EFFLORESCENCES ET EXSUDATIONS

DOSSIER CIMENT

5
février 1995

béton/mortier
efflorescence/
exsudation

f2 (L44)

BB/SfB

*Les dépôts salins sur la surface des maçonneries de terre cuite ou des constructions en béton sont généralement désignés par le nom d' **'efflorescences'**.*
Dans la mesure où le phénomène peut se produire sous des aspects très divers, des poudres de cristaux facilement solubles aux croûtes durcies que seuls des moyens mécaniques peuvent enlever, la préférence est parfois accordée à une autre appellation.

*Ainsi, le dépôt de chaux qui apparaît dans certains cas sur les parements en béton et les joints de mortier, est généralement appelé **'exsudation'**.*
Le présent bulletin l'étudie de plus près.

Il examine également l'efflorescence - le terme convient tout particulièrement dans ce cas - qui peut apparaître quand certaines composantes du mortier et des briques de terre cuite forment des liaisons chimiques, plus précisément des sulfates.

Aucun de ces deux types de dépôts n'influence négativement la stabilité de la construction.
Comme pour la plupart des efflorescences, seul l'aspect esthétique est donc compromis.
Quelques précautions élémentaires suffisent pour éviter beaucoup de problèmes.

PERMEABILITE A L'EAU
CAPILLARITE
POROSITE

Diverses réactions chimiques sont à l'origine de dépôts salins. Ces réactions présentent toutes la particularité de se produire en milieu aqueux, c'est-à-dire *quand il y a de l'eau à l'état liquide dans le matériau ou à la surface du matériau.*

L'étude du mouvement d'eau dans des matériaux utilise les concepts suivants (expliqués très schématiquement ici!):

La perméabilité à l'eau exprime la facilité (ou la difficulté...) avec laquelle l'eau sous pression se déplace dans un matériau poreux et saturé d'eau. Des facteurs évidents ici sont l'importance de la différence de pression - gravité, vent, pression de l'eau -, le volume disponible des pores reliés entre eux et la part des pores plus larges. Le coefficient de perméabilité, caractéristique d'un matériau (en fait une vitesse d'écoulement, puisque exprimée en mètres par seconde), est déterminé de façon expérimentale.

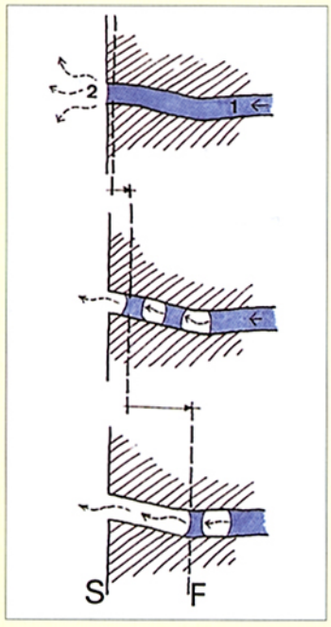
Dans des matériaux dont les pores, reliés en réseau, sont suffisamment fins (diamètre < 0,01 mm), l'eau peut être absorbée sous l'influence de *forces capillaires*. Elle se répand alors dans le matériau et atteint une certaine *hauteur d'ascension capillaire*. Celle-ci est moins élevée pour les capillaires larges. Par ailleurs, dans la mesure où l'eau se déplace plus vite dans les capillaires de diamètre plus important, la hauteur maximale d'ascension capillaire est atteinte rapidement dans un tel matériau. Dans un matériau à pores très fins, l'absorption se fait lentement. La hauteur d'ascension capillaire peut cependant atteindre des dizaines de mètres.

Si l'apport en eau cesse avant la saturation, l'eau qui se trouve dans le réseau capillaire est 'redistribuée'. En raison de la plus grande force de succion par unité de surface de paroi capillaire, les capillaires plus fins absorbent l'eau des plus gros. Cela conduit non seulement à des concentrations d'eau inégales dans un même matériau mais, dans les zones de contact entre deux matériaux, le matériau aux capillaires les plus fins absorbe l'eau de l'autre.
A égalité de diamètres, la migration se fait également vers les zones à température inférieure.

L'absorption capillaire implique des forces si importantes que l'eau ne peut ressortir du matériau qu'à l'état de vapeur. Il convient alors de remplacer le terme transport d'eau par le terme *transport d'humidité* (combinant le transport d'eau et la *diffusion de vapeur*).

