



Les liants sursulfatés, une alternative intéressante

Christophe LANOS

Université de Rennes,
Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique

Avec
BAT.Y.LAB et



Notion de ciment sursulfaté

Contexte

- Ciment Portland (calcination de 80% de calcaire et 20% d'argile à 1450°C):
 - Emissions de CO₂ :
 - 1/3 associées énergie du process de calcination
 - 2/3 liées à la décarbonatation du calcaire
 - Une tonne de ciment CEM I produite génère 765 kg de CO₂ éq (SETEC-LERM, 2021)
 - Laitier de haut fourneau (LHF)
 - Coproduit de la fonte (stérile du minerai de fer et de cendres de coke)
 - Une tonne de laitier vitrifié produite génère près de 100 kg CO₂ éq
 - Activation du laitier
 - Alcalins: Na, K
 - Ca, Ca-Si, Portland
 - Sulfates : Ca, K, Na
- Ciments alcali-activés - géopolymères
- Ciments CEM III
- Ciments sursulfatés

Formulations

Composition d'un ciment sursulfaté (en %m)

LHF	CaSO ₄	Clinker	Constituant secondaire
≥ 75	5 ≤ Cs ≤ 20	0 < K ≤ 5	0 ≤ A ≤ 5

NF EN 15743

Propriétés des CSS

- Très faible chaleur d'hydratation
 - < 220 J/g (EN 196-8 à 7 jours ou EN 196-9 à 41h00)
- Résistance aux environnements agressifs
 - Conforme à la NF P15-317, ciments pour travaux à l'eau de mer
 - Conforme à la NF P15-319, ciments pour travaux à haute teneur en sulfates

 **Alternative possible au ciment Portland ?**

But de l'étude

- Formuler des CSS avec du gypse

Laitier + gypse + CEM I

- Evaluer les résistances en compression de CSS en fonction du temps
- Evaluer l'influence de la nature, de la teneur en gypse ou en CEM I

Production des échantillons

- Mortiers réalisés selon la norme EN-196
- Rapport massique eau/liant = 0,5
- Rapport massique liant/sable = 1/3
- 4x4x16 cm³ démoulées à 48 h et conservées immergées
- Résistances en compression mesurées à 2, 7, 28 et 60 jours



