

Effet de la carbonatation sur la réaction alcali-silice dans les bétons incorporant des granulats recyclés

S. Grigoletto, J. Duchesne², B. Bissonnette³, L. Courard¹

¹ *Urban and Environmental Engineering, Université de Liège, Belgique*

² *Département de Géologie and Génie Géologique, Université Laval, Québec, Canada*

³ *Département de génie civil, Université Laval, Québec, Canada*

Volumes de production de béton ↑
→ Consommation de granulats naturels ↑

+

Béton = + grande part de déchets de C&D
→ Gestion des déchets problématique



Utilisation de
**granulats de béton
recyclés (GBR)**



Mais porosité + élevée de la PCD

- Absorption d'eau ↑
- Caractéristiques mécaniques ↓

⇒ Utilisation de GBR **limitée** car
performances mécaniques et **durabilité** ↓

En particulier: gonflement secondaire dû à
la réaction alcali-silice

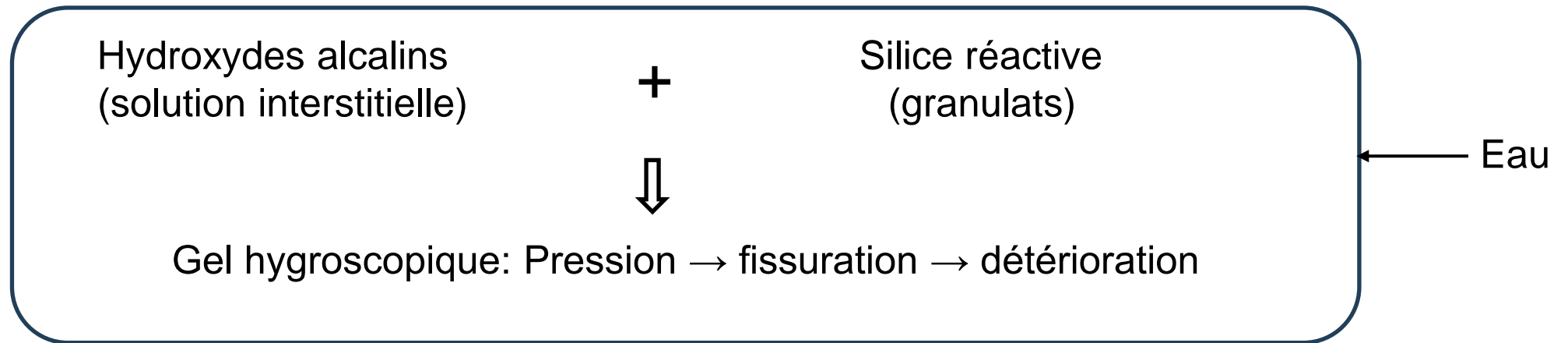
*Granulat
naturel*



*Pâte de
ciment
adhérente*

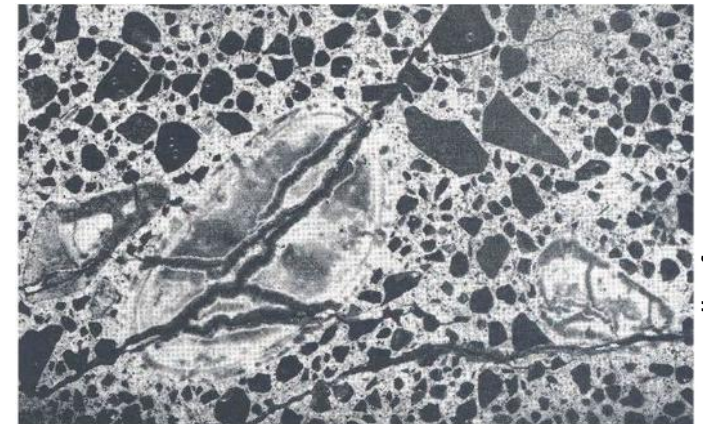
Réaction alcali-silice (RAS)

Réaction de gonflement interne du béton durci



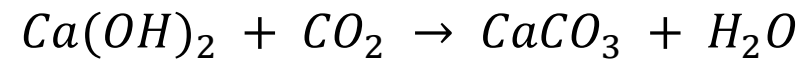
Mais RAS secondaire complexe car nombreux facteurs:

- Réactivité des granulats d'origine
- Degré d'expansion de la RAS primaire
- Procédure de production des GBR
- Exposition de nouvelles faces



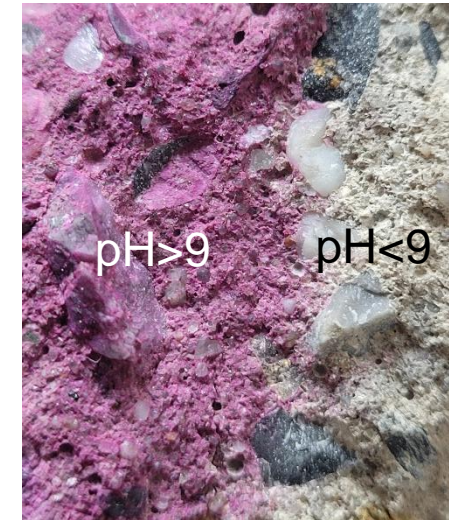
Carbonatation

Plusieurs méthodes pour améliorer les performances des GBR, notamment la **carbonatation**

