



INTERETS DE L'UTILISATION DES GRANULATS DE LAITIER D'ACIERIE ELECTRIQUE INOX DANS LE BETON

Expérimentations menées au L2MGC sur les granulats de laitier d'Ugitech SA

Gildas ADEGOLOYE, Anne-Lise BEAUCOUR
Sophie ORTOLA, Albert NOUMOWE

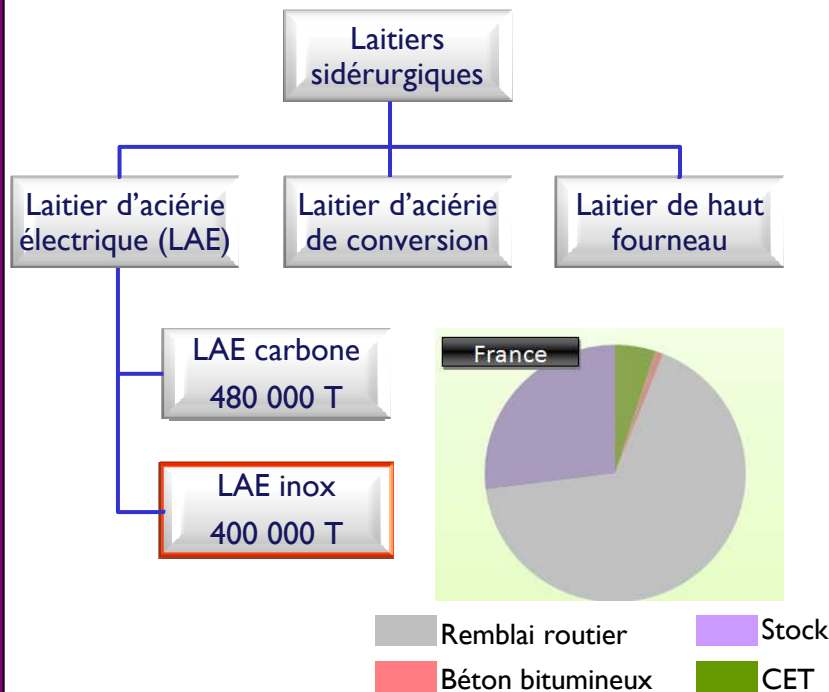


SOMMAIRE

- ❑ CONTEXTE ET OBJECTIF
- ❑ LES LAITIERS D'ACIERIE ELECTRIQUE INOX
- ❑ BETONS DE GRANULATS DE L.A.E INOX
- ❑ CONCLUSIONS



✓ Contexte et objectif



Pour l'industrie sidérurgique

- Coût élevé de traitement et de stockage
- Problème environnemental

Pour le domaine de la construction

- Développement durable : préservation des ressources en granulats naturels
- Economie du coût de la construction (ressources locales)

Objectif :

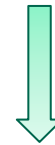
Valorisation des granulats de laitier d'aciérie inox dans le béton



✓ Démarche expérimentale

Caractérisation des granulats de laitier LAE inox (conformité à la norme EN 12620)

- Densité, porosité, résistance à la fragmentation
- Analyse chimique, minéralogie (DRX, MEB + EDS)



Bétons ordinaire et à hautes performances

Taux de substitution des granulats silico-calcaires par des granulats de laitier (0%, 50% et 100%)

Performances mécaniques

Résistances à la rupture, module d'Young (28, 90 et 365 jours)

Facteurs de durabilité

Porosité à l'eau, perméabilité au gaz, stabilité dimensionnelle



✓ Propriétés physiques



Laitier EAF inox
Couleur gris foncé

| Granulat | Densité réelle | Porosité (%) | Los Angeles (%) |
|-----------------------|----------------|--------------|-----------------|
| Silico-calcaire | 2,46 | 4,2 | 30 |
| Laitier EAF | 2,79 | 7,2 | 23 |
| Laitier AOD stabilisé | 2,83 | 8,4 | 16 |

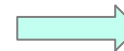
Granulats denses et résistants à la fragmentation mais un peu plus poreux



Laitier AOD stabilisé
Couleur vert claire

✓ Composition chimique

| Éléments | Laitier EAF | Laitier AOD |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| CaO (%) | 41,7 | 58,4 |
| SiO ₂ (%) | 34,7 | 26,4 |
| MgO (%) | 9,1 | 2,1 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 6,3 | 2,1 |



