

# Evolution de la rhéologie du béton frais

Paramètres étudiés : taux d'incorporation et état de saturation des granulats recyclés



Colloque RECYBETON – Michel MOURET

16/06/2015

Impacts énergétiques,  
environnementaux et  
sanitaires



→ Rhéologie (affaissement et écoulement) dans le temps en fonction du taux de substitution et de l'état hydrique des sables et gravillons recyclés au moment du malaxage

## ► Constituants de base

→ CEM II/A-L 42.5  
(Holcim, Rochefort)

Clinker 87%	Calcaire 11%	C <sub>3</sub> S 61%	C <sub>3</sub> A 7,9%
Densité 3,09	Blaine 3700 cm <sup>2</sup> /g	Début de prise 150min	Résistance normale (28d) 53,0MPa

→ Filler calcaire Betocarb HP-OG  
(Omya, Orgon)

CaCO <sub>3</sub> 98,8%	Argiles (bleu de méthylène) 0,3/kg	<5µm 37%	D <sub>50</sub> 6µm
Densité 2,70	Blaine 4620 cm <sup>2</sup> /g		Indice d'activité (28d) 0,79

→ Superplastifiant MC PowerFlow 3140  
(MC Chimie)

Densité 1,06	Extrait sec (Infrarouge) 30,8%	pH 4,5 – 6,5
Densité 1,08	Extrait sec (Infrarouge) 19,5%	pH 6,5 – 9,5

→ Retardateur de prise Centrament Retard



370



## ► Constituants de base (suite)

→ Granulats naturels (N)

Sable silico-calcaire semi-concassé lavé 0/4mm (*Lafarge, Sandrancourt*)

Gravillon calcaire concassé coupures 4/10mm et 6,3/20mm (*Lafarge, Givet*)

→ Granulats recyclés (R)

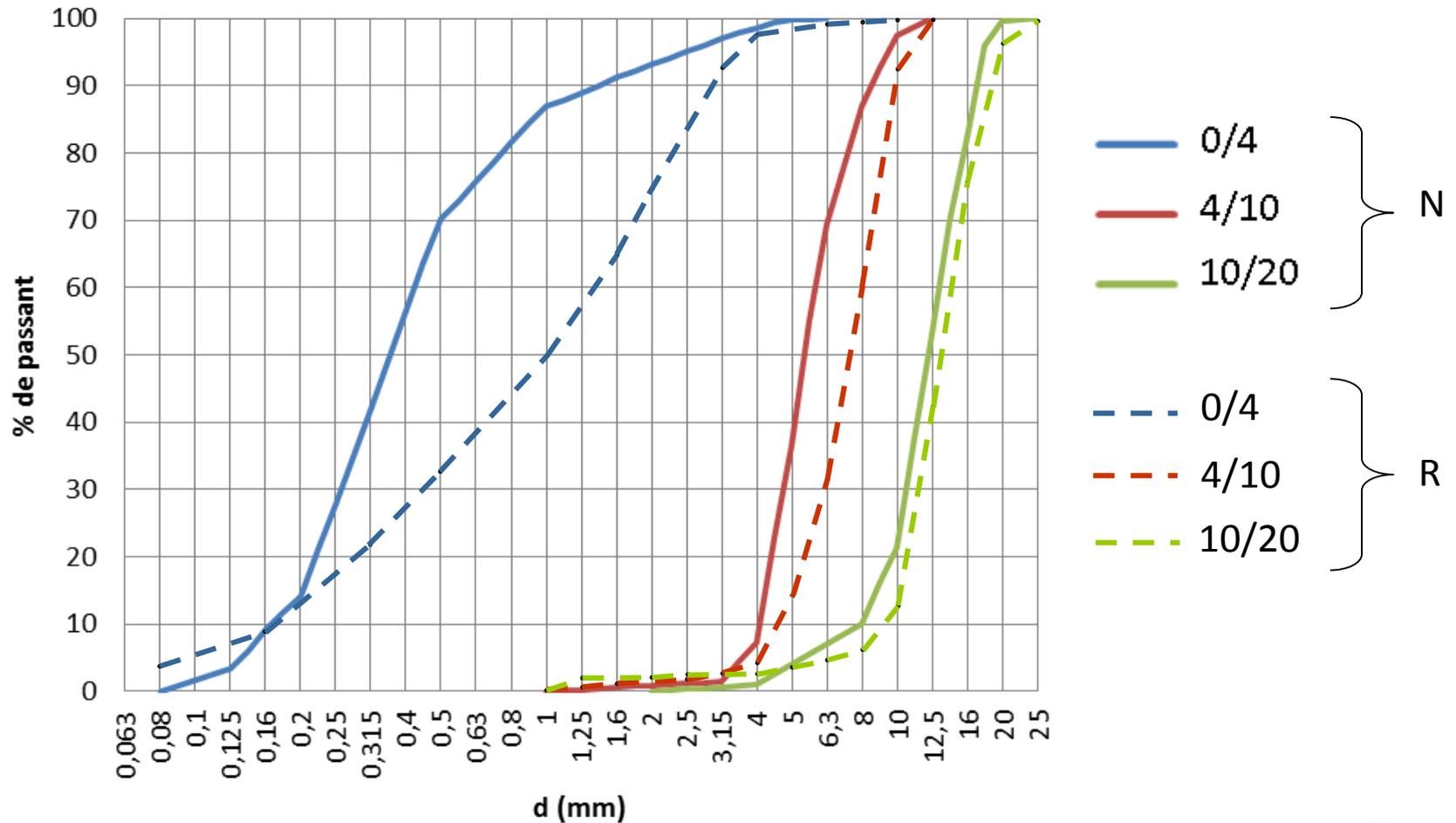
Trois coupures 0/4mm, 4/10mm et 10/20mm (*plateforme de production DLB, Gonesse*)

