

Perspectives de valorisation de granulats riches en sulfates dans les bétons

Loïc DIVET, Jérémy COLAS, Thierry CHAUSSADENT, Stéphane LAVAUD, Béatrice DESRUES

IFSTTAR – Champs sur Marne

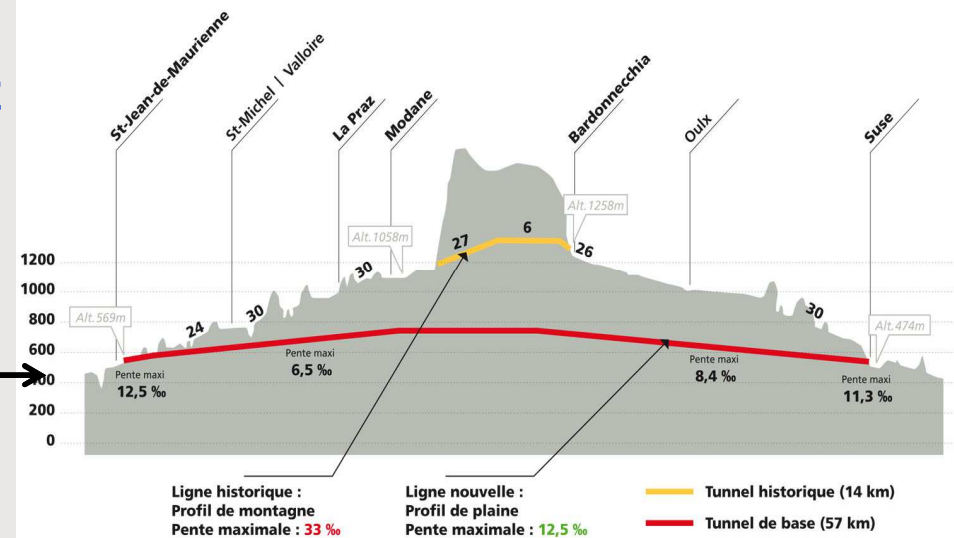


Contexte

✓ **Liaison ferroviaire entre Lyon et Turin**

✓ **2 tunnels :**

- **tunnel d'Ambin (≈ 57 km)**
- tunnel de Bussoleno (≈ 12 km)



✓ 16 millions de m³ de déblais

✓ **Valorisation** d'une partie en granulats à béton pour le revêtement du tunnel

✓ **Enjeux**

- ✓ Eviter l'excavation de nouvelles carrières
- ✓ Eviter la mise en dépôt des déblais



Contexte : *Problématique*

- ✓ **Matériaux excavés:** teneur élevée en sulfates (**jusqu'à 4.3% en SO_3**)
 - ✓ **Non conformes** en tant que granulats à béton (**$\text{SO}_3 \leq 0,2\%$**)
 - ✓ **Risque de développement d'une réaction sulfatique interne**
 - Solubilisation des sulfates provenant des granulats
 - Réactions entre les sulfates et les composés du ciment
 - Formation Ettringite / Thaumasite → Dommages pour la structure
- **Quelles solutions pour utiliser ces matériaux excavés comme granulats à béton ?**



