

L'importance de l'eau dans la durabilité des bétons et mortiers

N.Tenoutasse

Les liants hydrauliques se transforment en hydrates dans les bétons et mortiers, ces hydrates sont responsables des performances mécaniques des matériaux à base de ciments.

Le silicate tricalcique $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C_3S), l'un des composants majeur du ciment Portland est transformé en hydrosilicate de calcium et hydroxyde de calcium suivant l'équation ci-dessous :



En résumé, le C_3S est transformé en silicate de calcium hydraté (CSH) et $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Dans un ciment hydraté, on trouve également d'autres hydrates :

Les aluminates de calcium hydratés, les alumino-ferrites, les sulfo-aluminates, etc.

Dans les ciments industriels on a également des teneurs significatives en sels alcalins (Na et K)

Presque toujours les bétons et mortiers sont agressés par CO_2 atmosphérique qui forme des carbonates.

Le tableau nous montre la solubilité des sels importants que l'on trouve souvent dans les bétons et mortiers.

Sels	Solubilité dans l'eau froide g/100 ml	Solubilité dans l'eau chaude g/100 ml
CaCO_3	0,0014	0,0018
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,185	0,077
CaSO_4	0,209	0,1619
$\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$	0,241	0,222
K_2CO_2	112,0	156,0
K_2SO_4	12,0	24,1
MgSO_4	26,0	73,8

On voit que la solubilité du Ca(OH)_2 n'est pas négligeable. De plus, l'eau froide dissout presque 2,5 fois plus de Ca(OH)_2 que l'eau chaude ; il s'agit d'une exception, en effet, en règle générale l'eau chaude dissout d'avantage les produits.

Les silicates de calcium hydratés sont des composés très peu solubles, surtout en présence de Ca(OH)_2 . Mais dans certaines conditions l'eau décompose ces hydrates en provoquant des désordres significatifs dans les matériaux à base de ciments.

L'eau pure (à plus forte raison les eaux acides) commence à dissoudre Ca(OH)_2 . La dissolution est surtout importante quand l'eau au contact des matériaux cimentaires est constamment renouvelée ; c'est le cas des conduites en bétons, les réservoirs d'eau potable, etc.

Les eaux contenant CO_2 , non lié, ont un pH acide ($\pm 5,7$); parfois les pluies acides ont des pH encore plus faibles.

Comme décrit plus haut, l'eau commence à dissoudre Ca(OH)_2 libre des ciments hydratés. Ensuite l'eau pure attaque les silicates en dissolvant toujours la chaux hydratée et laissant de la silice amorphe.

La dissolution des ciments hydratés par l'eau, ou la lixiviation, a fait l'objet de nombreuses recherches pour évaluer la cinétique réactionnelle de ce phénomène.

En ce qui concerne les différents types de ciments, on constate que l'eau attaque plus rapidement les ciments Portland hydratés. Les liants contenant des pouzzolanes (laitiers de hauts fourneaux, cendres volantes, pouzzolanes naturelles, etc.) sont moins vite attaqués. Il est vrai que ces liants sont en général moins riches en chaux que les ciments Portland.

Il faut rappeler que l'ensemble des résultats confirme que les eaux pures attaquent tous les liants hydratés ; pour ce qui concerne les différents types de ciments, c'est surtout la cinétique de dissolution qui est différente. Par ailleurs les eaux froides sont plus agressives étant donné la plus grande solubilité de l'hydroxyde de calcium dans l'eau froide.

