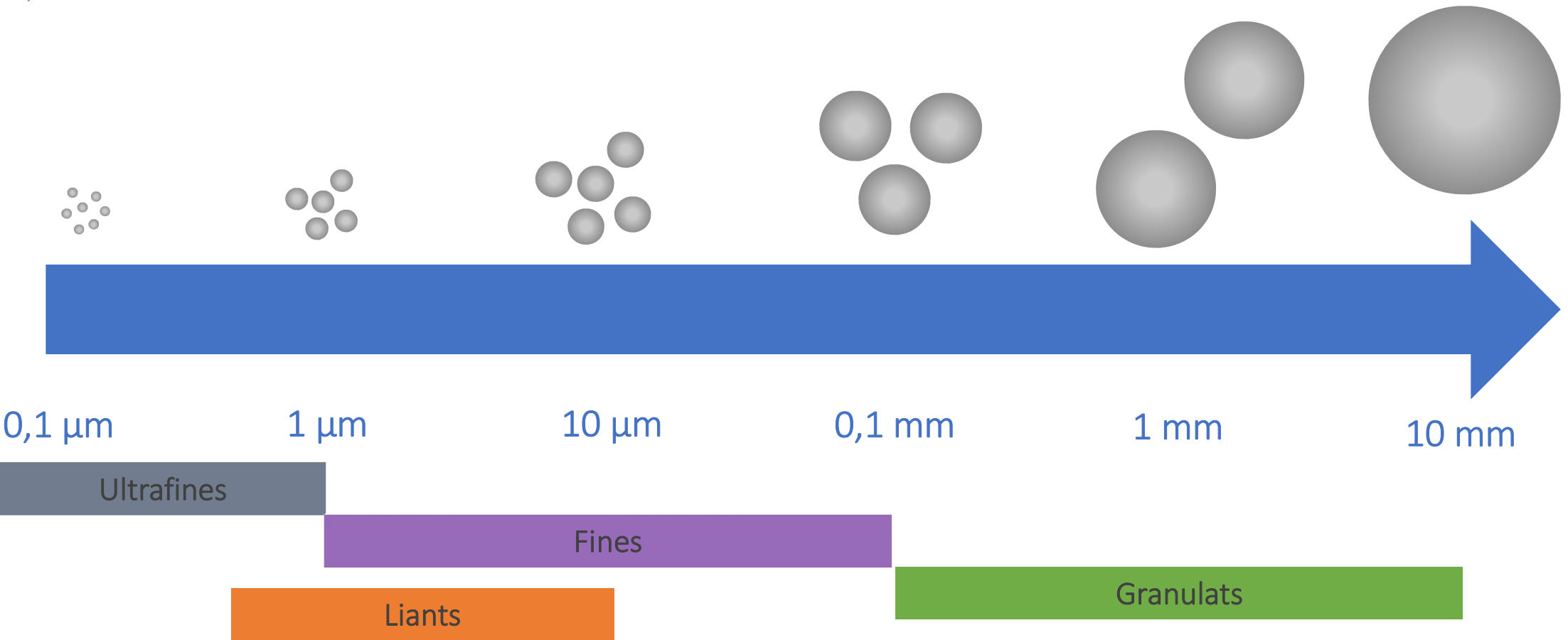


Les bétons réfractaires « zero ciment », applications et perspectives

Sandra Abdelouhab

LES BETONS REFRACTAIRES – GENERALITES



LES BETONS REFRACTAIRES – LES LIANTS

Hydraulique

- Ciments d'aluminate de calcium (CAC)
- L'alumine hydratante (AH)

Coagulation Gélification

- Silice colloïdale (SC)
- Alumine colloïdale (AC)

Chimique

- Silicate de soude ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$)
- Acide phosphorique, phosphates

