

INFLUENCE DE LA COMPOSITION CIMENTAIRE SUR LE DEGAGEMENT DE CHALEUR ET LES MONTEES EN RESISTANCES MECANIQUES

Laury Barnes Davin², Laetitia Bessette²

Agathe Bourchy¹, Jean Michel Torrenti¹

¹IFSTTAR, ²VICAT

**Institut français
des sciences et technologies
des transports, de l'aménagement
et des réseaux**

INFLUENCE DE LA COMPOSITION CIMENTAIRE SUR LE DEGAGEMENT DE CHALEUR ET LES MONTEES EN RESISTANCES MECANIQUES

15 mars 2017

Agathe Bouchy¹, Laury Barnes Davin²,
Laetitia Bessette², Jean Michel Torrenti¹

¹IFSTTAR, ²VICAT



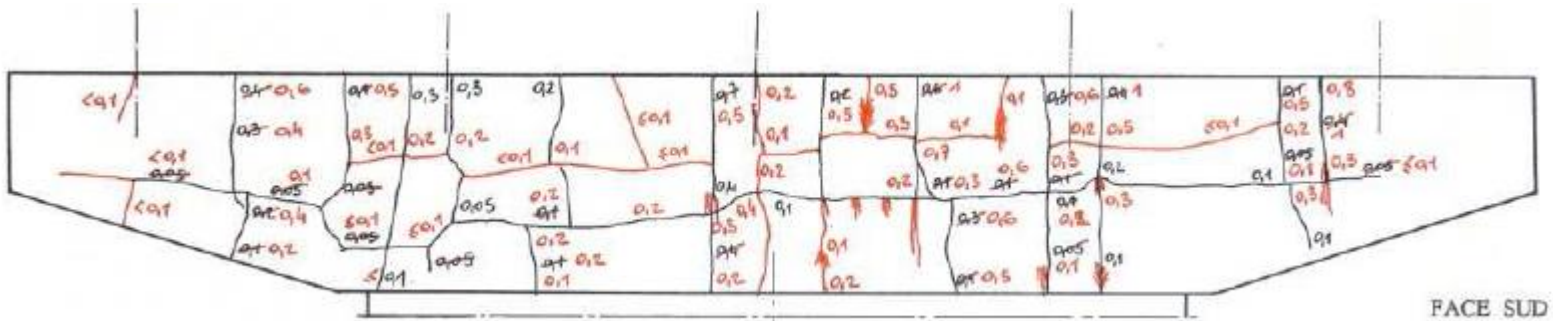
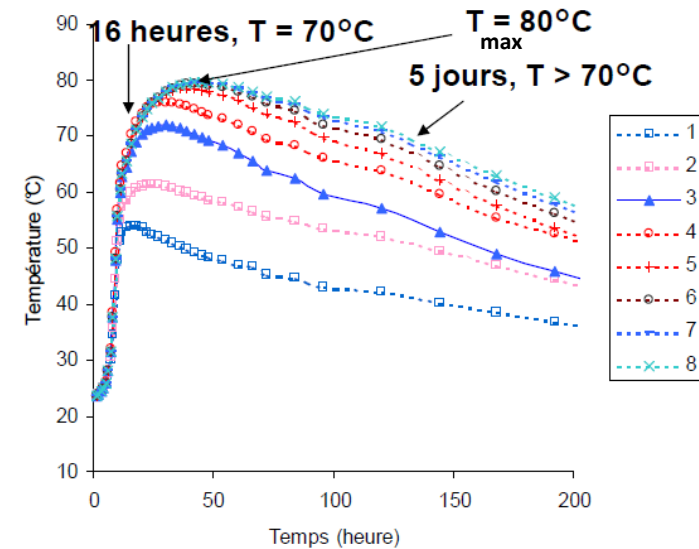
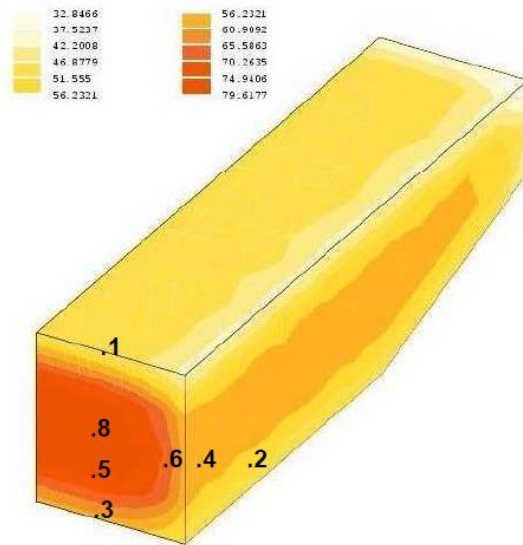
IFSTTAR

