

BétonlabPro 3

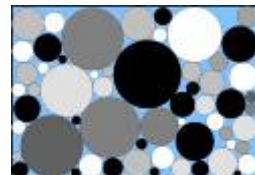
Leçon N°12

Prise en compte de la géométrie et du ferrailage des pièces

François de Larrard

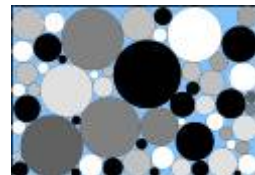
Plan de la leçon

- Introduction
- Limitation de la taille maximale du granulat
- L'effet de paroi
- L'indice de serrage en milieu confiné
- Prise en compte du confinement dans BétonlabPro
- Exemple
- Conclusion



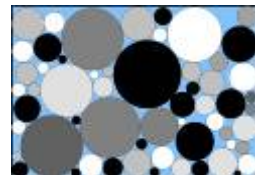
Introduction

- Un béton est conçu pour être mis en place dans une structure particulière
- Le béton doit pouvoir s'y écouler, puis s'y compacter
- La forme géométrique de la structure (distances entre parois du coffrage, entre armatures, rapport surface/volume) intervient donc dans la composition optimale du matériau



Introduction (suite)

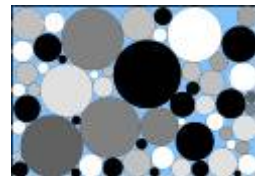
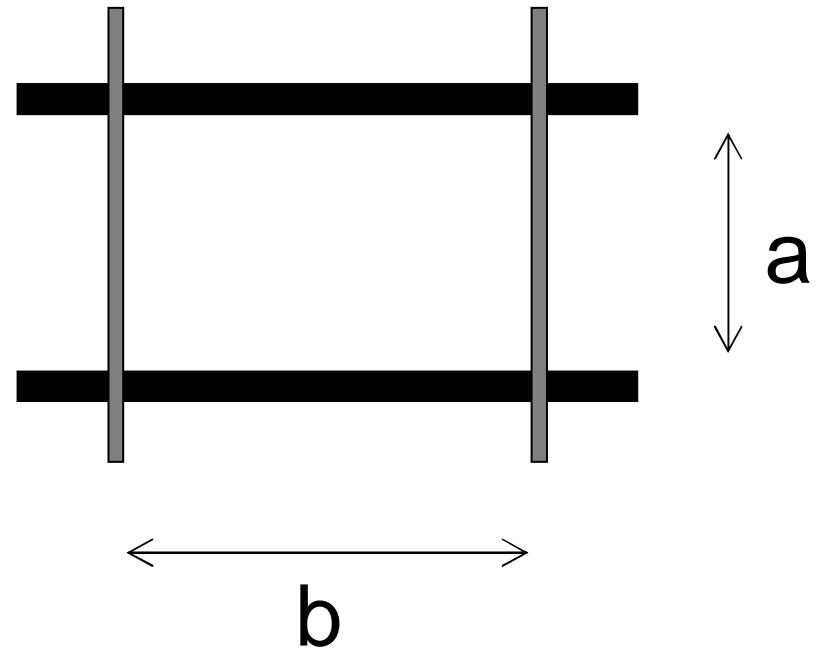
- Effets de la prise en compte de la structure sur la composition (par rapport à un béton de grande masse)
 - limitation du D_{max}
 - plus d'éléments fins, moins d'éléments grossiers
 - plus d'eau
- Intérêt de la modélisation: échelle de l'ouvrage inaccessible en laboratoire



Limitation de la taille maximale du granulat

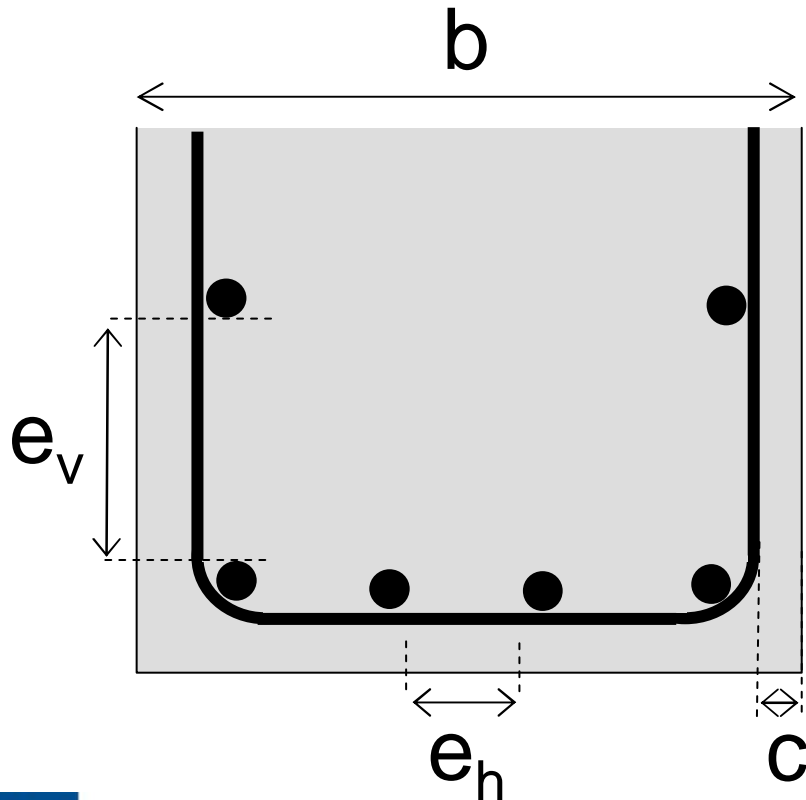
Notion de rayon moyen r (pour des armatures d'un plan horizontal):