Rappel : Granulats et réactions sulfatiques

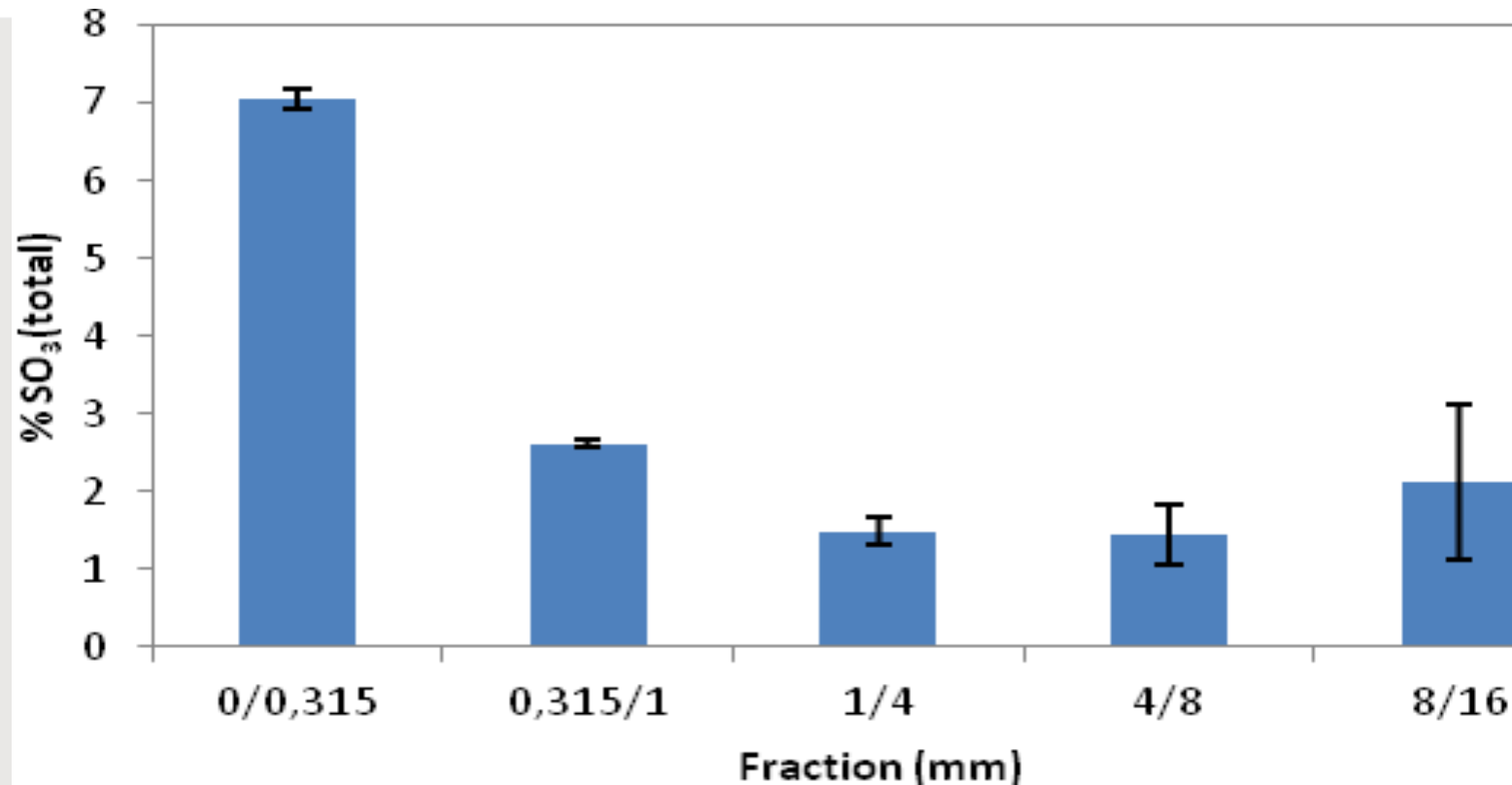


- ✓ **Pollution** des granulats par du **gypse**
- ✓ **Présence de sulfures de fer** dans les granulats (pyrite et pyrrhotite)
- ✓ Granulats de **démolition** contenant du **plâtre**

Etude de l'accessibilité des sulfates dans les matériaux d'excavation LTF



Teneur en SO_3 / fractions granulaires

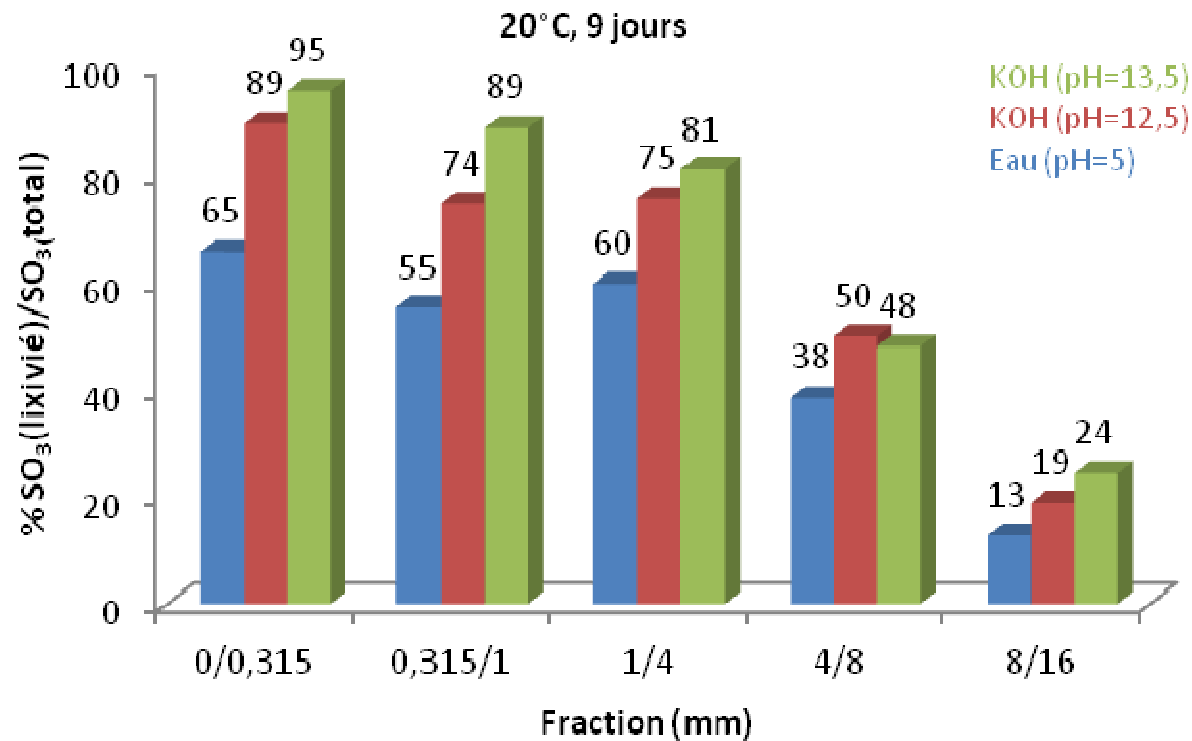


(% SO_3 massique)