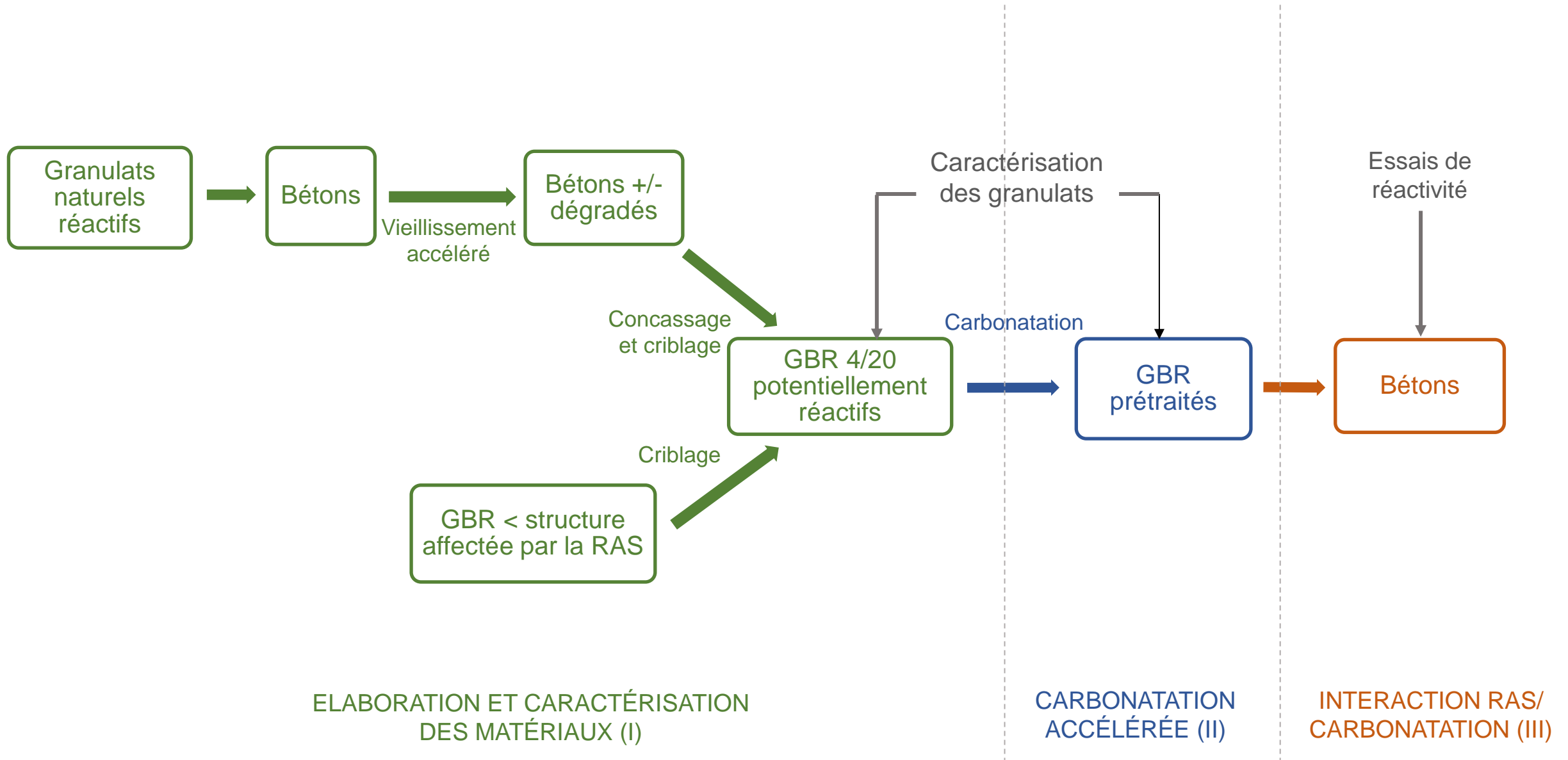


↓ absorption d'eau et propriétés de transport
↓ pH et quantité d'hydroxides alcalins

→ **Formation de gel expansif empêchée**



←
Evolution de la
carbonatation



Granulats

Granulats naturels

Réactifs (GN-R)

Calcaire siliceux du
Tournaisis

Non réactifs (GN-R)

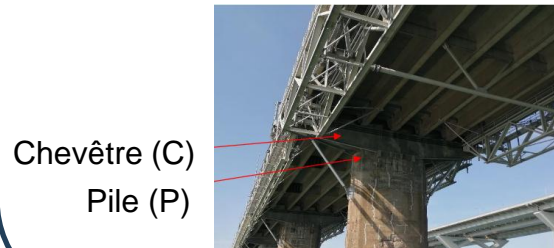
Gravillons : concassés calcaires
Sable de rivière

	Granulats	0/4	2/6,3	4/6,3	6,3/14	14/20
ρ_{rd} (kg/m ³)	GN-R	2594	2636	-	2659	2626
	GN-NR	2565	-	2600	2656	2657
WA ₂₄ (%)	GN-R	0,66	0,83	-	0,71	0,57
	GN-NR	0,77	-	1,79	0,93	1,22

GBR potentiellement réactifs

< structure affectée par la RAS (GBR-C)

