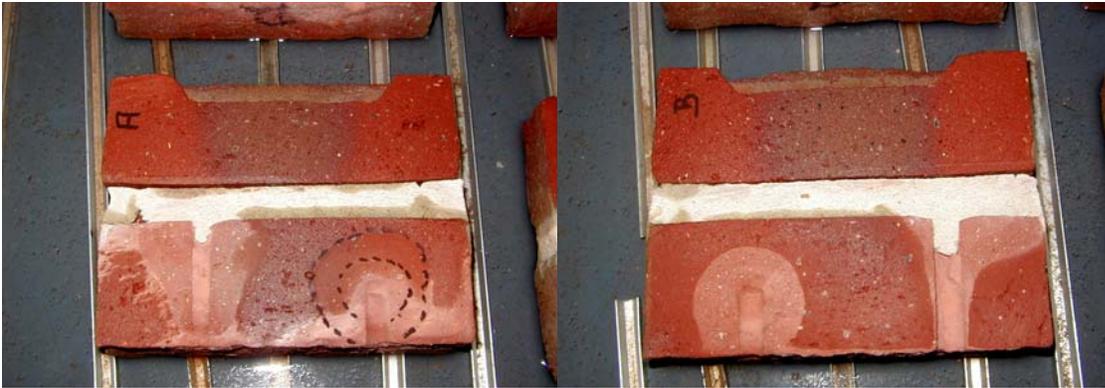
Photo 1 : vue de l'ensemble des éprouvettes après 2 heures en capillarité



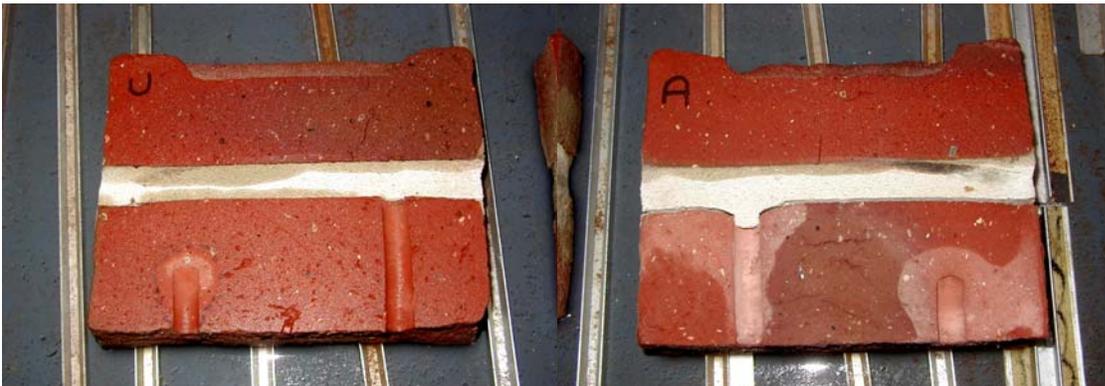
Photo 2 : vue de l'ensemble des éprouvettes après 7 jours en capillarité



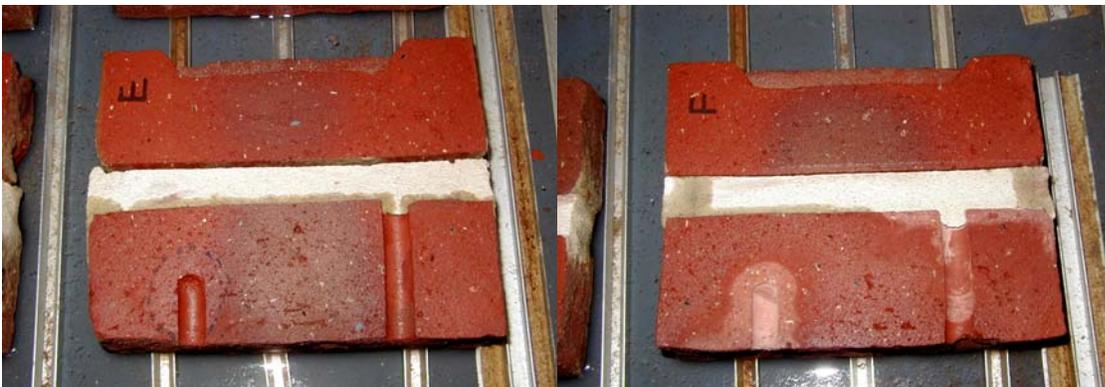
VUES DE DÉTAIL DES ÉPROUVETTES APRÈS 2 HEURES DE CAPILLARITÉ



Photos 3 et 4 ci-avant : éprouvettes A et B, visualisation de l'effet hydrophobe des traitements



Photos 5 et 6 : éprouvettes C et D, visualisation de l'effet hydrophobe des traitements



Photos 7 et 8 : éprouvettes E et F, visualisation de l'effet hydrophobe des traitements



Photo 9 : éprouvettes G, visualisation de l'effet hydrophobe des traitements

A la demande des membres du groupe d'accompagnement, des photos globales ont également été réalisées à intervalles réguliers, c'est-à-dire après 1, 2, 4, 6 et 22 heures afin de mieux visualiser l'évolution de la capillarité. Ces photos sont reprises ci-après.





Absorption après 4 heure:



Absorption après 6 heure:



Absorption après 22 heure:

ESSAIS DE CONFIRMATION SUR MURETS

1.- Objectif

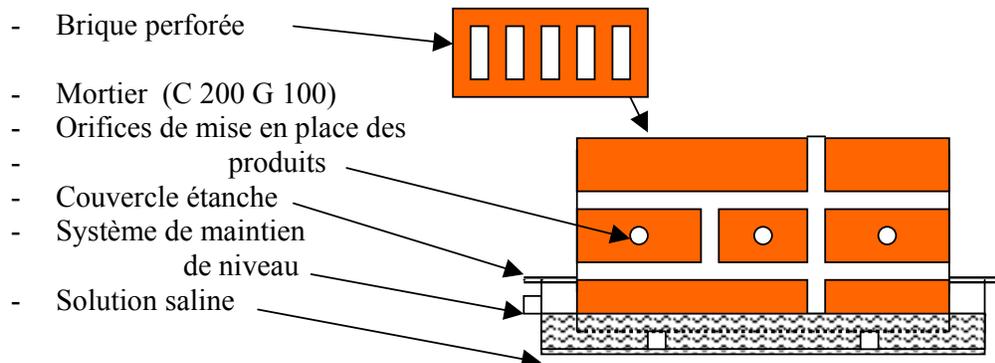
Ces essais de confirmation sur murets sont basés sur l'ensemble des enseignements des travaux de la recherche et en particulier ceux repris dans les annexes 3, 6 et 10. Ils visent à s'assurer et à affiner les paramètres d'essais susceptibles d'approcher l'efficacité potentielle des formulations utilisées en injection contre l'humidité ascensionnelle.