✓ Les sulfates sont localisés dans les fractions fines



Etude de l'accessibilité des sulfates

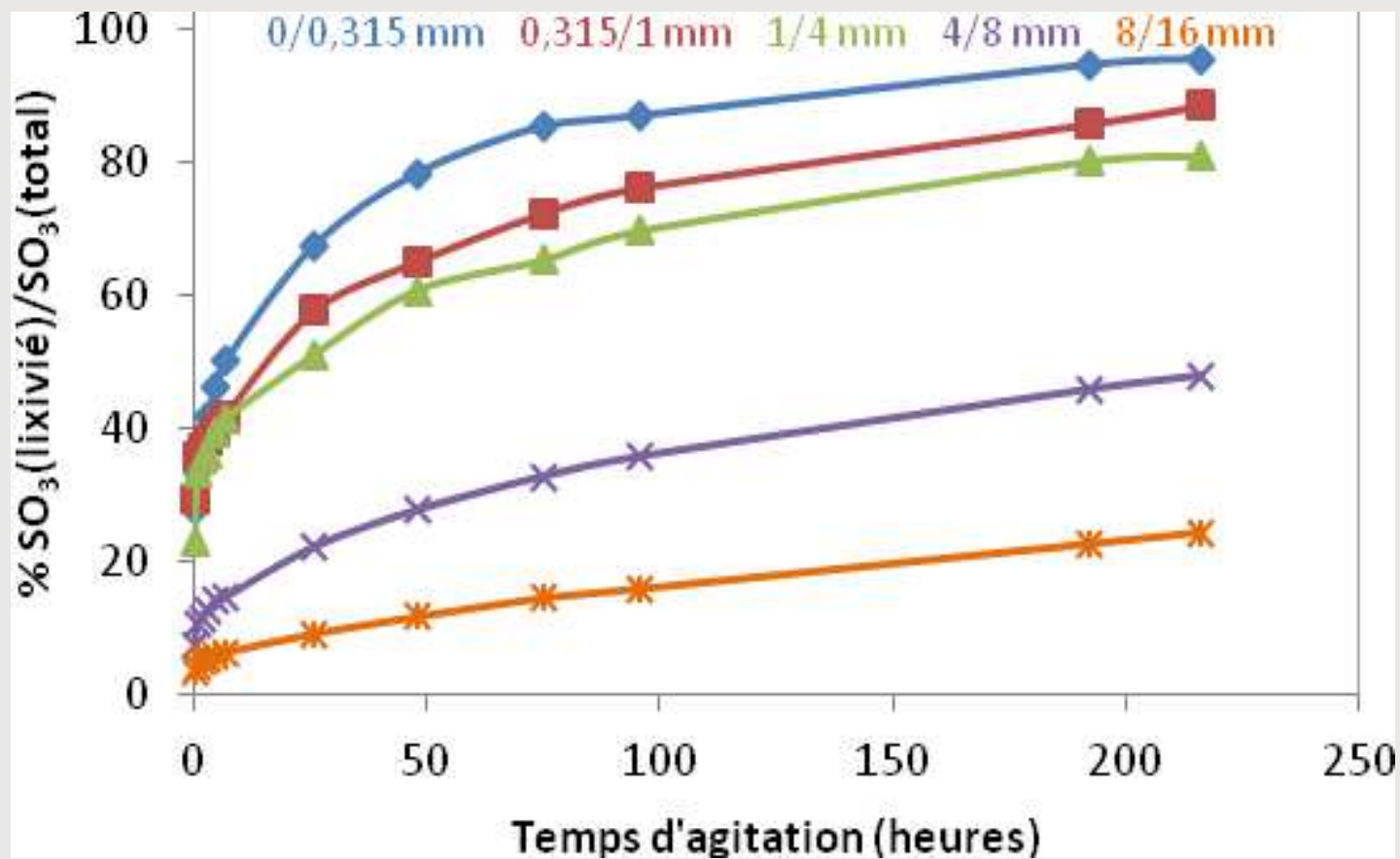


SO₃ mobilisable (% massique)

- ✓ La quantité de SO₃ mobilisable dépend de la fraction granulaire et du pH du milieu



