

# Problématique des sulfates

## dans la valorisation des déchets du BTP

Les sulfates présents dans les sous-produits industriels et déchets de démolition peuvent remettre en cause leur valorisation du fait de risques de pollution et de problèmes de stabilité dimensionnelle qu'ils peuvent causer.

Benjamin TRINEL, LERM



Les sulfates jouent un rôle primordial dans la valorisation des sous-produits industriels et des déchets de démolition dans le domaine du BTP. Outre les risques de pollution du milieu environnant, des problèmes de stabilité dimensionnelle des matériaux peuvent être observés. Ils se manifestent soit par le gonflement du sous-produit lui-même, soit par celui des matériaux environnants et peuvent altérer les ouvrages dans lesquels ces matériaux sont utilisés.

### Les sulfates dans les déchets de démolition

La présence des sulfates dans les déchets de démolition est liée à :

- la composition des matériaux

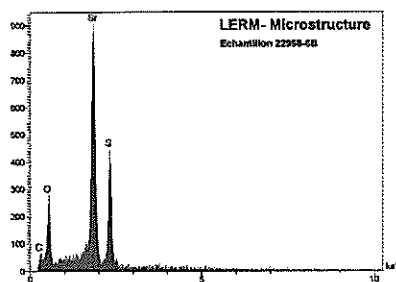
naturels, pierre de construction en gypse, roche granitique ou schiste comportant des inclusions de pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), ou à la composition des matériaux de construction usuels, tels que le plâtre, le ciment et l'anhydrite ;

- l'utilisation, l'exposition ou l'environnement de l'ouvrage dont les déchets sont issus (migrations sulfatiques observées dans les bétons de cheminées, attaques sulfatiques des STEP...).

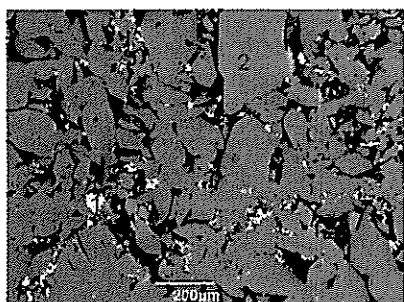
### Les sulfates dans les matériaux naturels de construction

Le gypse (sulfate de calcium hydraté,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) est un matériau sulfatique de référence. L'observation d'une section polie d'un échantillon de gypse à l'aide du microscope III

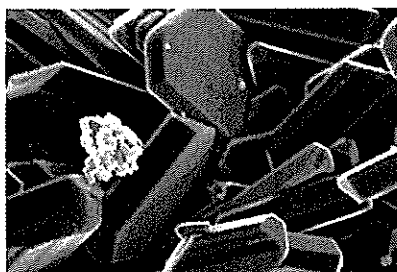
III électronique à balayage, met en évidence les grains de sulfates de calcium, mais également des inclusions de sulfates de strontium, correspondant probablement à de la Célestine, un minéral pouvant être associé aux gisements de gypse du Bassin Parisien.



I Microscopie électronique à balayage  
Analyse élémentaire au point 1 de la figure précédente.

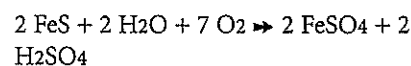


I Grains de sulfate de calcium en section polie au microscope électronique à balayage.  
1 = inclusions de sulfate de strontium ;  
2 = sulfate de calcium.



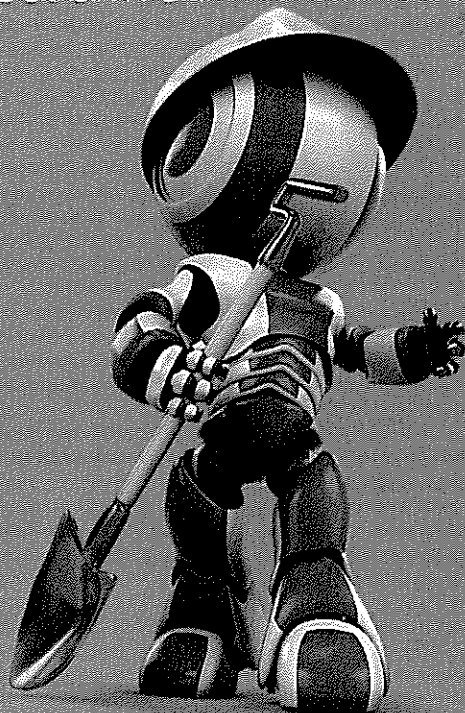
I Cristaux de sulfate de calcium au microscope électronique à balayage.