Résultats

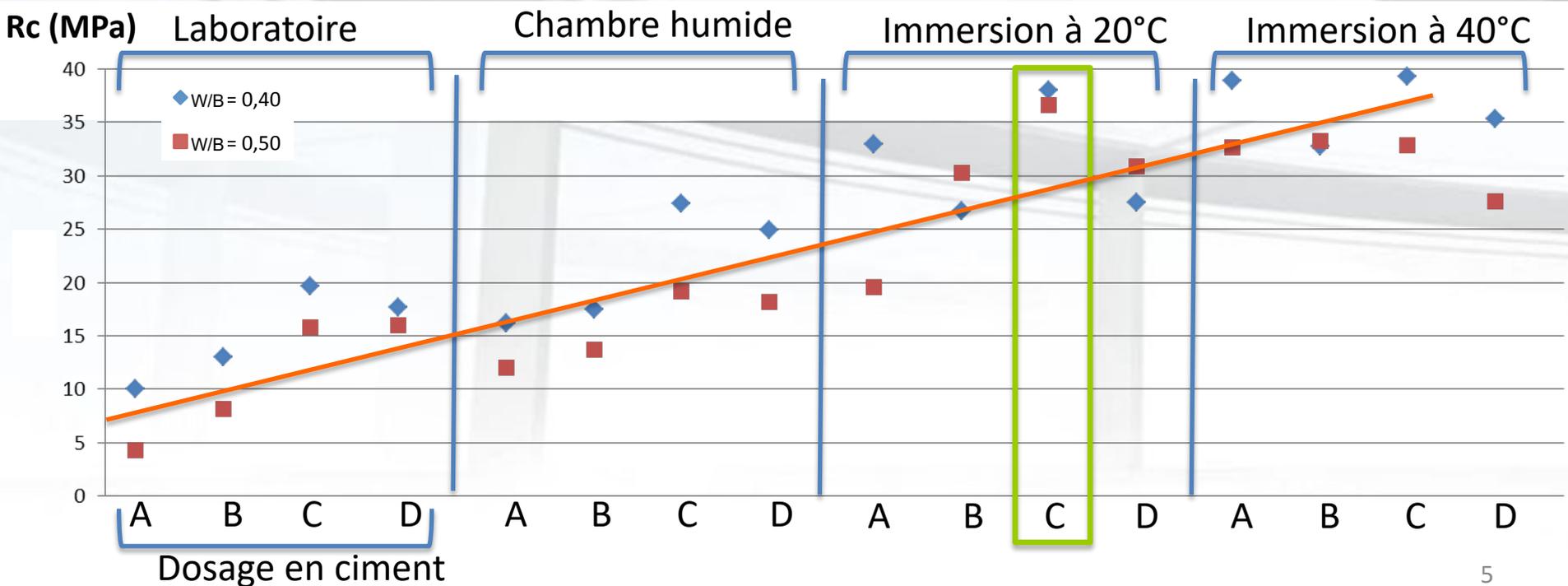
Effet du type de cure

LHF Ecocem Fos

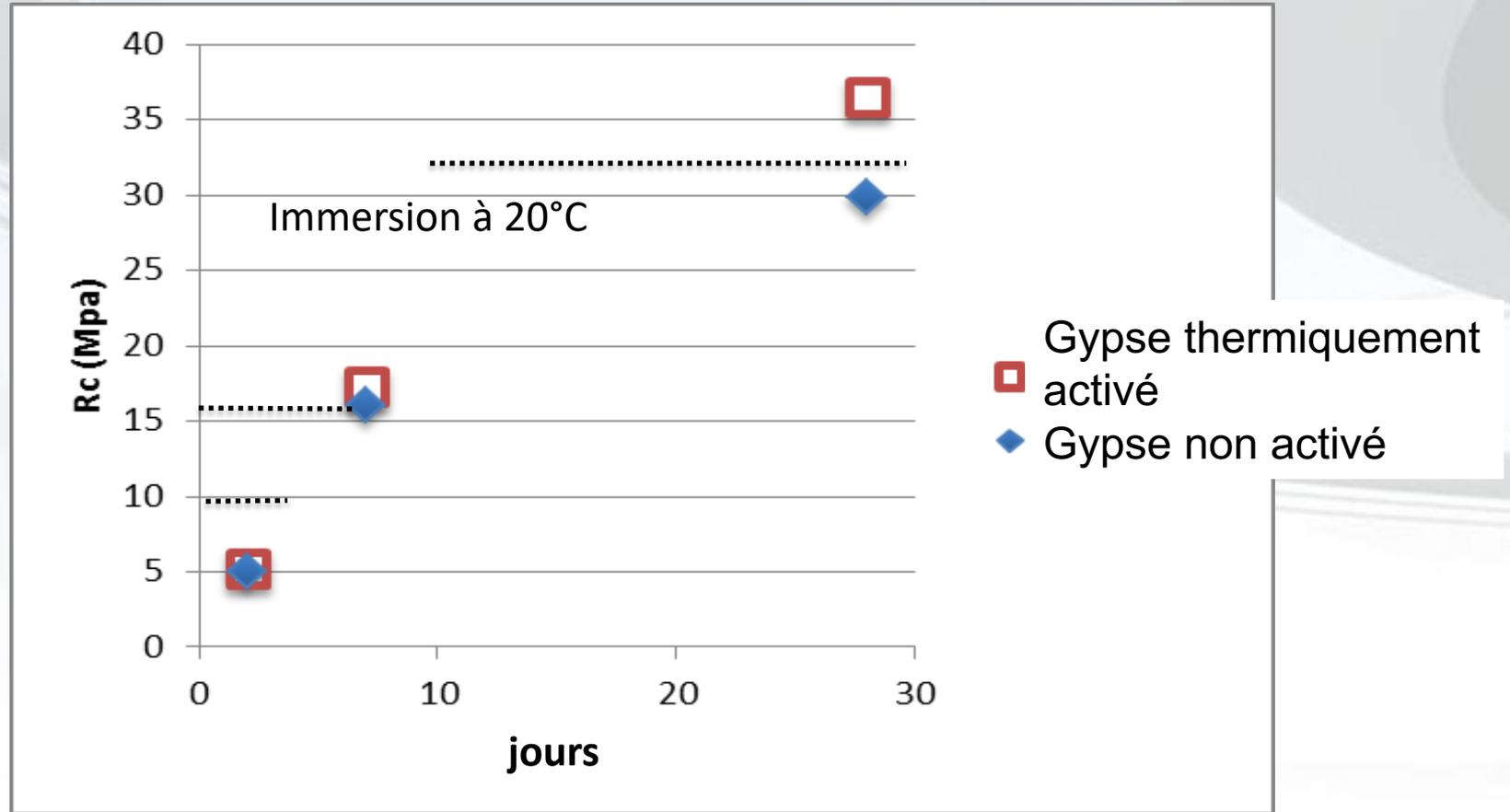
Sulfate de calcium activé thermiquement

CEM I 52.5

85% du liant
(15 - x)% du liant
x% du liant



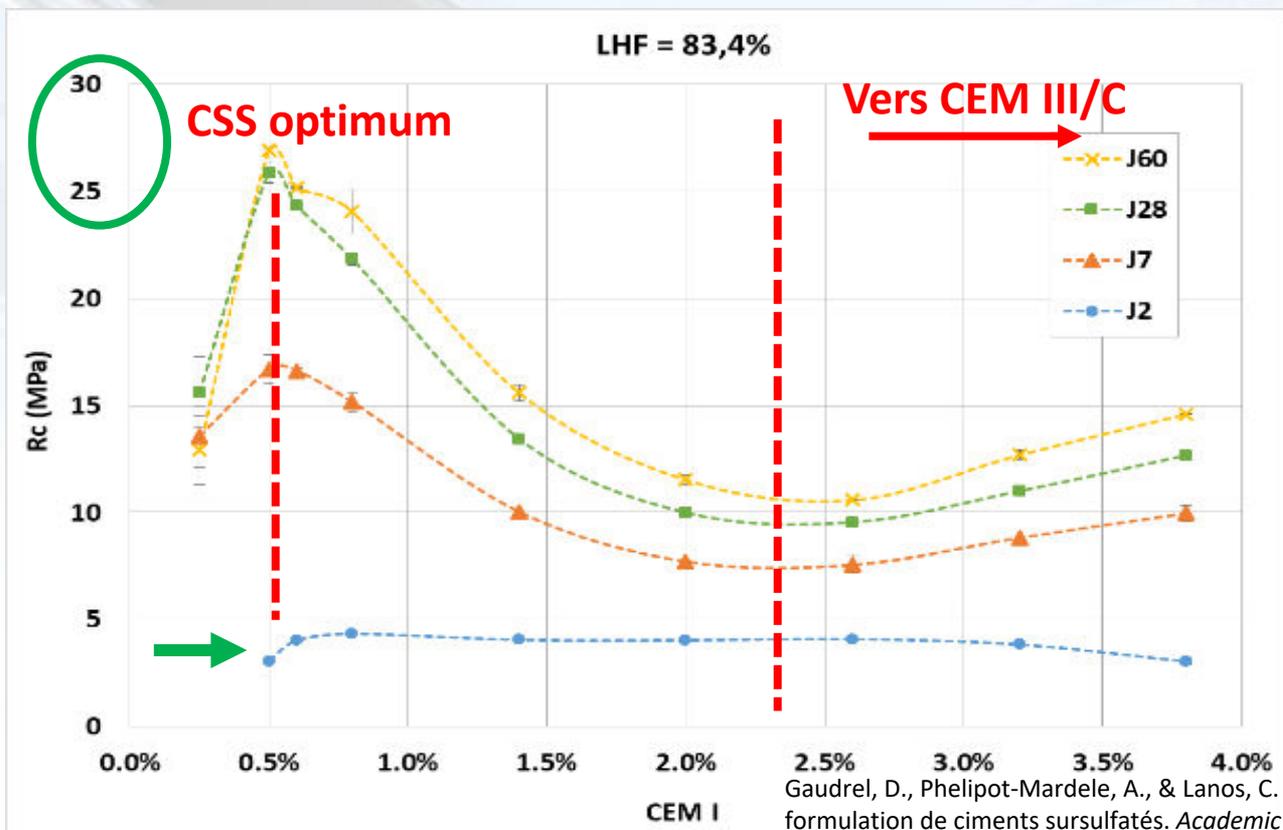
Effet de la réactivité du gypse



Dosage optimum en activateur alcalin

- CSS à dosage constant en LHF (Ecocem Dunkerque)
CEM I variable
CaSO₄ (gypse recyclé) variable

83,4 %
de 0,25 à 3,8 %
de 16,35 à 12,8%



- Forte sensibilité au dosage en CEM I
- Optimum: dosage en CEM I = 0,54% quel que soit l'âge
- Rc inférieur aux CSS d'anhydrite (baux, 2013)