Lorsque le matériau est saturé en eau, l'évaporation se fait au départ à la surface du matériau (la face d'évaporation). Un courant d'eau s'opère dans les capillaires, en direction de la surface qui, si les diamètres sont petits, ne suffit bientôt plus à compenser la déperdition d'humidité dans l'atmosphère. Le courant d'eau capillaire s'arrête aux abords de la surface; le transport d'humidité ne s'y fait plus que sous forme de diffusion de vapeur. Entre la zone à diffusion seule et la zone de transport d'eau essentiellement liquide, il se crée une étroite zone intermédiaire (le *front d'évaporation*) qui se sépare de la surface et se retire lentement dans le matériau.
Les matériaux à gros capillaires en revanche, sèchent rapidement: le front d'évaporation se situe plus longtemps à la surface du matériau et au moment où ce front recule, la majeure partie de l'humidité est déjà évacuée.

La position de ce front d'évaporation est ici d'une grande importance. En effet, c'est là que se déposent les éventuels sels dissous dans l'eau!



Mouvement de l'eau dans les capillaires d'un matériau en cours de séchage :

1 = transport d'eau (liquide)
2 = diffusion de vapeur
S = face d'évaporation
F = front d'évaporation

La *porosité* se définit comme le rapport entre le volume de tous les pores et le volume de matériau (volume des pores compris). Le volume des pores capillaires peut être évalué en immergeant le matériau dans l'eau et en le pesant ensuite. On appelle parfois porosité l'accroissement de poids exprimé en % de la masse sèche. Dans la mesure où dans cet essai seule l'eau absorbée par et retenue dans les capillaires accessibles est prise en considération (variable en fonction de la technique de saturation utilisée), il s'agit en fait de la *porosité relative* (ou *apparente*). Pour certains matériaux la *porosité absolue* (ou *réelle*), exprimée en %-volume et qui comptabilise tous les pores et cavités, peut être beaucoup plus élevée. Il faut cependant utiliser des méthodes plus complexes pour la déterminer.

La perméabilité et la porosité doivent être placées toujours dans une perspective correcte.
Des matériaux peu poreux (entendez par là les matériaux qui ont une faible porosité apparente) peuvent être très perméables, comme certains types de blocs de maçonnerie à structure semi-caverneuse.
Certains matériaux poreux, en revanche, sont imperméables parce que les pores ne sont pas reliés en réseau ou en contact avec l'extérieur (certaines tuiles en terre cuite, par exemple, sont recouvertes d'une couche d'émail).
Un matériau imperméable n'est pas nécessairement étanche à la vapeur non plus (il faudra généralement aérer une cave «sèche»).
Et enfin, l'utilisation de matériaux imperméables ne garantit pas une construction étanche: l'étanchéité peut être réduite à néant, par exemple à cause de microfissures...

Pour les matériaux qui nous intéressent ici, nous retenons:

TERRE CUITE:

diamètre des pores: 2 à 15 μm
(1μm = 1 micron = 1/1000 mm)
porosité: 10 à 40 % *(en volume)*

La brique absorbe l'eau rapidement et à un débit assez grand. Lors du séchage, l'eau absorbée retourne rapidement vers la couche extérieure. Le front d'évaporation reste longtemps à la surface *et les dépôts provenant des sels dissous dans l'eau sont donc bien visibles.*

BETON:

diamètre des pores:
0,001à 0,1 μm
porosité: 6 à 15 % *(en volume)*

Ces valeurs concernent uniquement le béton *entièrement durci*, gâché et mis en œuvre selon les règles de l'art. Le facteur *eau/ciment* doit se situer entre 0,4 et 0,6 ! Un excès d'eau de gâchage (facteur E/C trop élevé) donne une plus grande porosité. Un tel béton 'mûr' n'absorbe l'eau que très lentement. Les capillaires sont en outre si petits que le front d'évaporation ne reste jamais longtemps à la surface du matériau : *les éventuels dépôts seront donc rarement apparents.*

MORTIER:

diamètre des pores: 0,1 à quelques μm
porosité: 15 à 30 % *(en volume)*

Comme pour le béton, ces valeurs ne concernent que les mortiers bien 'mûrs'. Pour les mortiers, on part d'un facteur E/C entre 0,8 et 1. Bien que plus poreux que le béton, un mortier durci a des pores beaucoup plus fins que la plupart des types de briques. Dans un mur en maçonnerie de terre cuite, l'eau migrera donc vers les joints. *(L'endroit où les dépôts de sels éventuels se produiront sur un tel mur et leur visibilité ne peuvent cependant en être déduits immédiatement...)*

EXSUDATIONS

Le terme désigne un phénomène propre au *béton* et au *mortier*, dans lequel plusieurs facteurs interviennent.