Bien que ces essais représentent la base de la procédure d'essai relative à ce type de produits, il faut toutefois être convaincu que les résultats obtenus seront toujours utilement complétés par des essais sur les matériaux. Ces derniers devraient en effet aider à la compréhension des résultats obtenus sur murs, en permettant d'appréhender séparément l'efficacité potentielle des produits dans les mortiers et les briques. De plus et de manière pratique, les essais sur murets vise en priorité à confirmer dans des conditions représentatives de la réalité les performances des traitements, tandis que les approches sur matériaux se limitent aux performances potentielles des produits.

2.- Paramètres d'essais

2.1. Poste d'essais

Le poste d'essai, schématisé en fig.1, est semblable à celui utilisé lors de la première campagne sur murets (annexe 3) et est inspiré des essais menés en Grande Bretagne (British Board of Agreement).



Les briques utilisées, de masse volumique de 2050 kg/m³, de porosité totale de 22 % et d'absorption d'eau de 11 %, présentent 5 alvéoles. Les teneurs en ions des briques sont voisines de 0.02 % en Ca⁺⁺, 0.003 % en Na⁺, 0.004 % en K⁺, 0.0008 % en Mg⁺⁺ et 0.05 % en SO₄⁼.

Le mortier de pose et de jointoiment est de type C200/G100, soit 200 kg de ciment (CEM-I-42.5) et 100 kg de chaux hydratée (chaux grasse), par mètre cube de sable rude de carrière de module de finesse 1.4 (voir caractérisation complète du mortier en annexe 11).

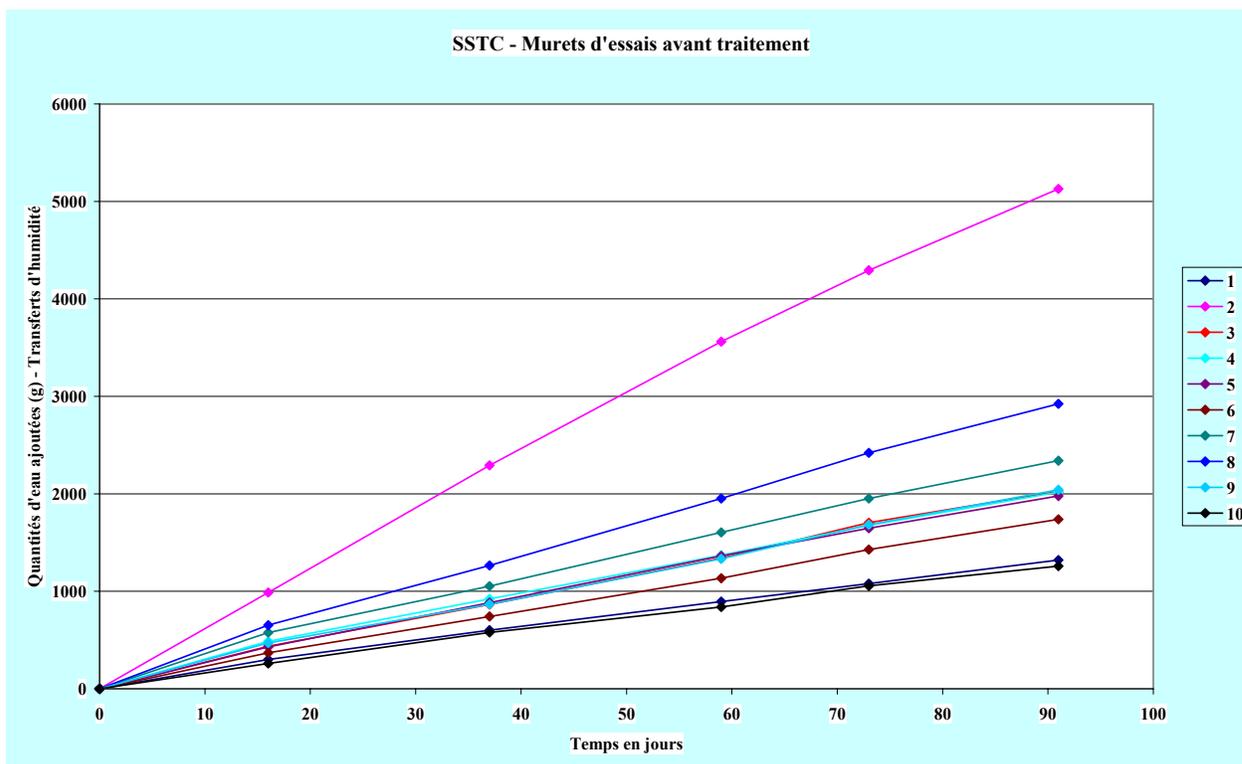
Après un délai minimum de 6 mois, destiné à favoriser le durcissement et la carbonatation des mortiers, la base des murets est emprisonnée dans un bac d'humidification et mise en contact sur 4 cm de hauteur avec une solution saline (0.5 % NaCl, 0.5 % KNO₃, 2 % Na₂SO₄).

L'ensemble d'essai est placé en ambiance laboratoire.

Durant cette phase d'humidification, les quantités d'eau à ajouter dans les bacs afin de maintenir le niveau constant sont régulièrement mesurées par pesées (précision ± 0.1 g). Notons également qu'il est prévu des murets de référence non destinés aux traitements et servant à relativiser les résultats obtenus sur les produits, par rapport à :

- un muret n'ayant fait l'objet d'aucune intervention (efficacité nulle) ;
- un muret traité par la mise en place d'une membrane (efficacité de 100 %).

Les résultats de ces mesures sont repris au graphique ci-après.



Remarques

Après une relativement brève phase d'humidification des murs (une quinzaine de jours), on constate pour tous les murs une stabilisation des quantités d'eau ajoutées afin de maintenir les niveaux constants.

Les différences importantes observées entre les différents murets d'essais entraînent d'emblée des questions pour des ensembles d'essai réalisés de manière tout à fait semblable et avec des matériaux identiques (mortier et briques).

Le démontage des postes d'essais pour l'application des produits a permis, à ce sujet, de mettre en évidence des causes diverses d'évaporation non contrôlée, via notamment les assemblages entre les plaques de couverture des bacs et entre ces plaques et les bacs plastique, ainsi que l'adhérence aléatoire des mastics d'étanchéité autour des murets humides. Des améliorations de la constance et de la qualité des systèmes d'étanchéité sont proposées en conclusion à ces essais, certains ayant déjà pu être appliqués lors de la poursuite des essais après les traitements (étanchéité renforcée entre les cadres et les bacs).

2.2. Produits retenus

Parmi les produits testés, une majorité de produits en émulsion ont été retenus comme représentatifs des solutions susceptibles d'être injectées dans le futur contre l'humidité ascensionnelle. A ces produits en émulsion, s'ajoutent une solution aqueuse de méthylsiliconate, un siloxane et un stéarate d'aluminium en solvant aliphatique et un produit bouche-pores.

Les produits présentant un effet hydrophobe ont été dilués au même pourcentage de matières actives (7 %) ; le produit bouche-pores nécessitant quant à lui une concentration plus élevée (40 %).

