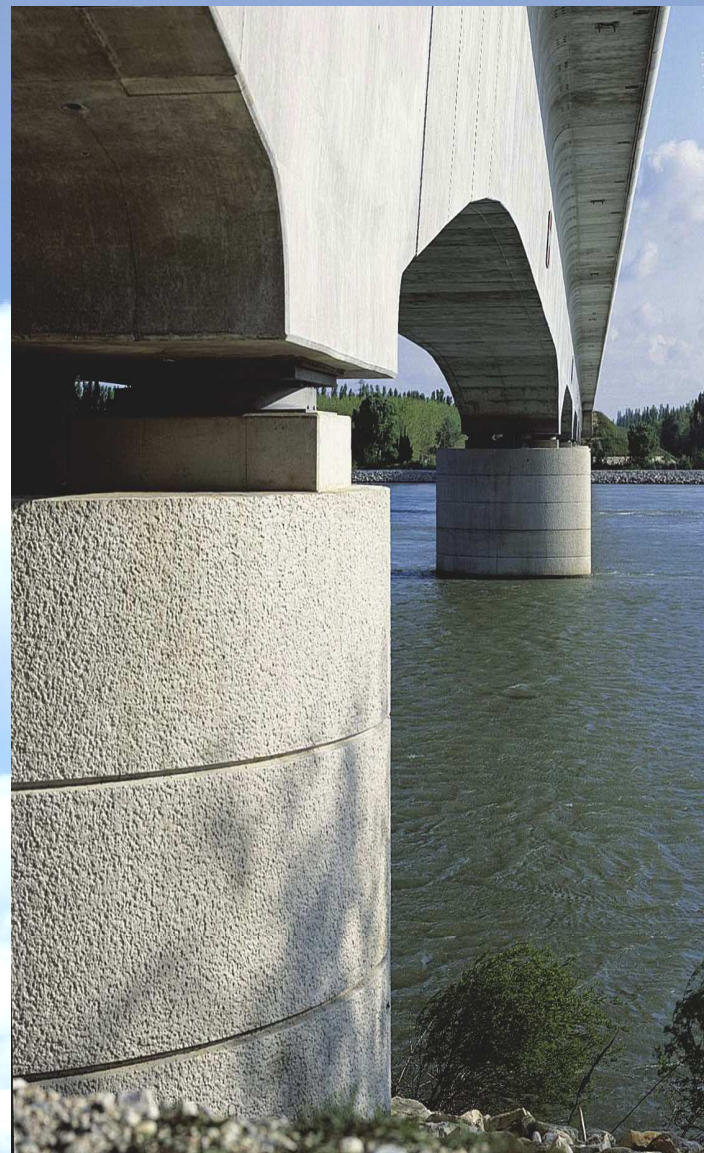


Granulats recyclés Pour Béton

Patrick GENTILINI

CETE Méditerranée
LRPC d'Aix-en-Provence



PLAN DE L'EXPOSE

- **A – Caractéristiques des bétons avec des granulats recyclés et des granulats recyclés locaux**
- **B – Projet de la médiathèque d'Aix-en-Provence**
- **C – Etude de béton avec des granulats recyclés**



A - Caractéristiques du béton avec des granulats recyclés

Principales données issues de l'étude bibliographique :

⇒ Les granulats recyclés possèdent les particularités suivantes :

- Une absorption d'eau élevée
- Une masse volumique généralement plus faible
- Une masse volumique variable des éléments



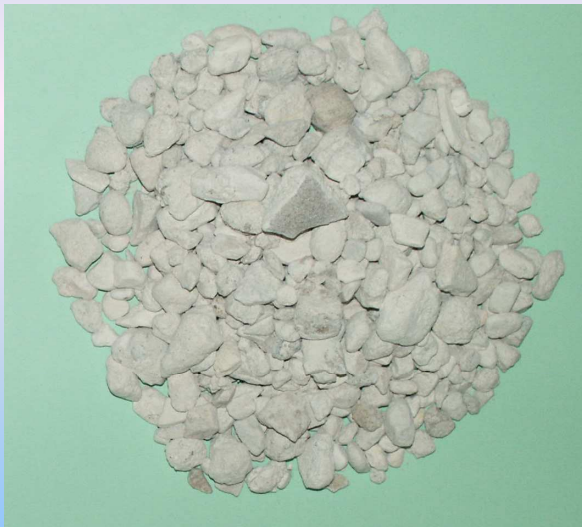
- Consistance plus ferme du béton frais – perte d'ouvrabilité
- Résistance mécanique plus faible
- Vitesse de carbonatation plus élevée, en particulier dans le cas d'utilisation d'un sable de béton concassé.