Introduction

- Durabilité des ouvrages en béton
 - Elévation de la température durant l'hydratation
 - Contraintes thermomécaniques → fissurations
 - Risque Réaction Sulfatique Interne (RSI)



Chevêtre du Viaduc de Lodève [Divet]



Introduction

- Recommandations RSI pour les pièces critiques
 - Utilisation de bétons à faible chaleur d'hydratation
- Réaction d'hydratation non terminée à 41 heures en particulier avec les ciments aux additions
 - Prise en compte des chaleurs à 120 h dans les nouvelles recommandations RSI

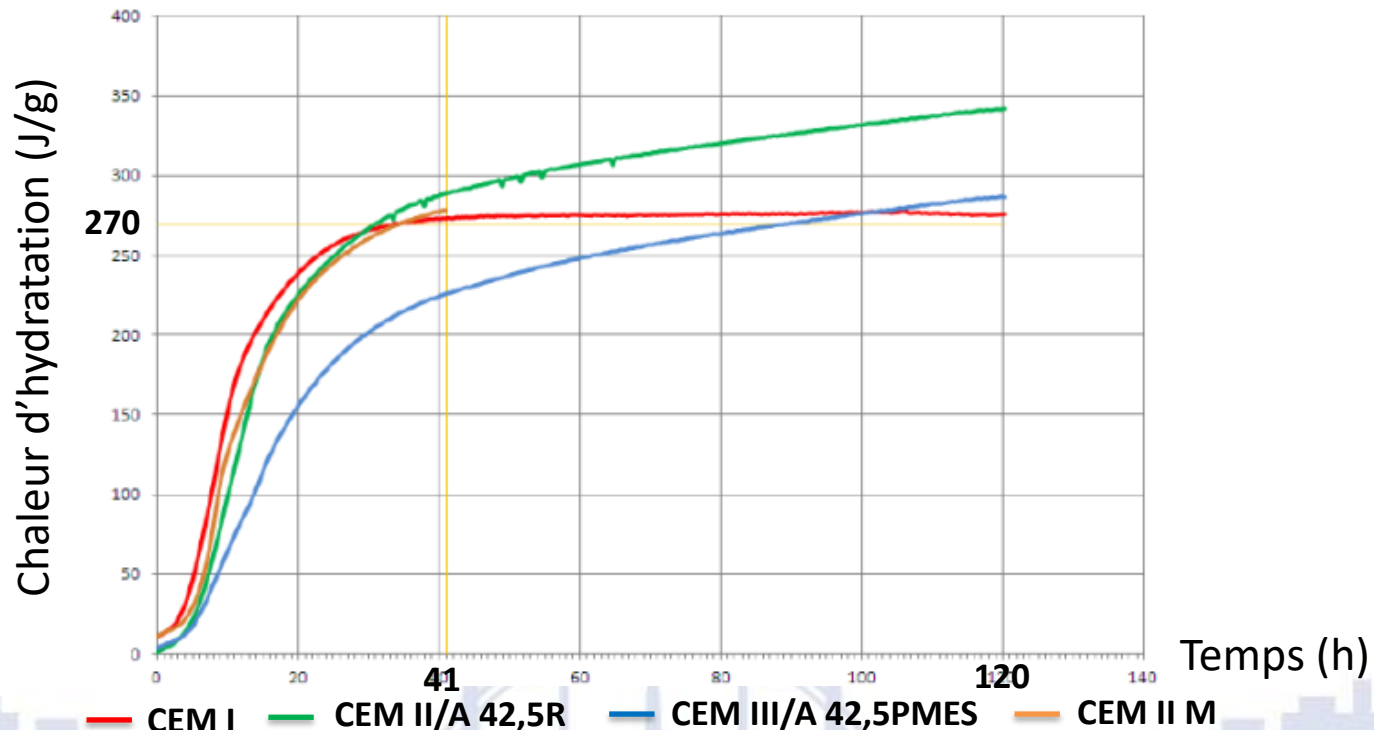


Figure 1 : Chaleur d'hydratation d'après la méthode EN 196-9 sur 120 heures sur différents ciments, la limite caractéristique des ciments LH étant à 270 J.g⁻¹

[1] : AFNOR. 2013. NF EN 197-1, Ciment LH.

[2] : AFNOR. 2010. NF EN 196-9, Méthodes d'essais des ciments Partie 9 : Chaleur d'hydratation - Méthode semi-adiabatique.