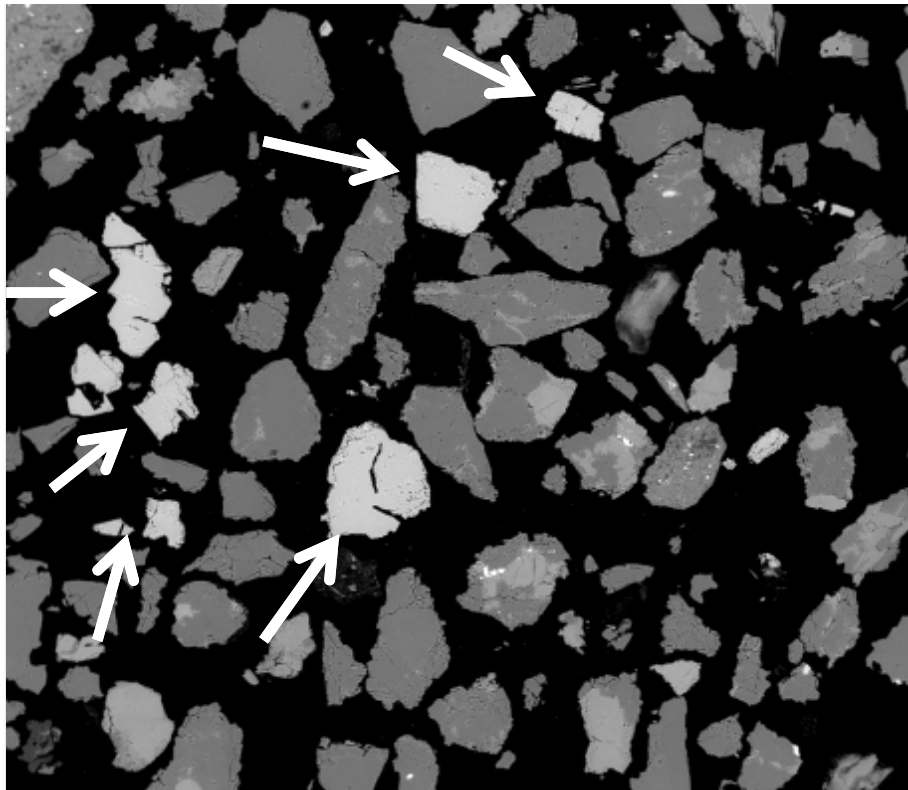
Etude de l'accessibilité des sulfates



Cinétique de mobilisation des sulfates pour les différentes fractions granulaires

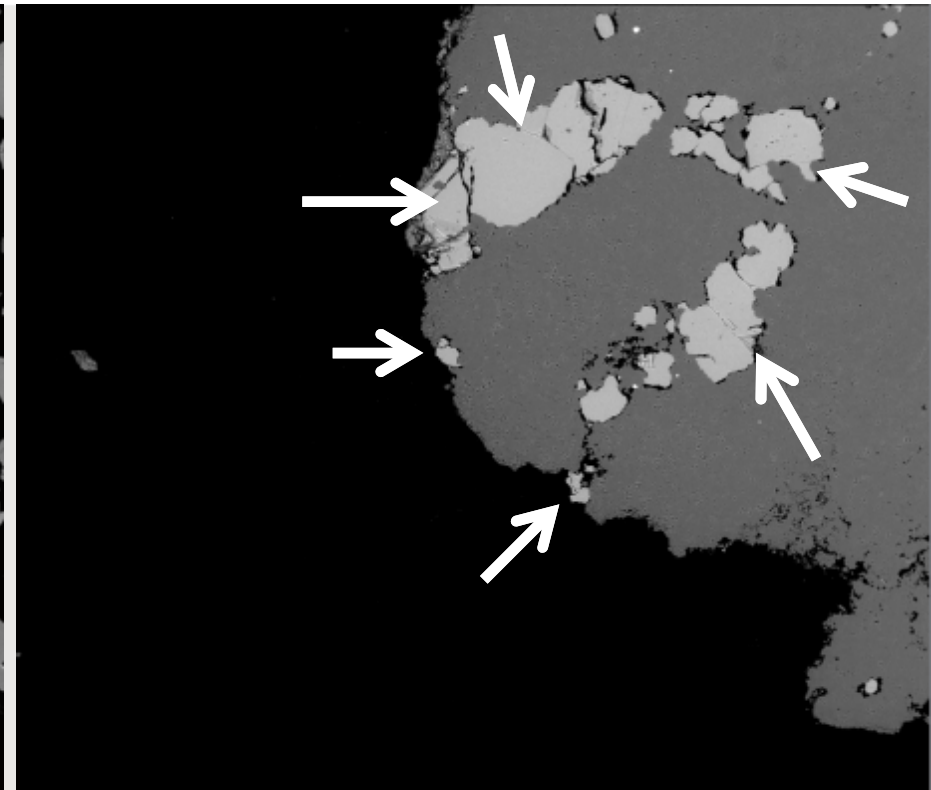


Accessibilité des sulfates (images MEB)



Fraction granulaire : 0/0,315 mm

- ✓ Grains indépendants de sulfates de calcium



Fraction granulaire : 4/8 mm

- ✓ Grains de sulfates de calcium à la périphérie et en inclusion



Etude du vieillissement accéléré sur mortier



Programme expérimental

6 liants étudiés

- ✓ **CEM I** (7,1% C_3A et 3,1% SO_3)
- ✓ **CEM I SP** (0.9% C_3A et 1,1% SO_3)
- ✓ **CEM I ES** (3.4% C_3A et 1,9% SO_3) + **25% Cendres volantes**
- ✓ **CEM III/A** (59% de laitier de haut fourneau)
- ✓ **CEM III/C** (82% de laitier de haut fourneau)
- ✓ **CSS (ciment sursulfaté)**
 - ✓ 80% de laitier de haut fourneau
 - ✓ 20% de sulfate de calcium
 - ✓ 5% de clinker