Ex de résultats obtenus sur différents granulats recyclés

Matériau 1

« Laitance » +
granulats non liés



Origine :

Centrale de BPE

Matériaux 2 et 3

Béton + briques + enrobés +
granulats non liés



Origine :

Déconstruction

Matériau 4

Béton + mortier



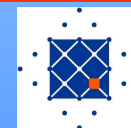
Origine :

Béton LRPC



Caractéristiques mesurées sur la fraction 0/4 mm

Caractéristique	Laitance BPE	Issus de plate-formes de recyclage		Béton labo
Masse volumique réelle : ρ_{rd}	1.95 Mg/m ³	2.32 Mg/m ³	2.16 Mg/m ³	2.23 Mg/m ³
Absorption d'eau : WA_{24}	10.3%	?	7.4%	6.3%
Friabilité du sable : FS	38	?	38	31
Qualité des fines : MB	0.6 g/kg	?	0.5g/kg	0.2 g/kg
Sulfates solubles dans l'eau: SO_4	0.39%	0.43%	0.42%	0.12%



Caractéristiques mesurées sur la fraction 4/20 mm

Caractéristique	Laitance BPE	Issus de plate-formes de recyclage		Béton labo
Masse volumique réelle : ρ_{rd}	2.20 Mg/m ³	2.49 Mg/m ³	2.30 Mg/m ³	2.20 Mg/m ³
Absorption d'eau : WA_{24}	7.8%	?	5.3%	6.9%
<i>Porosité</i>	$\approx 17.2\%$		$\approx 12.2\%$	$\approx 15.2\%$
Résistance à la fragmentation : LA	27	28	29	32

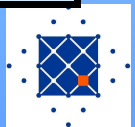


Teneur en sulfates solubles dans l'eau : Exemples de résultats obtenus sur les fractions 0/4 mm et 4/20 mm

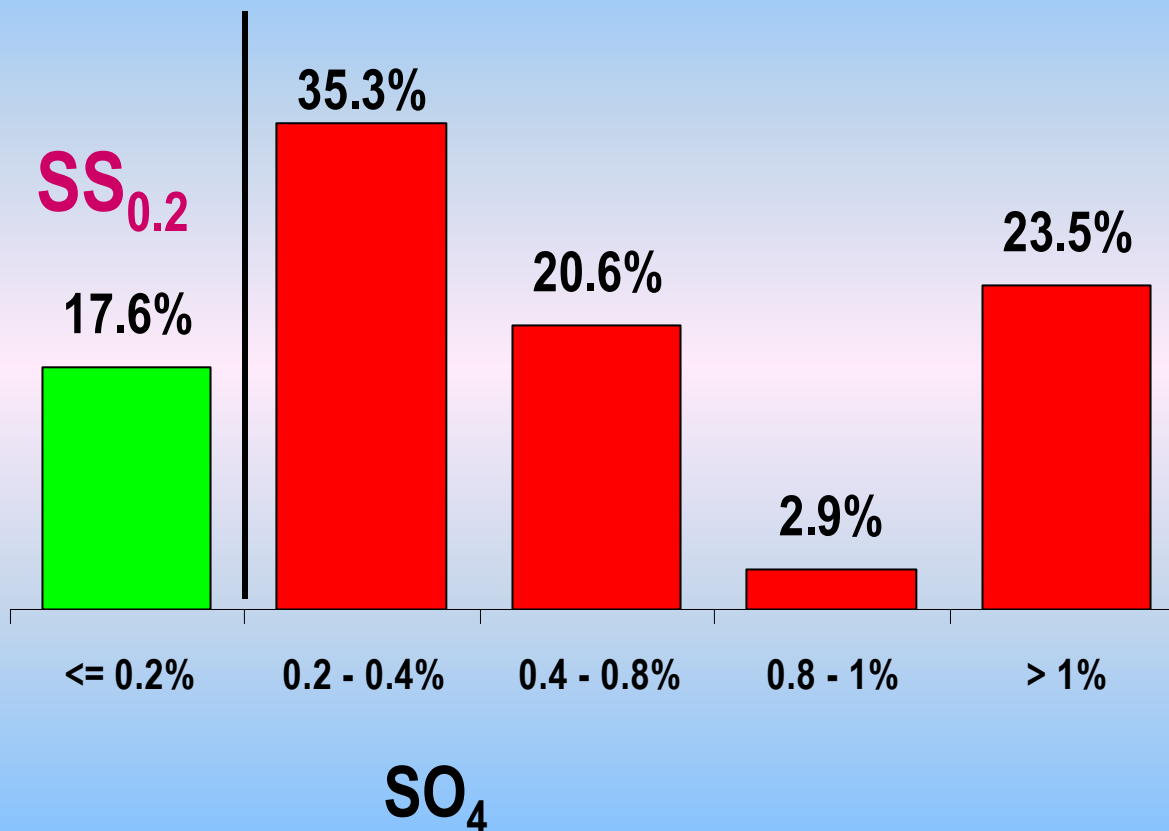
Teneur en sulfates solubles dans l'eau	Fraction 0/4 mm	Fraction 4/20 mm
Matériaux de déconstruction	$\text{SO}_4^{2-} = 0.40\%$	$\text{SO}_4^{2-} = 0.23\%$
	$\text{SO}_4^{2-} = 1.3\%$	$\text{SO}_4^{2-} = 1.2\%$