	Densité	Ab 24h (NF EN 1097-6)	
N 0/4	2,58	0,80%	
N 4/10	2,71	0,51%	
N 6,3/20	2,71	0,46%	LA = 16% MDE = 17%
R 0/4	2,18	9,20%	
R 4/10	2,29	5,21%	
R 10/20	2,26	5,14%	LA = 37% MDE = 23%



## ► Constituants de base

→ Granulats naturels (N) et recyclés (R) : courbes granulométriques



## ► Préparation de l'état hydrique des granulats

Pour chaque coupure, quelle que soit la nature (N) ou (R) :

- 1) Prélèvement à différentes hauteurs des big-bags de stockage
- 2) Homogénéisation des prélèvements (quartage)
- 3) Mesure de la teneur en eau
- 4) Mise en bidon étanche
- 5) Ajustement (24 heures avant le coulage) de la quantité d'eau nécessaire pour atteindre l'état hydrique visé
- 6) Homogénéisation par rotation des bidons placés à l'horizontale

*Etapes 1 à 6 répétées à la préparation de chaque état hydrique visé*

Etats hydriques testés (réunions téléphoniques du 18/10/13 et du 10/07/14) :

**Granulats naturels** (sable et gravillon) toujours utilisés à 1,0Ab

### Gravillon recyclé :

- Ab +1%
- 0,75Ab
- 0,30Ab

*Désorption obligatoire  
(chauffage à 80°C)*

### Sable recyclé :

- 1,2Ab
- 1,0Ab
- 0,87Ab (répété 3 fois)
- 0,50Ab
- 0,33Ab



## ► Formulations des bétons

Parmi les formulations développées à l'IFSTTAR par T. Sedran (logiciel BETONLAB PRO3) :  
*(rapport du 01/07/13 – Mise au point des formules de béton de référence – thème 0)*

C25/30 0R – 0R (référence ne comportant pas de recyclés)

C25/30 0R – 100R (pas de sable recyclé et 100% de gravillon recyclé)

C25/30 30R – 0R (30% de sable recyclé et 0% de gravillon recyclé)

→ Quantité d'eau totale constante pour chaque type de formulation

→ Afin de viser la limite haute de la classe S4 (21 cm d'affaissement) :