L'identification des produits, le pourcentage théorique en matières actives des solutions mères (entre parenthèses), le pourcentage après dilution et l'éventuel solvant utilisé sont repris ci-après.

- Wacker 280 (65.3 %) dilué à 7 % en solvant aliphatique D40
- Emulsion Goldschmidt 328 (50%) diluée à 7 %
- Emulsion Wacker 550 (100%) diluée à 7 %
- Emulsion Goldschmidt 899 (50%) diluée à 7 %
- Siliconate Rhodia 51T (28%) diluée à 7 %
- Stéarate d'aluminium (65%) dilué à 7 % en solvant aliph. D40
- Solution bouche-pores (40%).

Via les laboratoires de l'IRPA, ces produits sont identifiés :

- chimiquement : par techniques séparatrices (Gas Chromatography (GC) et Gel Permeation Chromatography (GPC)) et par techniques d'identification (Spectrométrie en Masse (MS), Résonance Magnétique Nucléaire (NMR), Fluorescence X et Spectrométrie Infrarouge (IR));
- par mesure du résidu après séchage de 7 jours à 20°C et 50 % HR.

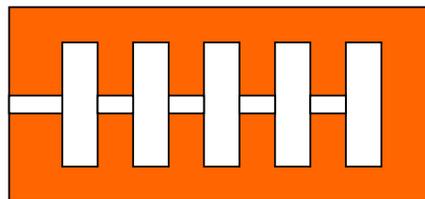
Les résultats d'analyses sont repris au tableau ci-après.

Produit	Famille et groupements actifs	Pourcentage de mat. sèches (*)
Wacker 280	Mélange silanes-siloxanes, groupes hydrophobes méthyls et octyls, groupes réactifs méthoxy, éthoxy	100 %
Goldschmidt 328	Mélange silanes-siloxanes, groupes hydrophobes méthyls et octyls, groupes réactifs éthoxy	38 %
Wacker 550	Mélange silanes-siloxanes, groupes hydrophobes méthyls et octyls, groupes réactifs méthoxy, éthoxy	73 %
Goldschmidt 899	Di et triéthoxysiloxanes, groupes réactifs méthyl et octyls	38 %
Rhodia 51T	Méthyl silicate de potassium	42 %
Stéarate d'aluminium	Polyoxostéarate d'aluminium	65 %
Solution bouche-pores	Huiles naturelles	50 %

(*) contrôle après 7 jours à 20° C

2.3. Application des produits

L'application des produits est réalisée de manière homogène afin d'améliorer la reproductibilité des essais. Elle consiste à introduire via le trou foré et dans l'axe longitudinal des briques, des quantités semblables de produit (9 ± 0.2 ml) dans chaque alvéole de brique.



Ces quantités préalablement définies sur base d'essais d'orientation et équivalente à 2 litres par mètre carré de section traitée, sont nettement plus faibles que celles utilisées dans la pratique de chantier. Elles permettent toutefois une approche

optimale de l'efficacité des traitements dans les conditions particulièrement homogènes de la procédure d'essai.

La mise en place des produits se réalise après la "mise à sec" des murets durant 72 heures en ambiance laboratoire ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 10\%$ HR). Ce délai est apparu comme souhaitable afin d'obtenir des teneurs en eau représentatives de la réalité (voisines de 50 à 60 % du taux de saturation) dans la zone de diffusion préférentielle des produits qu'est le mortier inférieur (voir annexe 6).

Après application des produits, les murets sont encore maintenus pendant 24 heures "à sec" et en ambiance laboratoire afin d'éliminer les risques de contamination des bacs d'humidification par d'éventuels écoulements de produits.

Les murets sont ensuite replacés dans les bacs d'essais en enserrant leur base de manière hermétique.

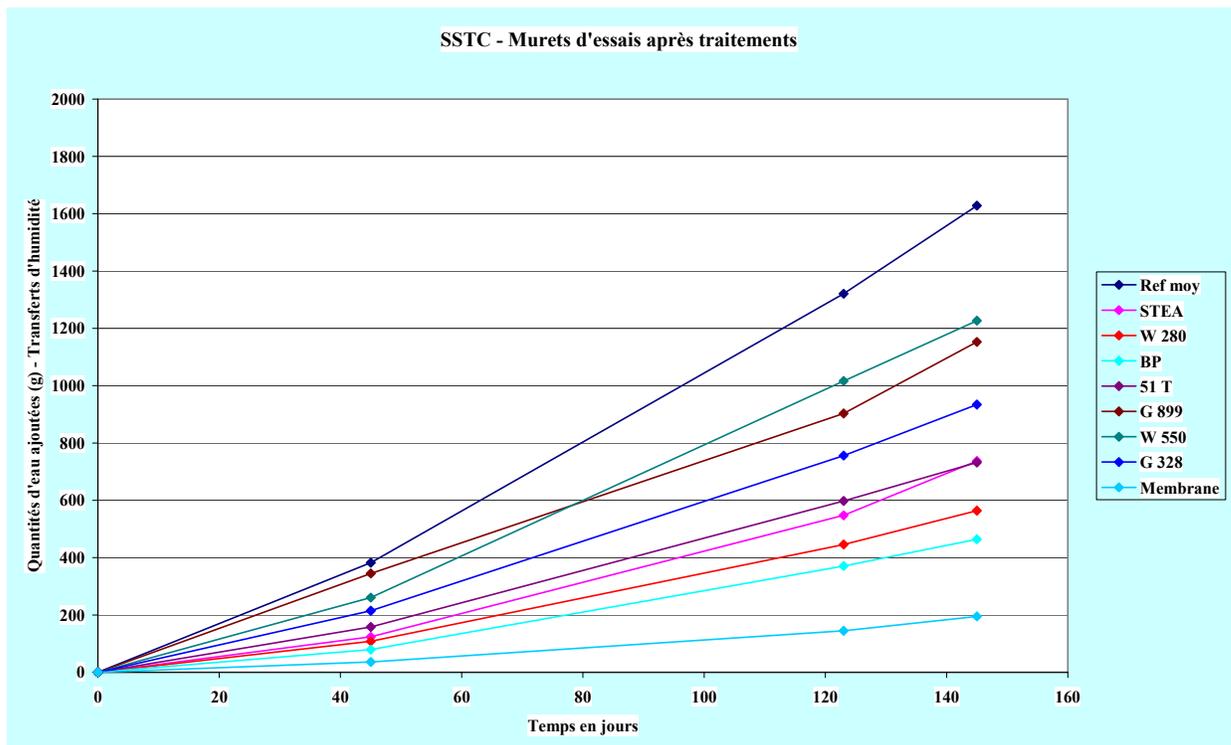
2.4. Mesure de l'efficacité potentielle des traitements

Comme pour la phase de mesure avant l'application des produits, les quantités d'eau à rajouter afin de maintenir le niveau constant dans les bacs sont mesurées régulièrement par pesées (précision 0.1 g). Dès stabilisation des conditions d'essai, la courbe cumulative des quantités d'eau ajoutées affiche une linéarité permettant le calcul de l'absorption d'eau en fonction du temps. Ce coefficient traduit la capillarité après traitement.

