Débat AFGC

Problématiques liées à la qualité de l'empilement granulaire des bétons

François CUSSIGH

VINCI Construction France

AFGC Paris, 1er Juillet 2010

Problématiques en jeu

- Problématique historique :

  Limitation du volume de pâte (intérêt technique et économique)

- Problématiques actuelles (bétons fluides, BAP) :
  - Ouvrabilité (viscosité,…) en milieu confiné
  - Résistance à la ségrégation
  - Pompabilité
  - Parements
  - Robustesse

Cas particulier d'un béton « étanche » pour ouvrage de stockage

- Eléments à réaliser : radiers
  - Épaisseur : 40 cm
  - Volume unitaire : 200 m³
  - Surface horizontale
- Formule imposée par le client (C35/45)
- Résultats imposés :
  - Perméabilité à l'eau $< 10^{-18}$ m²
  - Retrait à 28 jours < 350 µm/m

Formule imposée pour le béton de radier

• CEM V 32,5	400 kg
• 0/2,5	665 kg
• 4/6	270 kg
• 6/10	250 kg
• 10/14	600 kg
• Pozzolith 400 N	6 kg
• Eau totale	166 litres

(étalement à la table à chocs entre 47 cm et 62 cm)

Problèmes rencontrés

- Abandon de la solution de pompage
  - Cadence de bétonnage réduite
- Fissuration par tassement en surface supérieure du radier
- Très mauvais résultats de perméabilité sur certains plots (10^{-15} m² au lieu de 10^{-18} !)

Causes communes de ces problèmes

- Ségrégabilité du béton de radier (ressuage)
- Visible à l'essai d'étalement (auréole)

Etude d'amélioration du béton de radier

- Etude de laboratoire réalisée

  par GTM Construction et le LCPC

  - Modifications :

    - Adjuvantation (MBE, méthode des coulis)
    - Squelette granulaire (René – LCPC)

Essais de ségrégation sur mortier

- Formulation de base du mortier
  - CEM V 32,5 Lumbres 800 g
  - Sable 0/2,5 1330 g
  - Eau 332 g

N°Essai	Adjuvant		Etalement	Ségrégation	Ressuage	Remarques
	Type	Dosage	Vicat *	Vicat	tube E.S.**	
1	Pozzolith 400N	1,50 %	23,5 cm	t10 : 5 mm	t60 : 8 mm laitance	Fissures tassement
2	2000 PF	1,00 %	22,5 cm	t10 : 0	t60 : 3 mm eau	
3	5500	0,80 %	19 cm	t10 : 0	t60 : 6 mm eau	
4	Pozzolith 400N	1 %	25 cm	t10 : 2mm	t60 : 7 mm laitance	

Séquence de malaxage : 30 s à sec, 60 s avant adjuvant, 60 s après adjuvant (petite vitesse)