Teneur en superplastifiant ajustée pour

- C25/30 0R – 0R
- C25/30 0R-100R lorsque  $Ab+1\%$



► Malaxage



Collomix – 25 litres

Introduction des solides  
(gravillon, 1/2 sable, ciment + filler, 1/2 sable)

*Malaxage durant 1 minute*

introduction de la phase liquide  
(eau + adjuvant(s)) *durant 30 secondes*

*Malaxage poursuivi  
durant 3 minutes et 30 secondes*



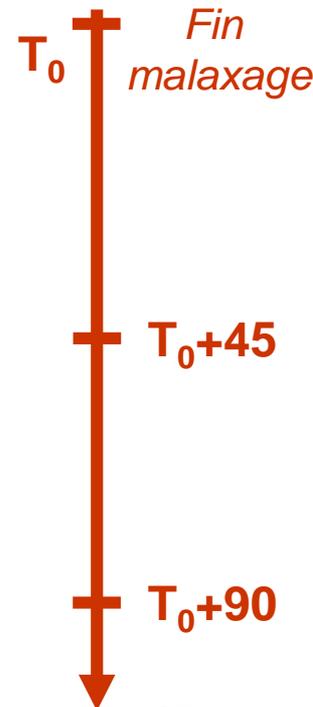
Agitation continue en cuve étanche  
(simulation transport)

3 tr/min

+

12 tr/min

durant 2 minutes avant décharge



► Essais à l'état frais

Affaissement (cône d'Abrams - NF EN 12350-2)

Ecoulement (RhéoCAD + table vibrante 50Hz, 1g)

Vitesse imposée au mobile → couple résistant  
5 litres de suspension

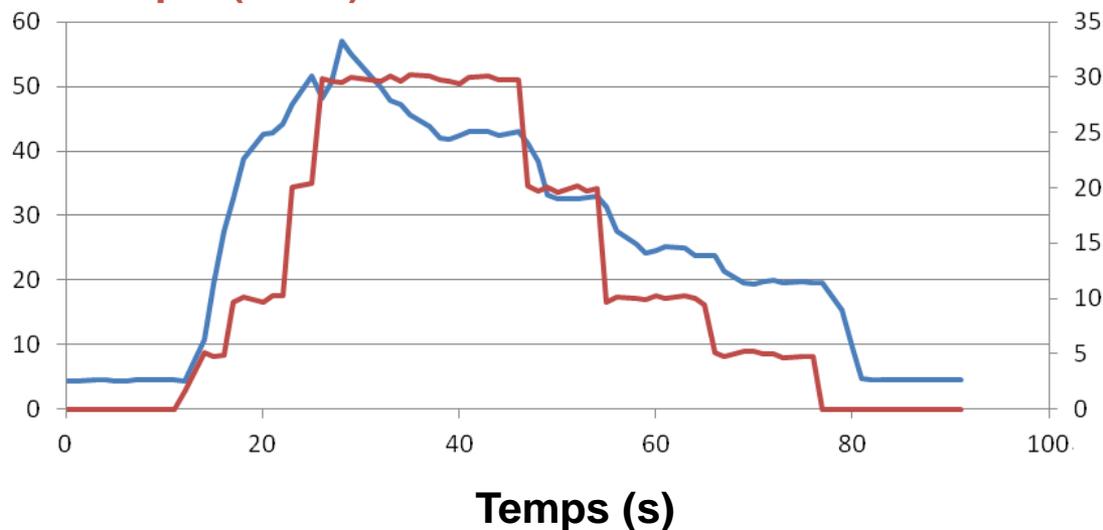
Entrefer =  $2 \times D_{max}$



Mobile 4 ailettes

Couple (N.cm)

Vitesse (tr/min)



Après déstructuration :