La lixiviation de Ca(OH)_2 a trois conséquences importantes :

1. La dissolution progressive de la chaux hydratée réduit les performances mécaniques des bétons et mortiers. Il est vrai que la dissolution doit être assez importante avant que les résistances mécaniques soient altérées significativement.
2. La lixiviation de Ca(OH)_2 par l'eau dans le cas des bétons armés conduit à la diminution du pH au sein du béton ; l'abaissement du pH accélère la corrosion des armatures. Il est bien connu que Ca(OH)_2 joue un rôle majeur dans la passivation des armatures. La lixiviation du béton et/ou sa carbonatation inhibe la passivation.
3. La dissolution de certains composants du béton modifie assez souvent la composition chimique de l'eau, Ca(OH)_2 augmente le pH de l'eau, il arrive que la lixiviation rend l'eau incompatible avec la consommation humaine. L'eau dissout d'autres composés que la chaux, on trouve des données relatives à la dissolution des aluminates dans l'eau. Selon certains auteurs, l'aluminium accélère le vieillissement des cellules cérébrales, ce phénomène est susceptible de provoquer des maladies neuro-dégénératives comme Alzheimer ou Parkinson. En tout cas, il convient de protéger absolument le béton lorsque les ouvrages sont exposés à l'agression continue de l'eau.

Les pathologies dans lesquelles l'eau transporte des ions agressifs.

L'eau contient parfois des ions agressifs pour les ciments hydratés et/ou les granulats dans les bétons :

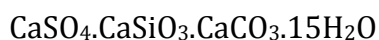
H^+ , SO_4^{--} , Mg^{++} , les alcalis, Cl^- , etc.

Les attaques sulfatiques ont fait l'objet de nombreuses recherches depuis plusieurs décennies ; à vrai dire, l'eau n'est pas uniquement un agent de transport mais elle intervient aussi directement dans la formation des sels expansifs :

Ettringite et Thaumasite

L'ettringite, ou trisulfoaluminate de calcium (TSA), a besoin d'une trentaine de molécules d'eau pour former des aiguilles bien cristallisées connues des microscopistes (voir photo) :

C'est de la même manière que l'eau réagit pour la formation de la Thaumasite :



En ce qui concerne les réactions alcali-granulats, l'eau intervient de la même manière pour générer des composés expansifs contenant de nombreuses molécules d'eau.

Les ions Mg^{++} que l'on trouve, entre autre, dans l'eau de mer agressent sévèrement les silicates hydratés (CSH) et causent parfois des dégâts importants.

Les ions Cl^- sont aussi véhiculés par l'eau, ils interviennent dans la corrosion des armatures.

Nous venons de résumer l'intervention de l'eau dans les pathologies chimiques des bétons et mortiers. On connaît par ailleurs les dégâts générés par le gel/dégel mais il s'agit d'une intervention plutôt physique.

Les moyens pour éviter les désordres décrits plus haut.

Dans certains cas, le choix judicieux du ciment permet d'élaborer un béton résistant à certaines agressions. Par exemple, pour ce qui concerne l'attaque sulfatique, l'emploi de ciments qui résistent aux ions SO_4^{--} (ciments HSR) est indispensable. Ces ciments contiennent peu de C_3A (moins de 5%). On peut ainsi supprimer la formation des sels sulfatés expansifs.