Teneur en sulfates solubles dans l'eau : seuil maximal fixé dans la norme granulats pour béton

Teneur en sulfate soluble dans l'eau	Catégorie
$\text{SO}_4 \leq 0.2 \%$	$\text{SS}_{0.2}$



Période 2001 – 2008 : Teneur en sulfates solubles dans l'eau mesurée sur différents matériaux recyclés



	Min	Max	Moy
P1	0.36%	1.93%	1.15%
P2	0.39%	1.02%	0.70%
P3	0.19%	1.08%	0.52%
P4	0.28%	1.05%	0.57%
P5	0.32%	1.04%	0.71%
P6	0.04%	0.23%	0.11%

Synthèse par provenance



B - Projet de réalisation d'un bâtiment avec des granulats recyclés

•→ Médiathèque - Rectorat d'Aix-en-Provence :

- Volume de béton : entre 3 000 et 4 000 m³
- Classes de résistance C25/30 et C30/37 pour certaines parties d'ouvrage
- Durée du chantier de 18 à 24 mois
- Début des travaux : 2011 (lancement du concours en mai 2010)



Granulats recyclés pour les bétons :

- 2 coupures 0/4 et 4/D ≤ 20 mm
- Pourcentage total de granulats recyclés pour l'ensemble du chantier ≥ 33 % et sable $\geq 20\%$ et 4/D $\geq 40\%$ (→ Sr ≈ 450 t et Gr ≈ 2000 t)



Médiathèque - cahier des charges granulats recyclés

Résistance à la fragmentation	4/D : LA_{30}	4/D : Constituants principaux	RCU_{90} ou RC_{80}
Chlorures	Valeur à déclarer	Constituants secondaires	Rb_{10-} Ra_{1-} XRg_{1-} FL_{2-}
Sulfates solubles dans l'eau	$SS_{0.2}$	Forme	4/D : FI_{35}
Sulfates solubles dans l'acide	$AS_{0.8}$	Teneur en fines	4/D : f_4 0/4 : f_{16}
Soufre total	$S \leq 1\%$	Qualité des fines	0/4 : $MB \leq 1.5$
Influence sur le temps de prise	$A_{Déclarée}$	Absorption d'eau	$WA24 \leq 5.0\%$ Ou valeur déclarée $\pm 2\%$
Gel	4/D : $F_{Déclarée}$	Réaction alcali-silice	Classement selon FD P 18 542