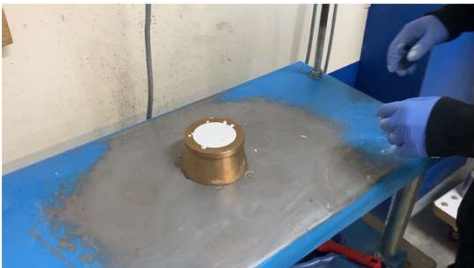
Résineux

- Résines phénoliques

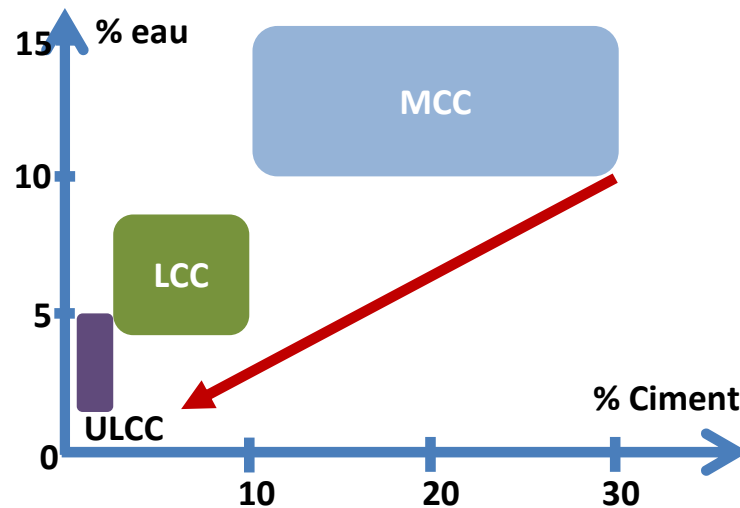
LES BETONS REFRACTAIRES LIES CIMENT D'ALUMINATE DE CALCIUM

Avantages

- Propriétés rhéologiques à l'état frais (ouvrabilité/maniabilité)



- Tenue mécanique après la prise



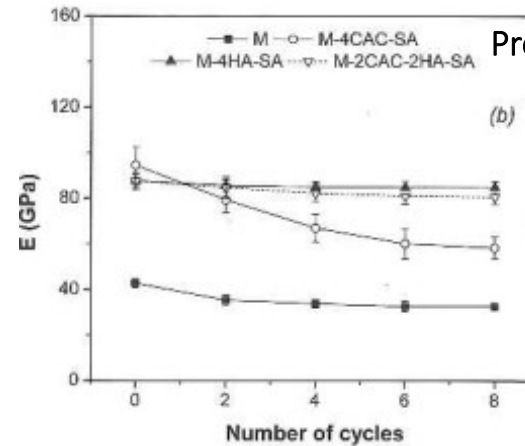
Inconvénients

- Formation de composés (anorthite $CaSi_2$ ou la gehlenite C_2AS) à bas point de fusion avec la micro-silice
- $C + 2A \rightarrow CA_2$ } avec expansion
- $C + 6A \rightarrow CA_6$ } volumique générant des fissures
- Etape de séchage longue et coûteuse

LES BETONS REFRACTAIRES LIES ALUMINE HYDRATABLE (ZCC)

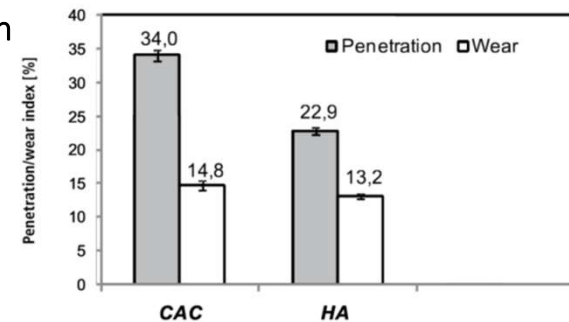
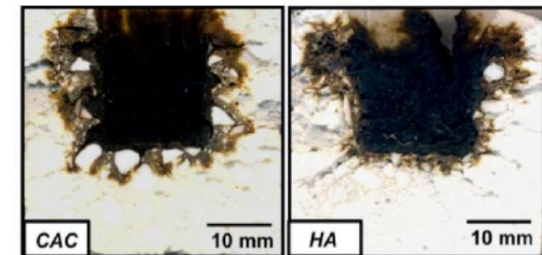
Avantages