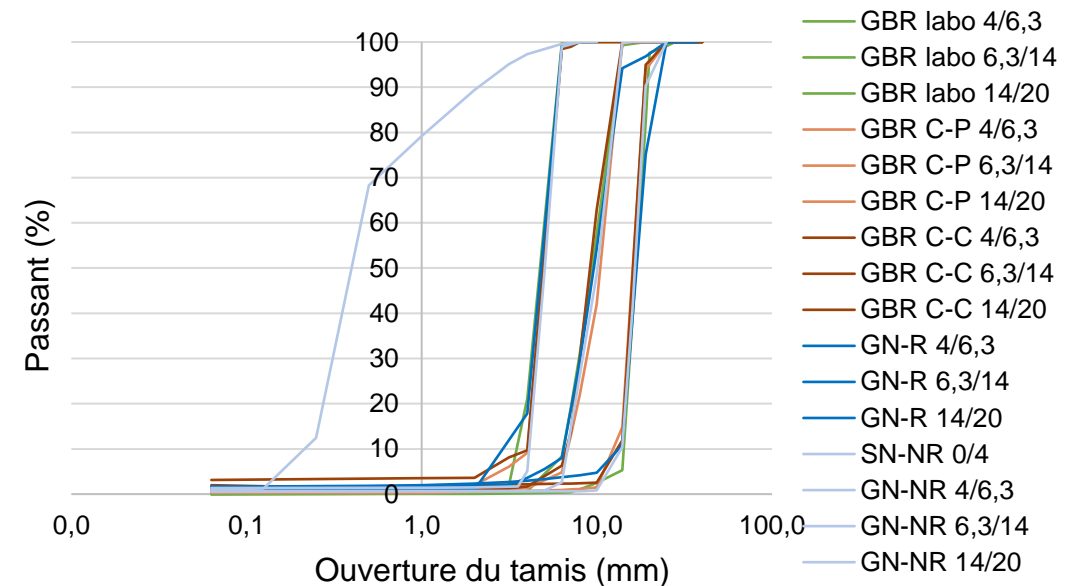
Pont Champlain (Montréal)



© M. Khaleghi-Esfahani

Fabriqués au laboratoire (GBR labo)

A partir de bétons
comportant du sable et
des gravillons réactifs



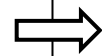
GBR potentiellement réactifs fabriqués au laboratoire

Production du béton d'origine

- 70 x 70 x 280 mm³

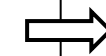
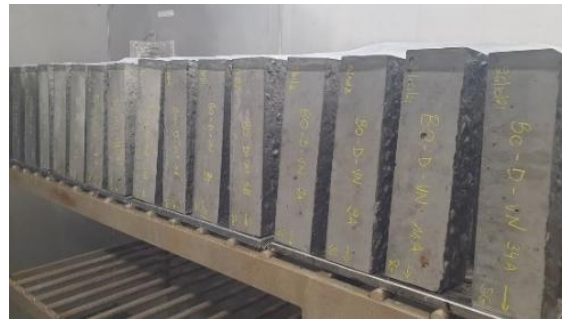
		Dopé (BO-ND)	Non dopé (BO-D)
Ciment CEM I 52,5		395	395
NaOH		3	-
Eau		204	207
Sable réactif		657	657
Gravillons réactifs	2/6,3	173	173
	6,3/14	423	423
	14/20	518	518
Plastifiant		1	1

1,25% ←
Na₂O_{eq} de
la masse
de ciment

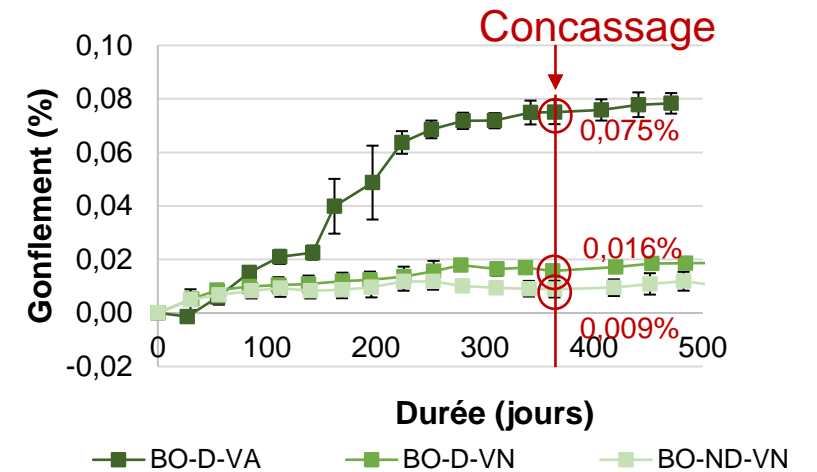


Stockage

- Chambres climatiques - atmosphère saturée en eau
- 20°C (VN) et 38°C (VA)



Suivi des gonflements



Concassage du béton d'origine

Tamisage pour récupérer la fraction grossière (4/20 mm)

Carbonatation des GBR

- Equipement: 2 incubateurs étanches
- Appliqué à la fraction 4/20 mm, disposée en couches de 25 mm
- GBR préconditionnés dans les chambres (60% HR) → masse constante avant carbonatation



© Pierre Louis Delaforge

Conditions de l'essai

- Pression atmosphérique
- $[\text{CO}_2] = 20\%$
- $T^\circ = 39^\circ\text{C}$
- 60% HR
- 48 heures

Evaluation

Prise de masse

$$\Delta m(\%) = \frac{m_{\text{sèche finale}} - m_{\text{sèche initiale}}}{m_{\text{sèche initiale}}}$$

Analyse thermogravimétrique

$$\% \text{CaCO}_3 = \Delta \text{CaCO}_3 (\text{ATG}) \times \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CO}_2}}$$

Caractérisation des GBR

Absorption d'eau et masse volumique (EN 1097-6)

- Procédure:
 - Granulats saturés dans l'eau (24h)
 - Détection de l'état saturé surface sèche (SSD) en utilisant un linge propre
 - Séchage à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante (M_S)
- Calcul du coefficient d'absorption d'eau:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_{SSD} - M_S)}{M_S}$$



Essai de réactivité sur béton (NF P18-594)