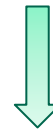
Indice de basicité

- Laitier EAF inox : 1,3
- Laitier AOD stabilisé : 2,3



✓ Composition chimique (suite)

| Eléments | Granulat de laitier EAF inox | Granulat de laitier AOD stabilisé | Recommandations EN 12620 |
|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Chlorure soluble dans l'eau (%) | 0,0005 | 0,0020 | ≤ 0,01 |
| Soufre total (%) | 0,26 | 0,18 | ≤ 1 |
| Sulfates solubles dans l'acide (%) | 0,02 | 0,21 | ≤ 0,8 |
| CaO libre (%) | 0,07 | 0,07 | - |

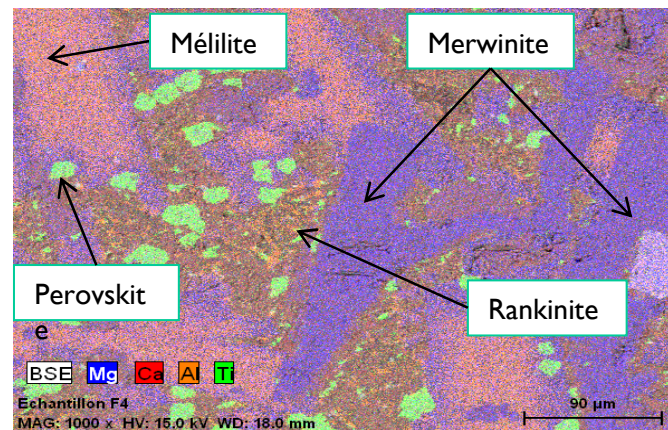


- Pas de perturbation de la prise et risque limité de corrosion des armatures
- Risque limité de détérioration des parements de béton (taches de rouille ou éclatement superficiel)
- Risque limité de gonflement lié à la formation d'ettringite ou à l'hydratation de la chaux
- CaO libre (EAF et AOD) < CaO libre LAC (4 à 10%)

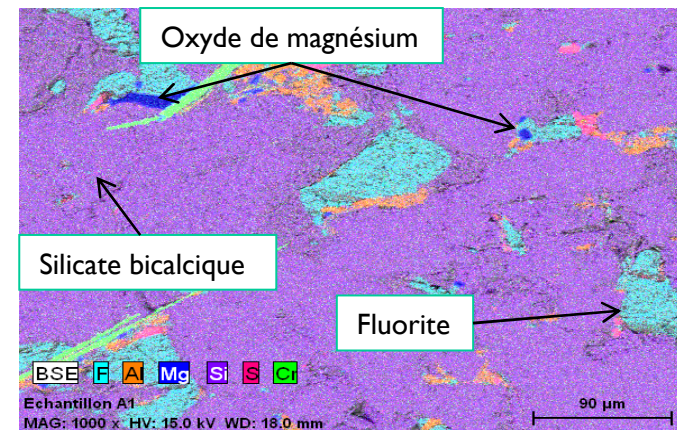


✓ Composition minéralogique

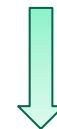
Objectif : Recherche d'éventuelles phases minérales instables : Silicate bicalcique γ , CaO libre et MgO libre



Cartographie MEB-EDS du laitier EAF Inox



Cartographie MEB-EDS du laitier AOD



- CaO libre ni détecté en DRX ni par l'étude au MEB-EDX
- MgO libre (Periclase) non observé dans les EAF inox et en proportion minoritaire dans les AOD
- Silicate bicalcique présent dans les AOD stabilisé mais pas sous sa forme gamma (DRX)



✓ Formulation des bétons

| | BHP | BO |
|---------------------------------------|------------|-----------|
| E/C | 0,3 | 0,55 |
| CEM I 52,5 (kg/m ³) | 500 | 370 |
| Granulat 4/20 (kg/m ³) | 1053 | 1048 |
| Granulat 0/4 (kg/m ³) | 650 | 700 |
| Eau (kg/m ³) | 150 | 204 |
| Superplastifiant (kg/m ³) | 3,7 | 0 |
| Consistance | Classe S4 | Classe S4 |

- Taux de substitution des granulats silico-calcaires par des granulats de laitier (0%, 50% et 100%)

- Volume constant des gros granulats

- Type de granulats de laitier : EAF, AOD, AOD stabilisé et mélange (EAF + AOD)

Intérêts BHP

- Meilleure résistance mécanique de la matrice cimentaire
- Faciès de rupture trans-granulaires
- Mis en évidence du rôle des granulats

Intérêts BO

- Comparaison avec les bétons courants
- Confirmer ou infirmer les résultats des BHP