$$r = \frac{ab}{2(a+b)}$$



Limitation de la taille maximale du granulat (suite)

Selon BAEL 91, § A.7.2:



on doit avoir pour le diamètre maximum:

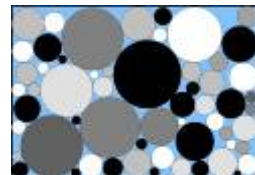
$$D_{max} \leq b/10$$

$$D_{max} \leq e_v$$

$$D_{max} \leq c$$

$$D_{max} \leq e_h/1,5$$

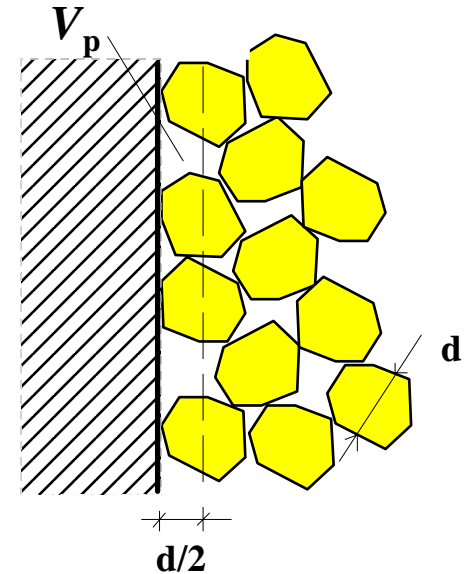
$$D_{max} \leq 1,4 r \text{ (roulés)}$$
$$\leq 1,2 r \text{ (concassés)}$$



L'effet de paroi

Voisinage des limites du volume accessible à un milieu granulaire:

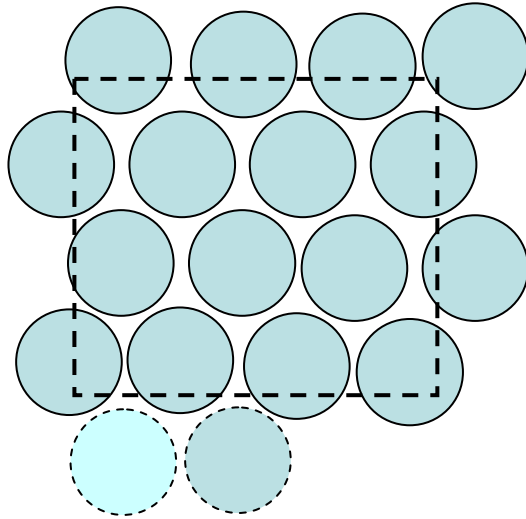
- surcroît de vides par rapport à la pleine masse
- selon Ben Aïm, on admet que la compacité est réduite d'un certain pourcentage, dans un volume d'épaisseur égale au demi-diamètre



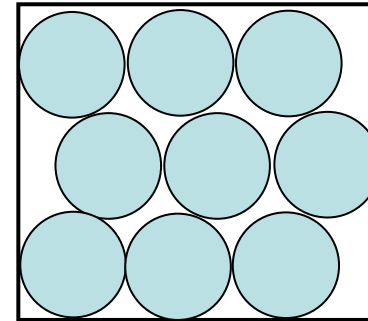
L'effet de paroi (suite)

En conditions confinées, si compacité identique...