Type de gravillons		Béton d'origine	Etat de carbonatation des GBR	Dénomination des granulats
Naturels		-	-	GN - NR
		-	-	GN - R
GBR	Labo	BO-ND-VN	Carbonatés	GBR-ND-VN-C
			Non carbonatés	GBR-ND-VN-NC
		BO-D-VN	Carbonatés	GBR-D-VN-C
			Non carbonatés	GBR-D-VN-NC
		BO-D-VA	Carbonatés	GBR-D-VA-C
			Non carbonatés	GBR-D-VA-NC
	In situ	Pont Champlain - Pile	Carbonatés	GBR-C-P-C
			Non carbonatés	GBR-C-P-NC
		Pont Champlain - Chevêtre	Carbonatés	GBR-C-C-C
			Non carbonatés	GBR-C-C-NC

1,25% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ de la masse de ciment

✗ Alcalins < pâte de ciment

✓ Alcalinisation artificielle des GBR < bétons dopés

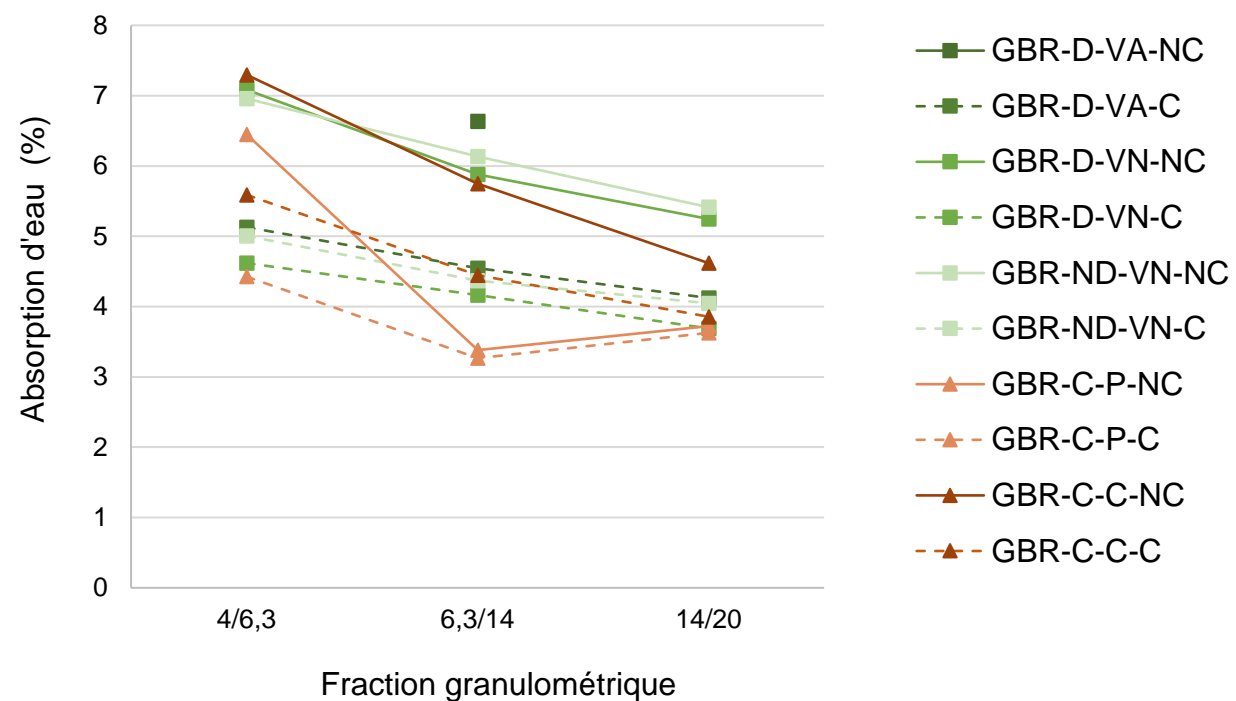
Composition du mélange de référence
(gravillons naturels non réactifs)

Composition (kg/m³)	
Ciment CEM I 52,5	410,0
NaOH	3,0
Eau + eau d'absorption	212,0
Sable non réactif 0/4	552,8
Gravillons	83,2
	526,7
	543,8
Superplastifiant	4,1

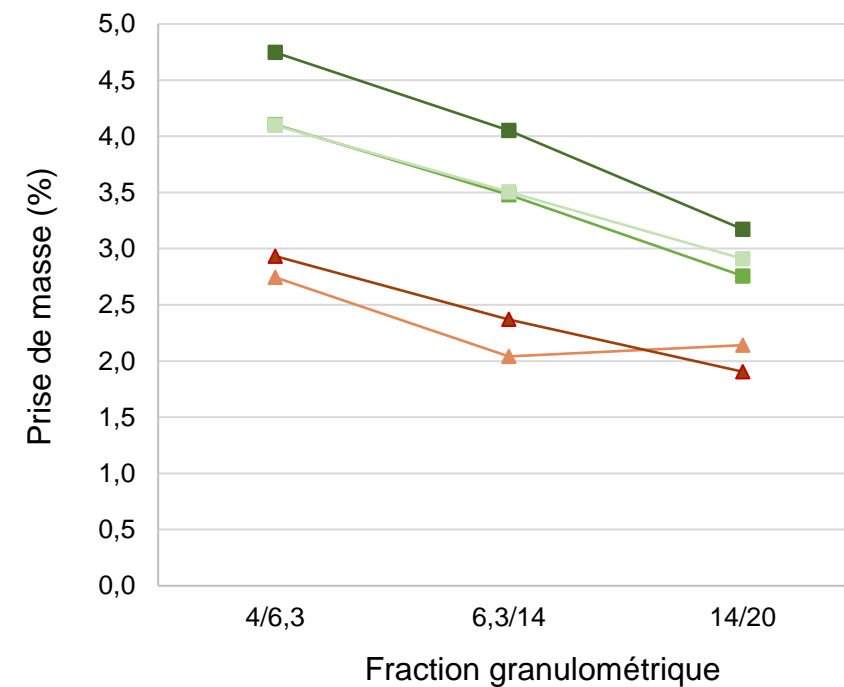
Substitutions en volume des gravillons naturels par des GBR