Introduction

- Etude des paramètres influents sur la chaleur d'hydratation

Ciment	Béton
Composition du ciment	Dosage en ciment
Distribution granulométrique	Rapport e/c
Température de gâchage	Type de granulats
	Dosage en adjuvant
Type d'additions	

Tableau 1 : Paramètres influents sur la chaleur d'hydratation ciment et béton



Plans d'expériences ciments

- Définition
 - Suite ordonnée d'essais au nombre restreint
 - Étude de l'influence d'un ou plusieurs paramètres variables
 - Mesure de réponses en vue d'une validation d'un modèle
 - Limitation du coût financier
- Paramètres sélectionnés
 - Type de clinker
 - Pourcentage du régulateur de prise
 - Type et pourcentage d'ajout
 - Finesse du mélange
- Co-broyage du clinker et du régulateur de prise
- Sélection des bornes de travail pour couvrir la composition du CEM I au CEM III/B

Sélection des paramètres ciment

- 2 types de clinker choisis selon [C3A]
 - 0 % C3A
 - 7 % C3A
- Teneur en régulateur de prise
 - $[\text{CaSO}_4]$ compris [3,85 ; 5,85 ; 7,85] %
- Finesse du co-broyage clinker - anhydrite
 - D_{50} [9 ; 12 ; 15] μm
- 2 types d'ajouts
 - Laitier [5 ; 42,5 ; 80] %
 - Filler calcaire [5 ; 20 ; 35] %



Sélection du type de matrice

- 1 PEX par combinaison clinker - type d'ajout
 - Clinker 7 % C3A
 - Filler calcaire
 - Laitier
 - Clinker 0 % C3A
 - Laitier uniquement
 - 3 PEX ciment
-
- Matrice composite pour les plans
 - Matrice cubique face centrée
 - Fonction variance inférieure à 1 sur tout le domaine
 - Estimation de 10 réponses pour 15 essais réalisés
 - 3 paramètres variant sur 3 niveaux

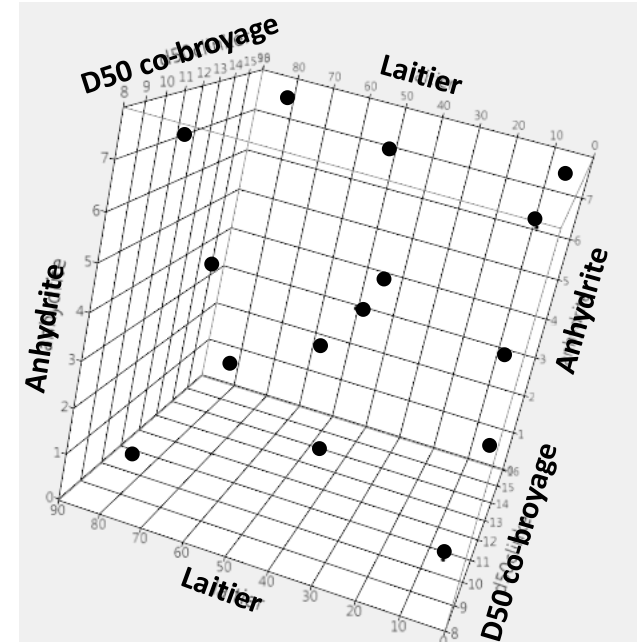


Figure 2 : Disposition des essais dans l'espace pour une matrice composite

Nomenclature des essais ciment

CK_%ajout_%A_finesse

- CK le type de clinker
 - C3A-7 pour le clinker avec 7 % de C3A
 - C3A-0 pour le clinker avec 0 % de C3A
- %ajout le pourcentage de l'ajout
 - S pour laitier
 - LL pour filler calcaire
- %A le pourcentage d'anhydrite
- finesse le D_{50} cible du clinker - anhydrite (μm)



Essais réalisés sur un ciment

- Analyse et quantification des phases cristallines (DRX)
- Etude chimique
 - Fluorescence X
- Etude physique
 - Surface Blaine
 - Masse volumique
 - Mesure de la chaleur d'hydratation en bouteille de Langavant et par microcalorimètre sur 7 jours
 - Mesure des résistances mécaniques en compression : 1j, 2j, 7j, 28j et 91j
 - Mesure du retrait : 2j, 7j, 28j, 91j, 6 mois, 1 an
 - Mesure du gonflement : 2j, 7j, 28j, 91j, 6 mois, 1 an
 - Mesure du temps de prise et de la demande en eau
- Etude de l'hydratation au cours du temps sur certains ciments