Outre des hydrates de ciment, la réaction du ciment portland avec l'eau produit également de la chaux *(hydroxyde de calcium)*:

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

L'hydratation de chaque kilo de ciment portland libère ainsi 0,25 à 0,30 kg d'hydroxyde de calcium, ce qui correspond à au moins 80 kg par m³ de béton. A ce taux, les 5 cm extérieurs d'un m² de parement en béton recèlent environ 4 kg de chaux solubilisable! Or, il a été mesuré que 20 à 30 g/m² de chaux déposée en surface donne déjà un voile blanc perceptible à l'oeil.
(Cela signifie que le ciment de haut fourneau aussi, qui ne contient que 30% de clinker par exemple, libère en principe une quantité de chaux amplement suffisante. Nous reparlerons brièvement de ce type de ciment plus loin.)
La réaction de l'hydroxyde de calcium avec le CO_2 de l'air, produit du carbonate de calcium:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

La transformation en carbonate de calcium se fait à la surface de contact entre l'eau des pores et l'air, et donc d'abord sur la surface extérieure du béton. Mais dans la mesure où l'air pénètre dans le béton par les pores, cette réaction *(carbonatation)* a également lieu sous la surface du matériau. Contrairement à l'hydroxyde, le carbonate de calcium n'est pas soluble dans l'eau. Cette carbonatation obture progressivement les pores et le reliquat de chaux 'libre' reste enfermé à l'intérieur du béton (fig.1). Plus le béton est compact, plus ce processus s'achève rapidement, d'où l'importance d'un facteur eau/ciment suffisamment bas.

Mais la solubilité de l'hydroxyde de calcium dans l'eau n'est pas très élevée: une solution saturée ne contient que 1,8 g par litre. L'eau doit donc être présente dans le matériau au bon moment et en quantité suffisante. A ces conditions seulement, il se peut que le dépôt de chaux prenne des proportions telles qu'il sera appelé exsudation.
Ce processus *peut* effectivement se déclencher dans trois cas...

1. BETON ET MORTIER TRES JEUNES (EXSUDATION PRIMAIRE)

La pâte de ciment de ces matériaux présente, en cours d'hydratation, une capillarité beaucoup moins fine qu'à l'état durci et telle que le front d'évaporation peut même rester pendant un certain temps à la surface. En cours de séchage (départ de l'eau de gâchage excédentaire), la chaux dissoute se dépose donc à l'embouchure des capillaires (fig. 1a,b).
Cela explique le phénomène bien connu de l'éclaircissement des mortiers et bétons jeunes (on ne parle pas encore d'exsudation dans ce cas!), qui est en outre fortement tributaire de la compacité du mélange, du moment de l'exposition à l'air et des conditions atmosphériques. Une évaporation brutale peut faire reculer le front d'évaporation très rapidement à l'intérieur du matériau et conduire à des parements assombris (fig. 2a).

Par contre, lorsqu'un béton ou mortier jeune se trouve recouvert d'un film d'eau (pluie, condensation), celui-ci ne sera pas absorbé par les capillaires encore larges à ce stade et remplis d'eau de gâchage non encore fixée par l'hydratation (fig. 2b). Dans le milieux aqueux continu formé par l'eau de surface et l'eau des capillaires, la chaux se dissout et se répand jusqu'à saturation de la solution. Même sans qu'il soit question de mouvement d'eau, une certaine quantité de chaux dissoute peut migrer vers la surface, où elle se carbonate sous l'influence du CO_2 de l'air.
Si le milieu aqueux continu se reconstitue par la suite (nouvelle pluie, nouvelle condensation, ...), cette couche de chaux s'épaissit et/ou s'étale.

Fig. 1 - Hydratation et carbonatation - Evolution du diamètre des capillaires
(a) Hydratation : le ciment (I) se transforme en hydrates de ciment (II) et chaux libre (▽). Une partie de celle-ci se dissout dans l'eau des capillaires.
(b) Début de la carbonatation : dépôt de chaux à l'embouchure des capillaires
(c) Carbonatation à un stade avancé : rétrécissement et obturation des capillaires