C – Formulation de béton avec des granulats recyclés

Esterel Terrassement Recyclage



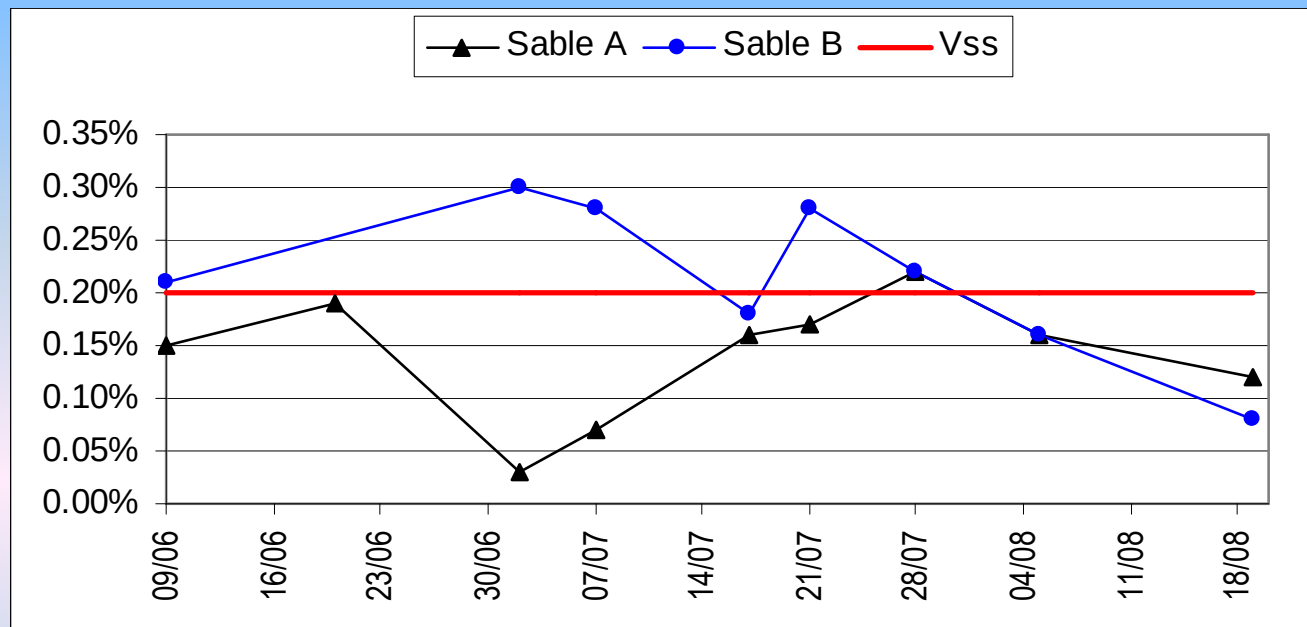
**Plate-forme varoise
de recyclage de
matériaux de
déconstruction et de
« laitance » de
centrales de
préfabrication**

**Production d'un sable 0/4 lavé
marqué CE 2+ pour la norme
NF EN 12620**



Contexte de l'étude

Teneur en sulfates solubles dans l'eau



« Laitance » :

Usine 1 : $\text{SO}_4^{2-} = 0.45\%$

Usine 2 : $\text{SO}_4^{2-} = 0.36\%$

Teneur en sulfate soluble dans l'eau du 0/4
avec **recyclage de « laitance »** :

- Teneur moyenne $\text{SO}_4^{2-} = 0.18\%$
- Teneur Max : $\text{SO}_4^{2-} = 0.30\%$

Fabrication hors
norme pour la
teneur en SO_4^{2-}



Sable recyclé : Granulats non liés + mortier + briques + plâtre



Sable lavé obtenu par concassage dans un axe vertical

Sables fournis pour l'étude	Teneur en fines	Module de finesse	Taux de SO ₄ dans le 0/4
(0/4 R) S1	2.7%	3.133	0.24%
S2	2.8%	2.915	0.35%
S3	3.5%	2.908	0.86%