Les sulfates peuvent également provenir des inclusions de sulfures métalliques contenues dans les matériaux naturels de construction, par exemple dans des roches granitiques ou des schistes. Ces derniers peuvent renfermer des inclusions de pyrite (sulfure de fer FeS<sub>2</sub>) de forme cristalline framboïdale. La présence de ces composés soufrés nécessite quelques précautions en termes de valorisation. En effet, au contact de l'air et de l'humidité, le sulfure de fer s'oxyde en sulfates et forme de l'acide sulfurique, d'après l'équation suivante (en présence d'oxygène et d'eau acide) :



Il en résulte des gonflements importants pouvant être à l'origine de pathologies structurales majeures et des risques d'attaque acide des matériaux de construction environnants. III

Vous l'attendiez.  
Il est arrivé !



## DOMOBAT

# LE SALON

DES PROFESSIONNELS DU

# BÂTIMENT

27/28/29 JANVIER 2011  
GRANDE HALLE D'AUVERGNE  
CLERMONT-FERRAND

[www.domobat.com](http://www.domobat.com)

INFORMATIONS  
03 20 79 94 65

made by  
**GL**  
events

## Le cadre normatif

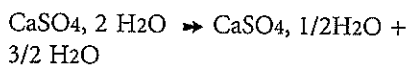
Les principales normes relatives au paramètre sulfatique utilisées par le Lerm dans le cadre de projets de valorisation sont reportées dans le tableau suivant :

### III Les sulfates dans les matériaux de construction usuels

Les sulfates jouent un rôle primordial dans le mécanisme d'hydratation du ciment. Les cimentiers incorporent du gypse (sulfates de calcium, CaSO<sub>4</sub>) au clinker afin de réguler la prise du ciment. Au début de l'hydratation, les sulfates introduits réagissent avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite (trisulfoaluminate de calcium hydraté, (CaO)<sub>6</sub>(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)(SO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, 32 H<sub>2</sub>O). L'ettringite formée va peu à peu se dissoudre et laisser place à la formation d'autres hydrates.

Connu dès l'antiquité, le plâtre est issu du gypse, sulfate de calcium hydraté (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O).

La cuisson du gypse permet d'obtenir une déshydratation plus ou moins poussée, selon l'équation suivante :



Le plâtre, couramment utilisé, est un mélange de semi-hydrate (CaSO<sub>4</sub>, 1/2H<sub>2</sub>O) et d'anhydrite. Ce dernier joue le rôle de régulateur de prise.

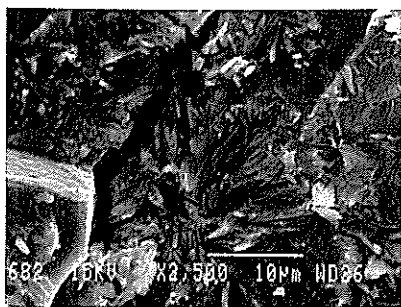
La présence de sulfates dans les matériaux de construction usuels, tels que le plâtre et le ciment, n'a pas d'impact direct sur les ouvrages. En revanche, la démolition des bâtiments engendre parfois le mélange de matériaux de nature différente. Le risque repose alors sur l'incompatibilité des matériaux. En effet, l'exemple le plus connu est l'incompatibilité du plâtre avec le béton, qui lui vaut l'expulsion de la liste des déchets inertes de l'arrêté du 15 mars 2006.

La présence de sulfates dans les matériaux de déconstruction (gravats) peut également être mise en relation avec l'utilisation, l'environnement et l'exposition de l'ouvrage. Les études menées par le Lerm sur les pathologies des ouvrages et sur la valorisation des déchets de déconstruction ont permis de mettre en évidence les principales pollutions sulfatiques suivantes :