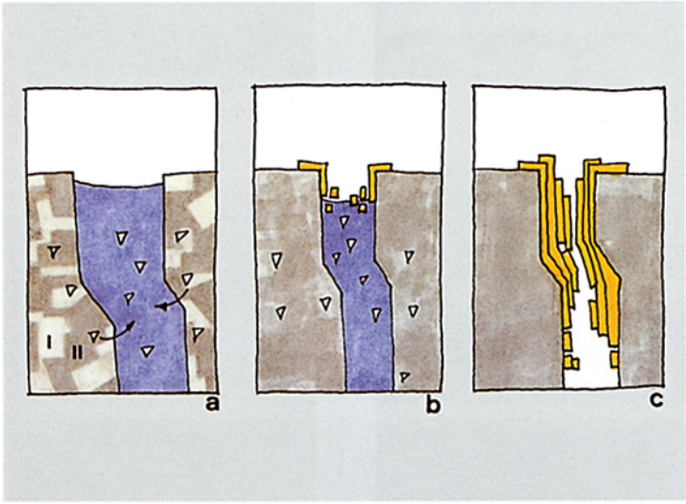
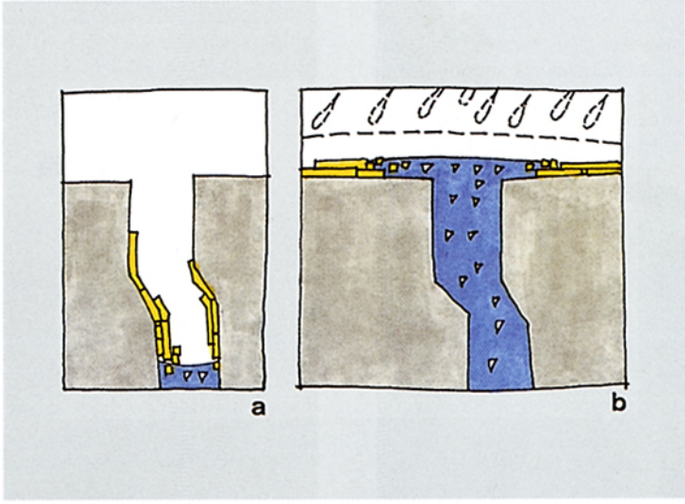


Fig. 2 - Emplacement du dépôt de chaux - Influence sur l'aspect du béton
(a) Béton jeune, séchant rapidement → dépôt de chaux à l'intérieur des capillaires → aspect foncé
(b) Film d'eau sur du béton jeune → dépôt de chaux en surface → exsudation !



Lorsque cette eau saturée en chaux a la possibilité de ruisseler sur la surface du matériau, la chaux se déposera en traînées (photo 1).

C'est vraisemblablement ce même processus qui, conjointement à ceux décrits aux paragraphes 2 et 3, sollicite les joints de mortier des parements maçonnés exposés aux pluies battantes et dont les blocs ou les briques peu absorbants (photo 2) induisent un ruissellement fréquent qui non seulement sature les joints mais dépose un film d'eau saturé en chaux à la surface extérieure. Les exsudations résultantes prennent la forme de 'bavures blanches' sous les joints verticaux.

2. *BETON DURCI A STRUCTURE RELATIVEMENT OUVERTE (EXSUDATION SECONDAIRE)*

Certains bétons et plus particulièrement ceux manufacturés au départ de mélanges relativement secs, serrés vigoureusement au point de pouvoir être démoulés à l'état frais sans déformation, présentent une structure légèrement caverneuse. La pâte de ciment soudant les granulats est certes de qualité excellente puisque de E/C très bas, mais le matériau est traversé d'un réseau de petites cavités et galeries communicantes, où l'eau venant de l'extérieur peut pénétrer sans difficulté. (Entendez: pénétrer par percolation, car il n'est plus question ici d'absorption capillaire, vu les diamètres plus importants).

L'eau qui stagne en flaques sur des carreaux ou des pavés, se sature facilement en chaux. Après évaporation, un voile blanc apparaîtra en surface, surtout dans le cas d'éléments jeunes (qui contiennent encore beaucoup de chaux non carbonatée). Des mouillages répétés alimenteront ce dépôt.
Dans le cas d'eau ruissellante (surfaces verticales), la chaux est entraînée et se déposera là où l'eau s'évaporera; ici également le renouvellement de la cause (pluies successives) conduira à alimenter le résultat (photo 3).

3. *BETONS ET MORTIERS «LAVES INTERIEUREMENT»*

Ce cas est apparenté au précédent (§ 2). Les cavités décrites alors, étaient liées à la structure même du matériau, tandis qu'il s'agit plutôt ici d'imperfections accidentelles, souvent situées plus en profondeur, comme de petites fissures dans le béton ou des joints de maçonnerie (souvent verticaux) mal comblés (photo 4). La chaux entraînée dans de telles *'fuites'* par l'eau des ruissellements prolongés et qui carbonate à la surface, forme des croûtes épaisses ou même des stalactites. Ce phénomène peut également porter le nom d'exsudation secondaire parce qu'elle exploite une réserve de chaux disponible après hydratation.