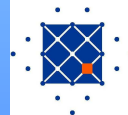
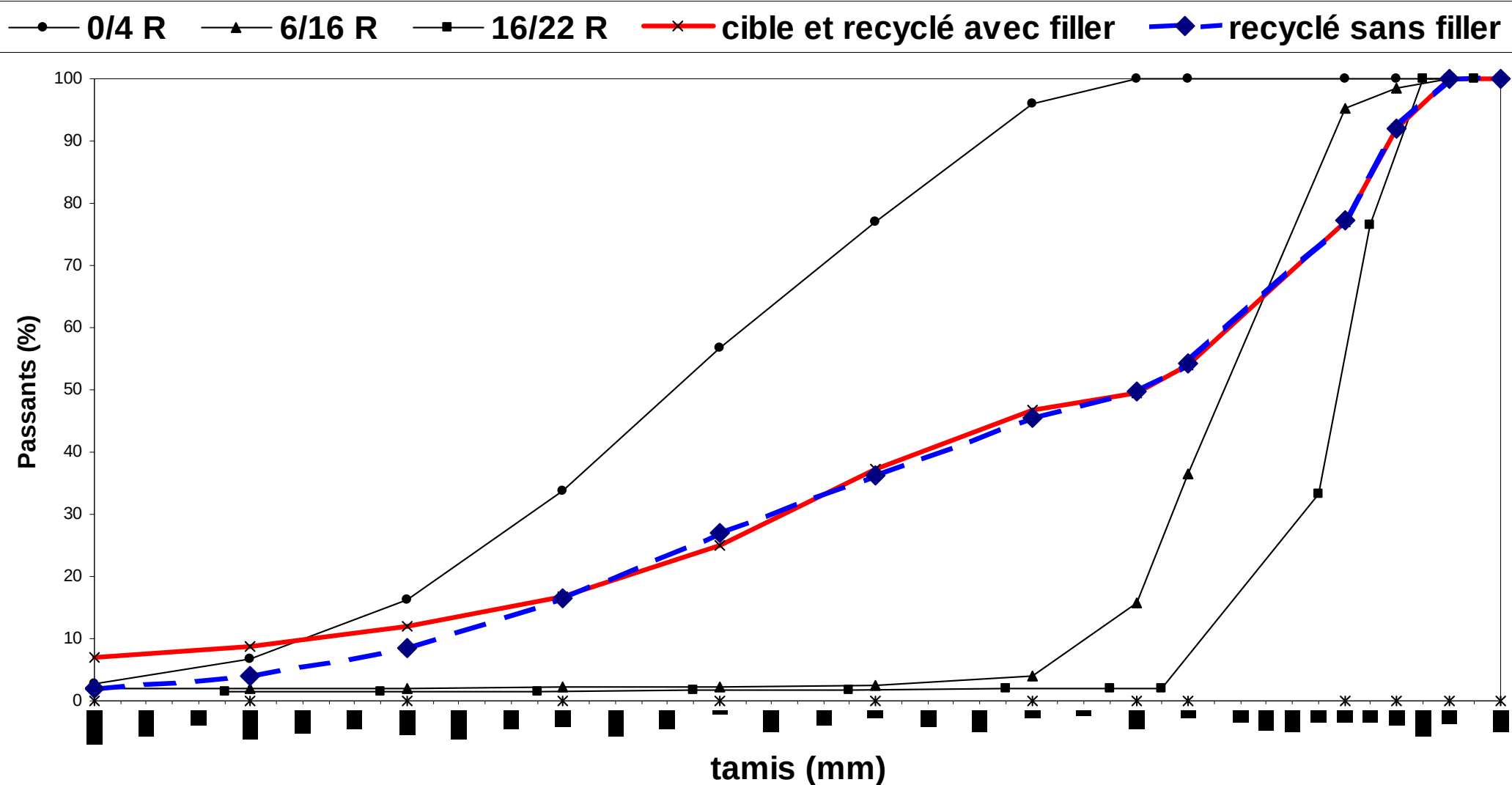


Formule de béton testée : référence :

BPE B25 avec $A \geq 100$ mm et $E_{eff}/C \leq 0.60$

	Référence	100% sable recyclé	
Ciment (kg/m ³)	315	315	315
16/22 calcaire (kg/m ³)	600	600	600
6/16 calcaire (kg/m ³)	400	400	400
0/4 calcaire (kg/m ³)	845	0	0
0/4 recyclé (kg/m ³)	0	758.3	845
Fillers correcteur (kg/m ³)	0	86.7	0
Eau pesée (l/m ³)	190	222	206
Adjuvant PRELOM 500 (% de C) Plage d'utilisation : 0.1 à 1.8% Plage traditionnelle : 0.4 à 1.2%	0.7%	0.9%	1.1%
E_{eff}/C	0.57	0.65	0.60
slump test A =	150 mm	55 mm	140 mm

Squelette granulaire des bétons testés



Taux de sulfates solubles dans l'eau du squelette granulaire des formules testées

	Taux de SO ₄ dans sable de la formule de béton	SO ₄ dans l'eau par rapport à la masse totale de granulats (S+G) dans la formule de béton
S1	0.24%	F1 = 0.11%
S2	0.35%	F2 = 0.16%
0.5 S1 +0.5 S3	0.55%	F3 = 0.25%
S3	0.86%	F4 = 0.39%