Programme expérimental

3 sables

- ✓ **Sable LTF** (3,5 % SO_3 et 4,8 % de CaCO_3)
- ✓ **Sable calcaire** (ajout de 3,5 % SO_3 et 68 % de CaCO_3)
- ✓ **Sable siliceux** (ajout de 3,5 % SO_3 et 97 % de SiO_2)

Fabrication des mortiers (4*4*16 cm)

- ✓ Ciment: 1
- ✓ Sable: 3
- ✓ Eau/Ciment: 0.5

Conditions de conservation

- ✓ Eau
- ✓ 20° C pour la formation de l'ettringite
- ✓ 5° C pour la formation de la thaumasite

Méthode de suivi

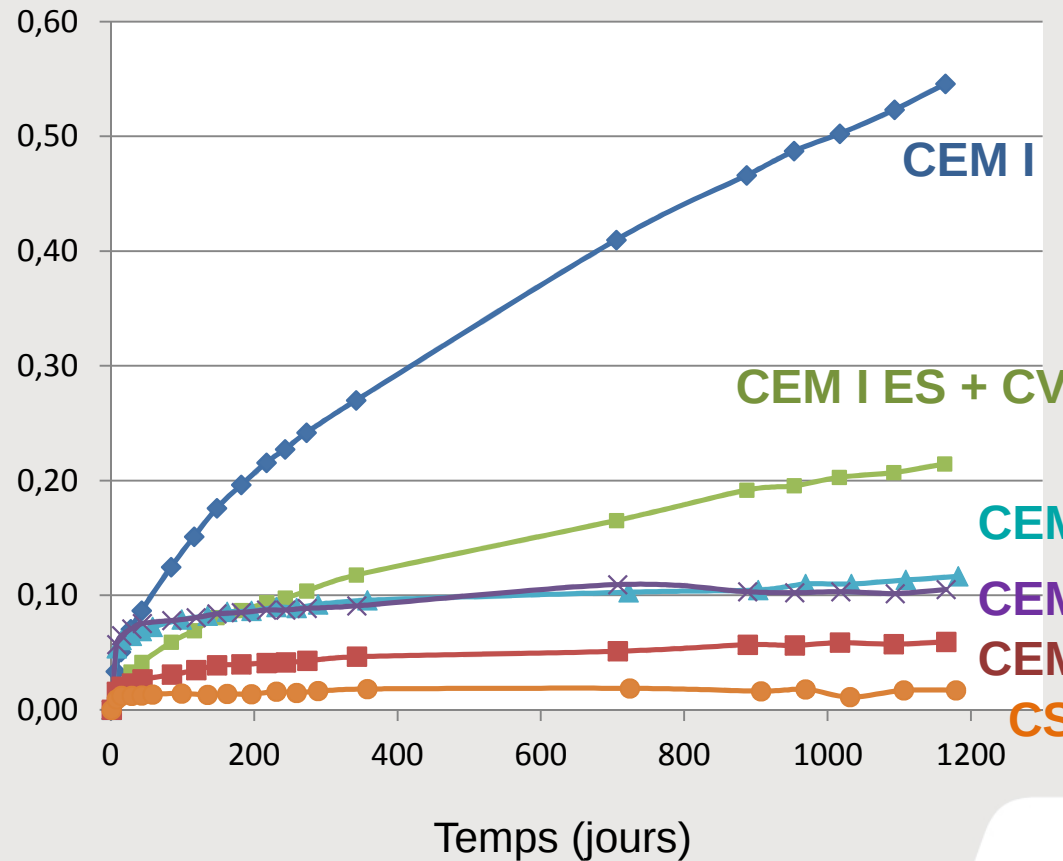
Expansion



Réactivité des liants / formation ettringite

Sable LTF :
20° C

Expansion (%)