1 - Exsudation primaire : traînées de chaux sous les joints de reprise

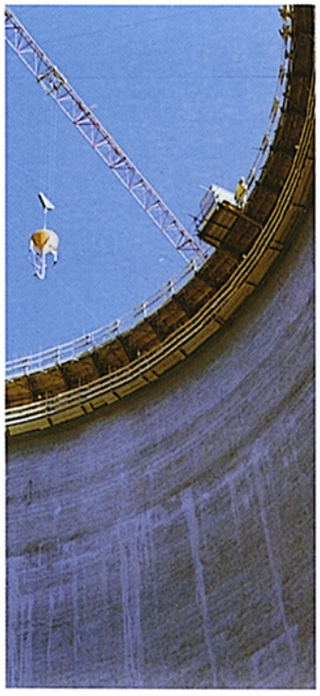


Photo : M. SCATTOLA

2 - Exsudation primaire (et/ou secondaire) sur maçonnerie

3 - Exsudation secondaire sur des élements préfabriqués, stockés sans protection

4 - Exsudation secondaire sous joint vertical mal fermé

4. *PREVENTION DES EXSUDATIONS*

Un facteur E/C non constant, un compactage irrégulier, une capacité d'absorption inégale du coffrage, etc. ont *toujours* un effet défavorable. Le risque d'exsudation s'accroît avec la porosité du matériau; des différences d'intensité du dépôt de chaux peuvent être le résultat de différences locales de densité...

L'utilisation de *ciment de haut fourneau* peut limiter les exsudations. La raison ne serait cependant pas la quantité inférieure de chaux, mais plutôt la structure poreuse plus fine de la pâte de ciment!

Pour ce qui est des *exsudations primaires*, il importe d'éviter en tout cas la formation d'un film d'eau sur la surface du béton ou du mortier pendant le durcissement :
- *Béton coulé en place* : protéger la construction contre la pluie et la neige. L'eau saturée en chaux qui ruisselle entre le béton et son coffrage laisse des traînées blanches.
Il suffit, en général, de couvrir d'une *feuille de plastique* (en évitant les plis) la face supérieure du béton. Sous cette feuille de plastique, et surtout à la mi-saison et après une nuit fraîche, une quantité d'eau de condensation peut cependant s'accumuler, suffisante pour former une nouvelle couche d'eau continue. Dès lors, il faudra éventuellement permettre la circulation d'air sous le plastique ou prévoir une protection isolante.
Par ailleurs, le moment du décoffrage est également important. Un béton décoffré rapidement sera plus sensible à l'exsudation.
- *Parements maçonnés* : interrompre les travaux par temps de pluie et protéger les murs fraîchement maçonnés.

Pour ce qui est de l'*exsudation secondaire*, la règle est qu'il faut toujours protéger de la pluie les *produits en béton préfabriqué* décoffrés rapidement. La condensation sera évitée en prévoyant une aération suffisante. A noter que l'air doit pouvoir circuler également entre les éléments (éviter les contacts locaux entre produits ou avec les intercalaires de stockage).

5. *ENLEVEMENT DES EXSUDATIONS*

La carbonatation à l'air de la chaux amenée en surface est un phénomène assez rapide et le carbonate formé est, comme nous l'avons dit, pratiquement insoluble dans l'eau. Du moins en théorie... En effet, pour les revêtements de sol soumis aux pluies de plus en plus acides, les exsudations disparaissent généralement après un an.
Pour les exsudations sur revêtements de sol ou sur pavés que l'on désire enlever rapidement, la recette suivante peut être utile:
- Humidifier la surface avec de l'eau claire pour la saturer et pour éviter la pénétration du décapant.
- Traiter la croûte ou le voile calcaire avec une solution d'acide chlorhydrique aux dilutions suivantes:
1 à 3% pour les surfaces dont le ciment ne peut être attaqué, et jusqu'à 10% lorsqu'on admet l'attaque de cette laitance et la révélation du petit granulat (modification de teinte et de texture).
- Eponger la solution épuisée et ses résidus et rincer par épongeages successifs.
Cette dernière opération est importante car la réaction de l'acide avec la chaux produit du chlorure de calcium, un sel très hygroscopique, qui maintient la surface humide en temps normal mais risque d'être transformé en voile blanchâtre par temps très sec.
Il faut noter également que ce traitement n'est pas rapide et rarement efficace à 100%.

LES HYDROFUGES

Les *hydrofuges de masse* réduisent l'absorption d'eau capillaire par effet tensio-actif et colmatage des capillaires... à l'état durci !
Le risque d'exsudation primaire subsiste donc.