- enrichissement en sulfates des bétons issus de la déconstruction de cheminées

Bétons	NF EN 206-1 : spécifie dans le tableau relatif aux classes d'exposition la question de l'attaque chimique. Les valeurs limites de teneurs en sulfates permettant de définir ces classes (XA1, XA2, XA13) sont précisées en ce qui concerne les eaux de surfaces, les eaux souterraines et les sols. Pour la méthode d'essai, elle renvoie à la norme NF EN 196-2.
Béton, additions	NF EN 15167-1 (P 18-512-1), Septembre 2006, <i>Laitier granulé de haut fourneau moulu pour utilisation dans le béton, mortier et coulis. Partie 1 : Définitions, exigences et critères de conformité</i> (§ 5. 2 Tableau 1 : teneurs en sulfure et en sulfate). NF EN P 18-513 (P 18-513), Mars 2010. <i>Métakaolin, addition pouzzolanique pour béton. Définitions, spécifications et critères de conformité</i> (§ 5.2.3 Teneur en sulfate).
Granulats	XP P 18-545 (P 18-545), Mars 2008, <i>Granulats. Eléments de définition, conformité, et codification</i> . Spécifie les teneurs en soufre total, en sulfates solubles dans l'acide de l'ensemble des catégories de granulats, ainsi que la teneur sulfates solubles dans l'eau des matériaux recyclés provenant de la démolition des bâtiments. Les déterminations de la teneur en sulfates solubles dans l'eau et de la teneur en sulfates solubles dans l'acide sont faites conformément à la norme NF EN 1744-1. La résistance au sulfate de magnésium des enrochements est déterminée conformément à la norme NF EN 1367-2. NF EN 1744-1 (P 18-660-1), Oct. 2010. <i>Essais visant à déterminer les propriétés chimiques des granulats. Partie 1 : Analyse chimique</i> . XP P 18 - 581 (P 18-581), Oct. 1997. <i>Granulats - Dosage rapide des sulfates solubles dans l'eau. Méthode par spectrophotométrie</i> . Cette norme définit une méthode simple de détermination de la teneur en sulfates des granulats issus de produits de démolition.
Ciment	NF EN 197-1 (P 15-101-1), Février 2001. <i>Ciment. Part. 1 : Composition, spécifications et critères de conformité de Ciments courants</i> . NF EN 196-2 (P 15-471-2), Avril 2006. <i>Méthode d'essais des ciments. Partie 2 : Analyse chimique des Ciments</i> . (§ 8. Dosage du sulfate et § 11. Dosage du sulfure). ASTM C 542-06 : <i>Standard test method for potential expansion of Portland cement mortars exposed to sulfate</i> .
Ciments spéciaux normalisés	NF EN 15743 (P 15-313), avril 2010, <i>Liants hydrauliques-ciment sursulfate. composition, spécifications et critères de conformité</i> . (cf. Newsletter n° 17 sur le site du Lerm - <a href="http://www.lerm.fr">www.lerm.fr</a> )
Eau de gâchage	NF EN 1008 (P 18-211), Juillet 2003. <i>Eau gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton</i> .
Produits spéciaux	EXP P 18-837, Avril 1993. <i>Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique. Produits de calage et/ou scellement à base de liants hydrauliques - Essai de tenue à l'eau de mer et/ou à l'eau en haute teneur en sulfates</i> .
Gypse	Depuis l'annulation sans remplacement, en octobre 2009, de la norme ISO 1587 de 1975 ( <i>Pierre à plâtre pour la fabrication des liants - Spécifications</i> ), il n'existe pas de spécifications concernant le gypse dont est fait le plâtre. Les normes ASTM C11 ( <i>Terminology</i> ) et ASTM C 22/C 22M 2000 ( <i>Standard Specification for Gypsum</i> ) fournissent des spécifications concernant le gypse.
Plâtre	NF EN 132791-1 (P 72-400-1), novembre 2008. <i>Liants-plâtres et enduits à base de plâtre pour le bâtiment</i> . Définit les différents liants plâtres, leurs compositions et les exigences dont ils font l'objet.
Déchets	NF EN 12506 (X 30-430), février 2004, <i>Caractérisation des déchets - Analyse des éluats - Détermination du pH et dosage des As, Ba, Cd, Cl-, Co, Cr, Cr VI, Cu, Mo, Ni, NO<sub>2</sub>-, Pb, S total, SO<sub>4</sub>2-, V et Zn</i> . Fait appel à la norme suivante pour la conduite de l'essai concernant SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> : NF EN ISO 10304-1 (T 90-042-1), Juillet 2009. <i>Qualité de l'eau - Dosage des anions dissous par chromatographie des ions en phase liquide. Partie 1 : Dosage du bromure, chlorure, fluorure, nitrate, nitrite, phosphate et sulfate</i> .
Eau	NF T90-040, Septembre 1986. <i>Essais des eaux - Dosage des ions sulfates - Méthode néphélométrique</i> . ISO 10530:1992 Septembre 1992. <i>Qualité de l'eau. Dosage des sulfures dissous. Méthode photométrique au bleu de méthylène</i> .
Sol, remblai, technique routière	P 94-100 d'août 1999. <i>Sols : reconnaissance et essais - Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement</i> : traite du comportement volumique d'échantillons de sols après traitement et compactage. Il permet d'évaluer les perturbations (expansion) liées à la présence de soufre.