Résumé résultats PEX ciments

➔ Ajouts + augmentation du D50 → Diminution des chaleurs et Rc

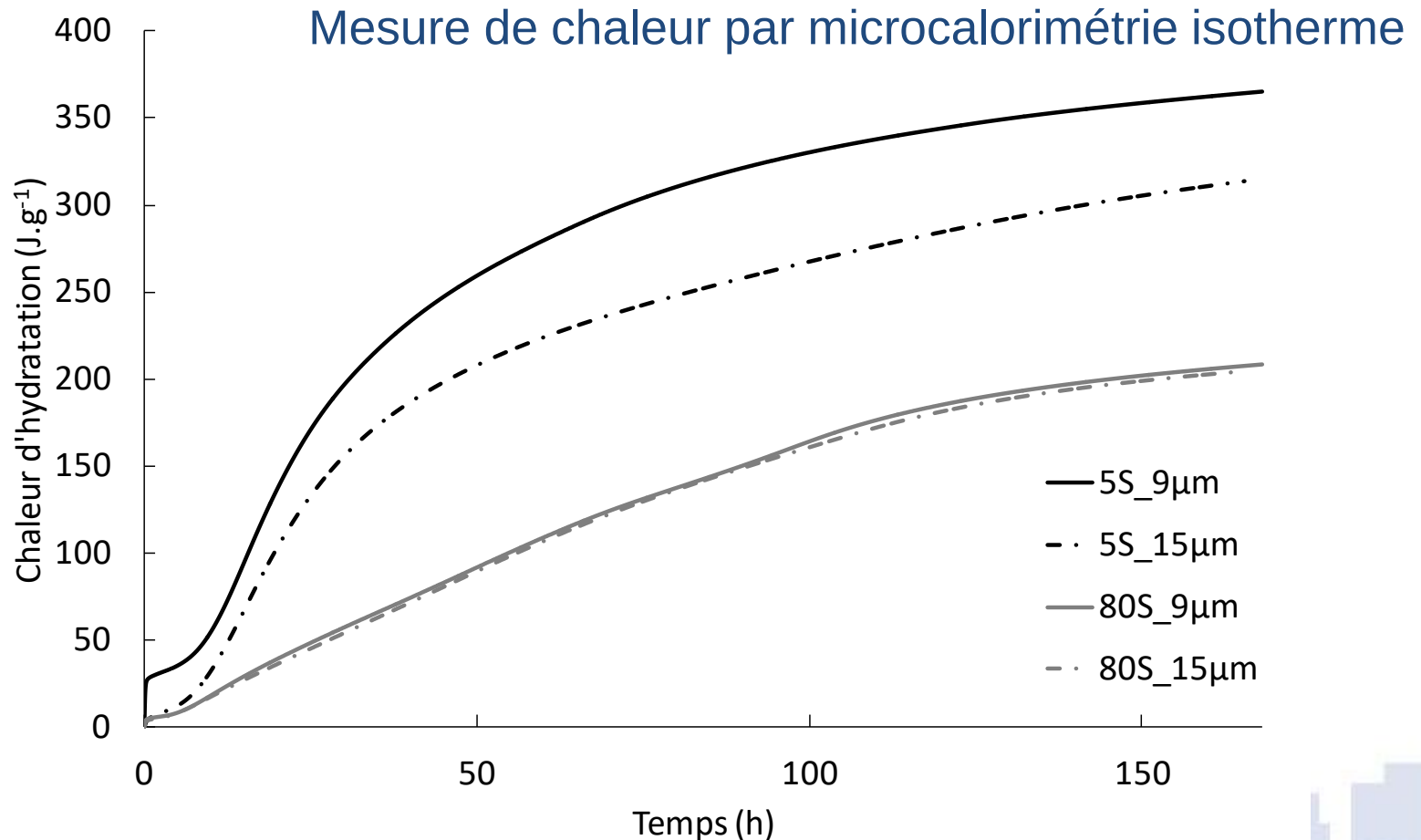


Figure 3 : Evolution de la quantité de chaleur mesurée par microcalorimétrie isotherme au cours du temps pour 5 et 80 % de laitier dans le ciment C3A-7, avec une variation de D_{50} de 9 et 15 μm , E/C = 0,5, 7,85 % d'anhydrite

Résumé résultats PEX ciments

- Pour les ciments fortement substitués en ajouts
 - Perte d'efficacité de la finesse
 - Effet visible sur les mesures de chaleur et de résistances mécaniques
- Diminution des coûts énergétiques de broyage
- Obtention de résultats similaires pour les 2 types de clinker (C3A-7 et C3A-0) et les 2 types d'additions (LL ou S)