* Etalement Vicat : étalement du mortier après démoulage cône de Vicat

** Ségrégation Vicat : largeur de l'auréole de laitance visible en périphérie après étalement

** Ressuage tube E.S. : hauteur de ressuage dans tube pour essai E.S. (hauteur = 38 cm)

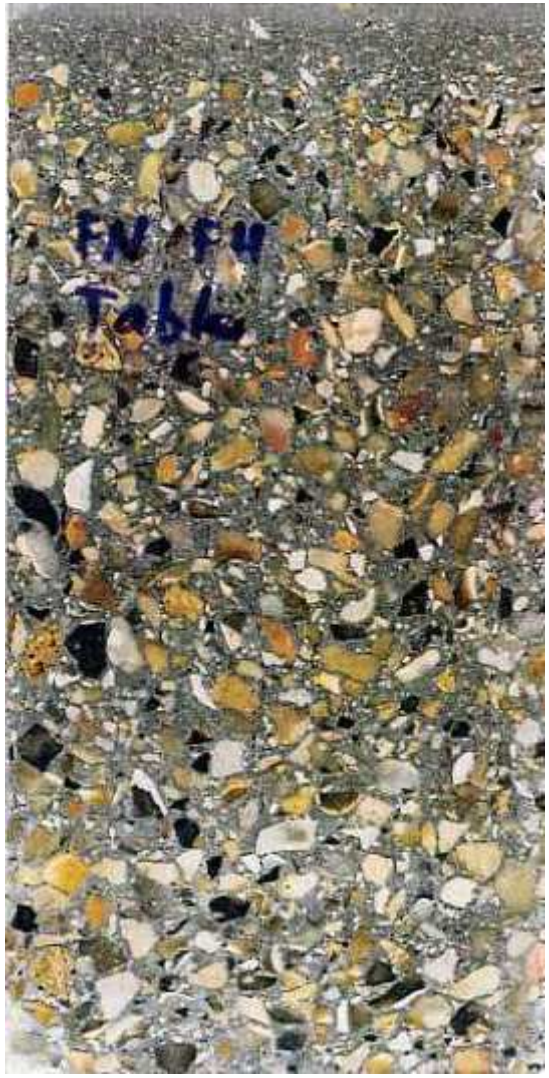
Formule nominale

Sommet d'éprouvette

Totalité éprouvette

Formule nominale fourchette haute

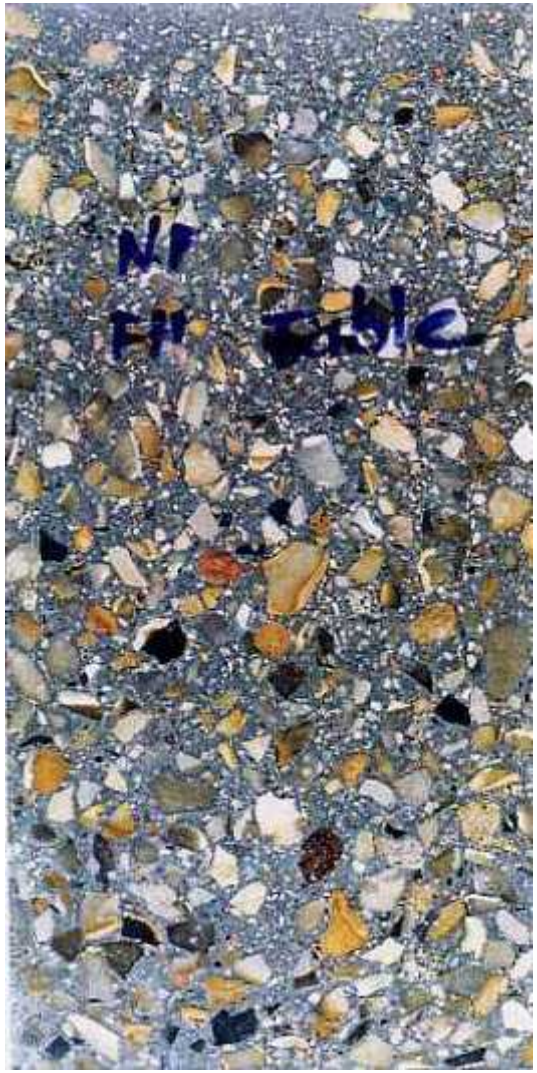
Sommet d'éprouvette



Totalité éprouvette

Nouvelle formule fourchette haute

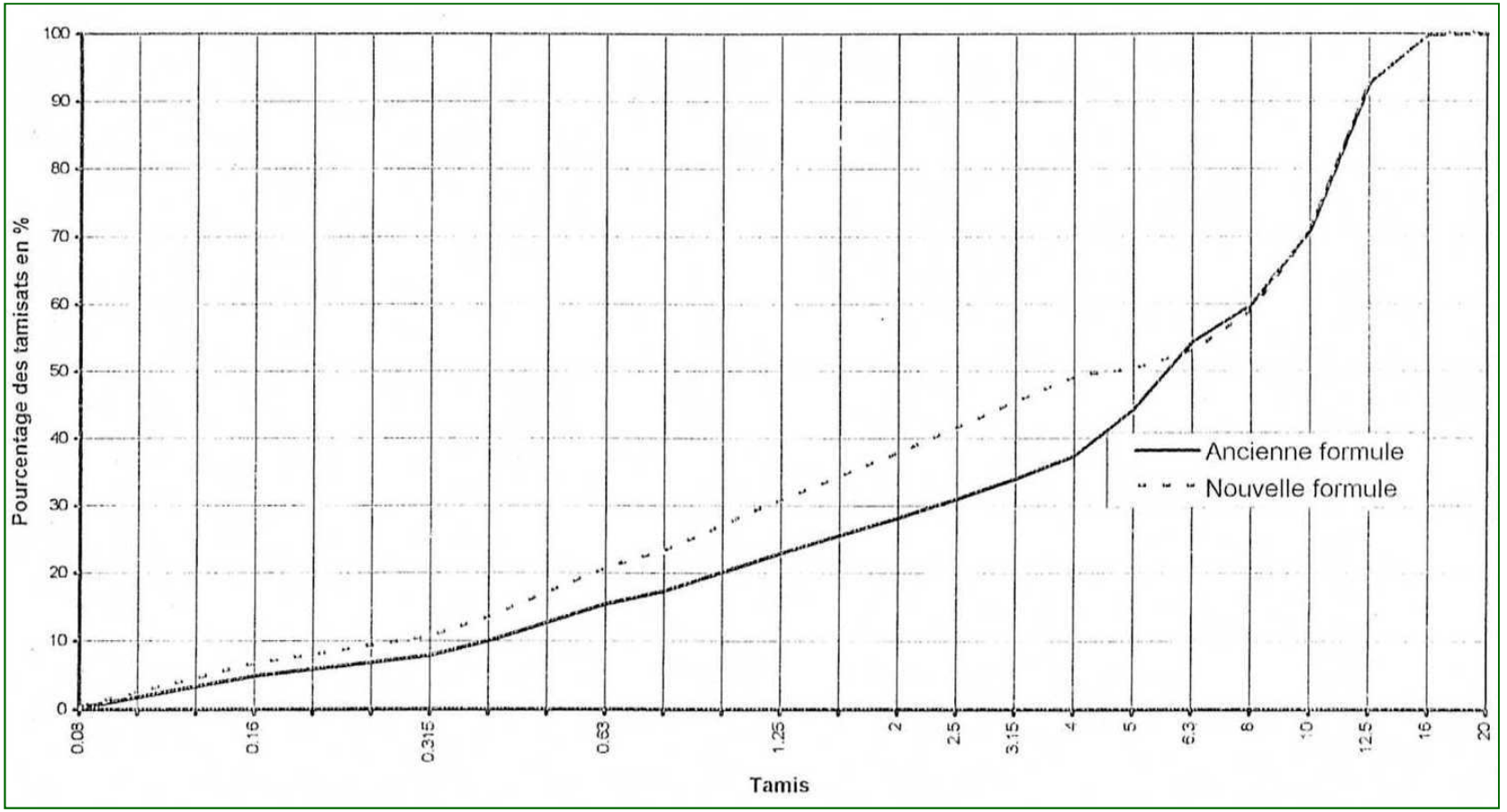
Sommet d'éprouvette



Totalité éprouvette

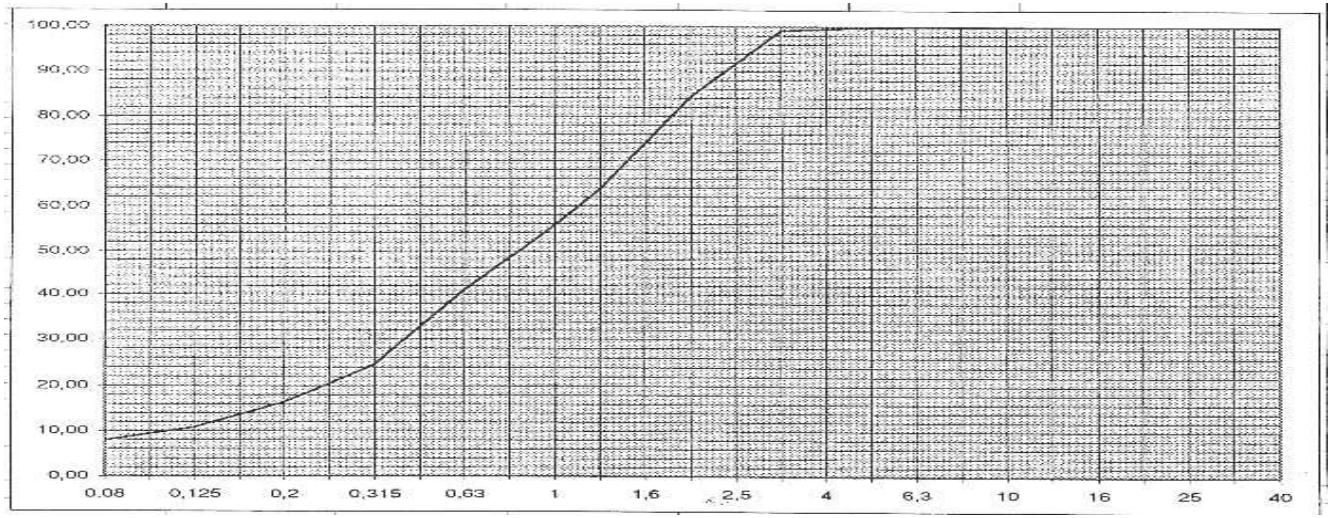
Débat AFGC
Paris, 1er Juillet 2010