Les *hydrofuges de surface* ne peuvent être appliqués, par définition, que sur une surface déjà durcie, c.-à-d. au moment où une éventuelle exsudation primaire s'est déjà formée...
Sur du béton à structure semi-caverneuse (voir §2) les produits de traitement ne donnent pas toujours le résultat escompté. L'eau, qui ruisselle en quantité nettement plus grande sur une surface ainsi traitée, peut pénétrer dans le matériau par des microfissures et des ouvertures mal colmatées. Le film constitué par les hydrofuges laisse passer la vapeur, de sorte que des exsudations (secondaires) peuvent apparaître sous ce film. L'utilisation de ces produits peut être indiquée dans le cas de bétons d'aspect apparemment étanche, mais qui ont été composés à base d'un granulat fin et donc avec une quantité d'eau de gâchage plus grande (facteur E/C plus élevé, structure plus poreuse...).

Appliqués sur des surfaces suffisamment durcies et sèches, les produits d'hydrofugation obturent efficacement celles-ci et s'opposent correctement à tout accès de l'eau au réseau capillaire. Pour être tout à fait adéquates, les résines utilisées se doivent d'être non pigmentées et de résister aux alcalis des ciments et aux rayons UV.
A rappeler toutefois que l'effet de bouche-pores et la formation d'un film donnent toujours un aspect légèrement plus foncé.

Dans le passé, des dépôts de cristaux salins solubles dans l'eau apparaissaient souvent sur les maçonneries en terre cuite. Ils étaient généralement d'origine organique (engrais). Le KNO_3 (nitrate de potassium ou *salpêtre*) entre autres, pénétrait dans les fondations en même temps que l'eau souterraine et, en l'absence d'une membrane d'étanchéité dans les murs, il remontait par capillarité, pour se cristalliser ensuite sur la surface du mur (photo 5).
Les efflorescences dont question ici, ne sont pas dues aux nitrates mais aux *sulfates* et plus précisément au sulfate de calcium $CaSO_4$, au sulfate de potassium K_2SO_4 et au sulfate de sodium Na_2SO_4. Cependant, il arrive encore que ces substances soient désignées, à tort, par le terme 'salpêtre'.
Dans certains types de briques, dont le système capillaire est plus fin en surface qu'à l'intérieur, voire coupé de l'environnement extérieur (par une couche de peinture par exemple), le front d'évaporation peut se trouver juste sous cette couche d'étanchéité. En raison de la succession des cycles d'humidification et de séchage, des cristaux salins peuvent s'accumuler au point que le matériau cède sous la pression et s'effrite. Nous n'entrerons pas dans les détails de ce phénomène de *cryptoflorescence* et n'étudierons que la situation où le front d'évaporation se trouve à la surface (gros capillaires).

1. SELS CONTENUS DANS LA TERRE CUITE SEULE

Il faut entendre par là, les sels présents dans la matière première ou qui apparaissent à la cuisson.
La présence de sulfates de sodium, de potassium et de magnésium, hautement solubles, est exceptionnelle, car ces sels se décomposent à 950°C qui est actuellement la température de cuisson minimale.
En général, les briques bien cuites destinées aux parements ne contiennent plus aujoud'hui que du sulfate de calcium $CaSO_4$. En raison de sa faible solubilité, il ne produit pas d'efflorescence, comme le montrent les essais.