- Réfractarité des bétons liés AH > réfractarité des bétons liés CAC pour les systèmes sans silice (fluage et HMOR)
- Bonne résistance aux chocs thermiques
- Bonne résistance à la corrosion
- Stabilité volumique en température dû à l'absence de formation des phases CA2 et CA6 générées in-situ pour les bétons liés CAC



Précuit à 800 °C /5h - $\Delta T = 800$ °C

Béton alumine-spinelle – précuit à 1500 °C – 5h – Test de corrosion avec du laitier de poche à acier à 1500 °C – 2 h sous air<

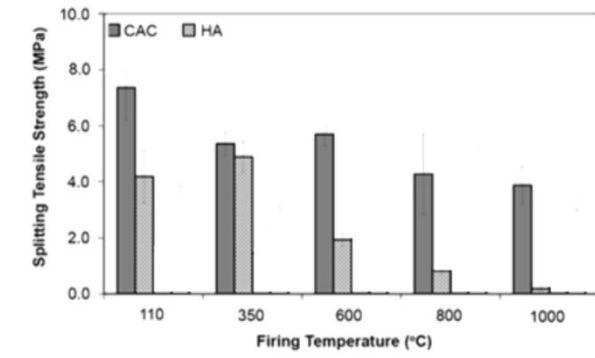
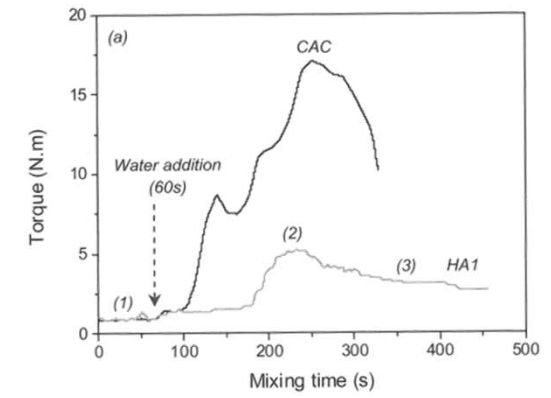
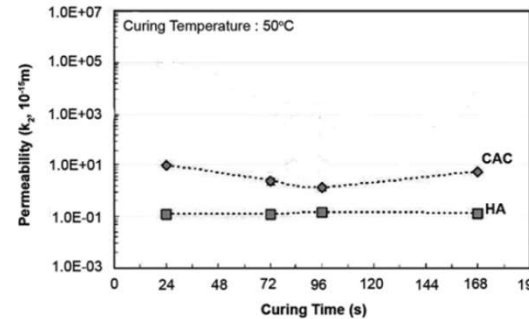


* A.P. Luz, A.B Silva Neto, T. Santos Jr., J. Medeiros, V.C. Pandolfelli, High-performance nanobonded castables for petrochemical applications, Refractories World Forum, 4 [3], (2012), pp. 111 - 116
 * E.Y. Sako, M.A.L. Brulio, E. Zinggrebe, S. Van der Laan, V.C. Pandolfelli, Improved corrosion resistance of alumina-spinel castable by colloidal alumina addition, In Proceedings of the UNITECR 2011, Kyoto, Japan, pp. 1-4

LES BETONS REFRACTAIRES LIES ALUMINE HYDRATABLE (ZCC)

Inconvénients

- Risque de demande en eau élevée, temps de mélange plus long et ouvrabilité courte → utilisation pour la réalisation de pièces de forme
- Résistance à l'explosion lors du séchage plus faible que les bétons liés CAC en raison d'une perméabilité plus faible
- Faible résistance mécanique à cru et baisse de la résistance mécanique entre 300 °C et 1000 °C (absence de liaison hydraulique et céramique)