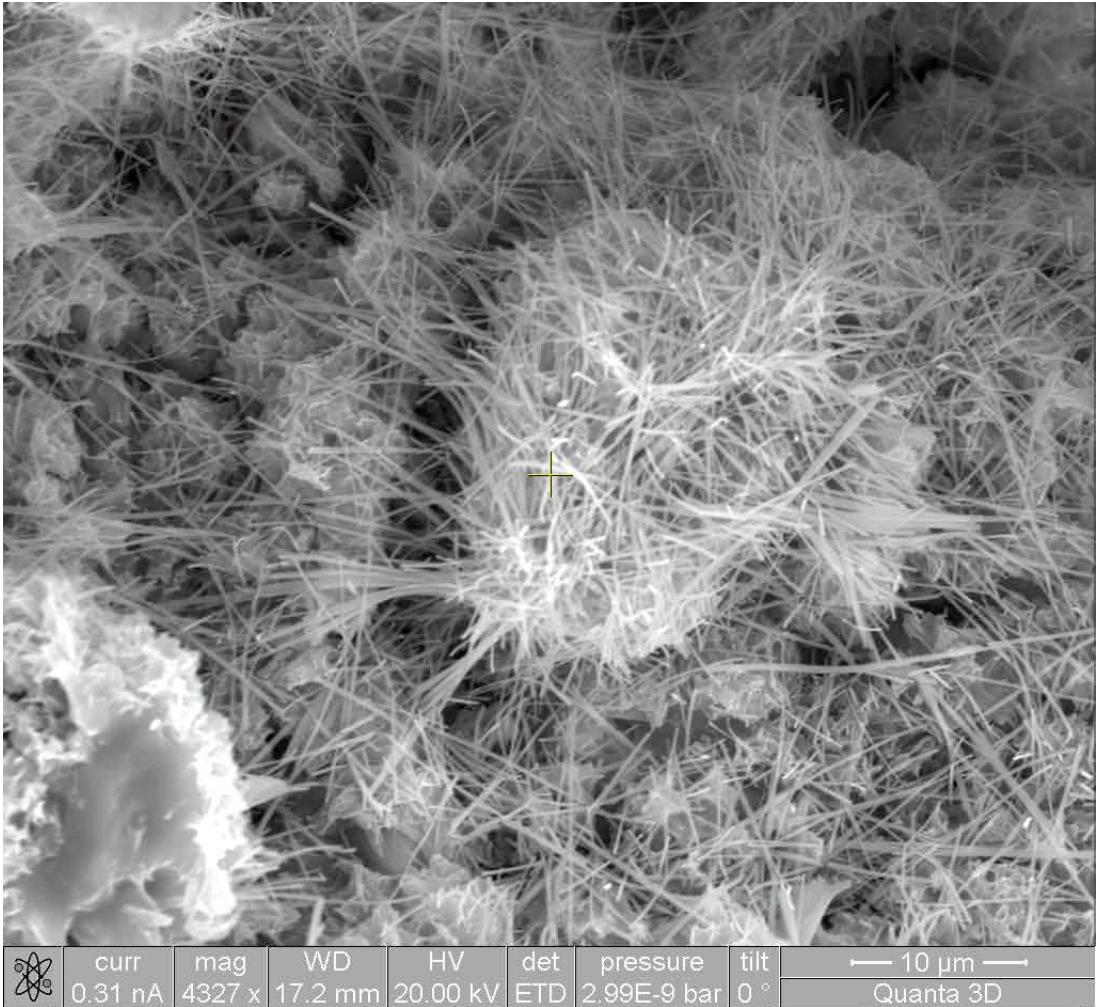
Il va de même pour la réaction alcali-granulats ; on dispose de ciments low-alkali qui empêchent la réaction expansive entre les alcalins et la silice réactive de certains granulats.

Mais malheureusement il n'y a pas de liant hydraulique qui empêche la lixiviation des hydrates, on peut certes élaborer des bétons de qualités mais la meilleure méthode pour stopper la lixiviation est la protection superficielle des matériaux à base de ciment. On utilise en général des composés organiques insolubles dans l'eau pour la protection des bétons ; l'emploi des produits comme bitume, goudron, résines époxy, différents polymères, etc. est pratique courante dans la protection des bétons.

Evidemment en ce qui concerne l'eau potable ces couches ne doivent pas modifier les propriétés physico-chimiques de l'eau.

Nous avons été confronté à restaurer le béton de réservoirs d'eau potable agressés par l'eau. Après avoir examiné différentes possibilités, nous avons décidé d'appliquer de manière expérimentale une couche de polymère-ciment sur le béton dégradé. Nous avons déjà présenté les résultats de ces applications l'an dernier. Ces essais nous ont permis de définir les meilleures conditions pour protéger les bétons déjà agressés par l'eau. L'avantage de l'utilisation d'une couche polymère-ciment est son application sur un support humide. Les essais nous ont montré que dans certaines conditions la couche de protection polymère-ciment est dégradée par la formation de cloques générées par des phénomènes osmotiques (voir photos). Un choix judicieux du mortier de la couche de fond avec du ciment L.A., et une granulométrie optimisée du sable ainsi qu'un ciment HSR pour le mélange polymère-ciment permet d'avoir une couche de protection efficace sur un béton dégradé.

Cristaux d'ettringite



Cloques à la surface du béton



Formation des cloques par la pression osmotique