Gonflements importants

Gonflements rapides au jeune âge

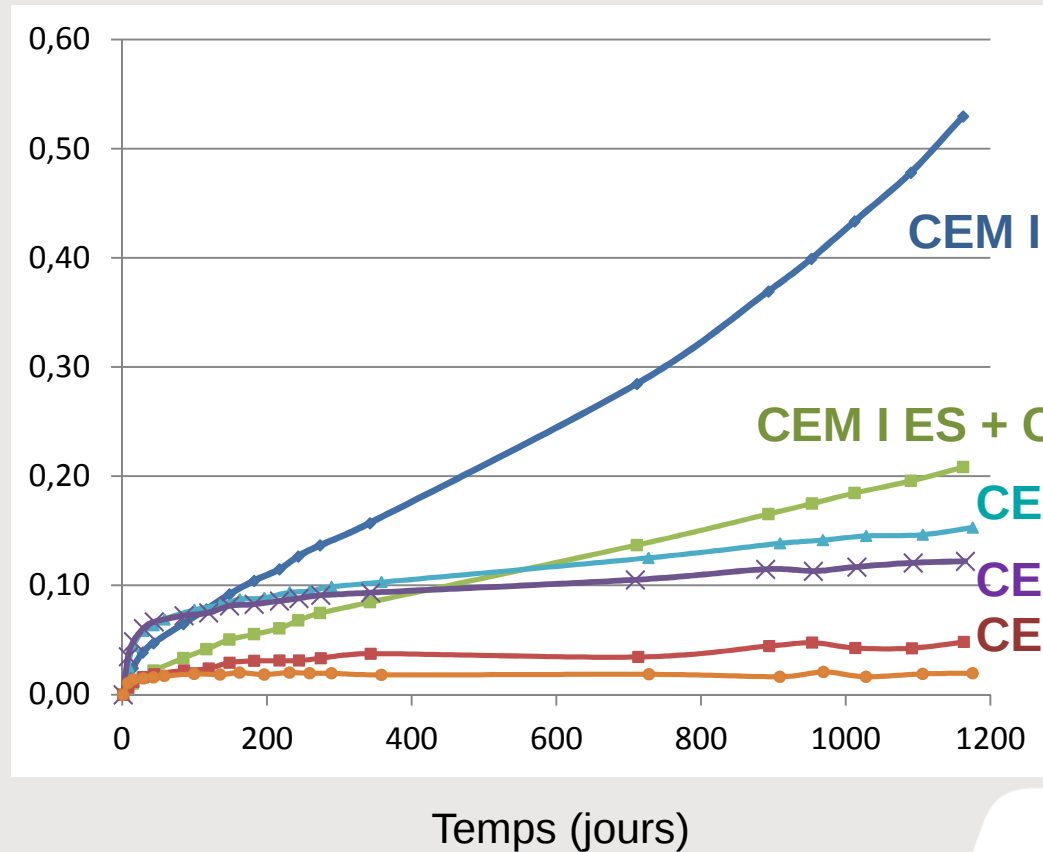
Gonflements < 0,06%



Réactivité des liants / formation thaumasite

Sable LTF : 5° C

Expansion (%)