Pour rappel, cette méthodologie de mesure, inspirée d'une procédure néerlandaise du TNO, permet d'obtenir assez rapidement une idée de la performance des barrières contre l'humidité ascensionnelle mises en place à l'aide des différents produits testés.

3. Résultats des essais – efficacité des traitements

Les quantités d'eau ajoutées après mise en place des produits d'injection, sont reprises au graphique ci-après



Remarques

- Comme pour les mesures avant traitement et après une période relativement courte d'équilibre ("réhumidification" des murets après leur passage en ambiance laboratoire pour les traitements), on obtient une stabilisation des phénomènes de transfert au travers des zones traitées et une bonne linéarité des droites indiquant le cumul des quantités d'eau ajoutées. La légère rupture observée pour l'ensemble des murets pourrait être attribuée à des conditions de laboratoire particulièrement favorables à l'évaporation (période estivale).
- De manière logique, l'ensemble des murets traités se situe entre les références, c.à.d. les murets non traités (efficacité nulle) et le muret muni d'une membrane (efficacité maximale). Ceci contrairement aux premiers essais sur murets où l'on pouvait constater des valeurs négatives d'efficacité des siliconates par rapport au muret non traité (possibilité de lacunes d'étanchéité citées aux remarques en 2.1.).
- Toujours par rapport à la précédente campagne d'essais sur murets, où l'on ne pouvait distinguer d'écarts justificatifs d'efficacité entre les différents produits performants, on constate pour ces derniers essais et pour l'ensemble des produits testés des différences d'efficacité nettes.
- Concernant les performances des produits mis en place, on note :
 - la bonne efficacité des 3 produits en phase solvant (bouche-pores, siloxane et stéarate d'aluminium) ;
 - l'efficacité moindre pour les trois siloxanes en phase aqueuse et notamment pour le produit W550 qui a déjà présenté à plusieurs reprises des lacunes lors de précédents essais ;
 - des résultats intermédiaires aux deux familles précitées pour le siliconate de potassium.
- Sur base de deux références extrêmes (murets non-traités et membrane), on peut reprendre ci-après les valeurs calculées d'efficacité des différents systèmes.

Muret	Quantité d'eau ajoutée en g/jour (entre 45 et 123 j.)	Efficacité calculée en % (*)
1 – référence non traitée	9.37	base moyenne d'efficacité nulle
2 - idem	14.71	
3 – stéarate d'aluminium	5.44	49
4 – siloxane en solvant	4.33	59
5 – solution bouche-pores	3.74	65
6 – méthylsiliconate	5.64	47
7 – émulsion 899	7.15	33
8 – émulsion 550	9.68	9
9 – émulsion 328	6.93	35
10 – réf. avec membrane	1.40	base d'efficacité de 100 %

(*) $100 - \frac{\text{ajoute en g/jour du trait.} - \text{ajoute en g/jour de la référence avec membrane}}{\text{ajoute moyenne en g/jour des références non traitées} - \text{membrane}}$

4. Conclusions

Les résultats au cours de cette dernière campagne d'essai sur murets confirment la validité de la méthode pour le contrôle de l'efficacité des traitements. Par rapport aux essais précédents, une note une amélioration sensible dans l'interprétation possible des résultats obtenus.

Toutefois, ces essais ont également mis en évidence la nécessité d'améliorations complémentaires dans la procédure et notamment :

- l'intérêt de placer l'ensemble des postes d'essais dans une chambre climatisée, afin de réduire l'impact des conditions extérieures et surtout de la ventilation ambiante sur l'évaporation des murets ;

- une meilleure conception de l'étanchéité périphérique au niveau des murets et de la liaison avec le bac d'essai (problèmes d'adhérence des mastics sur des matériaux saturés en eau). Dans cette optique on pourrait envisager d'insérer les encadrements au niveau du mortier de jointoiement, lors de la construction des murets et de parfaire l'étanchéité au mastic entre le cadre et le bac par une fermeture "mécanique".

De plus et au moins durant la phase de "rodage" de la procédure, toute campagne d'essais devrait se baser sur la comparaison des mesures d'évaporation avant et après traitement sur les mêmes ensembles (limiter les erreurs liées à la dispersion des matériaux et paramètres d'essais) et comprendre des éléments de référence (non-traités et membrane).

Enfin et comme signalé précédemment, ces essais sur murets qui visent principalement à évaluer la performance potentielle des traitements, seront utilement confirmés par des essais sur les matériaux, afin d'obtenir une meilleure compréhension de l'influence (très importante) de la nature des matériaux sur l'efficacité des différentes formulations testées.

ESSAIS COMPLÉMENTAIRES DE L'EFFICACITÉ POTENTIELLE DES PRODUITS SUR PIERRE CALCAIRE DE SAVONNIÈRES

Objectif

Suite aux résultats relativement peu concluant sur les matériaux de type mortiers et pierre naturelle pour lesquels on constate (voir annexe 14), une efficacité des traitements comprise entre 0 et 20 %, il a été souhaité en commission d'accompagnement de mener une série d'essais complémentaire visant à éventuellement relativiser ces valeurs par un traitement plus complet des éprouvettes. Il faut en effet savoir que les résultats précités englobent deux causes potentielles pouvant expliquer une efficacité restreinte, à savoir :

- un volume traité ne reprenant qu'une partie des éprouvettes (2 ml de produit pour des éprouvettes de 128 cm³) ;
- un effet hydrophobe non optimal.

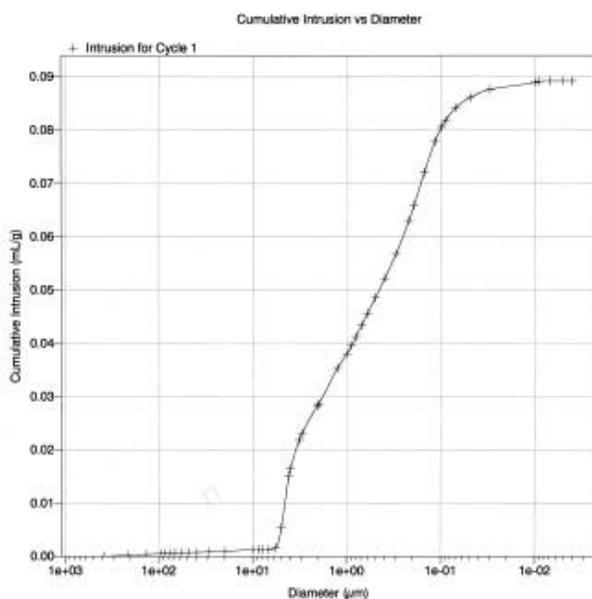
Les présents essais se proposent d'éliminer le premier paramètre par mise en place des produits dans l'ensemble de l'éprouvette, par capillarité (12 heures) et mise en immersion (12 heures).