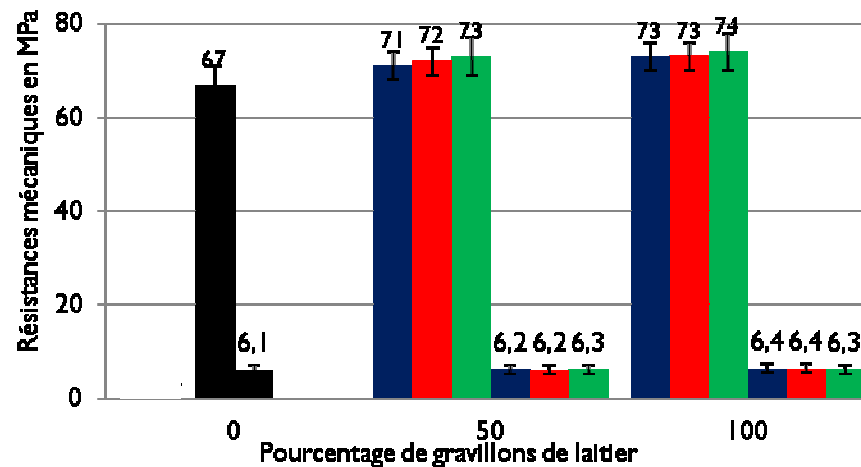
Essai de Compression

✓ Résistances à la compression et à la traction à 28 jours

- Normes NF EN 12390-2 et NF EN 12390-3
- 6 éprouvettes 16x32 cm par formulation étudiée
- Taux de chargement 0,5 MPa/s



Essai de traction
par fendage



- Béton de granulats de laitier EAF inox
- Béton de granulats de laitier AOD stabilisé
- Béton de granulats de laitier EAF inox + AOD stabilisé
- Béton de granulats silico-calcaire



Meilleures résistances pour les bétons de granulats de LAE inox :

- Résistance des granulats de laitier (LA ≤ 25)
- Surface rugueuse et poreuse des granulats de laitier

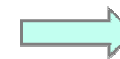
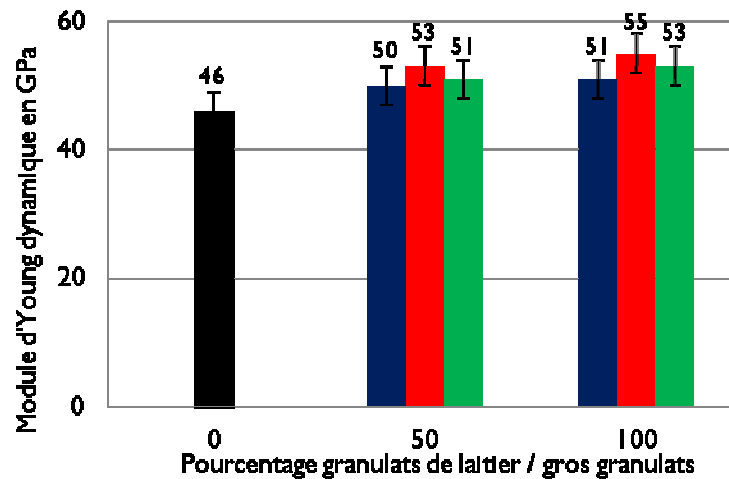


✓ Module d'Young à 28 jours

- 3 disques 5x15 cm par formulation et par âge
- Etuvage des disques à 80°C pendant 30 jours
- Impulsion vibratoire (temps de propagation)



