

À consulter

- La durabilité des bétons, JP Ollivier et A Vichot -Presse de l'ENPC, 2008
- Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne, LCPC (IFFSTAR), 2017 *
- Les réactions de dégradation internes du béton, Etudes et recherches pour des LPC, C Larive, 1992
- Normes NF EN 12620+A1 (granulats pour bétons)
- Norme NF EN 13242+A1 (granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités pour les travaux de génie civil et la construction de chaussées)
- Norme NF EN 13285 (graves non traitées – spécifications)
- Norme NF P 18545 (granulats, éléments de définition, conformité et codification)
- Norme NF EN 206-1/ CN (bétons, spécifications, performance, production et conformité - complément national à la norme EN206-1)
- Norme NF EN 197-1 (ciments, composition, spécification, critères, conformité des ciments courants)
- Fascicule de documentation FD P 18-011, (définition et classification des environnements chimiques agressifs)*
- Norme NF EN 94-100 (essai d'aptitude au traitement d'un sol à la chaux)

- une microfissuration ou fissuration, parfois de plus d'un mètre de longueur et jusqu'à quelques millimètres d'ouverture, linéaire ou maillée. Une fissuration de parement peut accélérer l'apparition d'autres pathologies comme la corrosion des armatures, la carbonatation accélérée (pénétration de CO_2), ou une résistance au gel amoindrie. Les zones les plus fréquemment concernées par la pathologie sont celles exposées aux intempéries et/ou en contact avec des terres ou sols agressifs (parties basses de piles de pont, corniches des tabliers, piédroits, parois en retour, bassins de stations d'épuration, dallages, parties soumises à l'action des sels de déverglaçage) et les zones mécaniquement plus fragiles (angles).

Cas particuliers :

Bétons étuvés à des températures supérieures à 65°C

Ils subissent, aux jeunes âges, une augmentation de température importante dans la masse due à l'exothermicité de la réaction d'hydratation. La mise en solution de sulfates déjà présents et leur remobilisation induit alors une réaction sulfatique interne avec apparition d'ettringite secondaire différée (DEF, Delayed Ettringite Formation).

Ouvrages contenant des granulats pyriteux ou gypseux

La pyrite est un sulfure de fer présent dans certains gisements naturels ou dans les sols. Son oxydation produit des oxydes de fer ferreux et ferriques et du sulfate de fer instable, se dissociant pour rentrer dans la composition de l'ettringite. Coulures de rouilles et poussées de fer sont également observées concomitamment à la réaction sulfatique interne.

Le gypse soluble, quant à lui, fournit directement des sulfates qui participent à la formation de l'ettringite.

La pathologie sur les matériaux de technique routière et assimilés

Ces matériaux, traités ou non aux liants hydrauliques, sont surtout concernés par la réaction interne. Parmi eux, on trouve les graves, les sols, les remblais... intégrés dans des ouvrages tels que les autoroutes, routes, VRD, trottoirs.

On peut observer :

- un gonflement de plusieurs centimètres de hauteur intéressant parfois une surface de plusieurs m^2 ;
- une fissuration pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de longueur et plusieurs centimètres d'ouverture.

IMPORTANT : dommages collatéraux.

Les ouvrages de bâtiment ou de génie civil situés ou implantés sur les zones à l'origine du sinistre subissent les conséquences de la réaction sulfatique, ce qui augmente des coûts de sinistre déjà très importants.

Par exemple, le gonflement d'une grave traitée, polluée par du gypse, induit une fissuration sur le dallage situé au-dessus. **Les recyclés sont donc à éviter sous dallage.** Autrement, la caractérisation des matériaux doit être très rigoureuse. De même, suite à une présence de gypse dans les granulats ayant servi à la réalisation de VRD ou de trottoirs, les gonflements du VRD soulèvent les bâtiments, maisons individuelles et autres structures superficielles, créant fissuration et risque d'effondrement. Enfin, le gonflement de remblais contenant des sulfates et traités à la chaux peuvent causer l'effondrement d'un mur de soutènement mitoyen.

À consulter

- Norme NF EN 1744-1, article 10.2 (essai visant à déterminer les propriétés chimiques des granulats)**
- Recommandations du projet national Recybéton, 2019

Cas particuliers :

Sols traités à la chaux

La présence de gypse dans les sols argileux est fréquente. Le traitement à la chaux induit une « attaque chimique » des espèces argileuses. Cette réaction produit alors des aluminates de calcium à vocation liante pour le complexe traité. En présence de gypse, les équilibres chimiques sont déplacés et les sulfates disponibles réagissent avec les aluminates formés pour donner des espèces minérales non liantes de type ettringite.

L'eau étant le moteur de la réaction, une arrivée d'eau abondante (pluie, excès d'eau de gâchage) sert de déclencheur à la réaction chimique et peut conduire dans certains cas à des sinistres de grande ampleur.

Ouvrages réalisés avec granulats de recyclage

Pour des bétons recyclés ou des matériaux recyclés traités aux liants hydrauliques, les mécanismes réactionnels sont identiques à ceux explicités précédemment. La réaction tire son origine de la présence de plâtre (soluble) issu d'un tri non maîtrisé des matériaux de démolition ou de déconstruction.