Gonflements importants

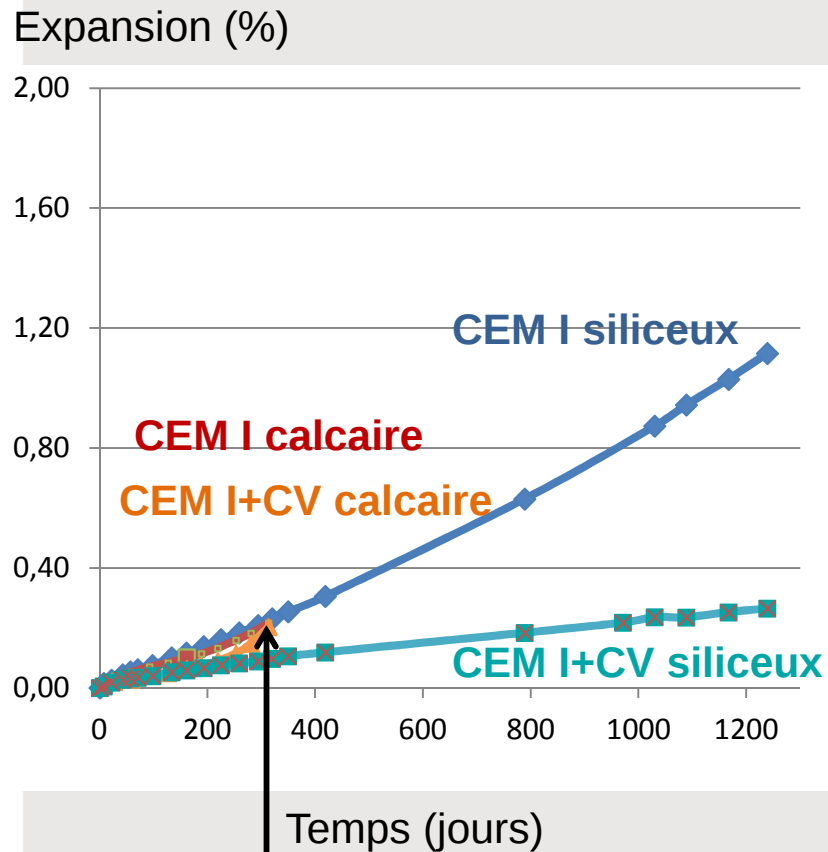
Gonflements rapides au jeune âge

Gonflements < 0,06%

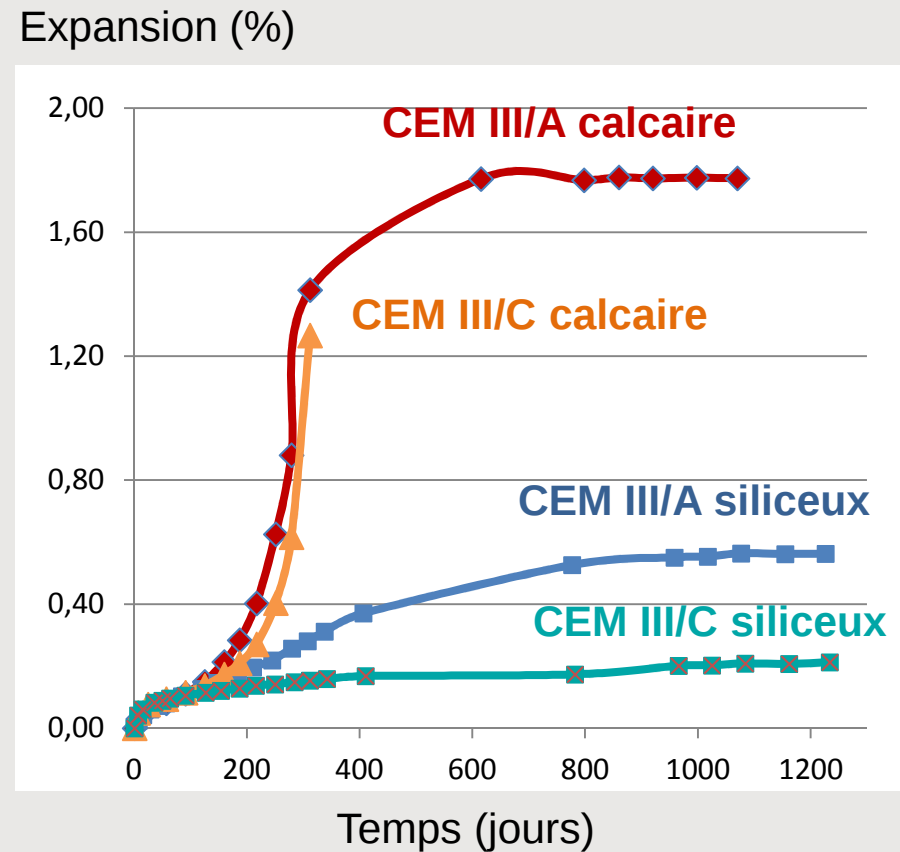


Réactivité des liants / formation thaumasite

Sables calcaire et siliceux : 5° C



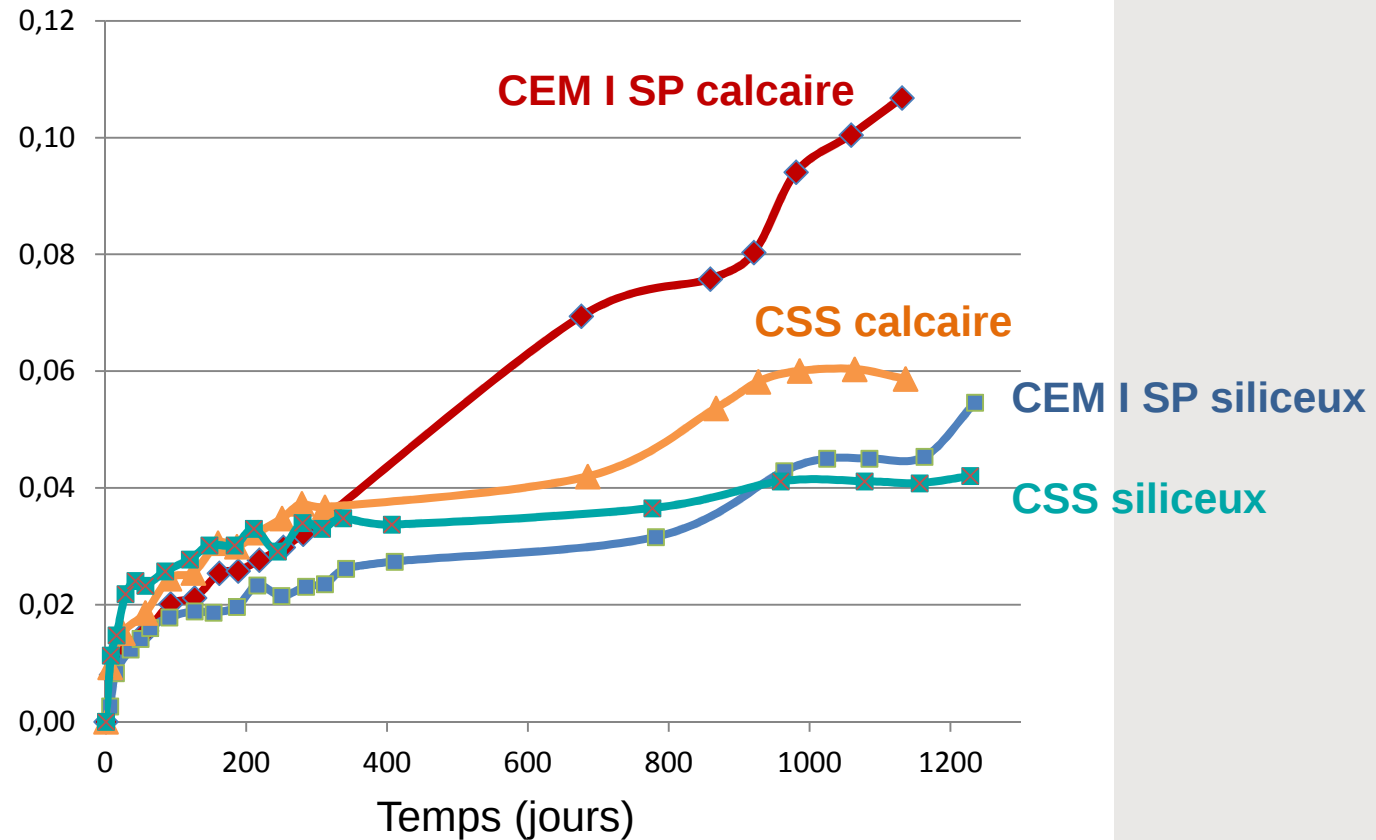
Décohésion des éprouvettes



Réactivité des liants / formation thaumasite

Sables calcaire et siliceux : 5° C

Expansion (%)



Réactivité des liants/formation thaumasite

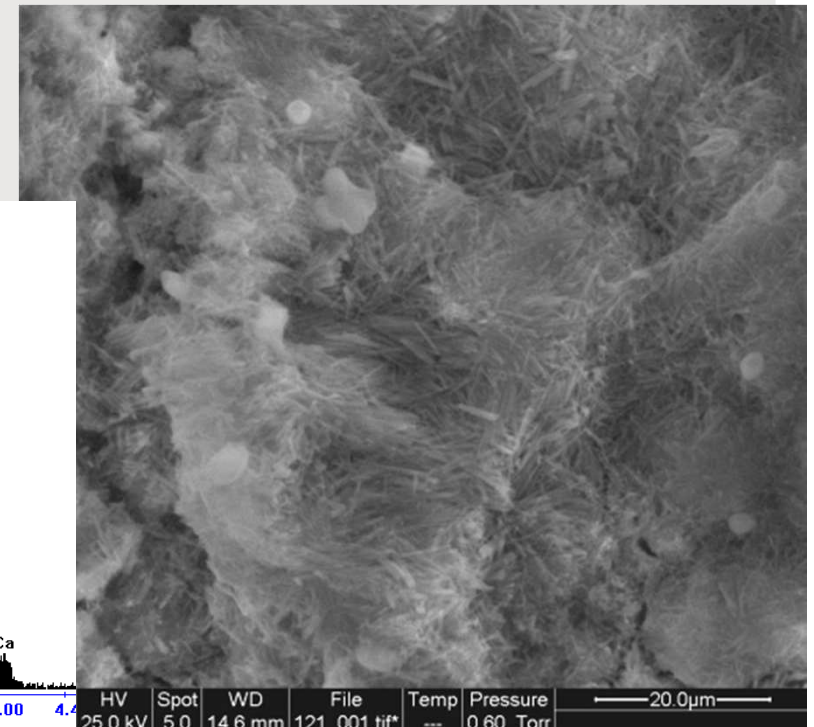
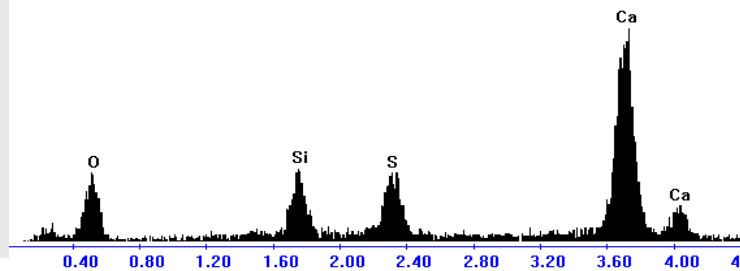


CEM III/C

5° C

Sable calcaire
enrichi en SO_3

Label Spectre X de la thaumasite



Conclusion

- ✓ **Le risque de formation de thaumasite doit être évalué** avant d'envisager une valorisation de granulats ne respectant pas les seuils en SO_3 (matériaux d'excavation, de démolition, ...)
 - Rôle des carbonates
 - Ciments SR ou ES parfois non adaptés si présence de carbonates
- ✓ **L'accessibilité des sulfates et le pH du milieu ont un impact sur la cinétique et la quantité de SO_3 mobilisables**
 - ✓ Cinétique rapide néfaste pour les ciments au laitier
- ✓ **Solution novatrice pour valoriser ces matériaux**
 - ➔ **emploi de ciments adaptés**
 - ✓ CEM I SR0 ($\text{C}_3\text{A} = 0$, faibles teneurs en sulfates et alcalins) si risque de formation de thaumasite limité
 - ✓ Ciment sursulfaté (activation sulfatique du laitier)



Merci pour votre attention

Remerciements :

LTF pour le support financier

LTF, HOLCIM, VICAT et J. Burdin pour leur collaboration