Mesures ultrasoniques



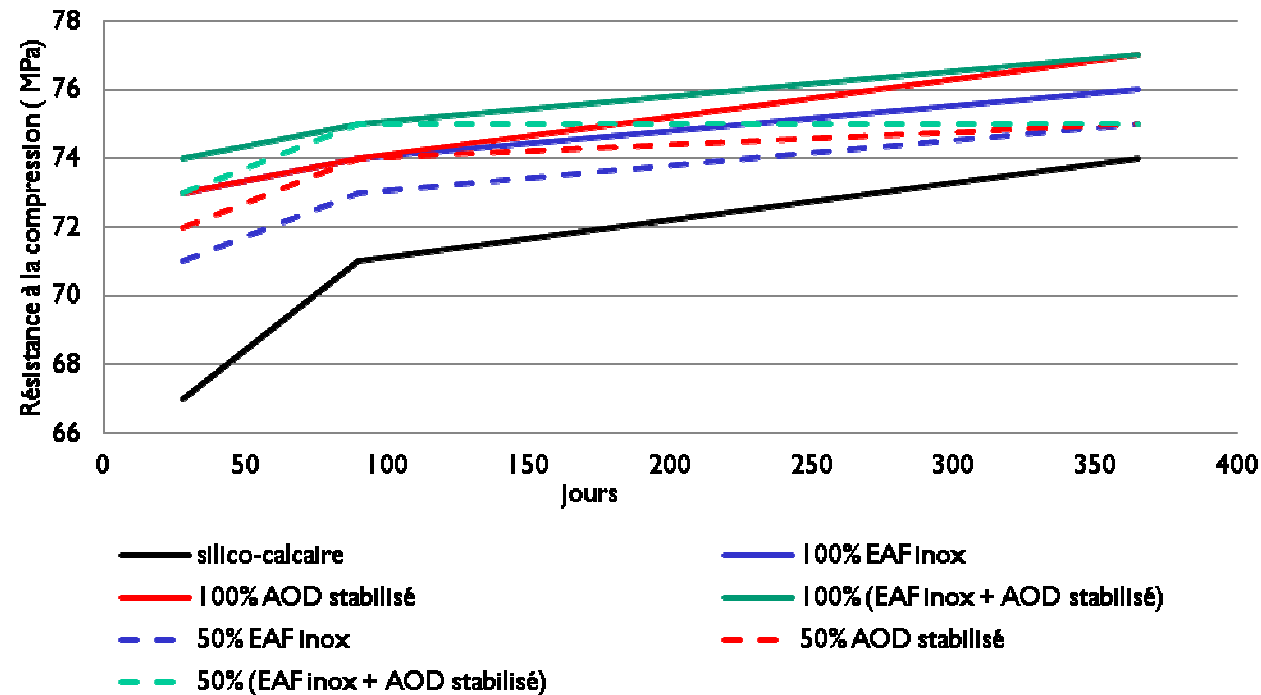
Les bétons de granulats de laitier sont plus rigides que les bétons de granulats silico-calcaires

- Gain de 10% pour les bétons de granulats 100% laitier EAF
- Gain de 20% pour les bétons de granulats 100 % laitier AOD

- Béton de granulat de laitier EAF inox
- Béton de granulat de laitier AOD stabilisé
- Béton de granulat EAF inox + AOD stabilisé
- Béton de granulat silico-calcaire



✓ Conservation dans le temps des résistances mécaniques



- Amélioration dans le temps des résistances à la compression de tous les bétons
- Augmentation des résistances de 10 % pour les BHP de granulats silico-calcaires, 4 à 5 % pour les BHP de granulats de LAE inox entre 28 et 365 jours



✓ Indicateurs de durabilité

Porosité à l'eau

- Norme NF EN 12390-7
- 9 échantillons par formulation
- Saturation à l'eau pendant 24 heures
- Etuvage jusqu'à masse constante

| BHP de granulats : | | Silico-calcaire | Laitier EAF inox | | Laitier AOD stabilisé | | Laitier EAF inox + AOD stabilisé | |
|--|------------|-----------------|------------------|------|-----------------------|------|----------------------------------|------|
| Pourcentage volumique de granulat de laitier | | 0% | 50% | 100% | 50% | 100% | 50% | 100% |
| Porosité (%) | Moyenne | 9,9 | 10,9 | 12,4 | 11,1 | 12,1 | 11,1 | 12,4 |
| | Écart-type | 0,52 | 0,71 | 0,29 | 0,47 | 0,38 | 0,67 | 0,63 |

- Porosité supérieure à celle des bétons de granulats silico-calcaires
- Porosité convenant pour classes d'environnement courantes
- Porosité intéressante vis-à-vis des propriétés thermiques



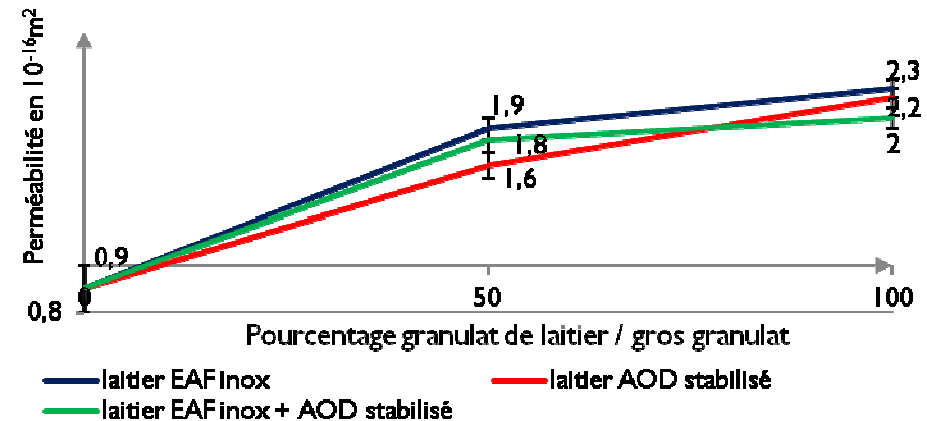
✓ Indicateurs de durabilité (Suite)