Demande en eau

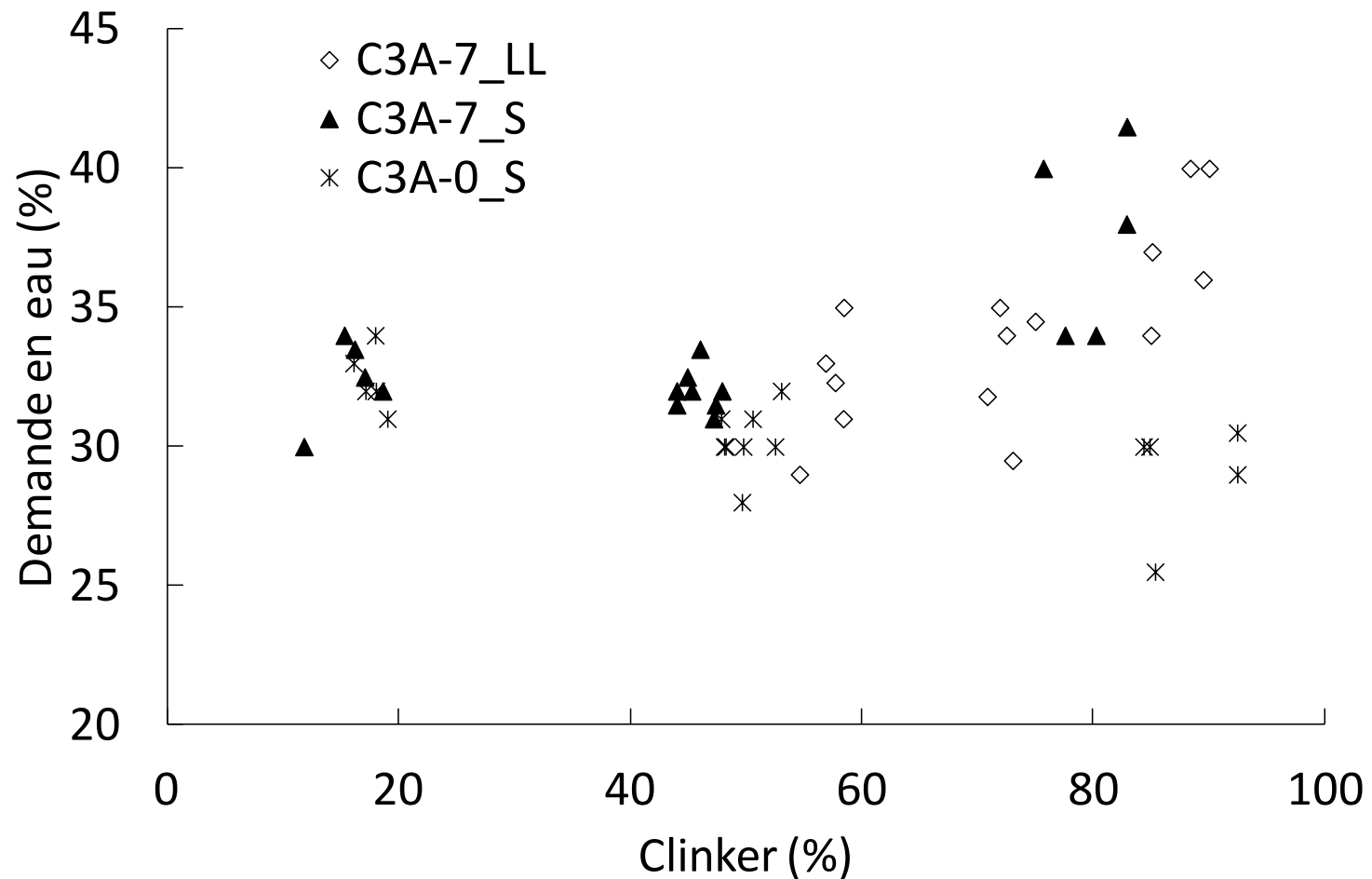


Figure 4 : Evolution de la demande en eau en fonction du pourcentage de clinker dans le ciment

Composition réelle mesurée par DRX

Demande en eau

- ➔ Tendance générale
 - C3A-7 → WD augmente avec l'absence d'additions et avec l'augmentation de la finesse
 - C3A-0 → WD augmente avec la présence de laitier
- ➔ Effet de l'addition
 - surface du laitier non sphérique et granuleuse [3]
 - surface spécifique et empilement granulaire optimisé avec le filler calcaire [4]
- ➔ Effet de la composition → hydratation rapide du C3A [5]
- ➔ Effet de la finesse → emprisonnement d'eau dans le squelette granulaire si la distribution granulaire est resserrée [6]
- ➔ Distribution granulaire et C3A prime sur addition

[3] Boudchicha A, Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons. **2007**, Génie civil, Université Mentouri Constantine.

[4] Ferraris CF, Obla KH, Hill R, The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement and Concrete Research*, **2001**, 31:245-255.

[5] Minard H, Etude intégrée des processus d'hydratation, de coagulation, de rigidification et de prise pour un système C3S-C3A-sulfates-alcalins. **2003**, Chimie - Physique, Université de Bourgogne - UFR des Sciences et Techniques.