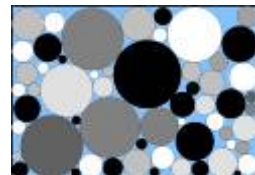
mélange
en pleine
masse



mélange
confiné



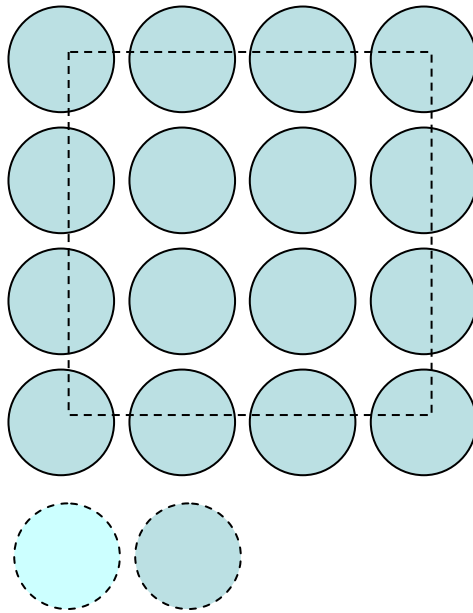
indice de serrage plus élevé



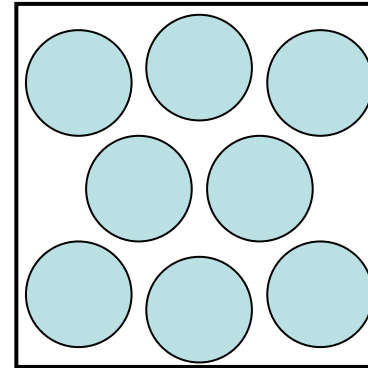
L'effet de paroi (suite)

si indice de serrage identique...

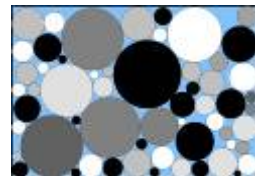
mélange
en pleine
masse



mélange
confiné

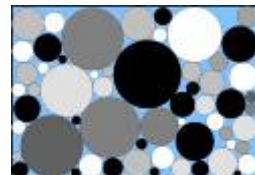


compacité plus faible



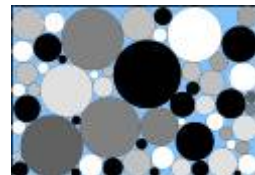
L'indice de serrage en milieu confiné

- BétonlabPro calcule un indice de serrage en milieu confiné K_{conf}
- Le calcul est basé sur la compacité des différents constituants en milieu confiné
- Plus le béton comportera des éléments grossiers (par rapport aux dimensions du coffrage/ferrailage), plus K_{conf} sera grand par rapport à K

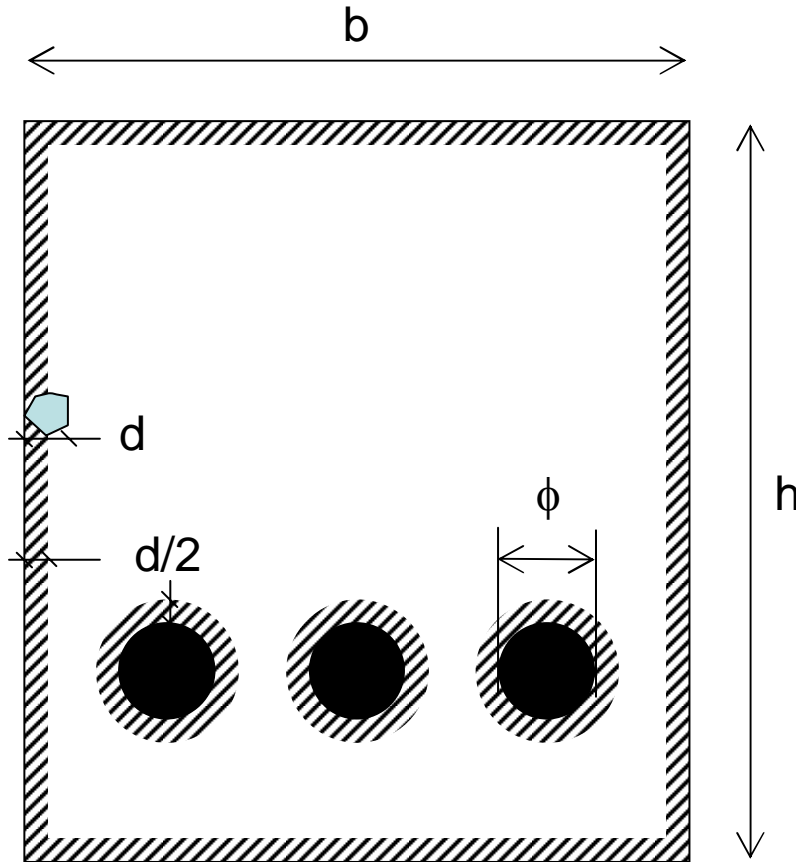


L'indice de serrage en milieu confiné (suite)

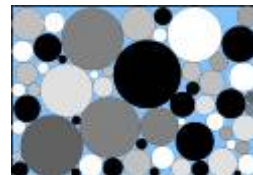
- Le logiciel calcule K_{conf} en utilisant le polynôme de confinement $P(d)$
- $P(d) = \text{volume perturbé} / \text{volume total du béton}$
- Pour des géométries simples, le logiciel calcule automatiquement $P(d)$
- Dans les autres cas, c'est à l'utilisateur de faire le calcul