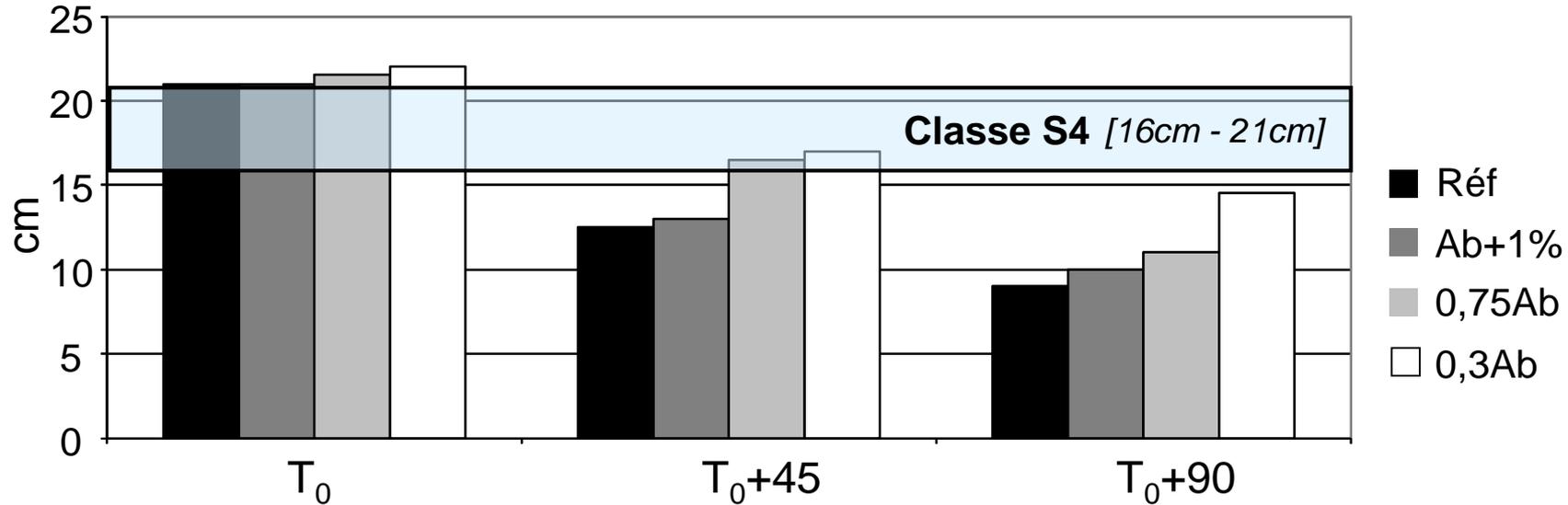
- 4 vitesses (30, 20, 10 et 5) tr/min
- diminution de la vitesse lorsque régime permanent atteint

} 4 points  
couple/vitesse



► Affaissement

0% sable recyclé et 100% gravillon recyclé



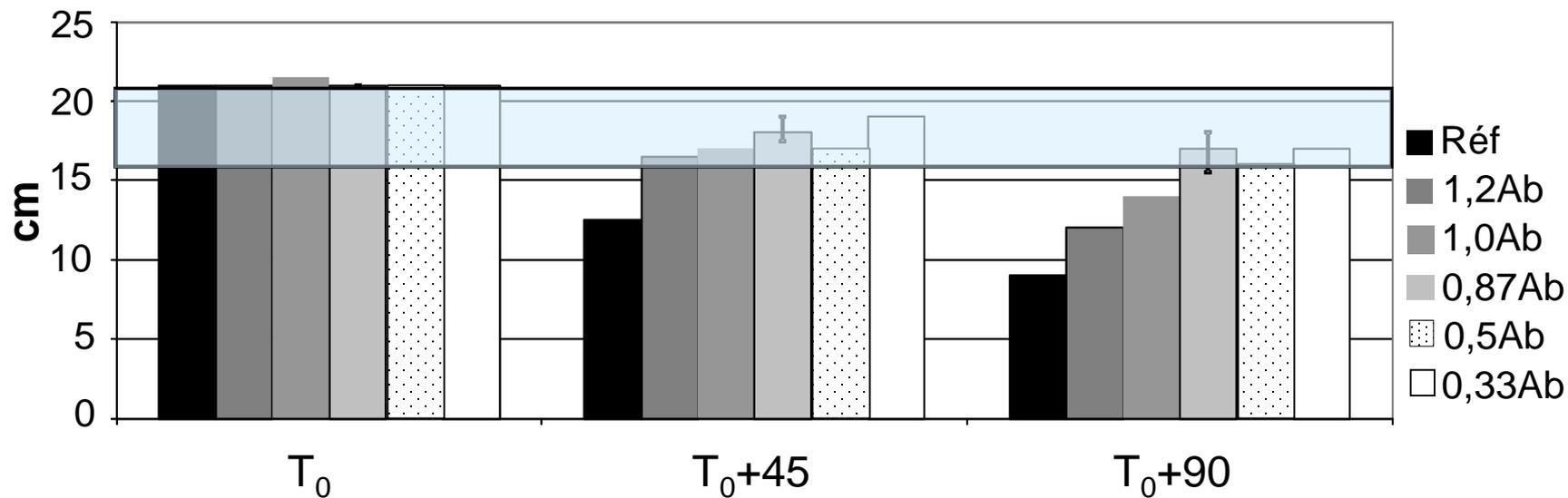
Classe S4 :