Caractérisation des gravillons – influence de la carbonatation

- Impact de la carbonatation sur l'absorption d'eau

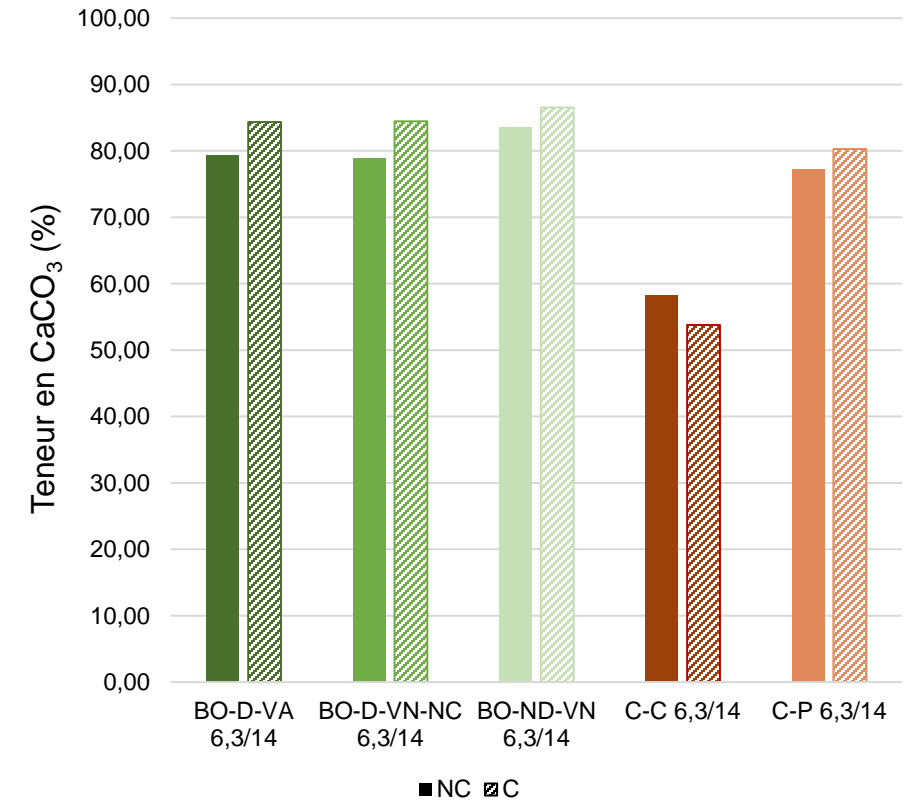
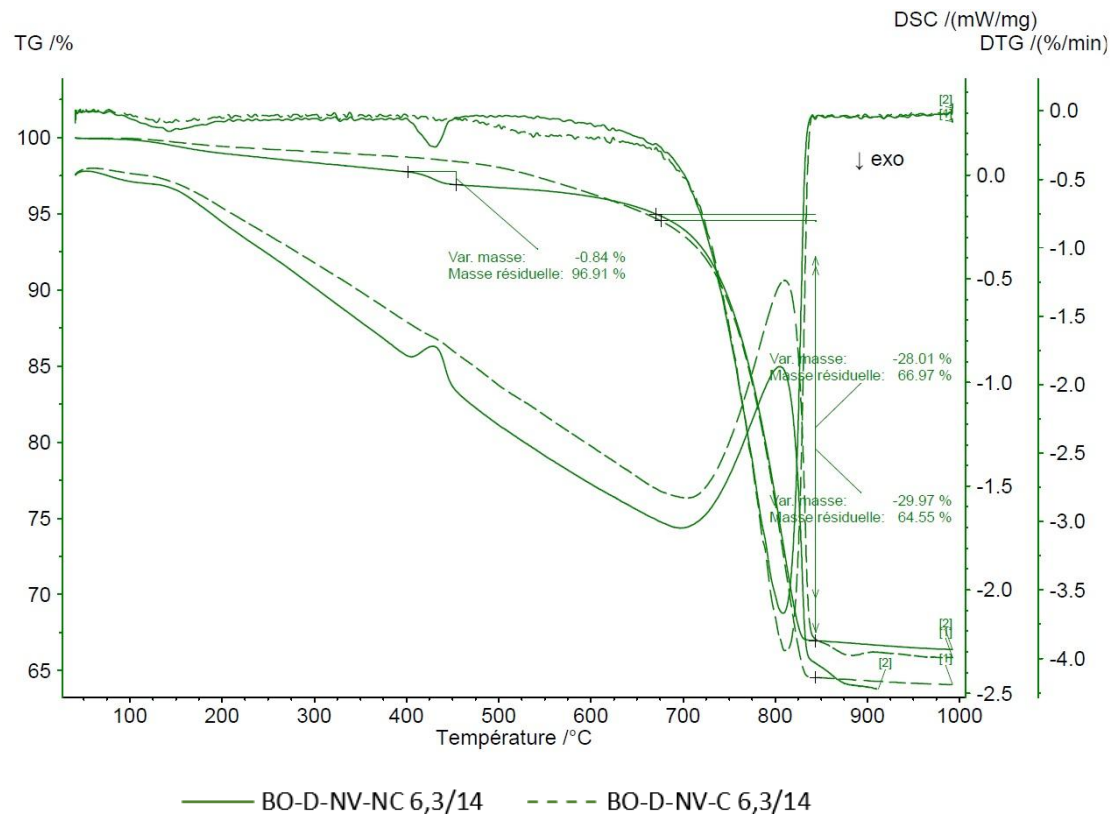