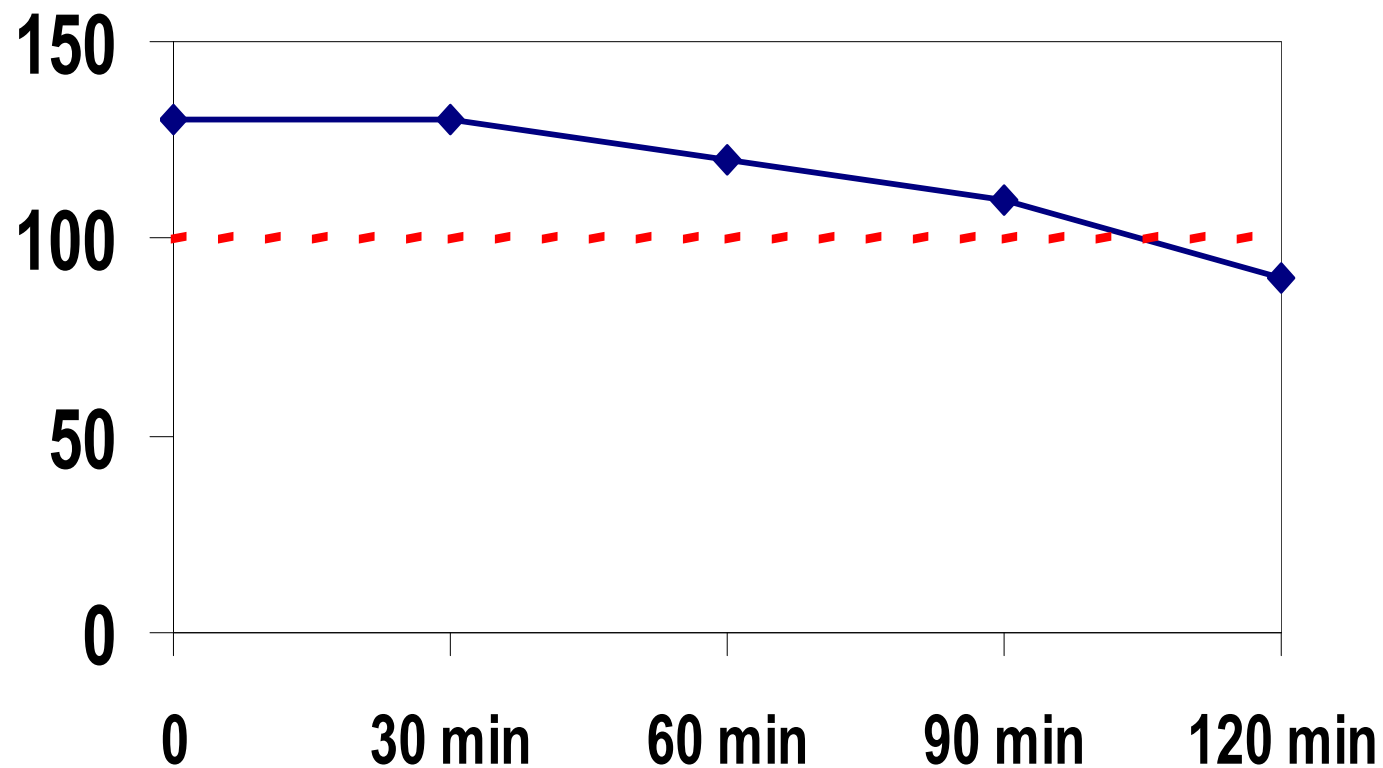


Propriété du béton frais

Vérification du maintien de l'ouvrabilité

100% de sable recyclé avec $W\% = 0.9\%$ – 0% de filler – 1.1%
d'adjuvant – E apport = 206 l

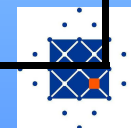
A mm



Propriété du béton durci

Porosité et Résistances mécaniques

Résistance mécanique	Porosité	RC 7 j	RC 28 j
Référence	12.8%	34.0 MPa	42.0 MPa
100% Sable Recyclé + filler 0.7% adj et $E_a = E + 32I$	15.3%	26.5 MPa	34.6 MPa
100% Sable Recyclé 1.1% adj et $E_a = E + 16I$ 	F1 = 17.2%	26.6 MPa	32.7 MPa
	F2 = 16.0%	23.4 MPa	31.5 MPa
	F3 = 16.2%	24.9 MPa	32.5 MPa
	F4 = 15.6%	24.2 MPa	32.0 MPa
	Moyenne 16.3%	24.8 MPa	32.2 MPa
	Rc/Rc_{référence}	72.9%	76.7%