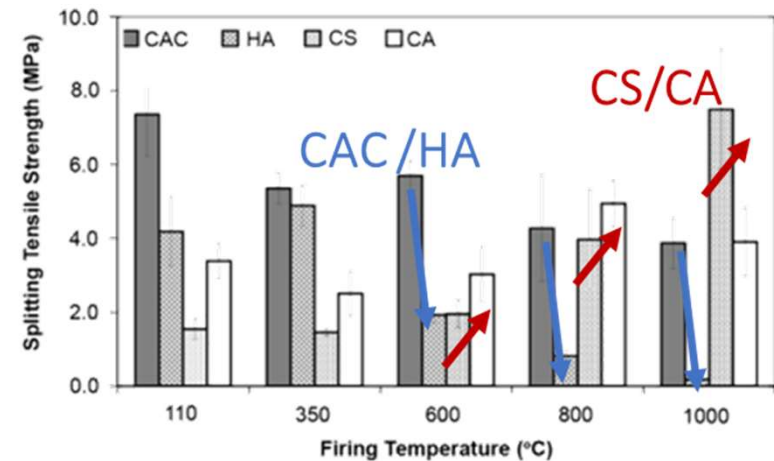
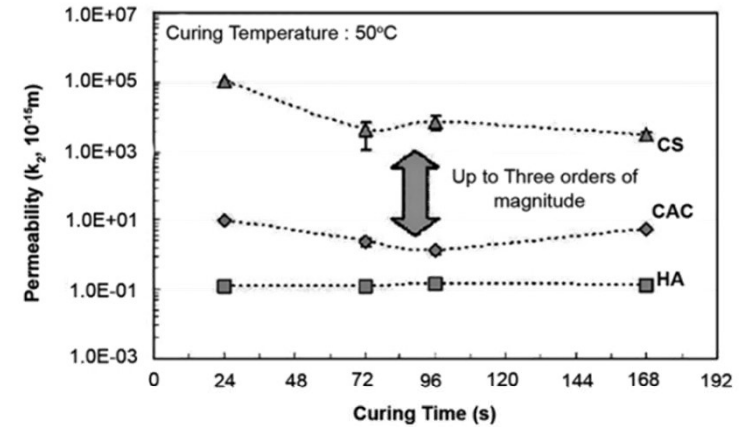


* R. Salomao, M.R. Ismael, V.C. Pandolfelli, Hydraulic binders for refractory castables: mixing, curing and drying, *Ceramics Forum International*, 84 (2007), E103-E108
 * M.R. Ismael, R.D. Anjos, R. Salomao, V.C. Pandolfelli, Colloidal silica as a nanostructured binder for refractory castables, *Refractories Applications and News*, 11 [4], (2006), pp. 16-20
 * M.A.L. Braulio, C. Tontrup, J. Medeiros, V.C. Pandolfelli, Colloidal alumina as a refractory binder, In *Proceedings of 35th Alafar Congress*, Lima, Peru, (2010), pp. 1-10

LES BETONS REFRACTAIRES A LIAISON COLLOIDAL(ZCC)

Avantages

- Perméabilité plus élevées → étape de séchage plus rapide que les bétons liés CAC ou HA
- Stabilisation voire augmentation des propriétés mécaniques dans la gamme de température 600 – 1000°C tandis qu'elles décroissent pour les bétons liés CAC et HA