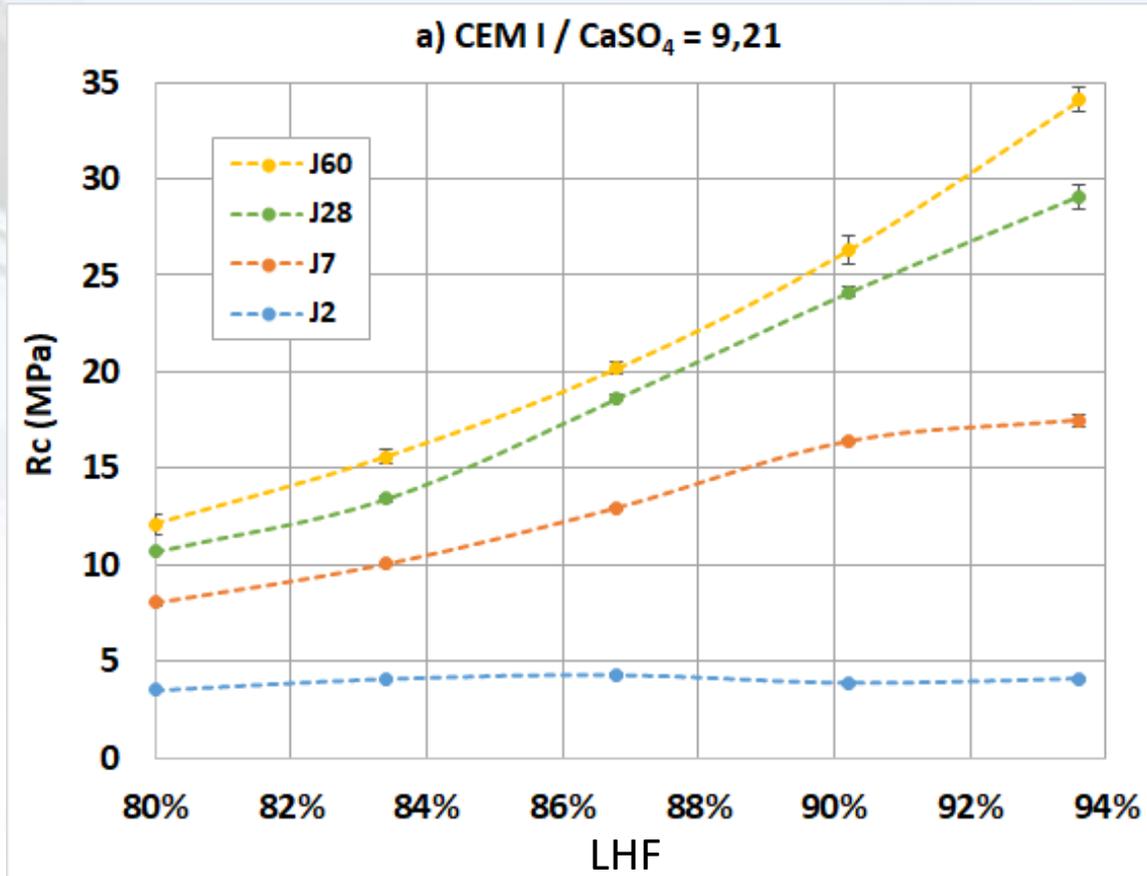
LHF variable

de 80 à 93,6 %

CEM I / $\text{CaSO}_4 = 9,21$

CEM I

entre 1,69 % et 0,54 %

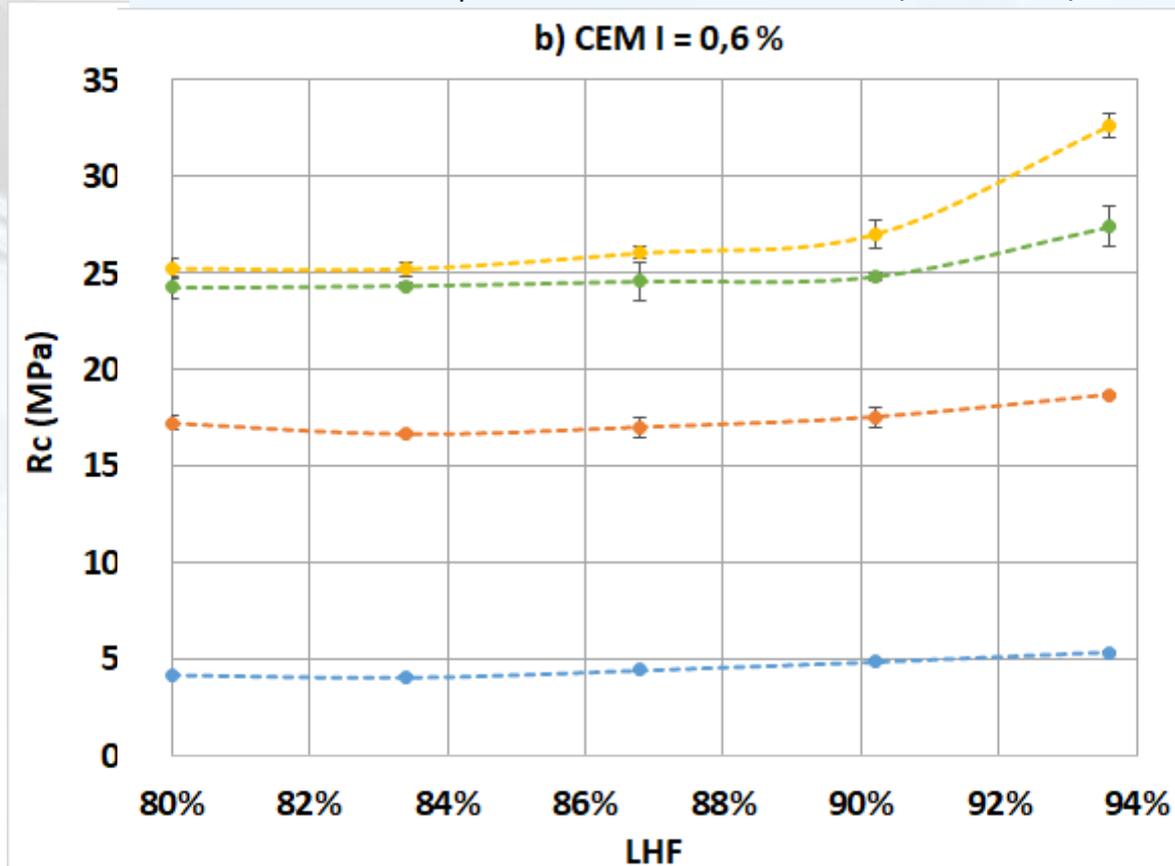


Rc croissant avec le dosage en LHF pour un ratio « CEM I / CaSO_4 » fixe

LHF variable de 80 à 93,6 %

CEM I = 0,6 %

CaSO₄ entre 19,4 % et 5,8 %



fixer le dosage en CEM I proche de l'optimum identifié permet d'assurer des résistances en compression quasiment indépendantes du dosage en LHF