2. SELS IMPORTES DANS LA TERRE CUITE

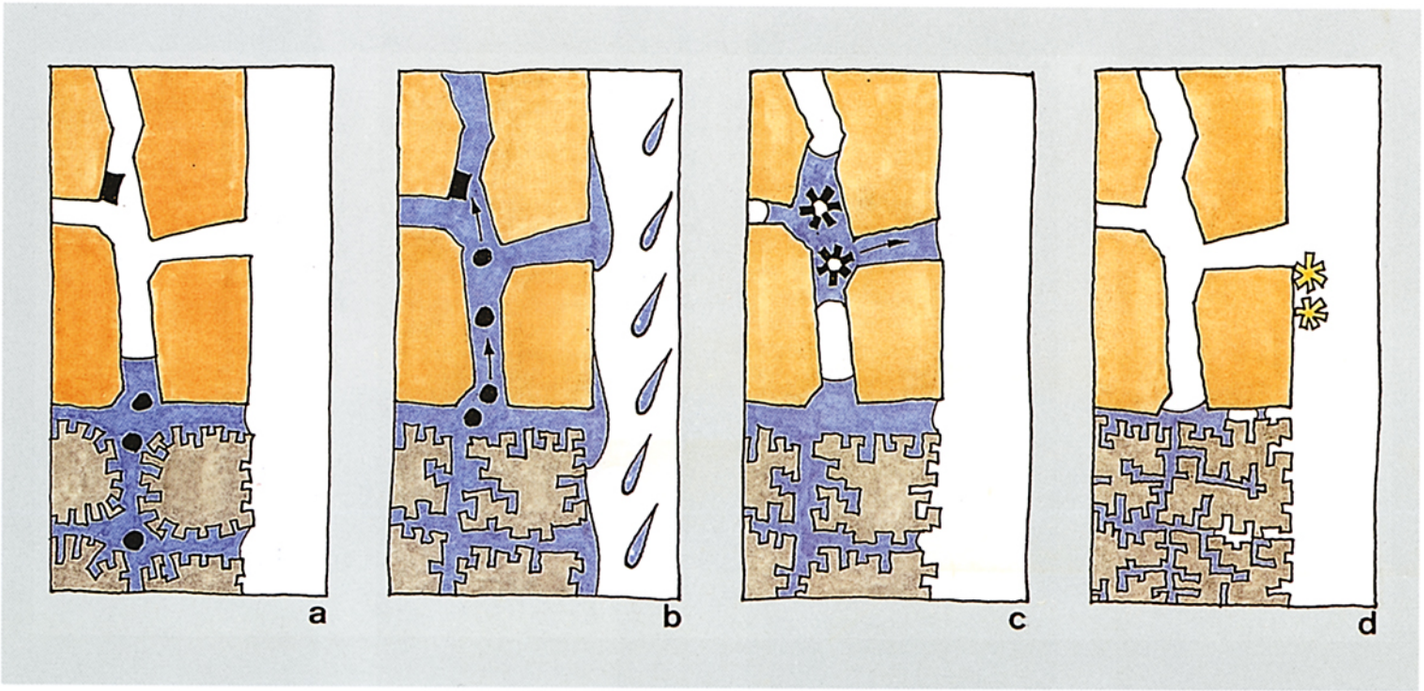
En présence d'hydrates alcalins amenés de l'extérieur (KOH et NaOH), le $CaSO_4$, dont question ci-dessus, peut se transformer (par dismutation) en sulfate de potassium et de sodium, qui eux, sont très solubles:

$$CaSO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + Ca(OH)_2$$

$$CaSO_4 + 2KOH \rightarrow K_2SO_4 + Ca(OH)_2$$

L'eau de migration les entraîne alors à la surface, où ils cristallisent.
Etant donné que le ciment, quel qu'il soit, contient toujours des alcalis K_2O et Na_2O, les efflorescences sur maçonnerie devraient être un phénomène très courant.
Or, le phénomène est loin d'être systématique, et l'explication procède du raisonnement suivant. Correctement dosé sans pour autant être de qualité exceptionnelle, un mortier de ciment développe, à l'état durci, une capillarité bien plus fine que celle de la terre cuite. Dans la mesure où les mouvements d'eau s'opèrent

Fig. 3 - Efflorescences sur maçonnerie en terre cuite :
(a) Début de l'hydratation du mortier. L'eau de gâchage qui se trouve dans les pores contient des alcalis (•) provenant du ciment.
(b) L'hydratation de la pâte de ciment n'est pas encore terminée: les pores du mortier sont toujours larges. Si à ce moment les capillaires de la terre cuite se saturent, ces alcalis peuvent migrer vers la brique. Réaction avec le sulfate de calcium (■) contenu dans la brique.
(c) Les sulfates issus de cette réaction (✲) sont solubles. Au cours du séchage ils sont déposés en surface du parement...
(d) ...où ils cristallisent.



toujours des gros capillaires vers les petits, l'eau du mortier et sa charge d'agents solubilisés ne peuvent pas être absorbés par la terre cuite, sauf ... aux âges très jeunes. A ce stade, la capillarité de la pâte de ciment est encore suffisamment lâche que pour céder une partie de son eau aux capillaires de la terre cuite qui développent une force de succion suffisante sous un débit suffisant.
La petite quantité d'eau captée par la brique sèche au contact du mortier frais ne représente pas grand chose. Par contre, si la maçonnerie, à peine la prise du mortier faite, est le siège d'apports d'eau extérieurs importants (la pluie principalement), les réseaux capillaires communicants de la terre cuite et du mortier vont se trouver noyés. Les agents solubles se diffusent dans toutes les directions; au séchage, et généralement transformés en sulfates, ils se déposent à la surface de la brique.