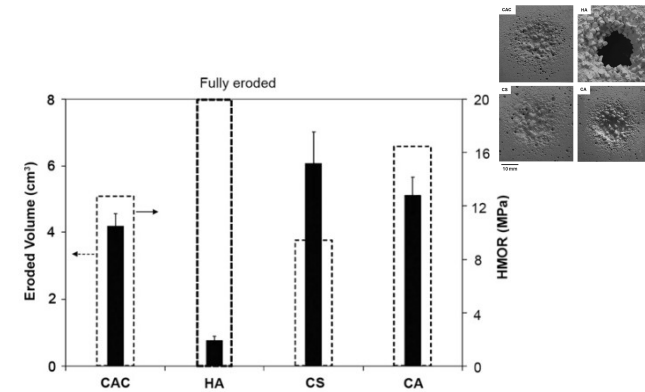
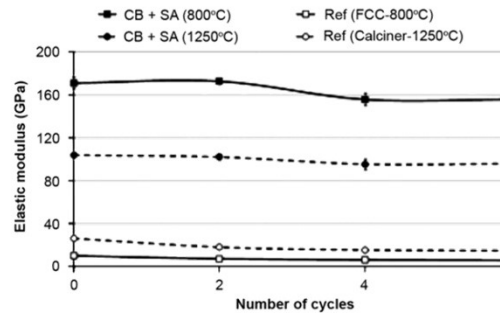
* M.R. Ismael, R.D. Anjos, R. Salomao, V.C. Pandolfelli, Colloidal silica as a nanostructured binder for refractory castables, Refractories Applications and News, 11 [4], (2006), pp. 16-20

* M.A.L. Braulio, C. Tontrup, J. Medeiros, V.C. Pandolfelli, Colloidal alumina as a refractory binder, In Proceedings of 35th Alafar Congress, Lima, Peru, (2010), pp. 1-10

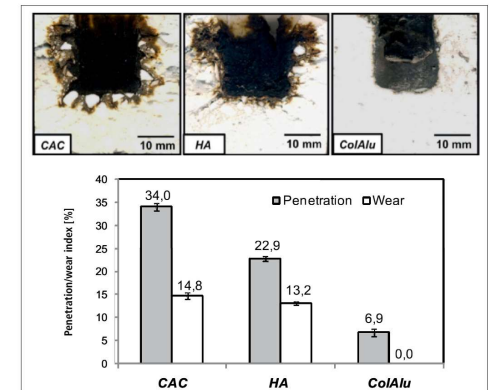
LES BETONS REFRACTAIRES A LIAISON COLLOIDAL(ZCC)

Avantages

- Résistance thermo-mécanique améliorée en comparaison des bétons liés CAC ou HA telles que la résistance aux chocs thermiques ou encore à la corrosion



Béton alumine-spinelle – précuit à 1500 °C – 5h – Test de corrosion avec du laitier de poche à acier à 1500 °C – 2 h sous air



- Résistance à la corrosion améliorée

* M.A.L. Braulio, G.G. Morbioli, J. Medeiros, J.B. Gallo, V.C. Pandolfelli, Nano-bonded wide temperature range designed refractory castables, Journal of the American Ceramic Society, 95 (30), (2012), pp. 1100 - 1104

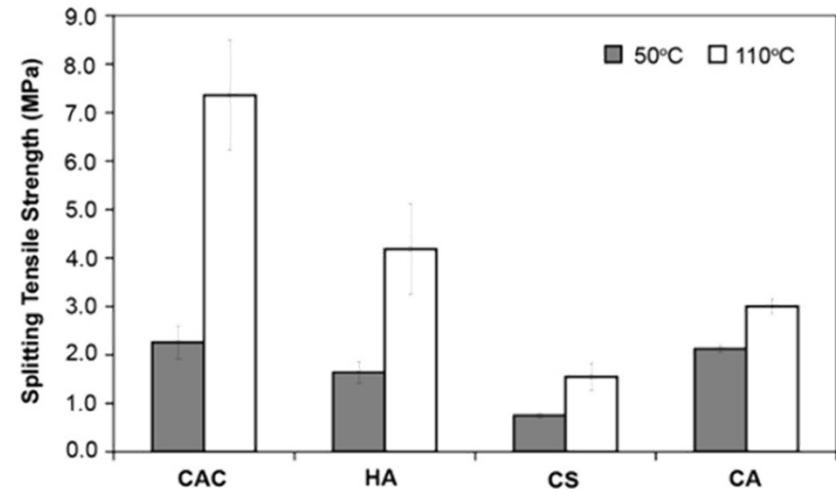
* M.A.L. Braulio, C. Tontrup, J. Medeiros, V.C. Pandolfelli, Colloidal alumina as a refractory binder, In Proceedings of 35th Alafar Congress, Lima, Peru, (2010), pp. 1-10