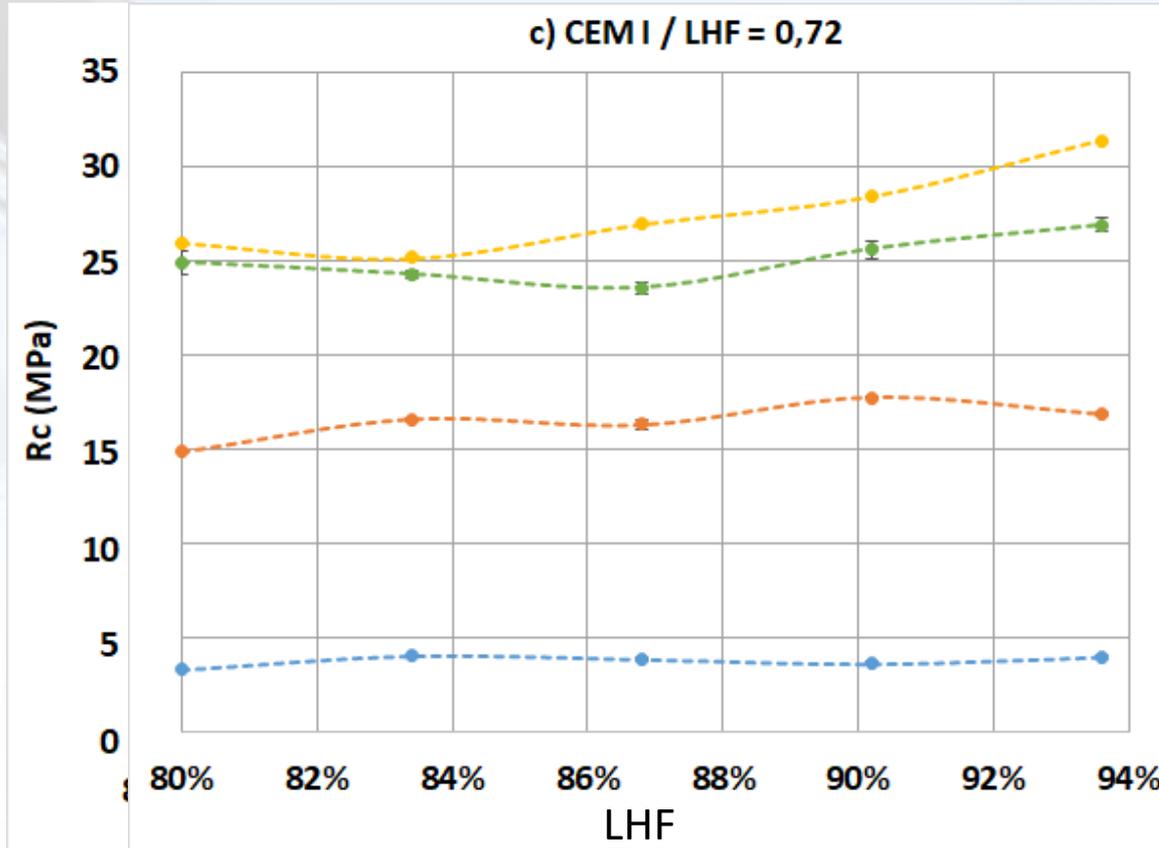
LHF variable

de 80 à 93,6

CEM I / LHF = 0,72

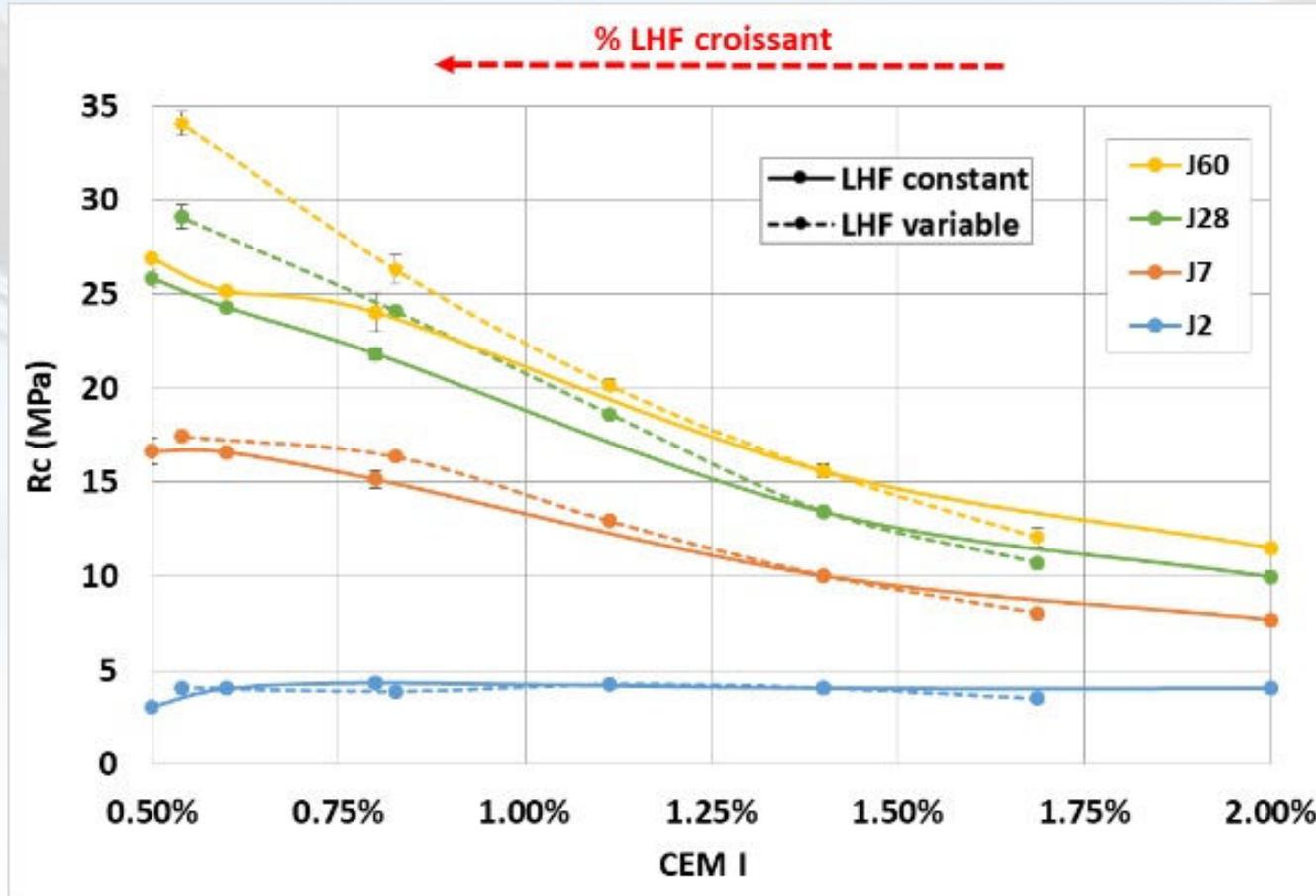
CEM I

entre 0,58 % et 0,67 %