IMPORTANT : la réaction sulfatique peut intervenir dans une grave non traitée, les aluminates nécessaires à la réaction provenant alors de la gangue de ciment qui entoure les granulats de recyclage (granulats issus d'un béton originel concassé).

Ouvrages contenant des MIOM

L'utilisation de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) contenant potentiellement une quantité importante de sulfures, de sulfates et d'aluminates, peut s'avérer problématique quand le lot n'a pas été aéré (lessivage) et n'a pas subi de maturation suffisante.

3. Bonnes pratiques et conseils de prévention

En fonction du contexte :

1. Avant toute réalisation de couche de forme ou de liaison ou de tout traitement de sol ou de remblai en place, les entreprises doivent se procurer les études géotechniques ou les rapports d'analyses physico-chimiques du sol qui mettraient en évidence la présence de sulfates (gypse, pyrite, anhydrite...) et les analyser pour valider la solution retenue.
2. Il est nécessaire de préciser dans la commande de matériau(x), le caractère OBLIGATOIREMENT inerte du matériau d'apport (granulat, mâchefer). Les bons réflexes consistent en outre à :
 - obtenir et consulter la FTP (fiche technique produit) du fournisseur et lui demander son plan d'assurance qualité (PAQ) ;
 - vérifier si les essais de caractérisation des matériaux sont effectivement réalisés. En particulier, les teneurs en sulfates et sulfures sont à analyser avec attention. Se référer aux normes existantes ;
 - mettre en oeuvre des matériaux correspondant aux exigences des CCTP en n'omettant pas le devoir de conseil en cas de doute ;
 - conserver la traçabilité des achats de matériaux et de tout document (CCTP, rapport d'essais) afin de préserver ses recours en cas de sinistre ;
 - faire procéder à des essais contradictoires, suivant l'importance du chantier. Les essais de recherche des sulfates sont simples à réaliser, avec un investissement minime (voir** rubrique à consulter) ;
 - utiliser des produits marqués CE et bénéficiant si possible d'une certification NF.

3. Le maître d'ouvrage ou le maître d'oeuvre doivent être alertés par l'entreprise d'une absence éventuelle de drainage, d'une venue d'eau intempestive (fuite) ou de la présence d'une nappe phréatique non répertoriée. Dans le même sens, lors de la mise en oeuvre, ne pas procéder à des ajouts d'eau intempestifs.
4. L'entreprise doit faire valider la composition du ciment demandé dans le CCTP. En effet, la composition du ciment dépendra de la classe d'environnement ou d'exposition du milieu (agressivité) dans lequel l'ouvrage sera implanté.
5. Dans le cas de chantiers prestigieux ou importants avec bétons, demander au maître d'ouvrage, la réalisation d'un essai de performance afin d'estimer le risque d'expansion. Des niveaux de prévention et des précautions associées sont déterminables en fonction de la catégorie de l'ouvrage et de la classe d'exposition de l'ouvrage (voir* rubrique à consulter). Vérifier la teneur en aluminates (< 5 à 7 % conseillée selon le retour d'expérience) et en alcalins du ciment utilisé. Il existe, le cas échéant, des liants routiers et des ciments à faible teneur en aluminates (PM-ES, ciment au laitier ou aux cendres volantes) qui limitent les phénomènes de gonflement.
6. Les prescripteurs peuvent également se référer aux normes en vigueur et aux récentes recommandations RECYBETON donnant les teneurs admissibles en sulfates dans les bétons ainsi que les modalités de contrôles de leurs caractéristiques
7. Si cela est possible et si les conditions du marché le permettent, l'entreprise doit éviter, en accord avec la maîtrise d'ouvrage ou maîtrise d'oeuvre, la réalisation de pièces massives en béton afin de maîtriser la température d'hydratation.

4. Ce qu'il faut retenir

- Connaître avec précision la classe d'exposition (agressivité du milieu) dans lequel l'ouvrage sera implanté (analyse physicochimique) ;
- Respecter les teneurs en sulfates admissibles prévues dans les normes et guides techniques ou recommandations
- Conserver tout document (FTP, CCTP, commandes, rapport d'essais) permettant de préserver ses recours en cas de sinistre ;
- Moteur de la réaction sulfatique : concomitance d'un excès de sulfates, d'aluminates de calcium et de chaux en présence d'eau. Formation de minéraux sulfatés expansifs du type ettringite ;
- Avant la réalisation des travaux et de l'étude géotechnique du sol en place, consulter les fiches technique produit (FTP) du fabricant sur le matériau d'apport (essais de caractérisation, teneur en sulfates). Une vigilance supplémentaire est requise lors de l'utilisation de MIOM et de granulats recyclés.

SMABTP

Société mutuelle d'assurance du bâtiment
et des travaux publics Société d'assurance
mutuelle à cotisations variables
Entreprise régie par le Code des
assurances – RCS PARIS 775 684 764
8 rue Louis Armand CS 71201 - 75738
PARIS CEDEX 15