* E.Y. Sako, M.A.L. Braulio, E. Zinggrebe, S. Van der Laan, V.C. Pandolfelli, Improved corrosion resistance of alumina-spinel castable by colloidal alumina addition, In Proceedings of the UNITECR 2011, Kyoto, Japan, pp. 1-4

LES BETONS REFRACTAIRES A LIAISON COLLOIDAL(ZCC)

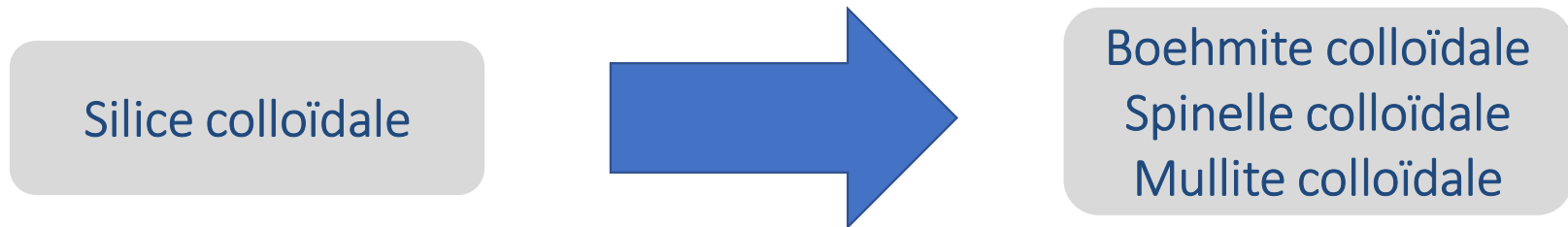
Inconvénients

- Temps prise long
- Faibles performances mécaniques à cru
- Dans le cas des bétons liés silice colloïdal (SC), la présence de silice amorphe libre dans des environnements basiques peut conduire à l'apparition de phases visqueuses ou liquides et ainsi diminuer la réfractarité



* M.A.L. Braulio, C. Tontrup, J. Medeiros, V.C. Pandolfelli, Colloidal alumina as a refractory binder, in: Proceedings of 35th Alafar congress, Lima, Peru (2010) pp. 10

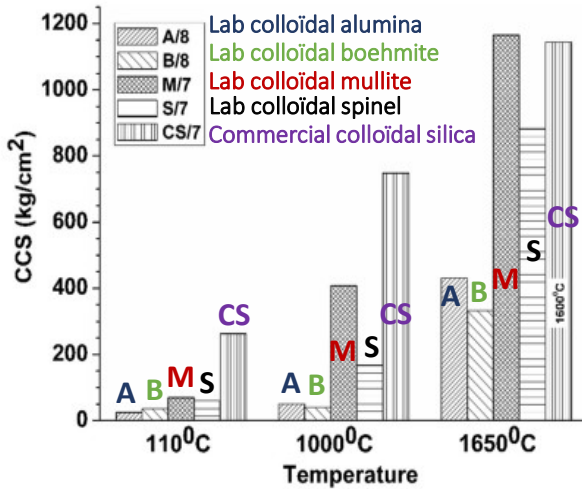
LES BETONS REFRACTAIRES A LIAISON COLLOIDAL(ZCC)



Bétons liés avec	Teneur solide
Suspensions colloïdales commerciales	30 pds% à 60 pds%
Suspensions synthétisées en laboratoire par voie sol-gel	<10 pds%