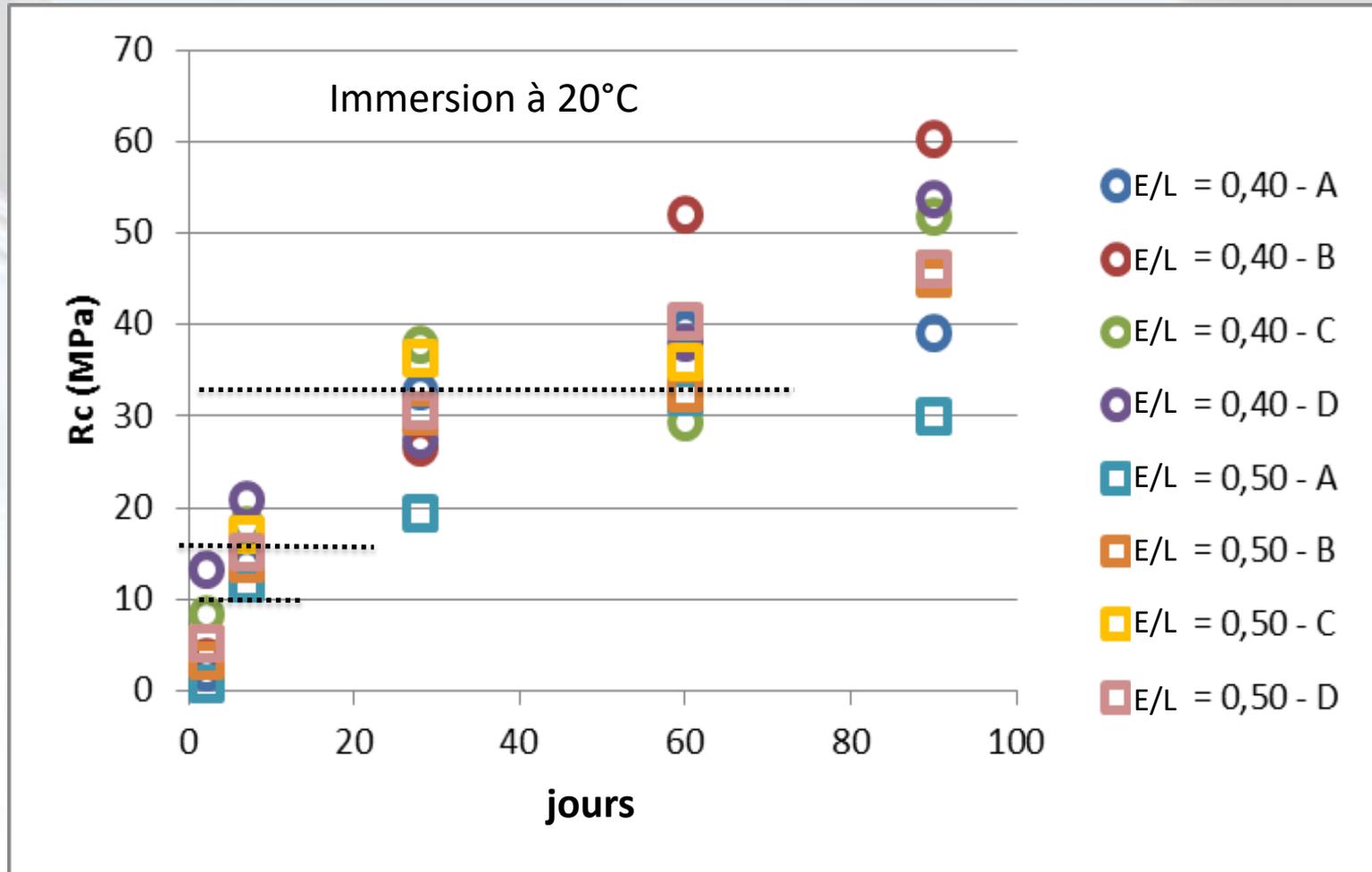
pour un ratio « CEM I / LHF » Rc quasiment indépendante du dosage en LHF
légère amélioration Rc à 28 et 60 jours pour des dosages en LHF suffisamment élevés