- dégradée dans le temps
- d'autant plus dégradée que le gravillon est saturé



► Affaissement (suite)

*30% sable recyclé et 0% gravillon recyclé*



Classe S4 :

- dégradée dans le temps pour les états saturés (Ab) et sursaturés (1,2Ab)
- maintenue pour les états sous-saturés (0,87Ab à 0,33Ab)



► Ecoulement

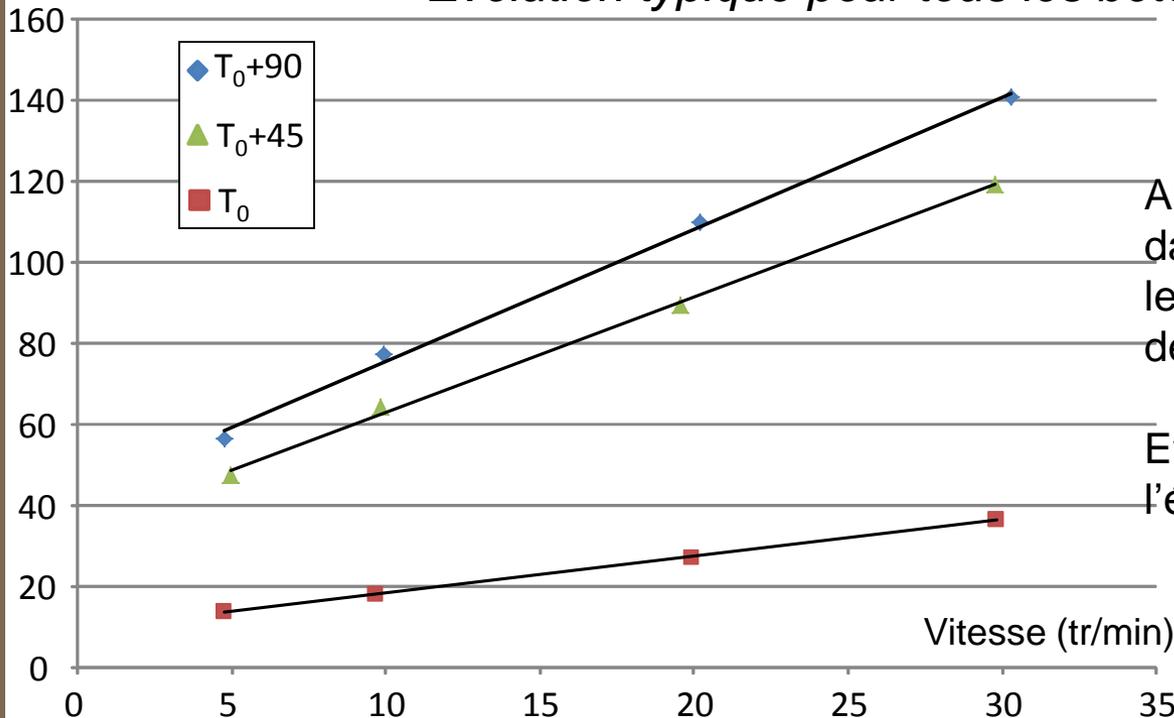
Evolution (couple  $C$  ; vitesse  $\omega$ ) quasi-linaire dans tous les cas

$$C = C_0 + K \omega$$

Evolution dans le temps (taux de saturation donné)