[6] Sprung S, Kuhlmann K, Ellerbrock HG, Particle size distribution and properties of cement. Part II. Water demand of Portland cement. *Zement - Kalk - Gips International*, **1985**, 38:528-534.

Chaleur d'hydratation Langavant

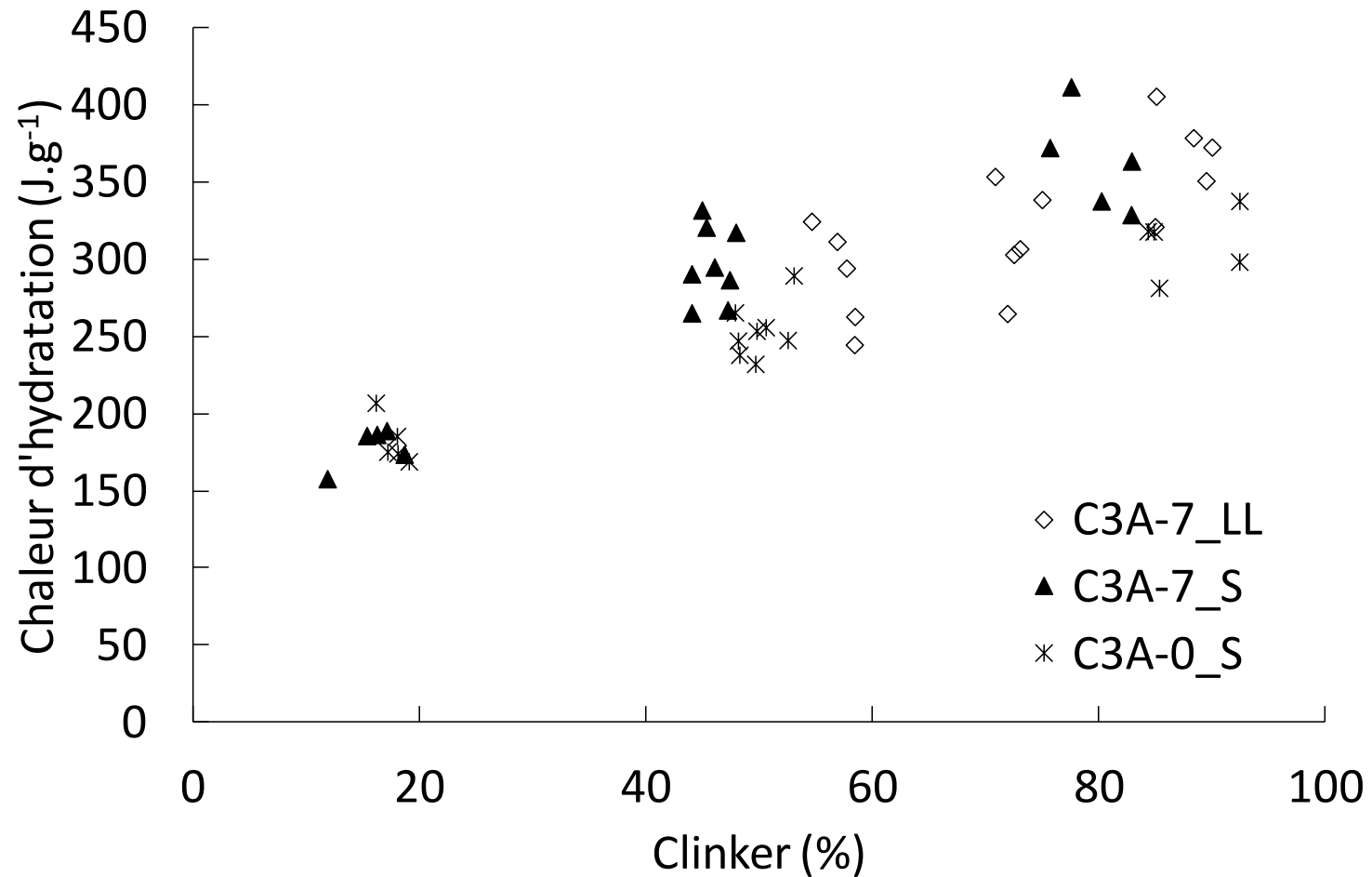


Figure 5 : Evolution de la chaleur d'hydratation à 168h en fonction du pourcentage de clinker dans le ciment

Composition réelle mesurée par DRX

Chaleur d'hydratation Langavant

- ➡ Effet de l'addition → difficulté de montrer une réactivité supérieure du laitier par rapport au filler calcaire
- ➡ Effet de la composition → C4AF moins réactif et exothermique que C3A [7]
- ➡ Effet de la finesse lorsque le ciment peu substitué en ajout → diminution de la chaleur avec l'augmentation du D_{50} [8]

[7] Hewlett PC, Elsevier, Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th Edition. 2003.