3. COMMENT EVITER/ MINIMISER LES EFFLORESCENCES ?

- Choisir une brique 'de parement' qui, fabriquée et désignée comme telle, *doit répondre aux exigences de la norme NBN B23-002* en matière d'efflorescences.
- Supprimer le transporteur numéro un des agents solubles du mortier vers la terre cuite : l'eau de pluie!
Autrement dit, ne pas maçonner sous la pluie et protéger de la pluie les parements fraîchement maçonnés. Cette protection doit durer le temps requis pour que le mortier ait développé une structure capillaire fine. Elle sera plus longue par temps froid et pour un mortier retardé. A noter que cette même protection du mortier pendant le processus d'hydratation a également été préconisée pour empêcher les exsudations (voir ci-dessus)!

- L'utilisation d'un ciment à faible teneur en alcalis *(ciment LA)*, bien que mis au point à l'origine pour éviter les *réactions alcalis-granulats dans le béton*, semble intéressante à première vue. Il faut remarquer cependant que la teneur en alcalis de ces ciments n'est jamais nulle! Les efflorescences ne peuvent donc pas être entièrement exclues.

4. ELIMINATION DES EFFLORESCENCES

- Les mortiers pour maçonnerie en élévation, sont rarement composés à base d'un ciment à haute résistance aux sulfates *(ciment HSR)*, de sorte que dans certaines conditions hygrothermiques, les joints peuvent être attaqués et la stabilité du bâtiment compromise. Ce n'est cependant que dans le cas exceptionnel d'efflorescences très abondantes de sulfates (dont il faudra examiner les causes possibles plus en détail!), que des considérations autres que purement esthétiques entrent en ligne de compte et qu'il faut éliminer au plus vite les dépôts salins...

- En principe, les dépôts étant solubles, il suffirait simplement de les traiter à l'eau qui les solubiliserait et les emporterait. En pratique, c'est moins évident étant donné le pouvoir d'absorption de la terre cuite qui sucerait cette eau de nettoyage et la rendrait au même endroit ou ailleurs avec la même charge de sels.
Mieux vaut brosser les cristaux à sec le maximum possible, et frotter le reste à l'éponge humide. Pour des résultats plus rapides, on peut éventuellement combiner les deux méthodes: brosser - rincer - laisser sécher - brosser - rincer une nouvelle fois - ...

5 - Efflorescence due à des sels contenus dans le sol

6 - Efflorescence sous la forme d' un entassement local de cristaux (mur intérieur)

7 - Efflorescence sous la forme d'un voile (maçonnerie jeune exposée à la pluie)

FEBELCEM

ce bulletin est publié par:
FEBELCEM - Fédération de l'Industrie Cimentière Belge
rue César Franck 46
1050 Bruxelles
tél. 02 / 645 52 11
fax 02 / 640 06 70

composition :
ir.arch. N. Naert

dépôt légal:
D/1995/0280/03

BIBLIOGRAPHIE

(le texte du présent bulletin est basé sur une série d'articles rédigés en collaboration avec le CSTC et parus en annexe à 'Béton - Revue de la Fédération de l'Industrie du Béton ' :)

HUBERTY J.M.
- La migration de l'eau dans les matériaux
- Les efflorescences sur bétons et mortiers (Exsudations)
- Les efflorescences sur maçonnerie de terre cuite liée au mortier de ciment
Béton, n°s 109-111, 1991

(théorie du mouvement de l'eau :)

HENS H.
Bouwfysica 1 - Warmte- en massatransport
Leuven ; Amersfoort : Acco, 1992
ISBN 90 334 2757 5
p. 161-197

(efflorescences/exsudations:)

TRÜB U.
Die Betonoberfläche
Wiesbaden und Berlin : Bauverlag GMBH, 1973

DEICHSEL T.
Ausblühungen - Entstehung, Ursachen, Gegenmaßnahmen (Efflorescence - origins, causes, counter-measures)
Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 10/82
p. 590-597

MUZZIN G.
Les efflorescences dans les maçonneries en briques
CSTC - Revue (Centre Scientifique et Technique de la Construction), n° 4, déc.1982
p. 2-11

VNC (Vereniging Nederlandse Cementindustrie) ;
STUTECH (Studievereniging Betontechnologie)
Schoon beton. Verschijningsvormen en kleuringscriteria.
's-Hertogenbosch : VNC ; STUTECH, 1990

TOMASSETTI A.
Problems and cures in masonry
ASTM Special Technical Publication
STP 1063, July 1990
p. 324-339

BENSTED J.
Efflorescence - a visual problem on buildings
Construction Repair, January/February 1994
p. 47-49