Propriétés visqueuses

Couple (N.cm) Evolution typique pour tous les bétons testés

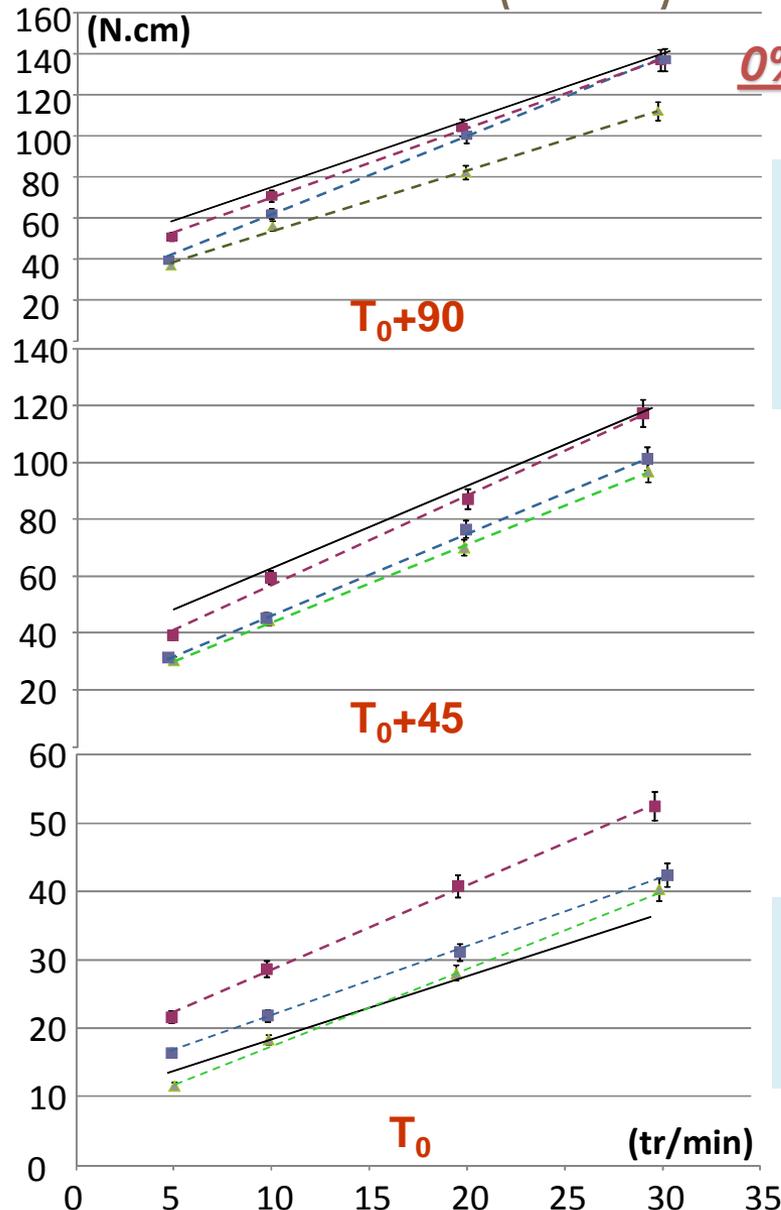


Altération de l'écoulement dans le temps dominée par les phénomènes irréversibles de l'hydratation

Evolution indépendante de l'état hydrique des recyclés



► Ecoulement (suite)