[8] Costoya Fernandez MM, Effect of particle size on the hydration kinetics and microstructural development of tricalcium silicate. 2008, Thèse de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Rc 2 jours

➔ 2 tendances selon l'âge du matériau

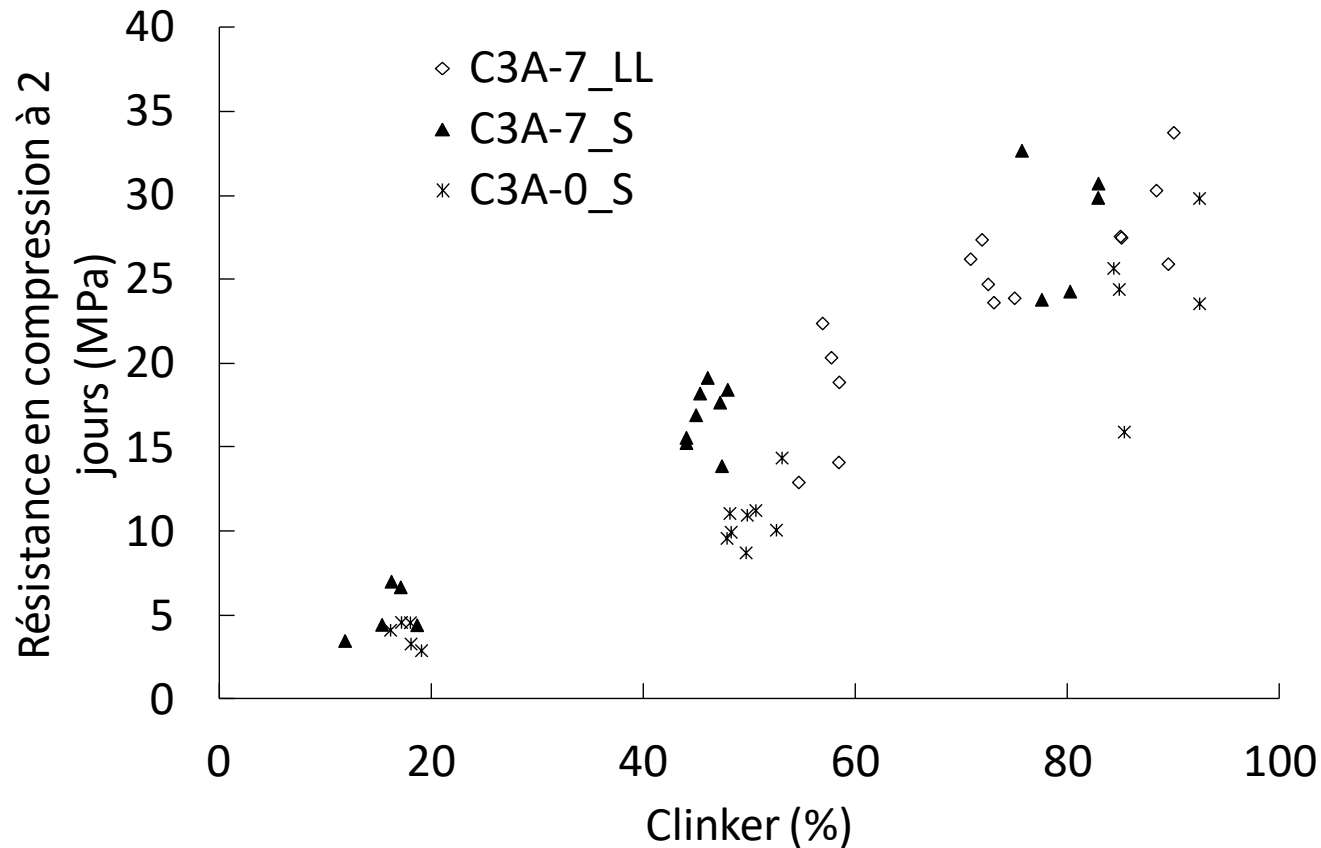


Figure 6 : Evolution des résistances en compression à 2 jours en fonction du pourcentage de clinker dans le ciment

➔ Effet du C3A par la composition du clinker prime sur l'addition avec une hydratation rapide