Il est à remarquer que ces essais ne portent que sur les supports de type pierre naturelle (résultats assez similaires pour les mortiers carbonatés), l'efficacité des traitements sur briques (également à l'aide de 2 ml de produit) offrant des résultats nettement plus probants.

Paramètres d'essais

La pierre naturelle (Savonnières) a été retenue pour ces essais compte tenu de la remarque précitée et du fait qu'il s'agit d'un support ne nécessitant pas de délais ni de phase particulière de carbonatation.

Les caractéristiques de la pierre de Savonnières sont reprises ci-après.



Après les mesures d'absorption initiales suivant prEN 13755 , les éprouvettes de Savonnières ont été conditionnées à 60 % d'humidité par rapport à leur taux de saturation.

Les produits de traitement retenus et repris ci-après, sont ceux des campagnes d'essais précédentes. Ils sont représentatifs des principales familles utilisées pour ce type d'application.

- Wacker 280 (65.3 %) dilué à 7 % en solvant aliphatique D40
- Emulsion Goldschmidt 328 (50%) diluée à 7 %
- Emulsion Wacker 550 (100%) diluée à 7 %
- Emulsion Goldschmidt 899 (50%) diluée à 7 %
- Siliconate Rhodia 51T (28%) diluée à 7 %
- Stéarate d'aluminium dilué à 7 % en solvant aliphatique D40
- Solution bouche-pores (40%)

Après imprégnation totale à l'aide de ces différents produits (12 heures en capillarité et 12 heures en immersion), les éprouvettes sont conditionnées en ambiance laboratoire durant 7 jours avant caractérisation des effets hydrophobes obtenus.

Premières mesures et constatations

Après la phase de conditionnement destinée à obtenir la "polymérisation" des produits et l'évaporation totale des solvants, l'efficacité des traitements est définie par la comparaison des mesures de l'absorption d'eau avant et après traitement, suivant la prEN 13755 (2 heures en capillarité suivies de 16 heures en immersion).

Résultats des essais

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus avant et après les traitements et après 4 cycles d'humidification/séchage, de même que l'efficacité exprimée en pour-cent..

Type de produit	Absorption par immersion avant traitement (masse %)	Quantité de produit mis en place (résidu après 7 j. à 20°C, 50%HR.	Absorption 7 jours après traitement (masse %)	Efficacité traitement exprimée en %
Wacker 280	8.77	0.67 g	0.43	95
Goldschmidt 328	7.97	0.38 g	7.93	1
Wacker 550	7.91	0.15 g	7.73	2
Goldschmidt 899	8.06	0.17 g	7.95	1
Rhodia 51T	8.12	2.27 g	2.86	65
Stéarate d'aluminium	9.09	0.83 g	1.25	86
Solution bouche-pores	9.18	13.38 g	3.44	63

Remarques

Sept jours après l'application des produits de traitement à saturation, on note des valeurs d'absorption suivant la norme pr EN13755, qui traduisent une efficacité ;

- négligeable pour les trois siloxanes en émulsion,
- moyenne pour le méthylsiliconate et la solution "bouche-pores",
- bonne pour le siloxane et le stéarate d'aluminium, tous deux en phase solvant.

Ces constatations confirment globalement les résultats obtenus sur la Savonnières (accessoirement les mortiers) lors de l'application de quantités standardisées de produits (2 ml / 128 cm³ de matériau, voir annexe 14), à savoir : les résultats les meilleurs pour le siloxane solvanté et le silicate, suivi par le produit bouche-pores et le stéarate d'aluminium, ... les trois siloxanes en émulsion n'offrant que des performances faibles.

Influence de cycles d'humidification sur l'évolution de l'efficacité

Compte tenu des valeurs d'efficacité très faibles obtenues pour de nombreux produits et notamment les émulsions de siloxanes, des mesures d'absorption ont été menées après 4 cycles complémentaires d'humidification et de séchage. Ceci afin de vérifier l'hypothèse régulièrement avancée d'un effet hydrophile lié aux agents tensioactifs ajoutés aux émulsions ; effet s'opposant à une bonne efficacité des traitements récemment mis en œuvre.

Résultats des essais

Type de produit	Absorption par immersion avant traitement (masse %)	Absorption 7 jours après traitement (masse %)	Efficacité traitement exprimée en %	Absorption après 4 cycles humidification /séchage	Efficacité traitement exprimée en %
Wacker 280	8.77	0.43	95	0.36	96
Goldschmidt 328	7.97	7.93	1	8.06	0
Wacker 550	7.91	7.73	2	7.65	4
Goldschmidt 899	8.06	7.95	1	8.06	0
Rhodia 51T	8.12	2.86	65	2.15	74
Stéarate d'aluminium	9.09	1.25	86	1.34	85
Solution bouche-pores	9.18	3.44	63	1.76	81

Remarques

Les 4 cycles complémentaires d'humidification et de séchage, n'apportent pas d'amélioration sensible de l'efficacité des traitements à l'aide des produits en phase aqueuse. Constatations qui s'opposent à l'hypothèse couramment admise et vérifiée lors d'essais sur ce type de produits en traitement de façades, à savoir un effet négatif des agents tensioactifs ajoutés aux émulsions et qui sont éliminés, après traitement, par quelques cycles d'humidification et de séchage.

Dans le cas présent, on pourrait attribuer l'absence d'amélioration aux quantités importantes de produits mises en place (pour rappel : application 12 heures par capillarité + 12 heures en immersion dans les produits de traitement), leur élimination pouvant nécessiter des cycles nombreux et/ou des délais très longs.

Ces résultats, après examen en commission d'accompagnement, ont amené à une série de mesures complémentaires visant à décomposer ces mesures d'absorption en fonction du temps.

Contrôle de l'efficacité par mesures progressives de l'absorption

Au vu des résultats précités, il a été décidé de mener des mesures intermédiaires d'absorption au cours de l'essai suivant pr EN13755.