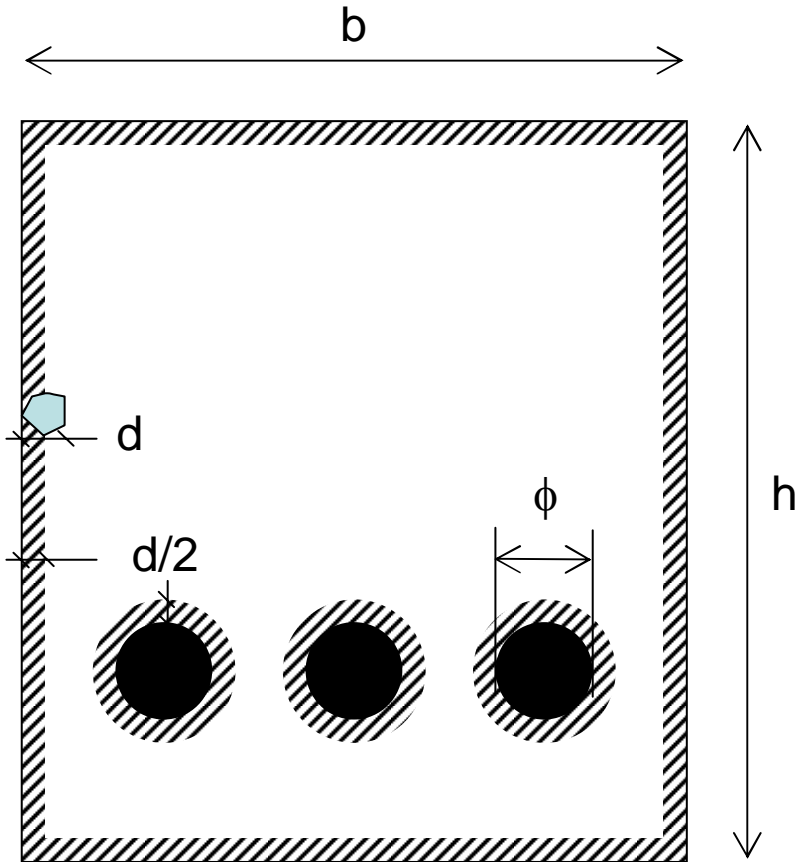
L'indice de serrage en milieu confiné (suite)



- Exemple: poutre en béton classique précontrainte par 3 fils adhérents
- Volume total V
- Volume perturbé (hachuré) V_p
- On calcule le volume non perturbé V_{np}
- $V_p = V - V_{np}$
- $P(d) = V_p/V$



L'indice de serrage en milieu confiné (suite)

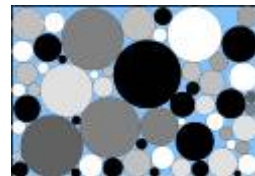


$$V = bh - \frac{3\pi}{4}\Phi^2$$

$$V_p = \left(b + h + \frac{3\pi}{2}\Phi \right) d + \left(\frac{3\pi}{4} - 1 \right) d^2$$

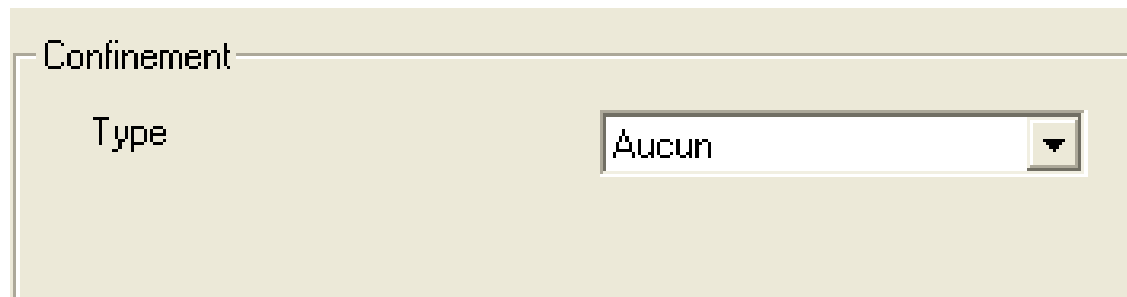
$$P(d) =$$

$$\frac{\left(b + h + \frac{3\pi}{2}\Phi \right)}{\left(bh - \frac{3\pi}{4}\Phi^2 \right)} d + \frac{\left(\frac{3\pi}{4} - 1 \right)}{\left(bh - \frac{3\pi}{4}\Phi^2 \right)} d^2$$



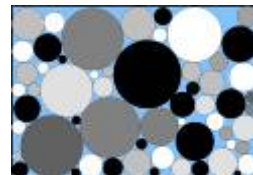
Prise en compte du confinement dans BétonlabPro

- On sélectionne des matériaux
- On clique sur « Calculs »
- Dans l'écran « Options de calculs », la partie centrale traite du confinement:



Confinement

Type



Prise en compte du confinement dans BétonlabPro (suite)

Confinement

Type

Aucun

- Aucun
- Cylindre
- Parallélépipède
- Armatures
- Polynôme

Confinement

Type

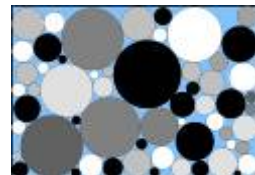
Polynôme

Entrer les coefficients du polynôme exprimant le rapport volume perturbé sur volume total