Courbe granulaire des bétons



Viaduc TGV sur le Rhône en Avignon

- Problèmes rencontrés :
  - Ressuage du béton frais (sable délavé, fissures de tassement)
  - Pompabilité (G/S faible nécessaire)
- Sable calcaire concassé « cru » :



Pont de Rion-Antirion

- Granulats alluvionnaires alcali-réactifs

- Carrière de calcaire retenue :

  – Chaîne tertiaire spéciale :

    - Entrée : 20/50 (0/20 secondaire → marché local)

    - Sortie : 0/5, 5/12, 12/20

  – Spécifications particulières :

    - Teneur en fines du sable : 7 à 10 %

Pont de Rion-Antirion

Etude préliminaire de l'influence du taux de fines (LCPC) :

- Sable « Avignon » en référence (8 % de fines)
- Sable Boulonnais avec 4 %, 7 % ou 13 % de fines en comparaison

Sable	Avignon	Boulonnais 4 %	Boulonnais 7 %	Boulonnais 13 %
E/C	0,40	0,36	0,38	0,42

- Maintien de rhéologie altéré avec 13 %

Pont de Rion-Antirion

Débat AFGC
Paris, 1er Juillet 2010

Pont de Rion-Antirion

Problématique BAP :

- Sable roulé souvent nécessaire (en combinaison)
- Propriétés d'écoulement altérées en 100 % concassé
- Sensibilité accrue de la formulation aux variations des constituants
- Influence du taux de fines des sables concassés

Parements

Exemples de défaut de « rétention d'eau / essorage »

Parements

Exemples de défaut de « rétention d'eau / ressuage »