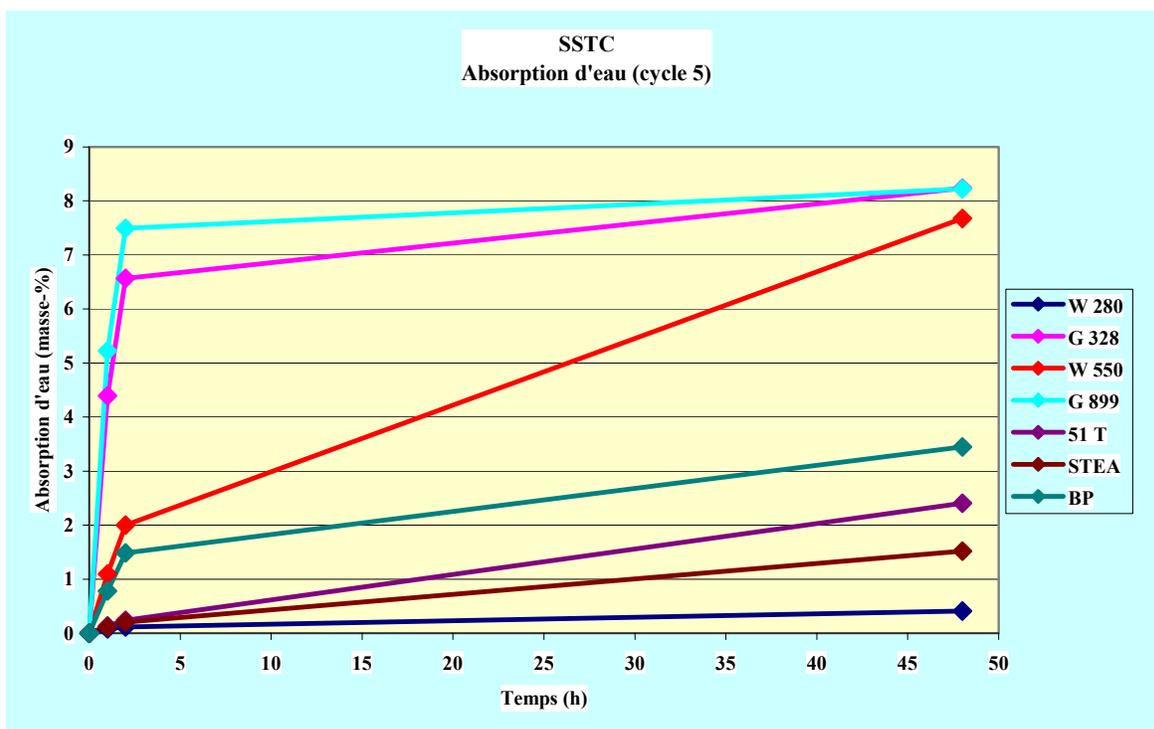
Ces mesures visent à s'assurer de l'importance du temps de contact avec l'eau sur les résultats d'absorption des matériaux traités.

Dans cette optique, les mesures sont prévues à trois stades d'humidification :

- après 60 minutes de capillarité (la base de l'éprouvette dans 40 mm d'eau),
- après 120 minutes de capillarité (la base de l'éprouvette dans 40 mm d'eau),
- après 46 heures d'immersion sous 25 mm d'eau.

Les résultats correspondants sont repris au tableau et au graphique ci-après. Ils concernent les mêmes éprouvettes, qui entre-temps ont subi les cycles liés aux précédentes mesures, ainsi qu'un repos complémentaire en ambiance laboratoire durant 28 jours.

Type de produit	Absorption par immersion avant traitement (masse %)	Absorption après traitement par capillarité 60 min.	Eff. en %	Id. après 120 min.	Eff. en %	Id. + 48 heures immersion sous 25 mm	Eff. en %
Wacker 280	8.77	0.10	99	0.16	98	0.43	95
Goldschmidt 328	7.97	3.28	56	5.07	36	8.45	0
Wacker 550	7.91	1.06	87	1.79	77	7.80	1
Goldschmidt 899	8.06	3.94	51	6.07	25	8.49	0
Rhodia 51T	8.12	0.14	98	0.23	97	2.00	75
Stéarate d'aluminium	9.09	0.11	99	0.18	98	1.43	84
Solution bouche-pores	9.18	0.98	89	1.42	85	6.16	33



Remarques

Ces mesures complémentaires de l'absorption d'eau, montrent de manière tout à fait logique une prise d'eau augmentant de manière asymptotique en fonction du temps. Toutefois et pour l'ensemble des traitements, on constate une parfaite corrélation des résultats aux différentes étapes de mesures. A savoir, que les trois solutions (siloxane-solvant, stéarate, siliconate) offrant les résultats les plus favorables en fin d'essai, c.à.d.

après 48 heures), présentent déjà des résultats proportionnellement semblables après 60 et 120 minutes de capillarité. Il en va de même pour le produit bouche-pores d'efficacité moyenne et les trois solutions aqueuses peu performantes sur ce type de support.

Conclusion

Les essais confirment que le support d'essai de type pierre calcaire de Savonnières est à considérer comme particulièrement difficile à traiter, quelles que soient les formulations utilisées et les quantités mises en œuvre. Seule la solution de siloxane en phase solvant permet d'obtenir un effet hydrophobe très net s'opposant de manière constante à une reprise d'eau, que ce soit par capillarité ou encore par immersion prolongée.

Dans l'ordre, suivent les solutions à base de stéarate, de siliconate et de produit bouche-pores.

Les résultats pour l'ensemble des solutions aqueuses à base de siloxanes, confirment dans tous les cas une efficacité mauvaise sur ce type de support. Cette efficacité semble encore chuter avec l'augmentation des quantités appliquées, du fait de la présence de produit tensioactif s'opposant à un bon effet hydrophobe. En cas d'application de très grandes quantités de produit (pratiquement à saturation), des cycles d'humidification et de séchage ne permettent pas de constater une amélioration de l'efficacité de ces traitements comme c'est le cas pour une application superficielle.

Pour l'appréciation de l'efficacité des traitements en général, la méthode d'absorption suivant pr EN 13755 semble être parfaitement indiquée. Une amélioration de l'essai peut être recherchée dans le cas présent en multipliant le nombre de mesures en cours d'absorption.

EFFICACITÉ DES PRODUITS SUR PIERRE DE SAVONNIÈRES

A la demande des membres de la commission de suivi, une nouvelle série d'essais systématiques est menée sur ce matériau particulièrement représentatif des supports les plus difficiles à traiter à l'aide des produits courants de traitement de l'humidité ascensionnelle. Les paramètres d'essais définis de commun accord sont repris ci-après.

1. Paramètres d'essai :

- Eprouvettes : pierre de Savonnières demi-fine découpée en prismes de 4X4X8 cm³
 - percés dans l'axe longitudinal d'un trou de Ø 10 mm sur les 2/3 de la hauteur pour l'application par gravité de 2 ml de produit,
 - non percés pour imprégnation totale par capillarité.
- Conditionnement avant traitement : humidité correspondant à ≈ 60 % du taux de saturation
- Produits retenus : - **Solutions "solvantées"(D40) à 7 % de matières actives**, BAYER(LON), RHODIA(4518),WACKER (290), GOLDSCHMIDT (HL100 et HL10T), STEARATE(Manalox-Rhoximat).
 - **Solutions aqueuses** de silicate (7%) et d'émulsion 328 à 2, 6 et 10% de matières actives.
 - **Produit sous forme de crème** (prêt à l'emploi)
- Application des traitements :
 - 2 ml dans des trous préalablement forés dans l'axe des éprouvettes et sur 5 cm de profondeur
 - imprégnation totale dans les produits (12 heures de capillarité + 12 heures d'immersion)
- Conditionnement après traitement : 7 jours en ambiance laboratoire (20° C, 50 % HR)

2. Contrôles et mesures :

- ◆ Absorption d'eau avant traitement (prEN13755)
- ◆ Humidité réelle au moment de l'application (voisine de 60 % théorique)
- ◆ Quantités de produits appliquées par imprégnation totale
- ◆ Absorption d'eau avant et après traitement (prEN 13755) en mesurant après 60 minutes de capillarité, 120 minutes de capillarité et après 48heures d'immersion.
- ◆ Contrôle visuel de la migration sur tranche sciée.