A (d^1)

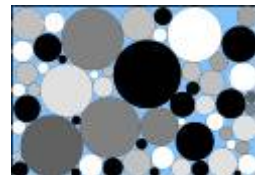
B (d^2)

C (d^3)

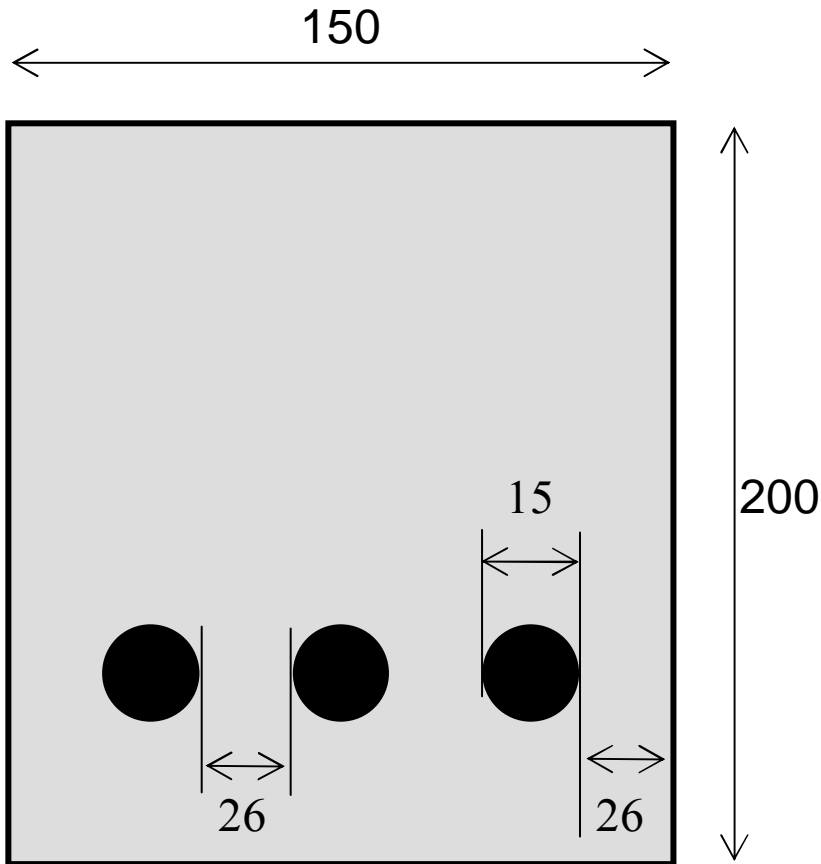


Prise en compte du confinement dans BétonlabPro (suite)

- Une fois le confinement introduit, BétonlabPro propose de calculer l'indice de serrage en milieu confiné K_{conf}
- Ensuite, le processus d'optimisation se déroule de la même manière, en remplaçant K par K_{conf} , et en gardant les mêmes valeurs cibles



Exemple



(cotes en mm)

Retour sur le cas de la poutrelle précontrainte

- Taille maxi du granulat:

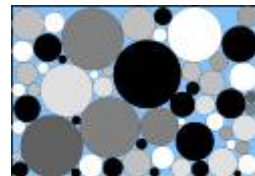
$$D_{\max} \leq 150/10 = 15$$

$$D_{\max} \leq 26$$

$$D_{\max} \leq 26/1,5 = 17,3 \text{ d'où}$$

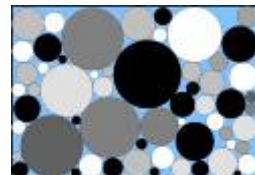
$$D_{\max} \leq 15$$

- Polynôme de confinement:
 $P(d) = 0,0143 d + 4,60 \cdot 10^{-5} d^2$

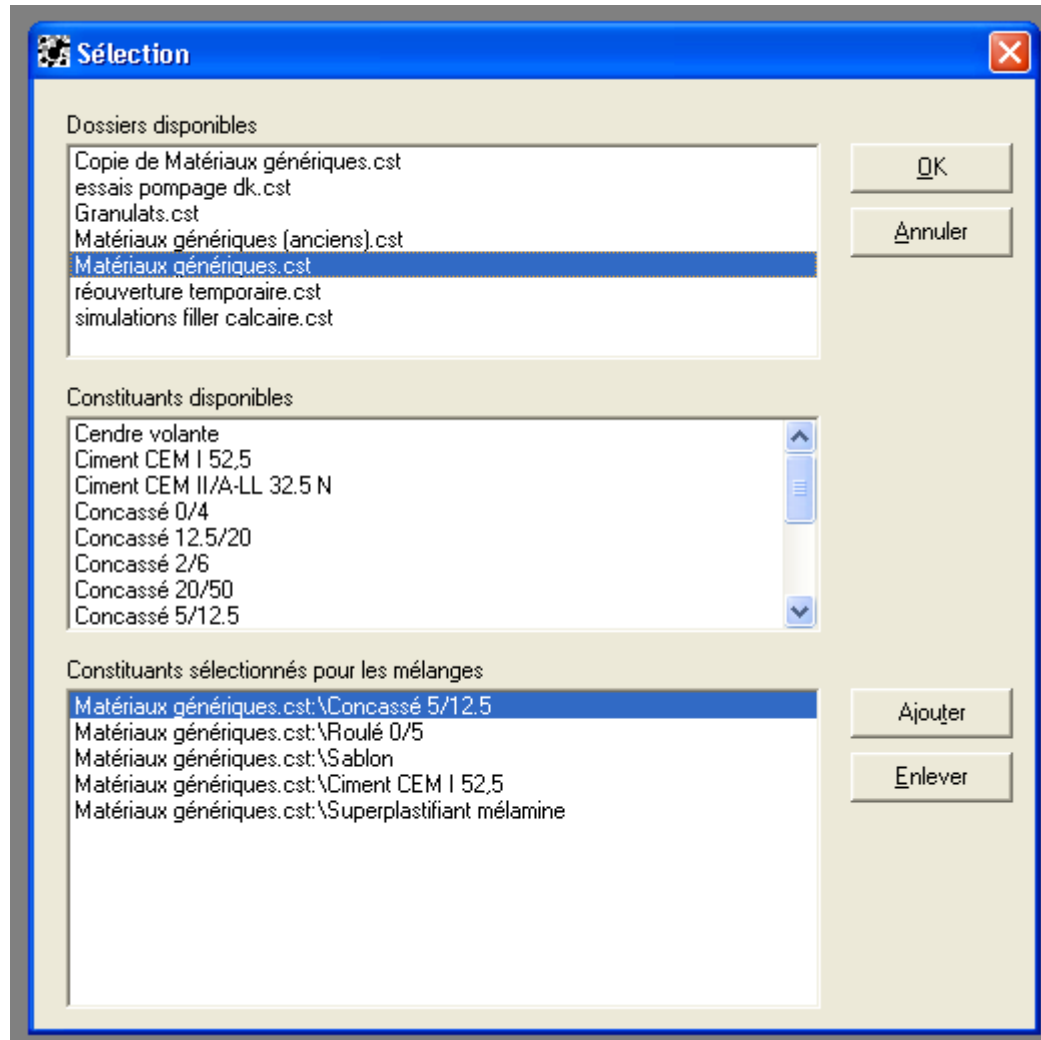


Exemple (suite)

- Cahier des charges:
 - slump compris entre 10 et 15 cm
 - indice de serrage $\leq 7,5$
 - $R_{c1} \geq 20$ MPa (à 20°C)
 - $R_{c28} \geq 55$ MPa
- Choix des constituants (dans « Matériaux génériques »):
 - concassé 5/12,5
 - roulé 0/5
 - sablon
 - ciment CEM I 52,5
 - superplastifiant mélamine



Exemple (suite)



Exemple (suite)

Sélectionnez les propriétés que vous souhaitez afficher

- Indice de ségrégation (confiné)
- Indice de serrage du béton non confiné
- Indice de serrage du béton confiné
- Contribution des fines K'f
- Contribution des gros gravillons K'gg
- Compacité du squelette non confiné \emptyset^*
- Compacité des granulats g*
- Prix

Options de calculs

Coût fixe (Euro/m3)

Alcalins dans l'eau

% moyen en alcalins actifs

% maximum en alcalins actifs

Confinement

Type

Entrer les coefficients du polynôme exprimant le rapport volume perturbé sur volume total

A (d¹)

B (d²)

C (d³)

Sélectionnez les propriétés que vous souhaitez afficher

- Affaissement (cm)
- Vitesse initiale de ressuage (10-5 m.min-1)
- fc1 (MPa)
- fc2 (MPa)
- fc3 (MPa)
- fc7 (MPa)
- fc28 (MPa)
- fc90 (MPa)

Propriétés non disponibles

- Alcalins libérables moyens Tm (kg/m3)
- Alcalins libérables max Tmax (kg/m3)

Info

Tout sélectionner

Tout désélectionner

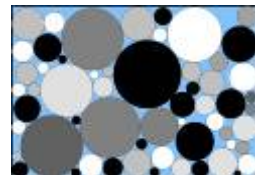
OK

Annuler



Exemple (suite)

Premier béton optimisé sans confinement



Exemple (suite)

Contraintes

Propriétés | Composition

Contraintes sur les propriétés

		Affaissement (cm)		
		fc1 (MPa)		
		fc28 (MPa)		
		Indice de serrage du béton non confiné		
		Indice de serrage du béton confiné		
		Prix		

Propriétés à optimiser

Indice de serrage du béton non confiné

Minimiser
 Maximiser

Sans agent entraîneur d'air

Tout effacer

Pate constante

Granulats constants

OK

Annuler



Exemple (suite)

Contraintes

Propriétés | Composition

Contraintes sur les propriétés

10	≤	Affaissement (cm)	≤	15
20	≤	fc1 (MPa)		
55	≤	fc28 (MPa)		
		Indice de serrage du béton non confiné	≤	7,5
		Indice de serrage du béton confiné		
		Prix		