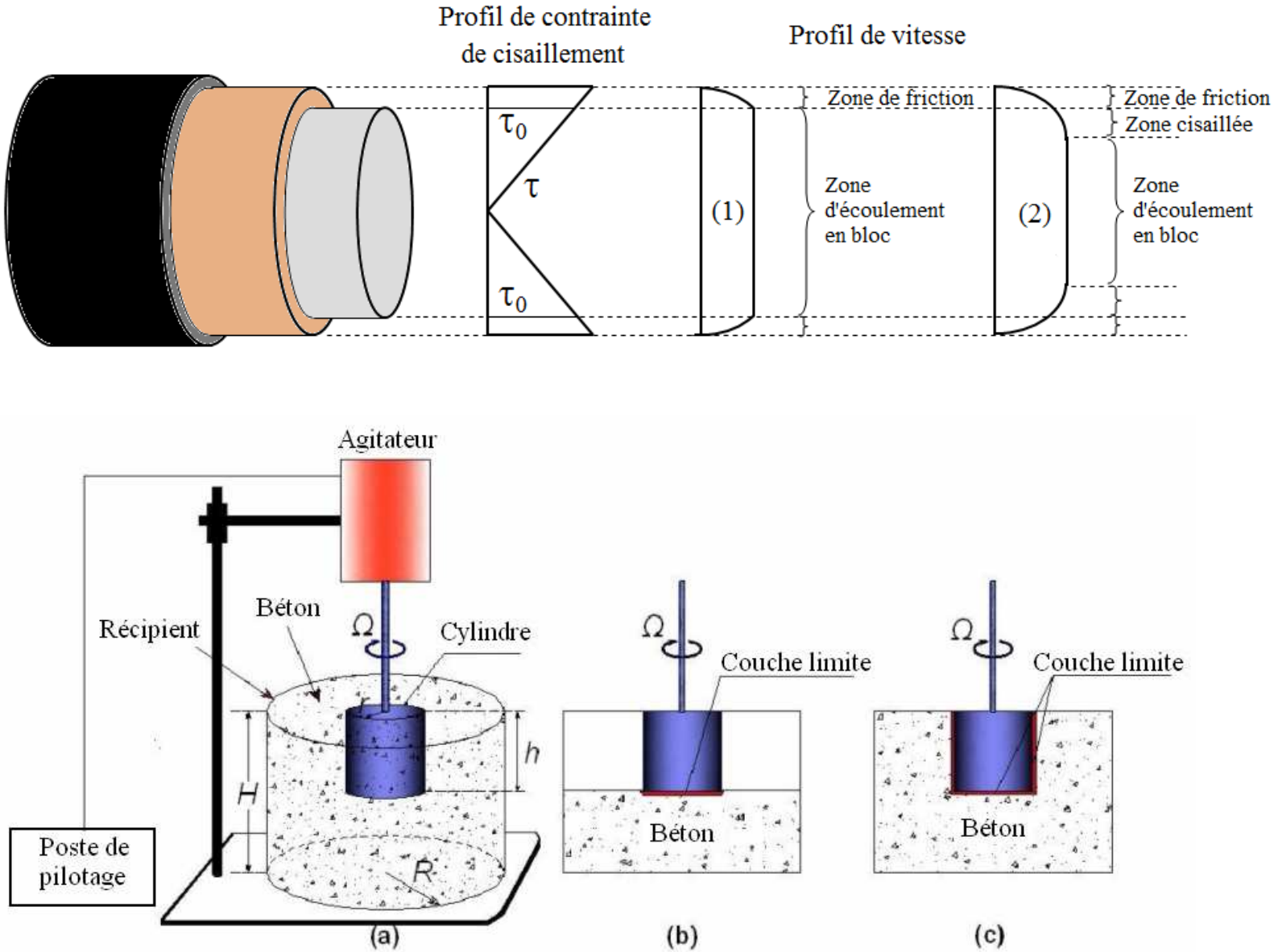
Parements

Exemples de défaut de « rétention d'eau / ressuage » (suite)