3. Résultats des essais

Les résultats des essais se retrouvent aux tableaux en pages suivantes, respectivement pour l'application par diffusion de faibles quantités de produit (2 ml) et pour les traitements à saturation par capillarité.

SAVONNIERES - application par gravité de 2 ml de produit

Eprouvette	Absorption d'eau après 48 h (selon EN 13755)	Différence par rapport à la moyenne	Humidité lors de l'application	Produits appliqués le 10.09.2002	Masse humide après absorption d'eau après 60 min (selon EN 13755)	Absorption d'eau après 60 min	Réduction de l'absorption d'eau après 60 min	Masse humide après absorption d'eau après 120 min (selon EN 13755)	Absorption d'eau après 120 min	Réduction de l'absorption d'eau après 120 min	Masse humide après absorption d'eau après 48 h (selon EN 13755)	Absorption d'eau après 48 h	Réduction de l'absorption d'eau après 48 h
(n°)	(masse-%)	(%)	(masse-%)		(g)	(masse-%)	(%)	(g)	(masse-%)	(%)	(g)	(masse-%)	(%)
12	9.7	-0.7	48.6	Bayer LO-N	254.96	4.1	37.0	256.99	4.9	34.0	262.23	7.1	27.5
9	9.7	-0.7	54.0	Rhodia 4518	254.68	5.7	14.1	256.28	6.3	16.1	262.88	9.1	7.0
15	9.7	-0.7	55.2	Wacker 290	250.14	3.6	48.3	250.91	3.9	49.9	259.52	7.5	23.0
19	9.7	-0.6	54.1	Tegosivin HL100	259.51	7.2	0	260.81	7.8	0	264.18	9.2	6.1
6	9.7	-0.6	54.2	Tegosivin HL 10 T	247.95	4.6	34.0	250.57	5.7	27.6	258.9	9.2	5.6
17	9.8	-0.5	58.0	Manalox / Rhoximat	253.3	4.1	37.8	255.93	5.2	31.8	265.36	9.1	6.8
2	9.8	-0.4	59.2	Rhodia 51T	250.09	4.2	33.6	250.84	4.6	38.4	258.8	7.9	19.4
11	9.9	0.6	53.8	Tegosivin HE 328 (2 %)	260.47	7.0	0.1	263.36	8.2	0	267.39	9.9	0
5	9.9	0.7	54.8	Tegosivin HE 328 (6 %)	257.95	7.0	1.8	260.97	8.2	0	265.21	10.0	0
7	9.9	1.4	57.9	Tegosivin HE 328 (10 %)	257.12	6.7	0.7	258.21	7.1	6.3	264.99	10.0	0
20	10.0	1.5	56.9	Stonegel	255.9	6.2	7.0	256.89	6.6	14.5	264.62	9.8	1.8

SAVONNIERES - application à saturation par capillarité :

Eprouvette	Absorption d'eau après 48 h (selon EN 13755)	Différence par rapport à la moyenne	Humidité lors de l'application	Produits appliqués le 10.09.2002	Quantités de produits absorbées (après immersion totale dans le produit)	Masse humide après absorption d'eau après 60 min (selon EN 13755)	Absorption d'eau après 60 min	Réduction de l'absorption d'eau après 60 min	Masse humide après absorption d'eau après 120 min (selon EN 13755)	Absorption d'eau après 120 min	Réduction de l'absorption d'eau après 120 min	Masse humide après absorption d'eau après 48 h (selon EN 13755)	Absorption d'eau après 48 h	Réduction de l'absorption d'eau après 48 h
(n°)	(masse-%)	(%)	(masse-%)		(g)	(g)	(masse-%)	(%)	(g)	(masse-%)	(%)	(g)	(masse-%)	(%)
11	9.6	-1.3	50.2	Bayer LO-N	21.81	251.56	0.3	96.3	251.78	0.4	95.7	256.06	2.1	78.5
1	9.6	-0.9	55.1	Rhodia 4518	22.05	265.94	5.4	17.6	266.69	5.7	25.5	275.48	9.2	5.0
17	9.7	-0.7	55.9	Wacker 290	21.51	250.30	0.2	97.1	250.49	0.3	96.6	254.56	1.9	80.1
16	9.7	-0.6	52.7	Tegosivin HL100	21.26	262.29	4.0	40.0	264.49	4.9	37.3	274.37	8.8	8.6
3	9.7	-0.6	50.5	Tegosivin HL 10 T	21.5	245.43	0.5	95.0	245.79	0.6	92.3	252.99	3.6	62.9
9	9.7	-0.2	56.9	Manalox / Rhoximat	20.38	250.49	0.2	96.5	250.90	0.4	94.9	259.83	4.0	59.1
14	9.7	-0.2	57.6	Rhodia 51T	25.17	251.31	0.4	94.4	251.81	0.6	92.5	259.25	3.6	63.4
13	9.7	0.2	48.4	Tegosivin HE 328 (2 %)	25.52	260.67	6.2	15.2	263.44	7.4	11.7	270.48	10.2	0
20	9.8	1.1	54.4	Tegosivin HE 328 (6 %)	25.29	261.53	5.5	18.7	264.21	6.6	15.2	272.01	9.8	0.5
10	9.8	1.1	57.4	Tegosivin HE 328 (10 %)	25.06	259.64	5.5	16.9	262.33	6.6	10.7	272.74	10.8	0
6	9.9	1.3	56.1	Stonegel	21.34	252.59	2.4	67.4	254.90	3.4	61.0	268.42	8.9	10.0

4. Remarques

Efficacité des différents traitements mis en place

Les résultats obtenus après traitements confirment les résultats des précédents essais, à savoir :

- de manière tout à fait générale, la sélectivité de la Savonnières et les difficultés d'obtenir des performances élevées des traitements sur ce type de support ;
- les résultats les plus probants en cas d'utilisation des produits solvantés, en notant toutefois des différences sensibles entre les différentes résines siloxanes utilisées, ainsi que le bon comportement du stéarate d'aluminium ;
- des résultats corrects pour la solution aqueuse de silicate ;
- une efficacité faible pour les émulsions liquides ou gélifiées de siloxanes. Notons pour les émulsions liquides que la concentration en matière active des produits utilisés (2 %, 6 % ou 10 %) n'influence pas "ce manque d'efficacité".

