

Les débats de l'AFGC

**L'OPTIMISATION GRANULAIRE
DANS LA FORMULATION DES
BETONS**

EIVP – 1^o juillet 2010

Programme

1. Introduction (F. de Larrard)
2. Interactions granulaires dans les modèles d'empilement (G. Roquier)
3. Problématiques liées à la qualité de l'empilement granulaire dans les bétons (F. Cussigh)
4. Conclusion – Utilisation des modèles d'empilement dans d'autres domaines (F. de Larrard)



INTRODUCTION

F. de Larrard

LCPC Centre de Nantes

La problématique

- Formuler un béton = faire coïncider un cahier des charges avec une composition
- Deux variables primordiales: dosage en liant et en eau, qu'on règle principalement sur les critères de consistance à l'état frais et de résistance à l'état durci
- Squelette granulaire décrit par une courbe: beaucoup de paramètres, effet moins visible. Fait souvent la "qualité" d'un béton

La problématique (suite)

- On a besoin de méthodes économes en essai pour fixer le squelette granulaire
- Au premier ordre: béton optimisé => squelette à l'optimum de compacité à sec
- Au second ordre: les optima ne coïncident pas exactement
 - interaction avec les fines
 - prévention du ressuage et de la ségrégation
 - des effets de paroi dus au coffrage...

Approches traditionnelles

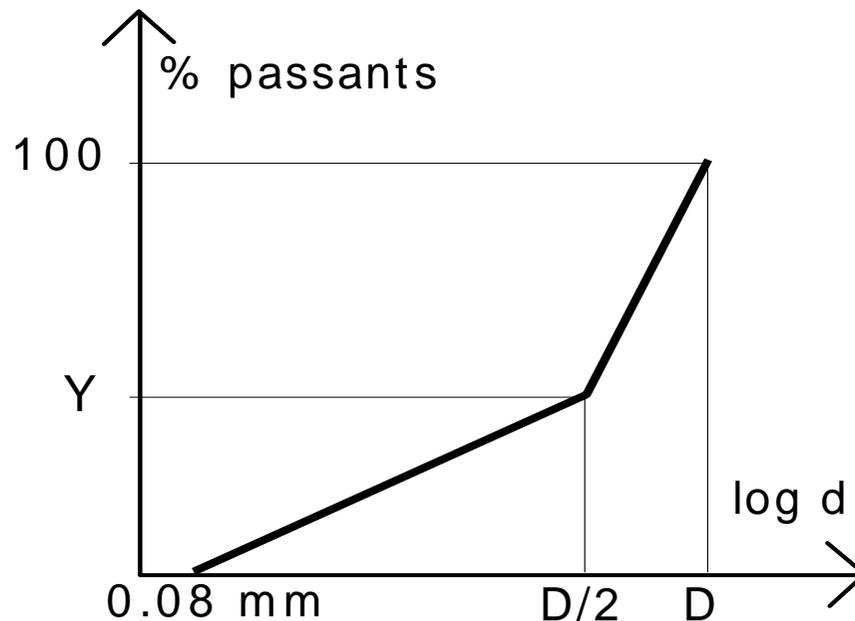
- Méthode Baron-Lesage (1976)
 - Basée sur l'emploi du maniabilimètre LCL
 - On cherche la proportion des classes granulaires qui minimise le temps d'écoulement

-Très lourde en essais

- Ne prend pas en compte la structure à construire

Approches traditionnelles (suite)

- Caquot (1937), Faury (1944), Dreux (1970): courbes granulaires de référence



Prise en compte insuffisante de la forme des grains

Approches traditionnelles (suite)

- Approche ACI 211:
 - Mesure de la compacité du gravillon
 - Proportion de sable réglée pour compléter la formule

- contrôle insuffisant de la granularité du sable

- que fait-on lorsqu'on a plus de deux classes granulaires ?

Dans une méthode idéale,
nécessité de prendre en compte

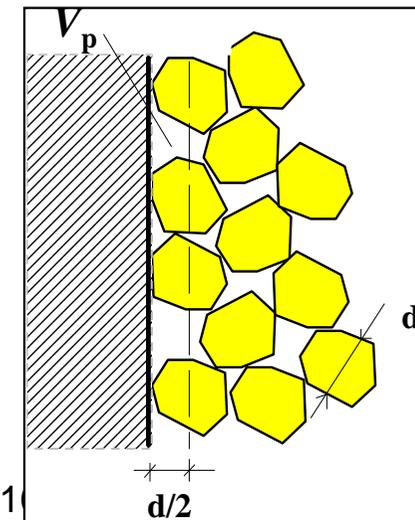
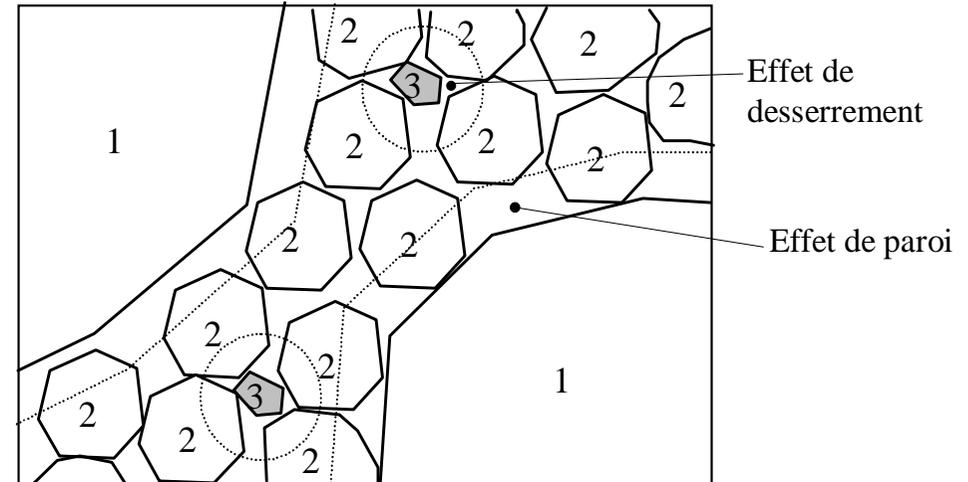
- les granularités des classes disponibles
- la forme des grains
- la géométrie de la structure

Modèles d'empilement

- Nombreuses générations de modèles
- Les plus récents: Mooney (1951), Doods (1980), Stovall et al. (1986), Dewar (1986), Johansen & Andersen (1991), de Larrard et Sedran (1994)...
- Actuellement, le modèle le plus utilisé en France semble être le MEC , ou Modèle d'Empilement Compressible [de Larrard 1999]

Principe du MEC

- N classes granulaires caractérisées par leur taille d_i et leur compacité propre β_i
- Compacité virtuelle (empilement formé grain par grain) \neq compacité réelle (indice de serrage K)
- Remplissage + interactions granulaires et effet de paroi externe additifs



Concepts dérivés

- Le formalisme du MEC permet de modéliser les propriétés rhéologiques du béton frais (seuil de cisaillement, viscosité plastique, affaissement au cône d'Abrams)
- Il permet d'analyser la répartition granulaire et les risques de ségrégation associés (diagramme de remplissage)

Mise en musique pratique du MEC

- René-LCPC (1994)
 - Logiciel d'empilement granulaire
 - Freeware
- BétonlabPro 1 (1999)
- BétonlabPro 2 (2000)
- BétonlabPro 3 (2008)
- BétonlabFree 3 (2008)

<http://www.lcpc.fr/betonlabpro/>