Parements

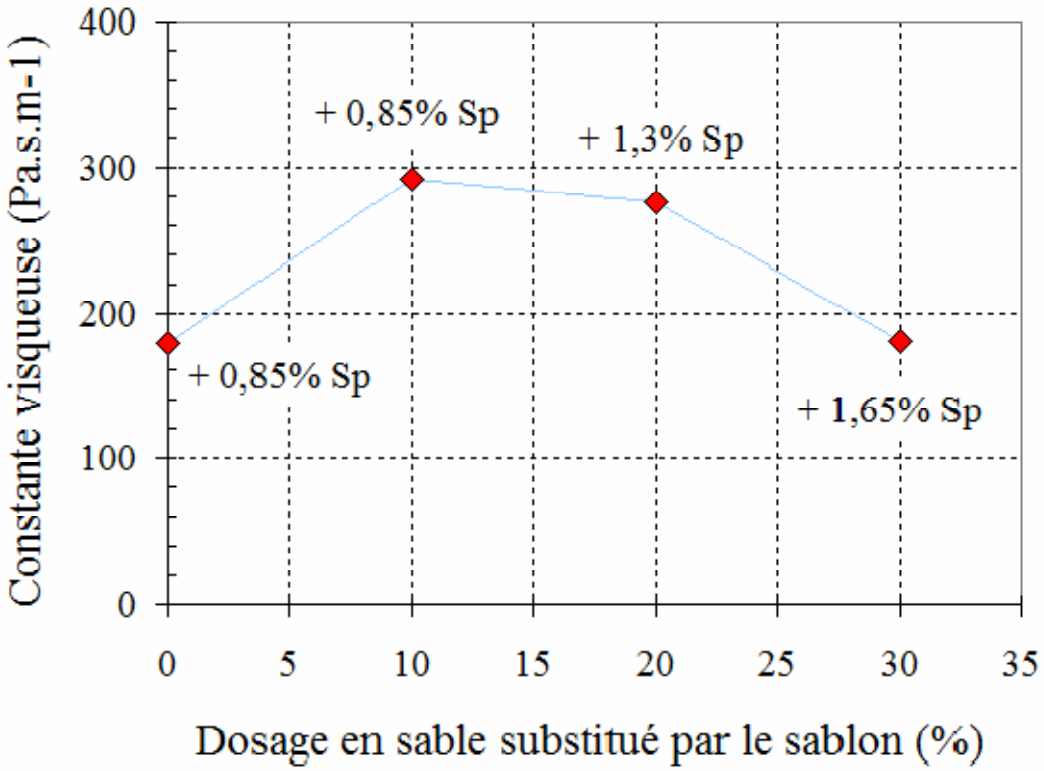
Exemple de fissuration par tassement

Pompabilité



Pompabilité

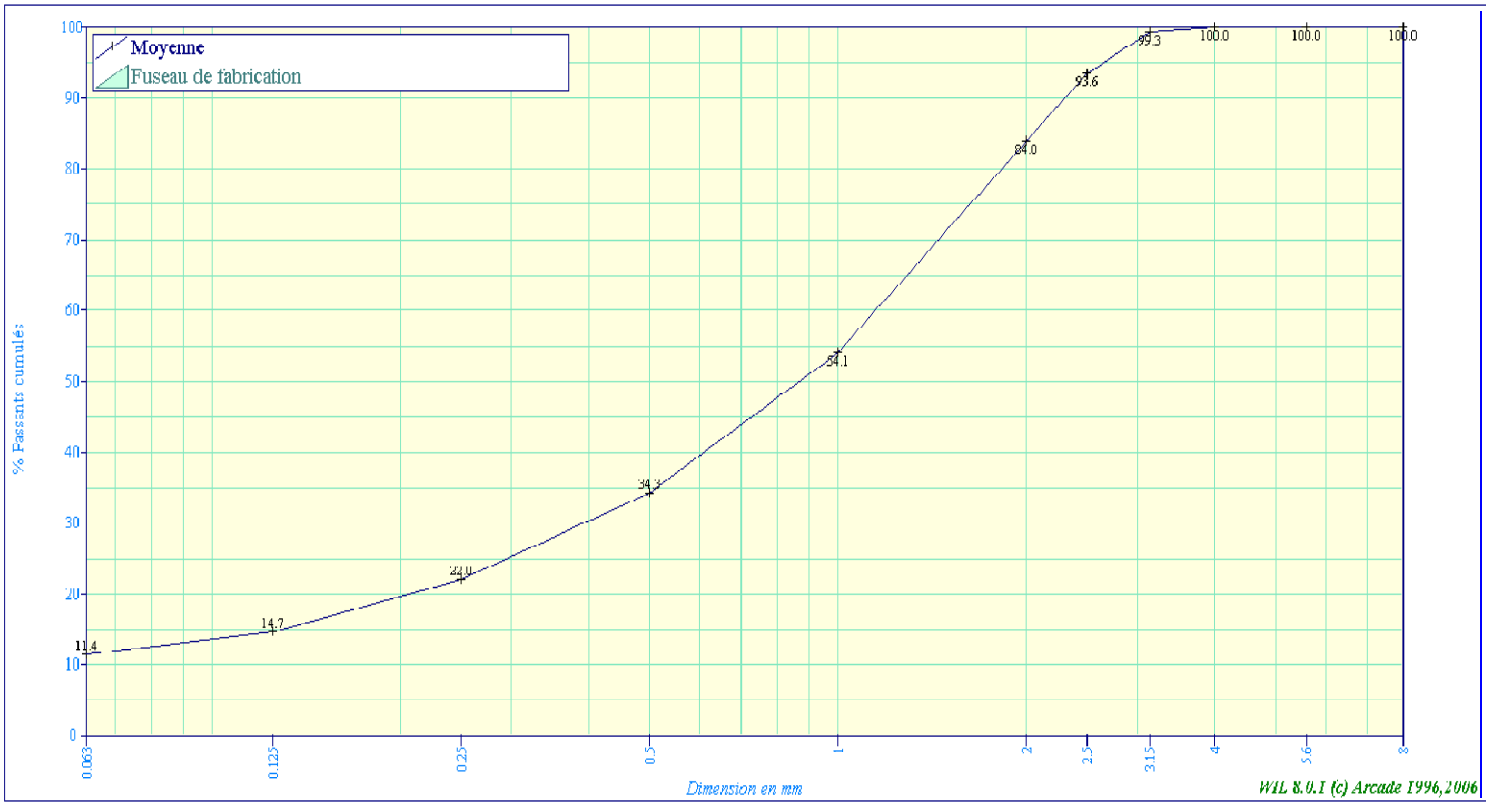
$$\eta = \frac{\mu_{\text{couche limite}}}{e_{\text{couche limite}}} = \frac{\mu\left(\frac{\Phi}{\Phi^*}\right)}{f(E_{\max})}$$



LGV Rhin-Rhône B2-B3-B4

- Problèmes rencontrés :
  - Maintien de rhéologie
  - Pompabilité (cohésion du béton frais)
  - Difficultés liées à E/C < 0,45
- Granulats calcaires :
  - Influence du mode d'élaboration (mode de concassage)
  - Grosses variations sur béton avec de « faibles » variations sur granulat

LGV Rhin-Rhône B2-B3-B4



LGV Rhin-Rhône B2-B3-B4

	Installation fixe	Installation mobile SRDE
Courbes granulométriques	0/4, 2/10, 10/20	0/4, 2/10, 10/20
Teneur en fines du sable F	10,2 %	11 %
Module de finesse FM	2,99	2,85
Equivalent de sable SE	56	62
Valeur de bleu MB	1	0,5
Coefficient d'aplatissement	/	/
2/10 C	14	/
4/10 C	/	9
10/20 C	7	6