0% sable recyclé et 100% gravillon recyclé

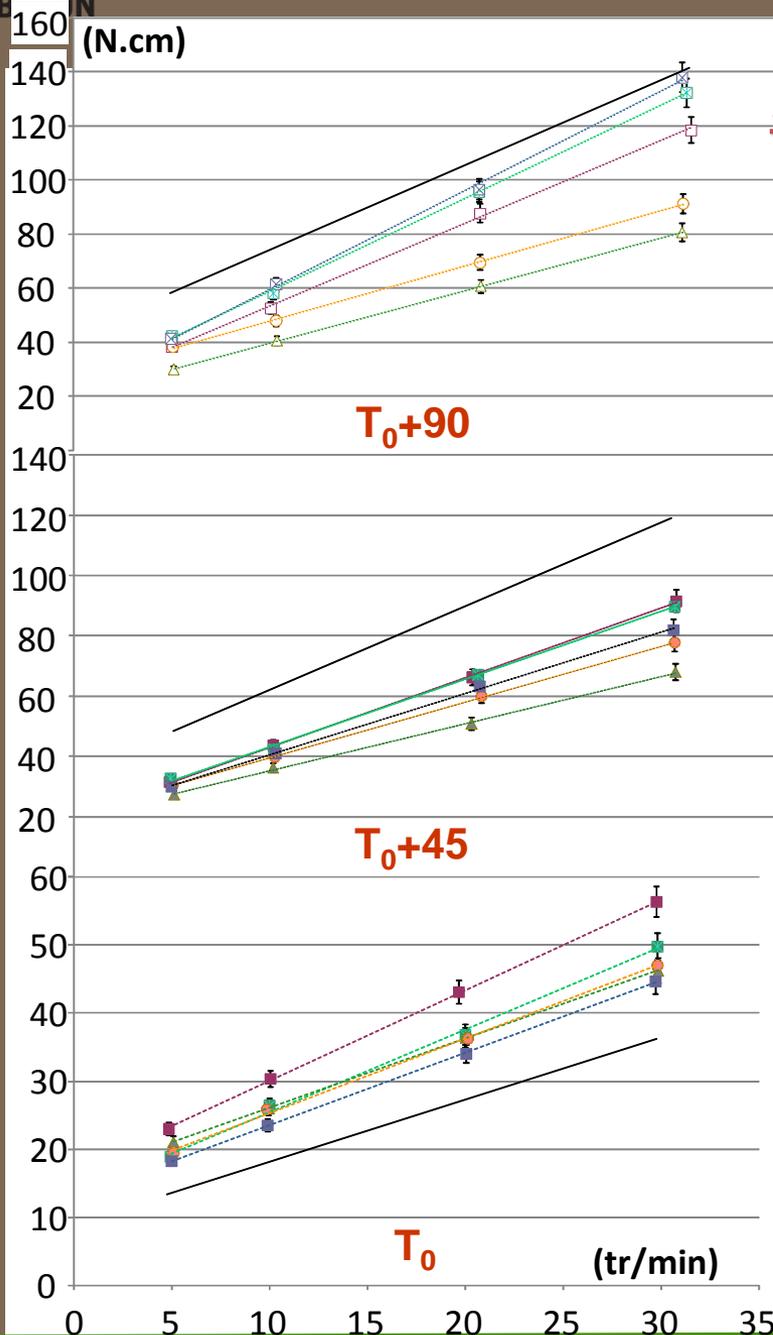
L'état proche de la saturation (0,75Ab) reste celui qui confère le meilleur écoulement quelle que soit l'échéance de mesure

*Evolution en fonction du taux de saturation (échéance donnée)*

- Ab+1%
- ▲--- 0,75Ab
- 0,30Ab
- Ref (0% recyclés)

L'état sous-saturé (0,3Ab) présente une forte augmentation des propriétés visqueuses dans le temps





30% sable recyclé et 0% gravillon recyclé

L'état proche ou égal à la saturation (0,87Ab, 1,00Ab) reste celui qui confère le meilleur écoulement quelle que soit l'échéance de mesure