Rc 28 jours

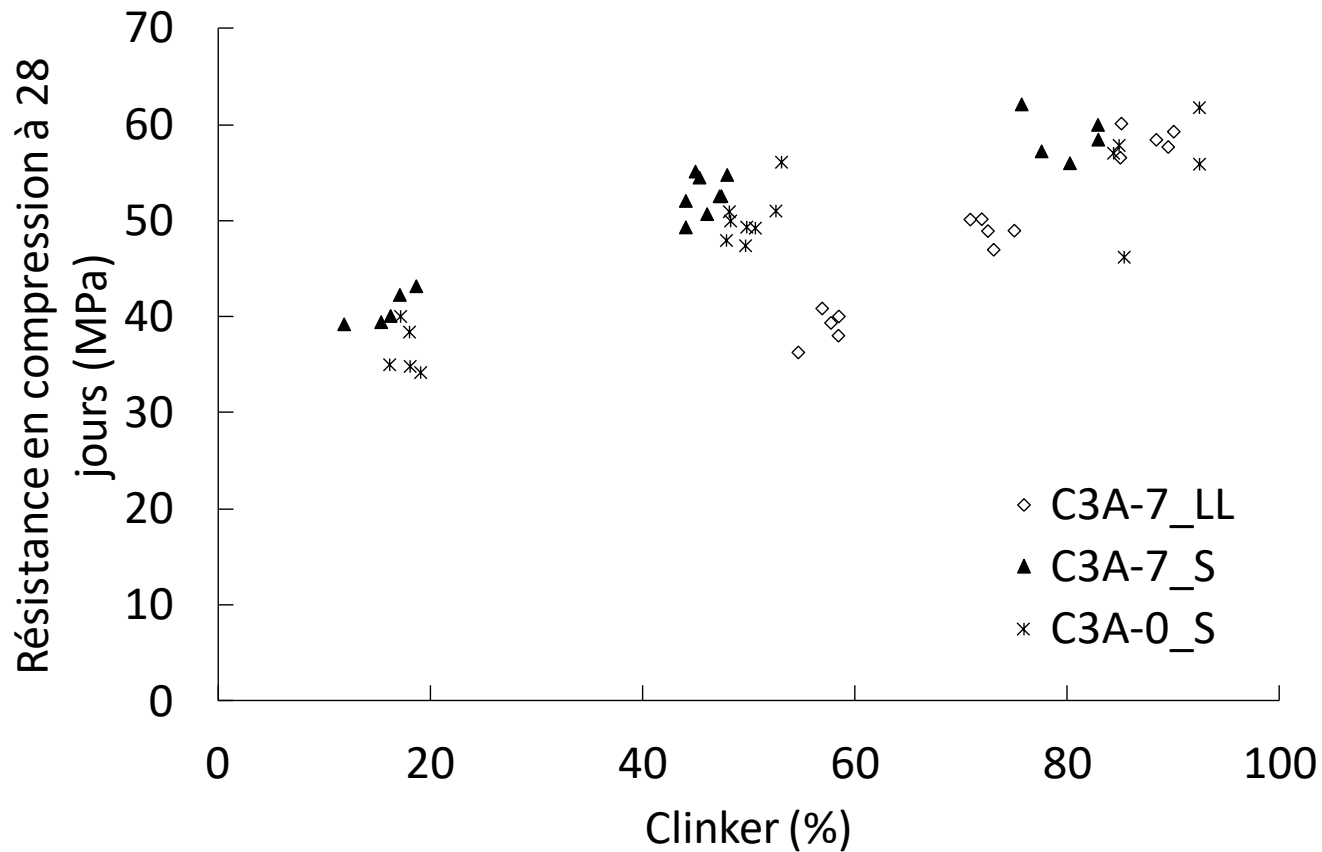


Figure 7 : Evolution des résistances en compression à 28 jours en fonction du pourcentage de clinker dans le ciment

- ➔ Effet de l'addition majoritaire → meilleures Rc des ciments au laitier que ceux au filler calcaire
- ➔ A 28 j, réactivité du C3S et C2S et non plus du C3A

Conclusion

- Réalisation de plans d'expérience
 - Effet de la composition du ciment sur ses caractéristiques
- Etat frais
 - Effet principal du C3A sur la demande en eau et le temps de prise
 - Effet du squelette granulaire plus visible sur la demande en eau
- Dégagement de chaleur
 - Effet principal du C3A et de l'ajout
 - Réactions d'hydratation plus lentes avec le C4AF et le laitier
- Montée en résistance
 - Au jeune âge → effet du C3A
 - À long terme → effet de l'ajout
- Bases de données importante et poursuite des recherches au niveau béton
 - Influence de la composition sur l'échauffement et la fissuration au jeune âge

Merci de votre attention

Ifsttar

14-20 Bld. Newton

Cité Descartes

Champs sur Marne

77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

France

Tél. +33 (0)1 81 66 80 00

www.ifsttar.fr

communication@ifsttar.fr