Propriétés à optimiser

Prix

Minimiser
 Maximiser

Sans agent entraîneur d'air

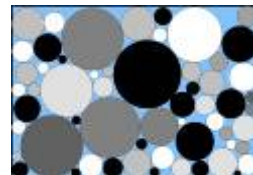
Tout effacer

Pate constante

Granulats constants

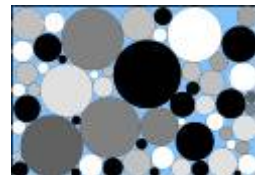
OK

Annuler



Exemple (suite)

Second béton optimisé avec confinement



Exemple (suite)

Contraintes

Propriétés | Composition

Contraintes sur les propriétés

	▼	Affaissement (cm)	▼	
	▼	fc1 (MPa)	▼	
	▼	fc28 (MPa)	▼	
	▼	Indice de serrage du béton non confiné	▼	
	▼	Indice de serrage du béton confiné	▼	
	▼	Prix	▼	

Propriétés à optimiser

Indice de serrage du béton confiné ▼

Minimiser
 Maximiser

Sans agent entraîneur d'air

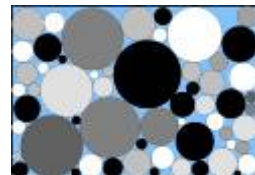
Tout effacer

Pate constante

Granulats constants

OK

Annuler



Exemple (suite)

Contraintes

Propriétés | Composition

Contraintes sur les propriétés

10	≤	Affaissement (cm)	≤	15
20	≤	fc1 (MPa)		
55	≤	fc28 (MPa)		
		Indice de serrage du béton non confiné		
		Indice de serrage du béton confiné	≤	7.5
		Prix		

Propriétés à optimiser

Prix Minimiser Maximiser

Sans agent entraîneur d'air

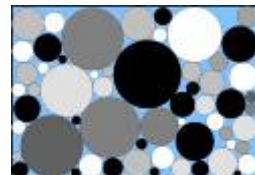
Tout effacer

Pate constante

Granulats constants

OK

Annuler



Composition

G1 (%)	47,86
S1 (%)	37,46
S2 (%)	14,68
C1 (kg/m3)	350,7
SP1 (%)	0,32
Eau eff (kg/m3)	156,8

Gâcher

Optimiser

Beton n°5

Granularité

Remplissage

Agent entraîneur d'air?

- Non
- Oui

Environnement

Coût fixe

% moyen en alcalins actifs dans l'eau

% maximum en alcalins actifs dans l'eau

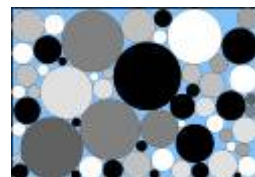
Confinement: Polynôme (volume perturbé sur volume non perturbé)

A (d¹)

B (d²)

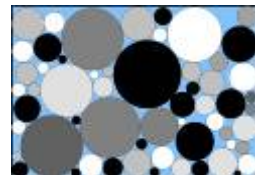
C (d³)

Gâchée n°	1	2	3	4	5
G1 (kg/m3)	930,1	944,3	968,9	914,9	904,2
S1 (kg/m3)	920,4	652,6	669,6	708,5	700,3
S2 (kg/m3)	0	264,4	271,4	278,9	275,7
C1 (kg/m3)	350	350	335,5	335,5	350,7
SP1 (kg/m3)	2,92	2,92	4,11	4,14	3,74
Eau (kg/m3)	171,7	171,4	152,7	152,6	157,6
G1 (%)	50	50,5	50,5	47,86	47,86
S1 (%)	50	35,27	35,27	37,46	37,46
S2 (%)	0	14,22	14,23	14,68	14,68
Taux de saturation (%)	0,75	0,77	0,77	0,77	0,77
Taux de superplastifiant (%)	0,25	0,25	0,37	0,37	0,32
Eau eff	170	170	152	152	156,8
Air total (%)	2,1	1,8	2,2	2,4	2,3
AEA	Non	Non	Non	Non	Non
Rapport G/S	1,011	1,03	1,03	0,927	0,926
Eeff/C	0,486	0,486	0,453	0,453	0,447
Environnement	x0	x0	x0	x0	x0
Affaissement (cm)	9,3	15,4	10	8,8	10
fc1 (MPa)	20,4	19,3	23	22,3	23,3
fc28 (MPa)	52,5	50,4	55	54	55
Indice de serrage du béton non confiné	7,457	6,657	7,5	7,515	7,278
Indice de serrage du béton confiné	7,842	6,878	7,768	7,755	7,5
Prix	72,08	72,21	72,71	72,65	73,76