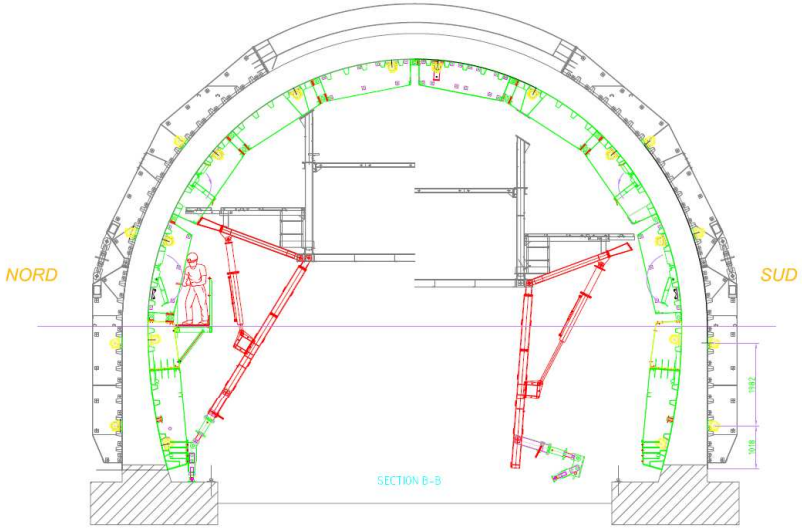
LGV Rhin-Rhône B2-B3-B4

	Installation fixe				Installation mobile			
	T0	T0+30	T0+60	T0+90	T0	T0+30	T0+60	T0+90
ST	120	100	100	100	160	150	150	150
Densité du béton frais	2389	/	/	/	2386	/	/	/
T°béton frais	20°6	20°3	20°3	20°	21°6	21°2	21°1	21°1

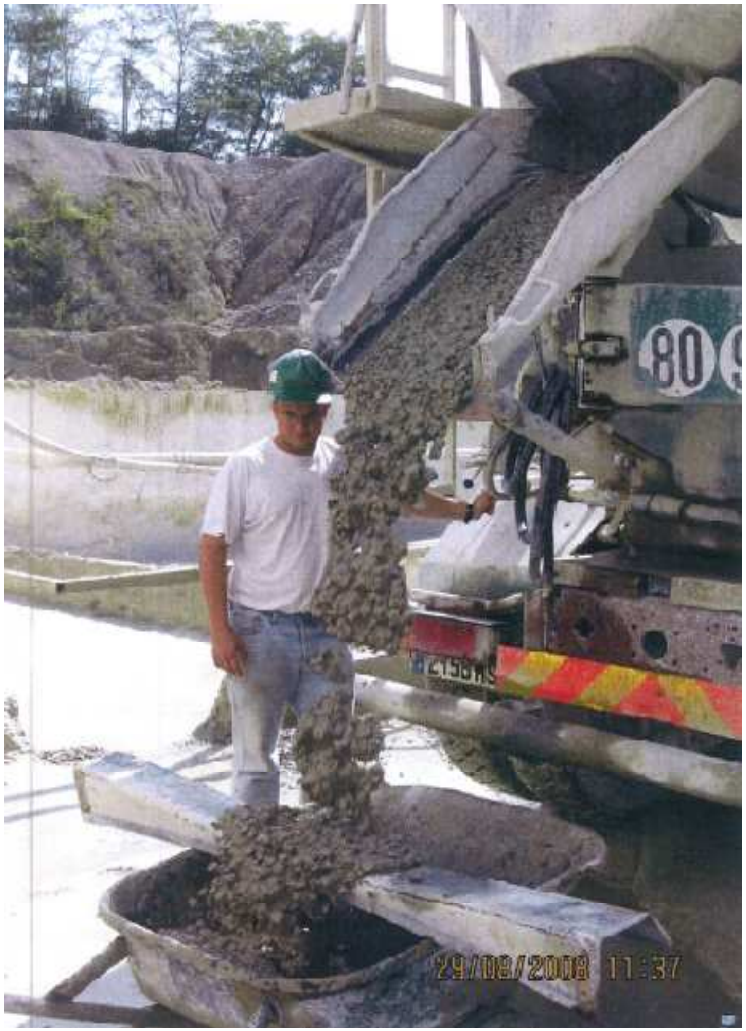
- Spécifications retenues pour le sable :
  - Teneur en fines : 10 à 12 %
  - FM : 2,8 à 3,0
  - MB < 1
  - 4/10 au lieu de 2/10

LGV Rhin-Rhône C1

Problématique de ségrégation sur ouvrage voûté



coffrage tranchée couverte



Conclusions

- Difficultés de caractérisation des granulats (granulométrie, compacité, aplatissement, coefficient d'écoulement,…)
- Optimisation de l'empilement au niveau des éléments fins (ultrafines, additions,…) ?
- Adjuvantation spécifique comme correcteur (dans certaines limites)
- Importance des propriétés de la « pâte » (stabilité, cohésion avec le squelette granulaire)