III



I Cristaux d'ettringite massive au microscope électronique à balayage.

de centrales thermiques (gradient de concentration), lié à la composition chimique des fumées ;

- attaques sulfatiques des ouvrages en pierre (maladie de la pierre) et ou des bétons, liées à la pollution atmosphérique ;
- altérations des bétons des ouvrages utilisés pour le traitement des effluents liées au dégagement d'hydrogène sulfuré (cf. l'article « Les pathologies des ouvrages de traitement des effluents », *Environnement et Technique* n° 299, septembre 2010) ;

- incompatibilités physico-chimiques des matériaux de construction (contamination des granulats par le plâtre, granulats gypseux ou contenant des sulfures métalliques) ;
- altérations des bétons en contact avec des eaux contenant des sulfates (eau de mer, certaines eaux souterraines, eaux usées industrielles) ;
- altération des bétons en présence de sulfates d'ammonium (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans les milieux agraires ;
- oxydation des grains de pyrites en sulfates, contenus dans des matériaux de remblais naturels, au contact de l'air et de l'humidité.

### Les analyses à réaliser en amont d'un projet de valorisation

Au regard des risques sulfatiques dans la filière du BTP, il convient de s'assurer en amont de l'absence ou a contrario de la présence des sulfates dans les matériaux à valoriser. Les principales analyses à réaliser à partir

d'un échantillonnage représentatif sont les suivantes :

- détermination de la teneur en sulfates solubles dans l'eau et dans l'acide ;
- dosage en soufre total ;
- recherche des espèces minéralogiques liées aux sulfates par diffraction des rayons ;
- observation à la loupe binoculaire ;
- examen au microscope électronique à balayage couplé à l'analyse élémentaire par diffraction des rayons X, visant à localiser les espèces sulfatiques et à étudier la physico-chimie du matériau.

Enfin, la valorisation des déchets du BTP est l'un des principaux engagements du Grenelle et de la directive européenne cadre sur les déchets de novembre 2008.

Le tri opéré lors de l'étape de déconstruction, l'utilisation de liants résistants aux sulfates et la mise en œuvre de formulation adaptée (incorporation de laitier et de fumées de silice, par exemple) peut permettre d'accroître la valorisation des déchets dans le domaine du BTP. ■

## COMDEC

## PAALGROUP

Votre partenaire dans toutes les applications de compactage

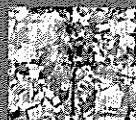
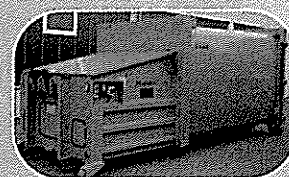
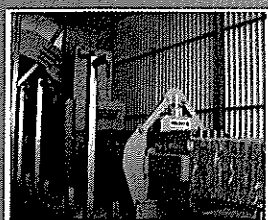
**Husmann**  
Umwelt-Technik

- Presses à canal
- Presses à coffre
- Stations de transfert
- Presse à paquets
- Convoyeurs
- Broyeurs
- Guillottes
- Perforateurs

Vieux papiers Collectes sélectives DIB  
Ordures ménagères RDF

PAALGROUP renforce sa compétitivité en généralisant la référence qualité «KONTI-LIKON» à toute sa gamme

- Compacteurs monobloc
- Compacteurs poste fixe
- Compacteurs à rouleaux
- Stations de transfert



COMDEC - Filiale de PAAL GROUP  
9 rue Gustave Eiffel - Z.A. - F 21540 SOMBERNON  
Tél. 03 80 33 49 26 - Fax : 03 80 33 42 43 - com@comdec-paal.com

[www.paalgroup.com](http://www.paalgroup.com)