Autre lecture des résultats en fonction du dosage en CEM I



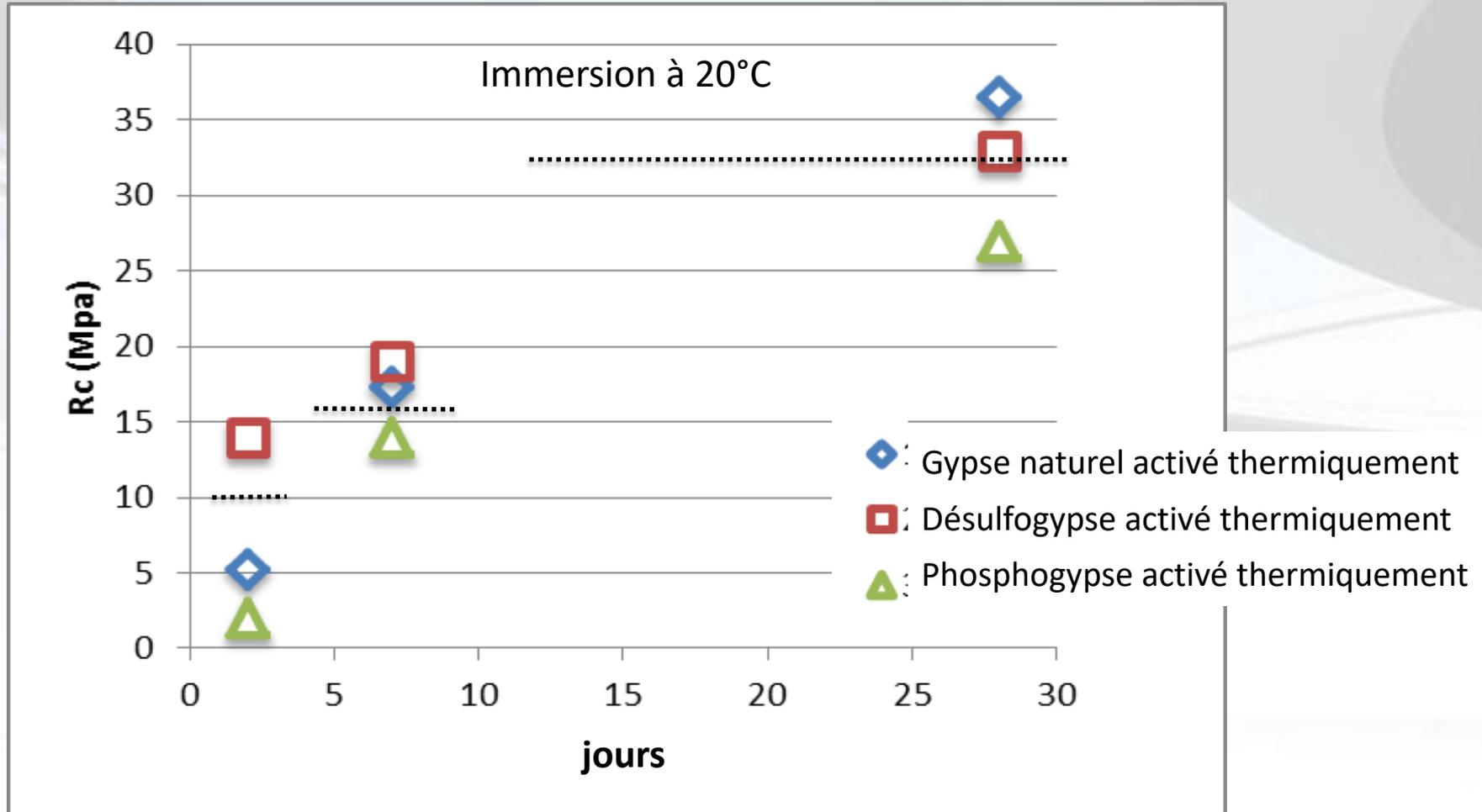
- superposition des courbes = prépondérance du dosage en CEM I vis-à-vis de R_c
- pour un dosage en CEM I inférieur à 1 % et au-delà de 7 jours, une teneur plus élevée en LHF (courbes en trait pointillé) conduit à des R_c plus élevées