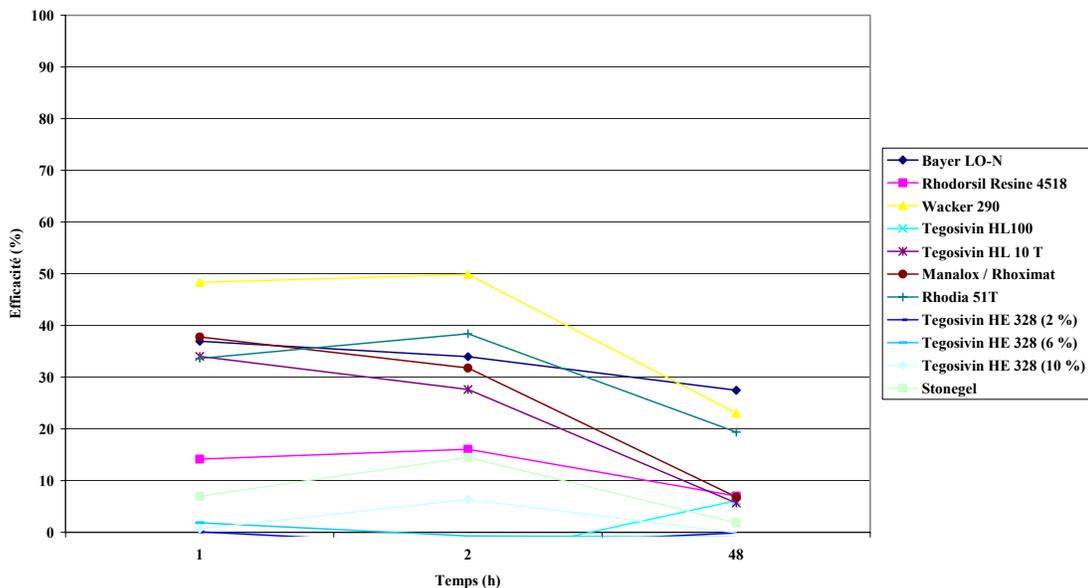
Influence du mode d'application des produits sur l'interprétation des résultats

Le fait d'appliquer les produits par diffusion de 2 ml ou par saturation à l'aide de quantités dix fois supérieures, ne modifie que très peu les enseignements que l'on peut retirer de ce type d'essai. L'application à saturation offre toutefois et de manière logique, une interprétation plus aisée de l'effet "anticapillaire" des traitements du fait que l'on fait abstraction dans ce cas du paramètre lié à une plus ou moins grande aptitude des produits à migrer dans les supports. Par contre, l'application de quantités très faibles permet de se rapprocher des conditions réelles d'application.

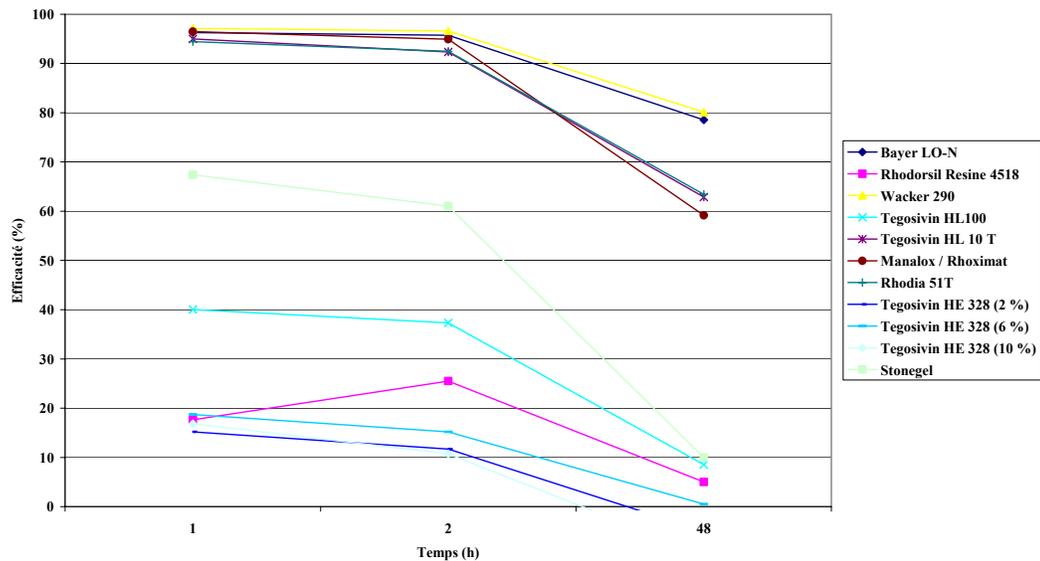
Influence de la méthode de mesure d'absorption sur l'interprétation des résultats

Après de nombreux essais en laboratoire et des discussions en groupe d'accompagnement, il a été décidé de se baser sur la norme européenne EN 13755 pour l'appréciation de l'efficacité des traitements sur éprouvettes. Compte tenu de l'importance du paramètre temps sur les résultats d'absorption d'eau des éprouvettes hydrofugées, les mesures prévues dans la norme précitée ont été complétées par des pesées après 60 minutes et 120 minutes de capillarité. Les mesures aux différents stades d'humidification pour l'appréciation de l'efficacité hydrophobe se retrouvent aux graphiques ci-après, respectivement pour des applications de 2 ml et à saturation.

A. Savonnières - application par gravité de 2 ml de produit



B. Savonnières - application à saturation par capillarité



Si l'on tient compte de la dispersion inévitable liée à la mesure par pesée d'éprouvettes humides, on constate des résultats après 60 et 120 minutes et des valeurs d'efficacité fort semblables. L'augmentation des absorptions est peu significative par rapport à celle enregistrée après 48 heures d'immersion, qui entraîne des réductions de l'efficacité calculée comprises entre 25 et 30 %.

Dans le cadre de la méthodologie d'essai, on pourrait pour les solutions à caractère hydrophobe, se limiter à des mesures d'absorption après 60 minutes d'absorption par capillarité. Toutefois, le fait de devoir tester en parallèle des produits bouche-pores et hydrofuges, incite à retenir, au moins dans un premier temps, les trois mesures après une, deux et 48 heures.

5. Conclusion

Les essais sur pierre calcaire de Savonnières ont mis en évidence l'importance de retenir ce type de support, au même titre que les mortiers carbonatés, pour les essais sur éprouvettes en laboratoire.

En effet, cette pierre présente des difficultés de traitement tout à fait comparables aux mortiers qui constituent le milieu préférentiel et continu des remontées capillaires.

Si l'on sait que la préparation d'éprouvettes de Savonnières est nettement plus rapide et aisée (simple découpe) que celle des éprouvettes de mortier (dosages, mélanges, moulages, délais de durcissement et de carbonatation,...), on pourrait éventuellement dans une phase ultérieure se limiter à la seule pierre de Savonnières comme support représentatif des matériaux calcaires.

Pour la mesure de l'efficacité potentielle des produits, la mesure d'absorption d'eau inspirée de la norme européenne EN 13755 semble particulièrement adaptée, surtout lorsque des mesures intermédiaires sont prévues dans la phase de capillarité.