- Prise de masse liée à la carbonatation

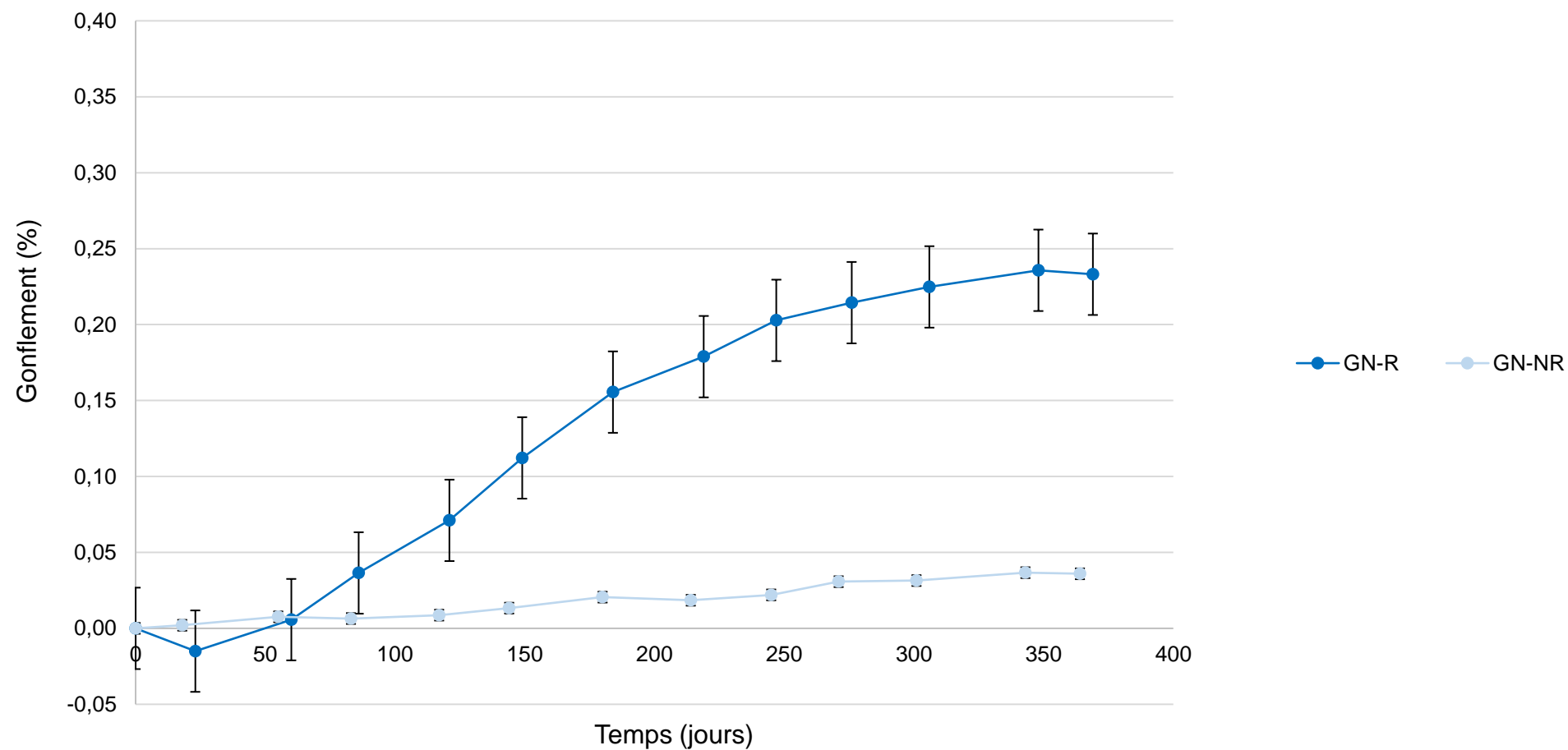


Caractérisation des gravillons – influence de la carbonatation

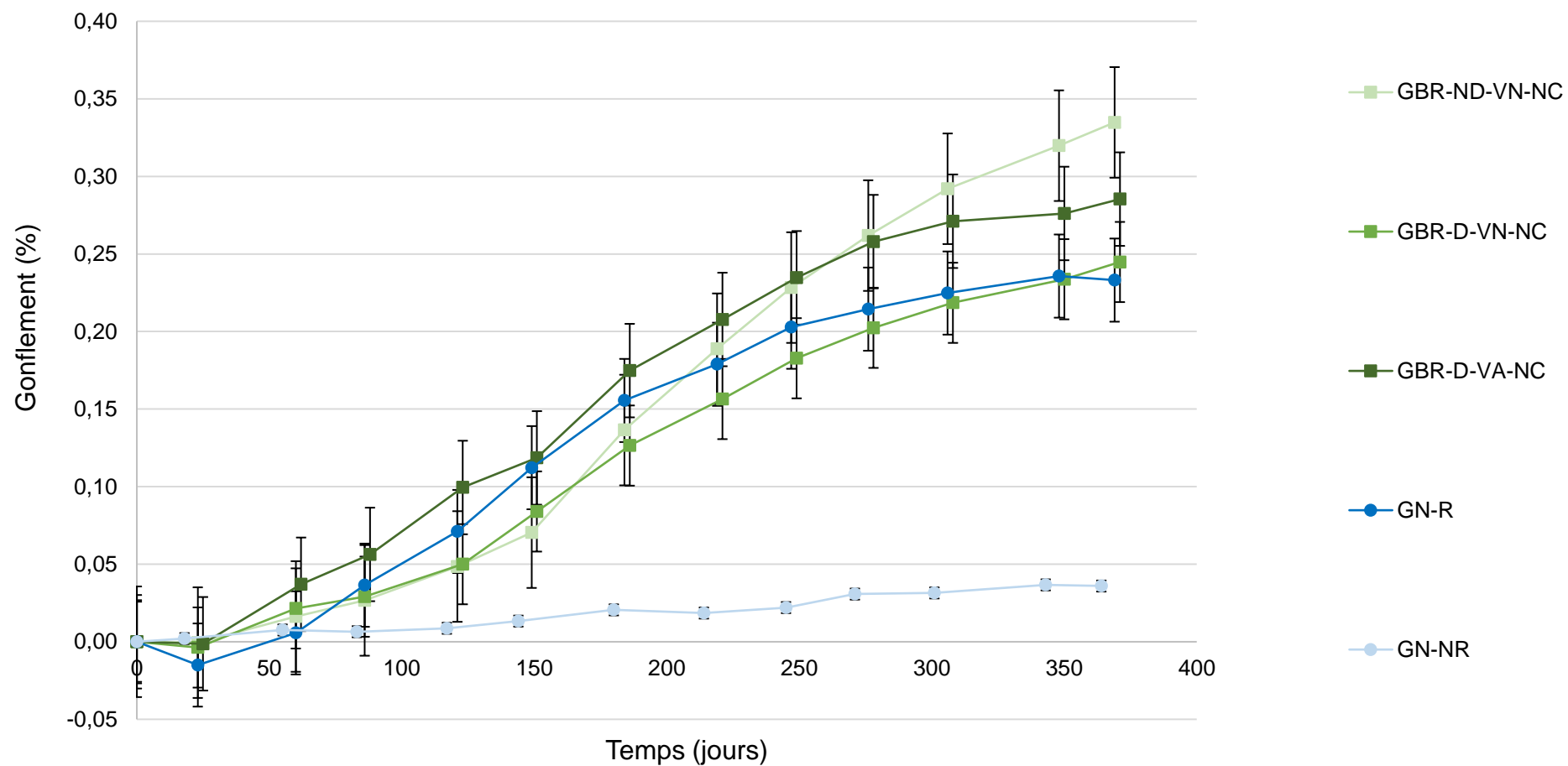
• Analyses thermogravimétriques



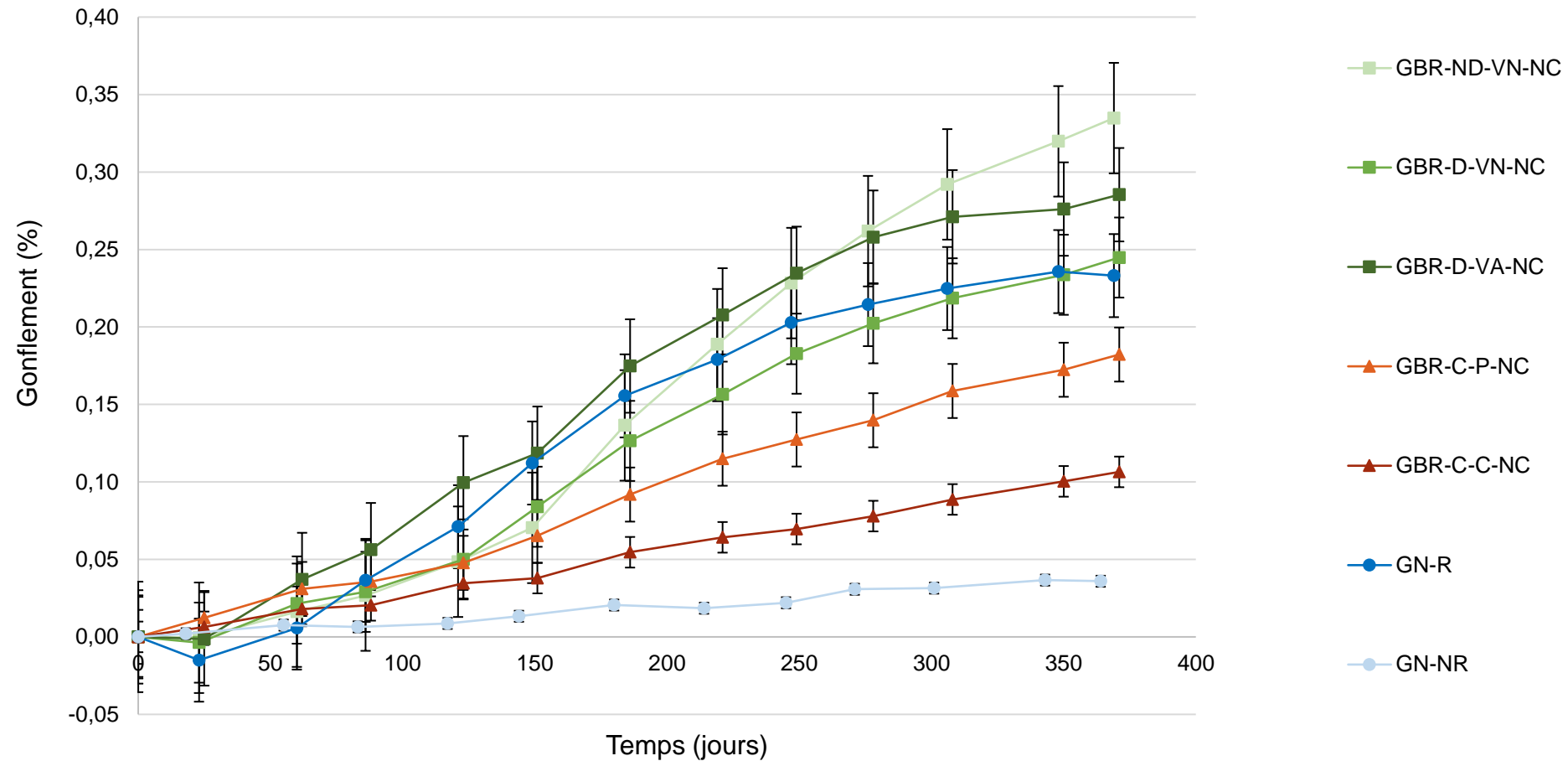
Réactivité des GBR - essais sur béton



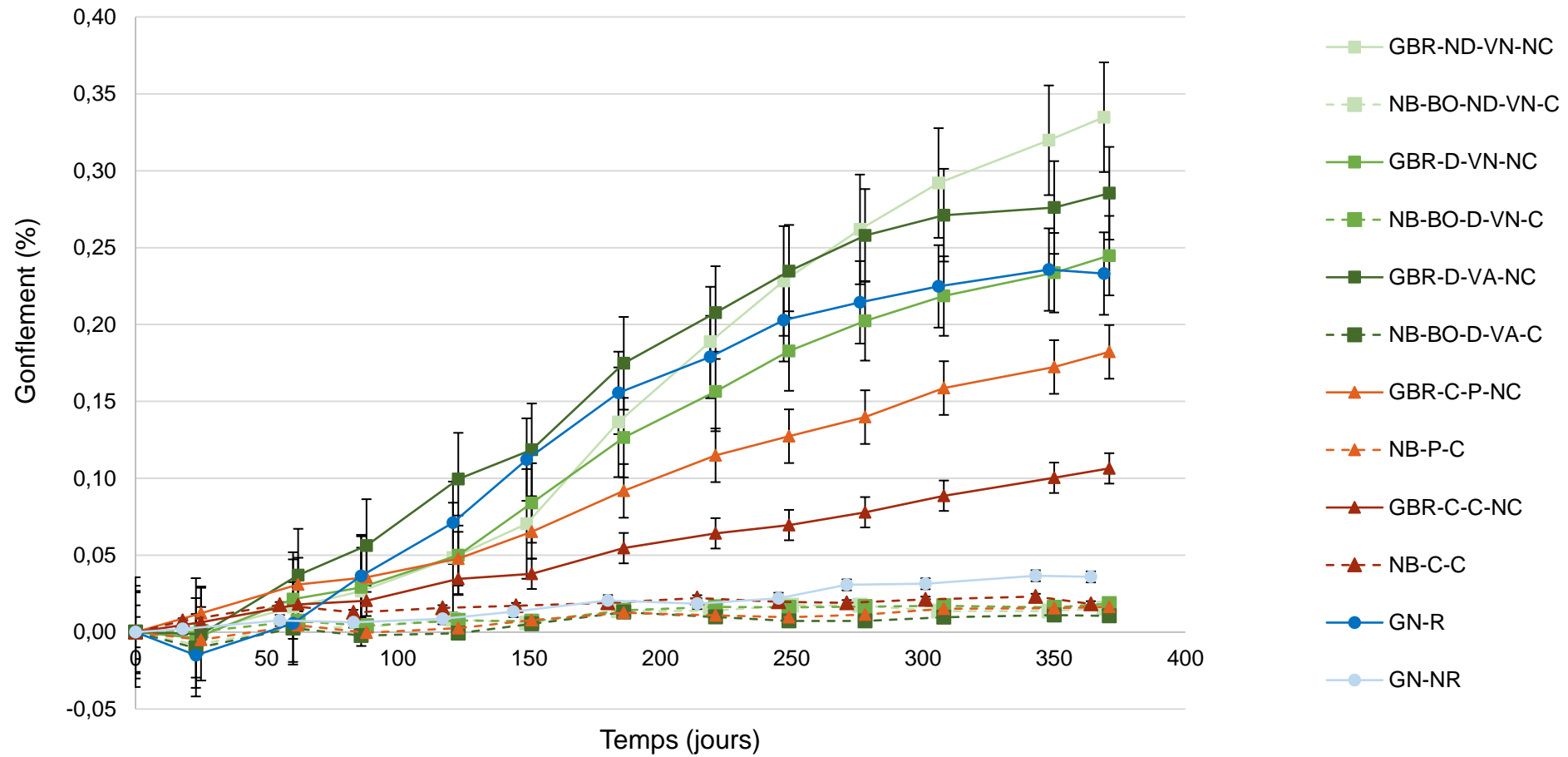
Réactivité des GBR - essais sur béton



Réactivité des GBR - essais sur béton



Réactivité des GBR - essais sur béton



- Procédure de carbonatation efficace
 - WA_{24} ↓ (jusqu'à 35 %)
 - Teneur en $CaCO_3$ ↑ (jusqu'à 7%)
 - Gain de masse (jusqu'à 4,8%)
- GBR fabriqués au laboratoire
 - Gonflements > à ceux des gravillons naturels réactifs d'origine
 - Influence du dopage et des conditions de stockage des bétons d'origine sur la cinétique de réaction et le niveau de gonflement atteint
- GBR issus d'un ouvrage affecté par la RAS
 - Gonflements significatifs liés à la RAS secondaires
 - Différents selon l'élément de l'ouvrage où ils ont été prélevés
- Carbonatation des GBR ↓ gonflements (~ gonflements des gravillons naturels non réactifs).

Merci pour votre attention!

sophie.grigoletto@uliege.be
www.uee.uliege.be