Evolution des résistances à long terme

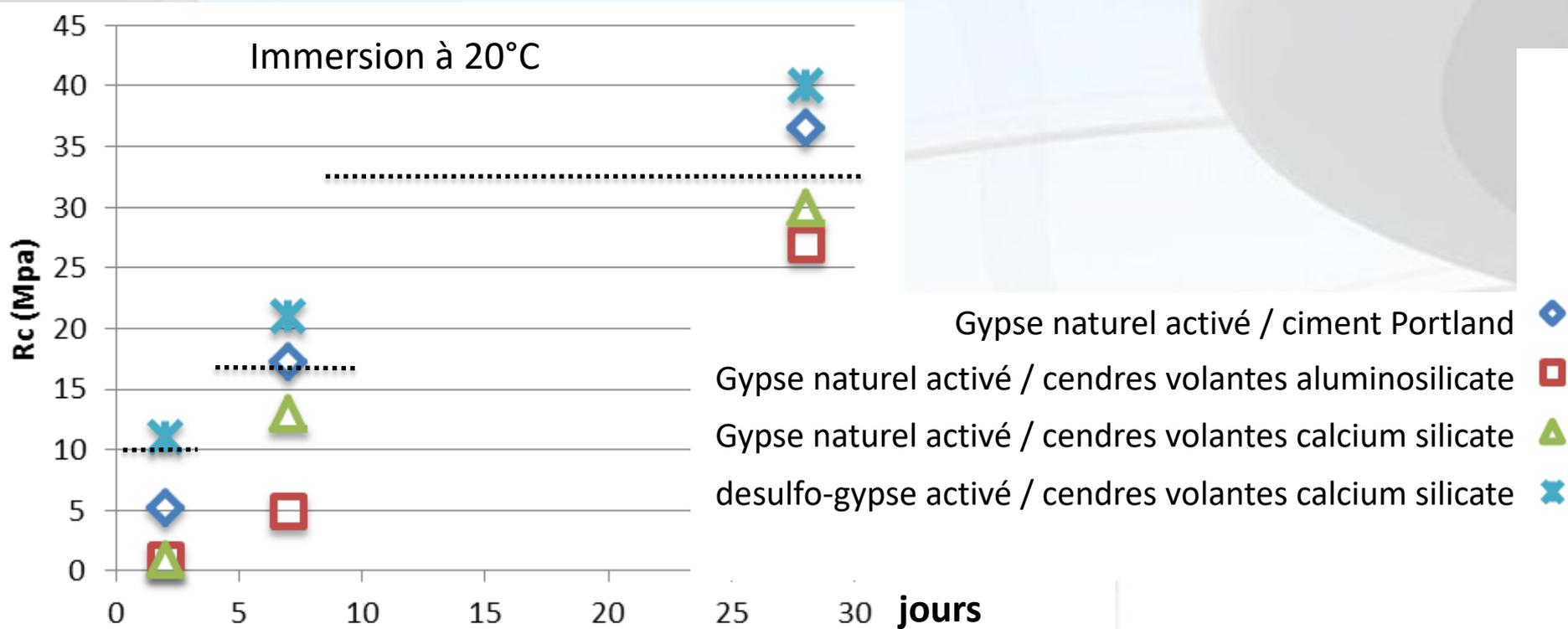


➔ 2 compositions respectent la classe 32.5N :

Effet de la nature du gypse (activé thermiquement)



Effet de la nature de l'activateur alcalin



➡ 2 compositions respectent la classe 32.5N :

Conclusions et perspectives

Les résultats montrent :

- Que les niveaux de résistances en compression peuvent correspondre à un 32,5 N
- La pertinence de la valorisation de gypse de synthèse ou recyclé dans la confection d'un CSS
- La sensibilité de la nature et du dosage des activateurs est mise en évidence :
 - performances mécaniques sont principalement régies par le dosage en clinker (CEM I)
 - Un optimum, de 0,5 à 0,6 %, de CEM I conduit aux meilleures performances mécaniques
 - Dans ces conditions, le dosage en CaSO_4 évolue entre 5,86 % et 16.1%

Exemples de valorisation des CSS dans des bétons :

- Après 13 mois immergé dans un réseau d'égout ($E/L = 0.42$)

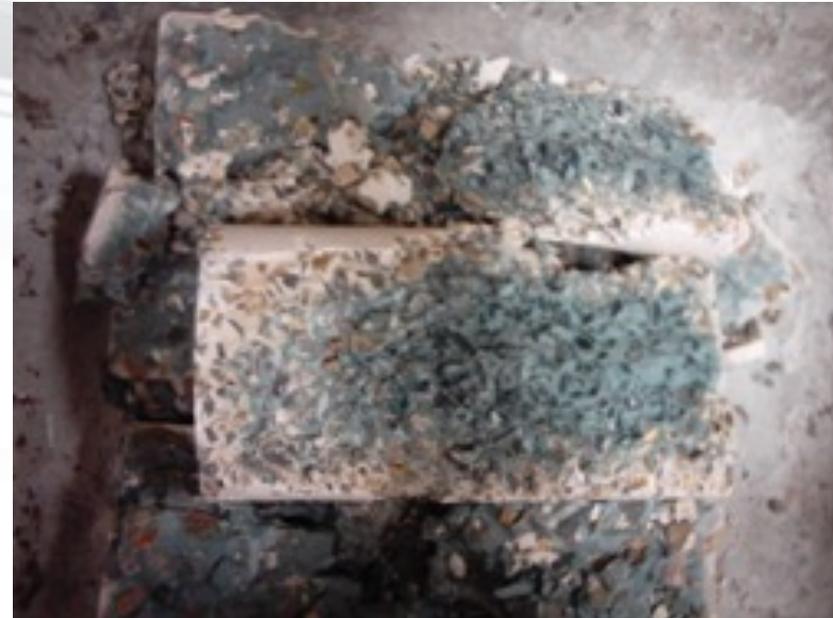
$R_f = 9.3 \text{ MPa}$

$R_c = 56 \text{ MPa}$

- Après 4 mois dans du lisier de porc

$R_f = 7.4 \text{ MPa}$

$R_c = 35 \text{ MPa}$





Merci pour votre attention

Avec le concours de



Formulations envisagées

- CSS à dosage constant en LHF= 83,4 % → valeur sélectionnée à l'issue d'une pré-étude
CEM I variable de 0,25 à 3,8 %
CaSO₄ variable de 16,35 à 12,8%
- CSS à dosage variable en LHF de 80 à 93,6 %
 - CEM I / CaSO₄ = 9,21 ; dosage en CEM I compris respectivement entre 1,69 % et 0,54 %
 - CEM I = 0,6 % ; dosage en CaSO₄ compris respectivement entre 19,4 % et 5,8 %
 - CEM I / LHF = 0,72 ; dosage en CEM I compris respectivement entre 0,58 % et 0,67 %