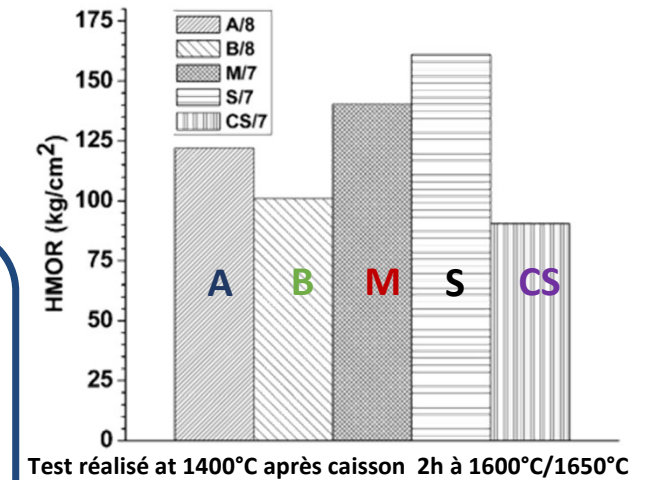
LES BETONS REFRACTAIRES A LIAISON COLLOIDAL(ZCC)

Inconvénients



Amélioration des propriétés mécaniques à cru et des performances à haute température en augmentant la teneur solide dans le sol de départ

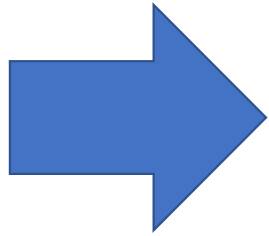
Avantages



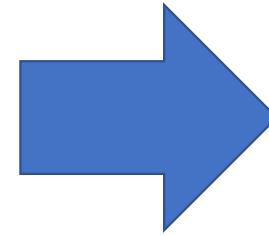


DEVELOPPEMENT DE SOLS ALTERNATIFS A HAUTE TENEUR SOLIDE PAR VOIE DE BROYAGE

Poudre de boehmite
Granulométrie max ~
100 μm

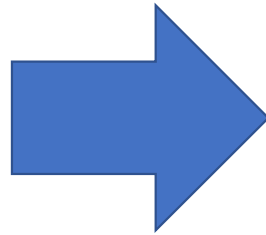


Broyage à haute
énergie par vibration
48 h



Broyage par attrition

Poudre de spinelle
Granulométrie max ~
10 μm



Broyage par attrition

Stabilisation de suspensions de boehmite et de spinelle avec une teneur en poids solide de 30%, typiquement la teneur en poids solide d'une suspension commerciale de silice colloïdale

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Conclusions

	Propriétés rhéologiques à l'état frais	Performances mécaniques à cru	Résistance à l'explosion (séchage)	Propriétés thermomécaniques	Résistance à la corrosion
CAC	✓	✓	✗	✗ >1400°C	✗ >1400°C
AH	✗	✗	✗	✓ >1000 °C	✓ >1000 °C
LC	✗ ✓	✗	✓	✓	✓

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Perspectives

Développement de bétons ZCC à liaison colloïdale avec des sols alternatifs (mullite/spinelle)

Amélioration des performances à l'état cru

Poursuite des travaux sur les propriétés d'ouvrabilité, de prise, de résistance à l'explosion et des performances en température

Merci pour votre attention ! Questions ?



Cathy Delmotte

Charlotte Lang

Véronique Vandeneede

Maigane Bouillon

Nathalie Derveau



Erwan Brochen

Christian Dannert



Michael Theisen

Luis Ibarra

Olaf Krause



Belgian Ceramic Research Centre (BCRC)
Avenue Gouverneur Cornez, 4 – B-7000 Mons, BELGIUM
Tel: +32 (0) 65 40 34 34 – Fax: +32 (0) 65 40 34 60
www.bcrc.be