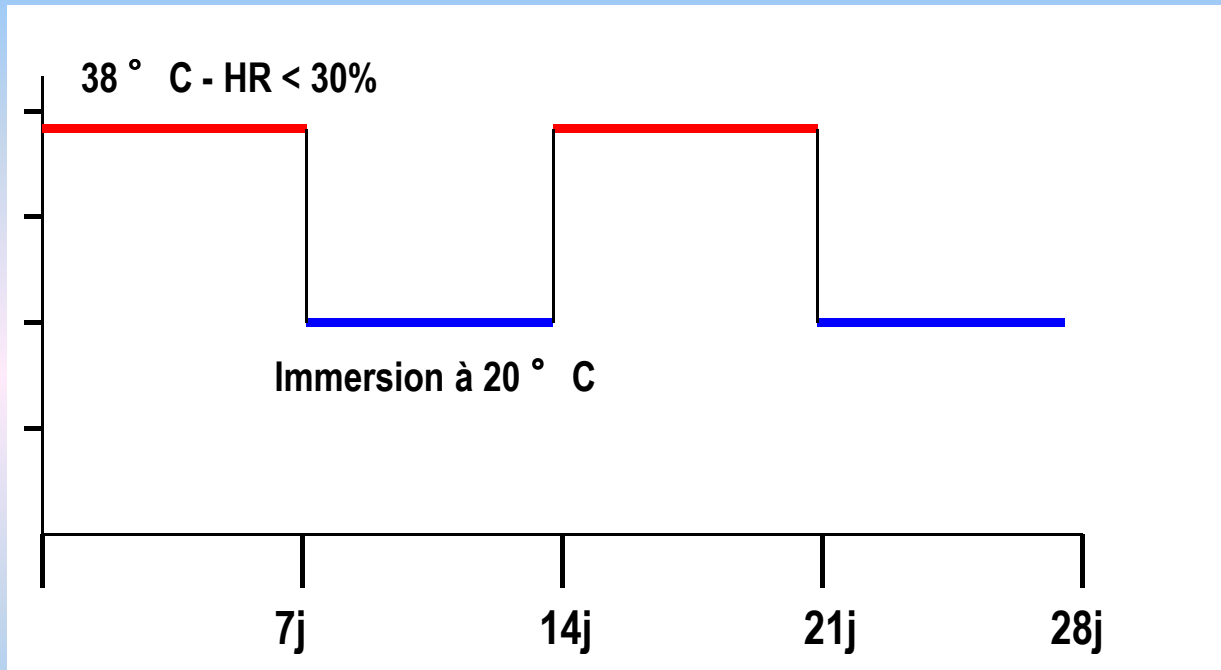
Durabilité des bétons - Porosité du béton

Guide AFREM durabilité des bétons

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Durée de vie exigée	< 30 ans	De 30 à 50 ans	De 50 à 100 ans
Type d'ouvrage		Bâtiment	Bâtiment et OA de génie civil
Sec et très sec (HR < 65%) ou humide en permanence	$P_{\text{eau}} < 16\%$		$P_{\text{eau}} < 14\%$
Humide HR > 80%	$P_{\text{eau}} < 16\%$		$P_{\text{eau}} < 14\%$
Modérément humide (65 < HR < 80%)	$P_{\text{eau}} < 15\%$	$P_{\text{eau}} < 14\%$	$P_{\text{eau}} < 12\%$
Cycles fréquents d'humidification – séchage	$P_{\text{eau}} < 16\%$	$P_{\text{eau}} < 14\%$	$P_{\text{eau}} < 12\%$