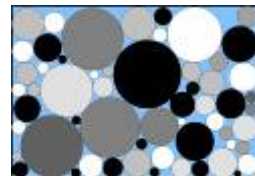
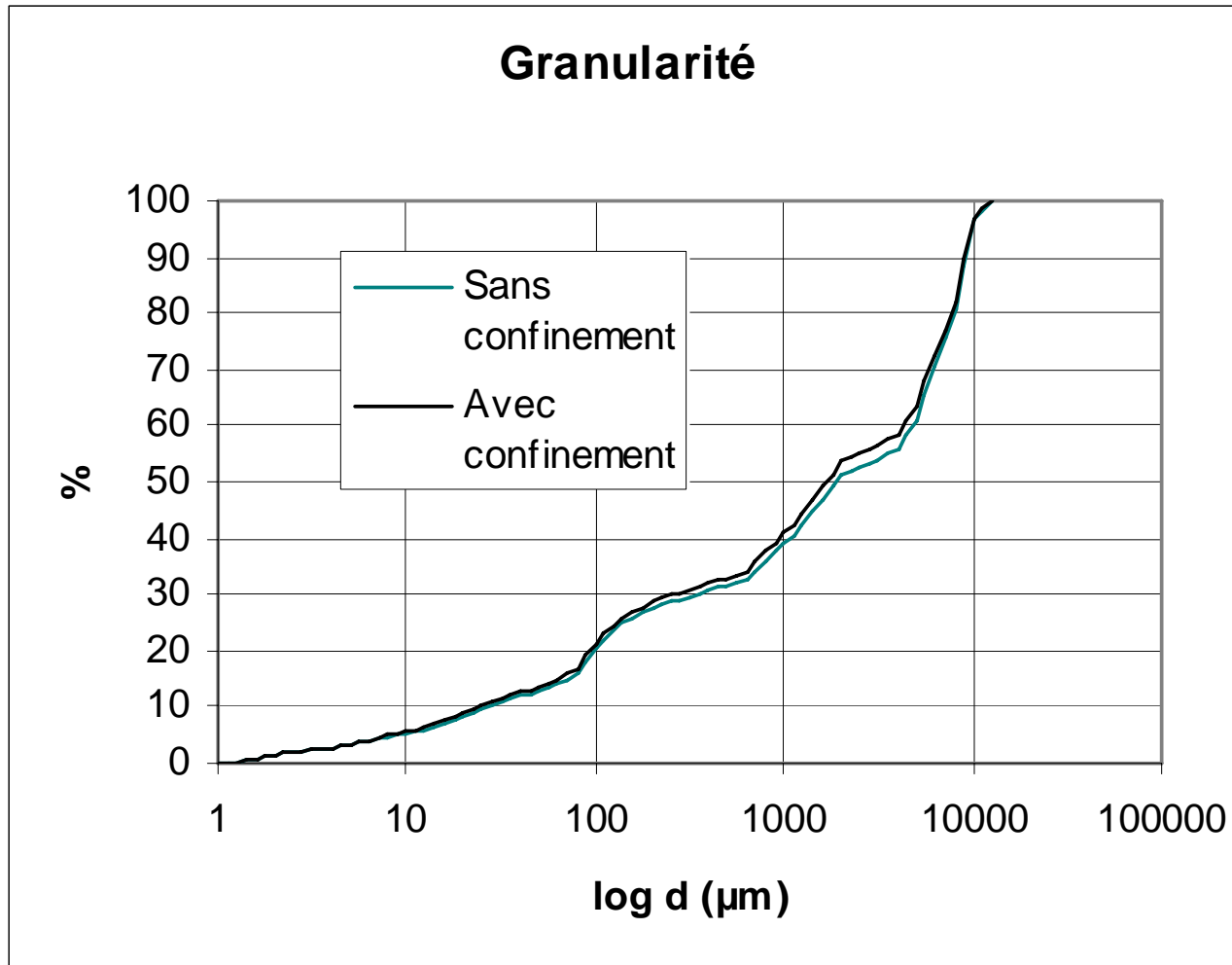


Exemple (suite)

- La prise en compte du confinement a eu les effets suivants sur la formule:
 - rapport gravillon/sable : - 0,1
 - dosage en ciment : + 15 kg/m³
 - dosage en eau: + 5 litres
 - dosage en superplastifiant: - 0,37 kg/m³
 - coût du béton: + 1 €/m³
 - meilleure mise en place et meilleur état de surface



Exemple (suite)



Conclusion

- BétonlabPro prend en compte les dimensions des structures par le biais du polynôme de confinement
- Il en déduit l'indice de serrage en milieu confiné, qui s'utilise en lieu et place de l'indice de serrage en milieu infini
- Lorsqu'on respecte les limitations de D_{\max} , prescrites par le BAEL, les effets sur l'optimisation du béton sont notables, mais limités



Conclusion (suite)

- Si on s'autorise l'emploi de gravillons plus gros, les effets peuvent être plus importants
- On peut alors, dans certains cas, faire des économies sur les liants, tout en assurant la bonne mise en place du béton
- Le concept de confinement sert aussi à optimiser les bétons pompables et les bétons autoplaçants (cf. prochaines leçons)