Mesure de perméabilité

Perméabilité au gaz

- Recommandations LCPC
- 3 disques 5 x 15 cm par formulation étudiée
- Etuvage à 80°C des disques pendant 30 jours
- Injection d'azote dans le disque et régime permanent



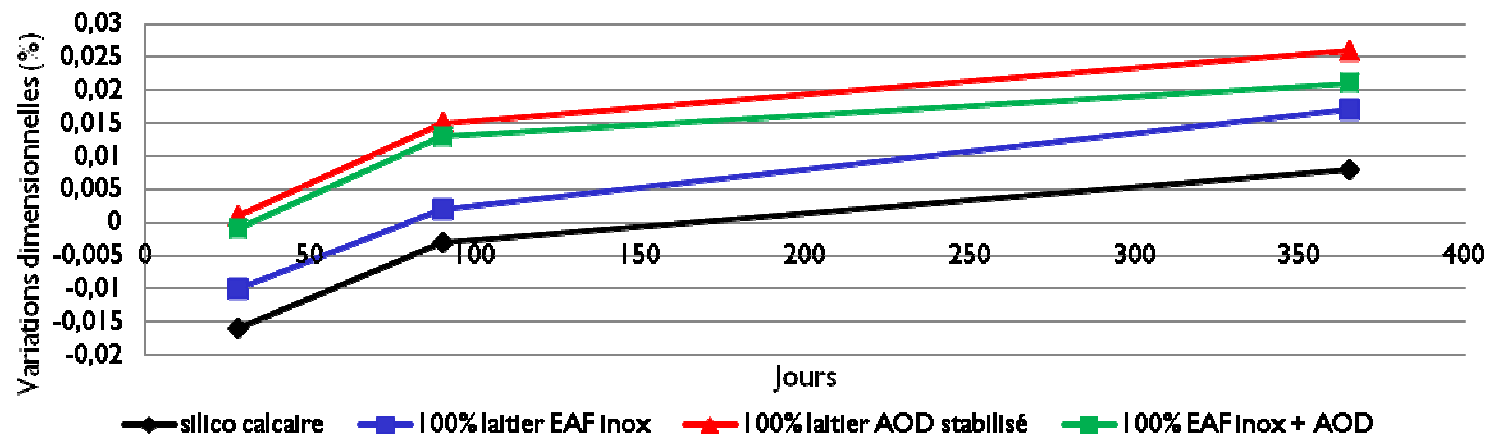
- Faible augmentation de la perméabilité au gaz avec le pourcentage de granulats de laitier
- Perméabilité convenant aux classes d'environnement courantes



Mesure de gonflement

✓ Stabilité dimensionnelle

- A partir de la norme NF P18-454
- 3 éprouvettes 7 x 7 x 28 cm conservées à l'eau
- 24 mesures par éprouvettes et par échéance



- Diminution (EAF) et suppression (AOD) du retrait à 28 jours
- Léger gonflement des bétons de granulats de laitier
- Variations dimensionnelles légèrement inférieures aux limites admissibles (FD P18-456)



Pour une valorisation des granulats de LAE inox dans le béton, les résultats sont très encourageants

- Augmentation de 5% des résistances à la compression des bétons de granulats de laitiers notamment pour les bétons de granulats 100 % laitier
- Augmentation du module d'élasticité des bétons de granulats de laitier: gain de 10% pour les laitiers de four et 20% pour les laitiers AOD.
- Valeurs de porosité et de perméabilité convenant aux classes d'environnement courantes
- Diminution du retrait avec l'augmentation de la fraction volumique de granulats de laitier substitués.
- Variations dimensionnelles des bétons de granulats de laitier AOD légèrement inférieures aux valeurs admissibles.
- Porosité intéressante pour les propriétés d'isolation de ce béton



Merci de votre attention

gildas.adegoloye@u-cergy.fr