Suivi de l'influence du taux de sulfates solubles dans l'eau

1 - Cycles de séchage et d'humidification : 2 x 14 j



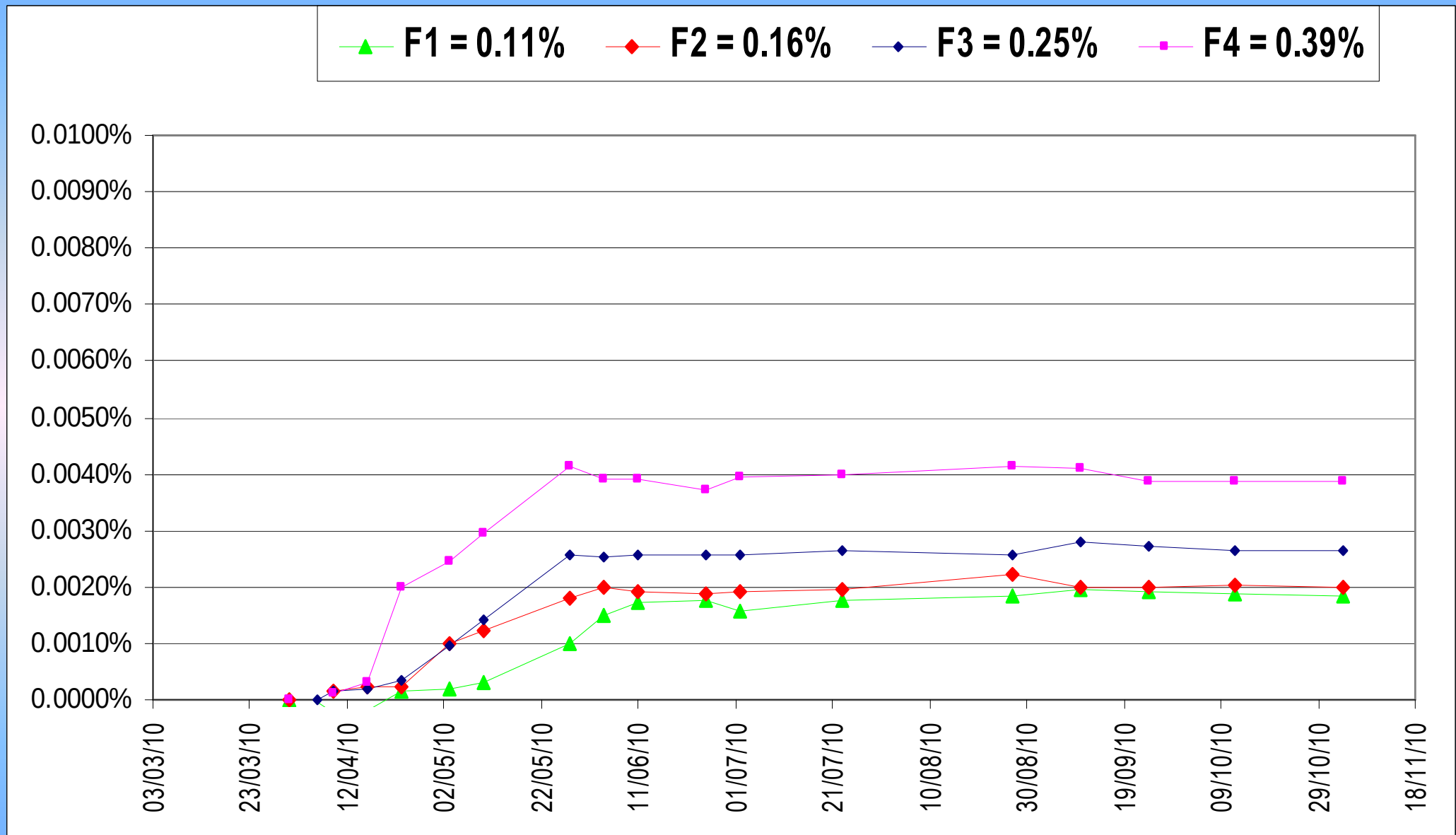
2 – Conservation des éprouvettes dans des bacs d'eau séparés à 20 ° C et suivi de l'expansion



Mesure de l'expansion
sur 12 à 15 mois

Test sur série de 3
barreaux 7x7x28

2 - Suivi de l'expansion des éprouvettes

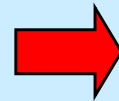


Suites prévues de l'étude sur les granulats de bétons recyclés pour le béton

- Poursuite des mesures pendant encore 12 mois
- Mesures des RC à 360 jours et du dosage en SO4 des éprouvettes
- Formulation avec augmentation du dosage en ciment

Esterel Terrassement Recyclage

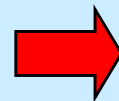
- Analyse de la fraction 4/20
(composition et masse volumique)



Recherche de la méthode la mieux adaptée pour éliminer le plâtre [ex: table densimétrique, crible « JIG » (décantation avec pulsations), tri optique...]

Carrières Gontero

- Concassage de 1.5 T de 0/31.5
Recy de BPE et études de
formulation de bétons de bâtiments
avec sable et gravillons recyclés



Maîtrise de l'eau et mesure de l'absorption d'eau des granulats recyclés