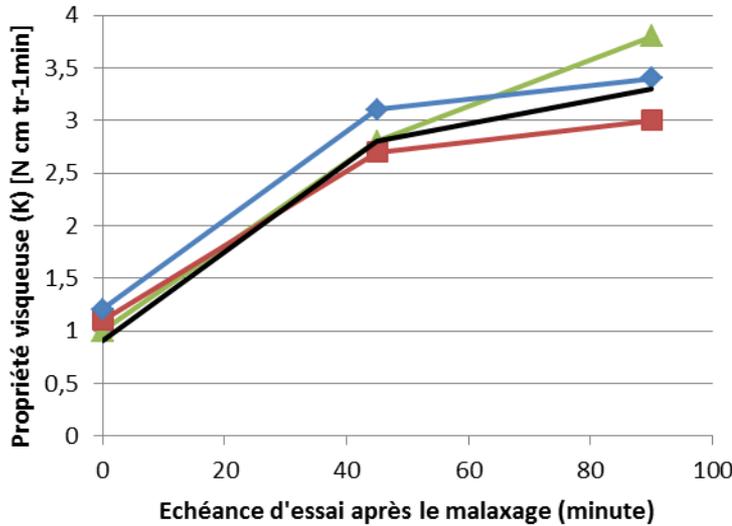
- 1,20Ab
- 1,00Ab
- ▲- 0,87Ab
- 0,50Ab
- 0,30Ab
- Ref

*Evolution en fonction du taux de saturation (échéance donnée) (suite)*

L'état sous-saturé (0,3Ab et 0,5Ab) présente une forte augmentation des propriétés visqueuses dans le temps



► Ecoulement (suite)

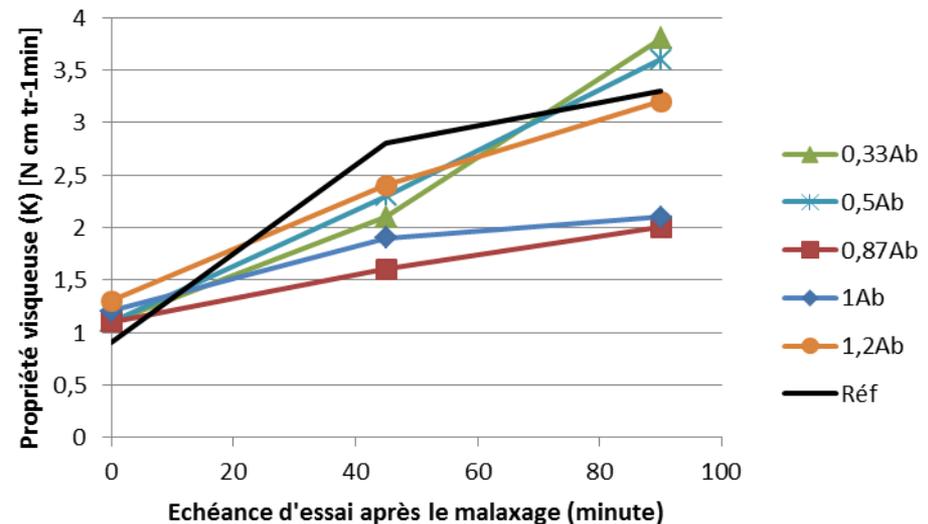


0% sable recyclé et  
100% gravillon recyclé

Evolution des propriétés  
visqueuses en fonction  
du temps

$$C = C_0 + K \omega$$

30% sable recyclé et  
0% gravillon recyclé





**100% granulats naturels (Ab)**

**0% sable recyclé /100% gravillon recyclé (Ab+1%, 0,75Ab, 0,3Ab)**

**30% sable recyclé/ 0% gravillon recyclé (1,2Ab, 1,0Ab, 0,87Ab, 0,5Ab, 0,33Ab)**

→ Ouvrabilité (affaissement) toujours dégradée dans le temps, quel que soit l'état hydrique initial

→ Ouvrabilité (affaissement) d'autant plus dégradée que les recyclés sont saturés ou sursaturés

→ Ecoulement (viscosités) d'autant plus altéré dans le temps que les recyclés sont sous-saturés

→ Ecoulement (viscosités) le plus fluide lorsque les recyclés sont proches ou égaux de la saturation, mais pas sursaturés.

