

BétonlabPro 3
Leçon N°7

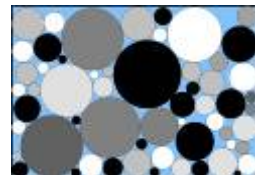
Demandes en (super)plastifiant et en eau des additions minérales

Thierry Sedran

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Centre de Nantes

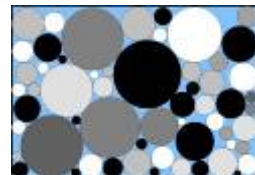
Plan de la leçon

- Pour quelles additions minérales?
- Mesure du dosage de saturation
- Introduction dans BétonlabPro
- Mesure de la demande en eau
- Introduction dans BétonlabPro
- Cas particulier des fine de sables



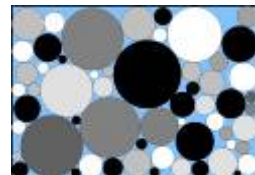
Pour quelles additions minérales?

- Les additions prises en compte dans BétonlabPro 3:
 - Filler calcaire ou siliceux
 - Pouzzolanes (fumées de silice, cendre volante, pouzzolane naturelle...)
 - Laitiers moulus de haut fourneau
- Les fines des sables ($<80 \mu$): cas particulier traité en fin de leçon



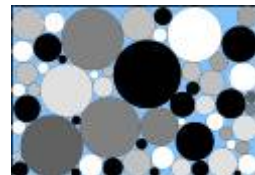
Mesure du dosage de saturation

- Pourquoi est il nécessaire?:
 - Certaines additions minérales à forte surface spécifique adsorbent une quantité importante de superplastifiant, par exemple la fumée de silice
 - Certaines additions minérales absorbent peu de superplastifiant mais sont utilisées en forte quantité dans un béton, par exemple un filler calcaire dans un béton autoplaçant
 - Le dosage de saturation du béton peut dépendre de façon importante de celui de l'addition



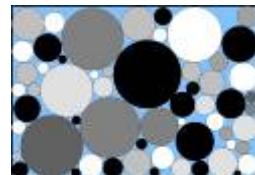
Mesure du dosage de saturation

- Pourquoi est il nécessaire (exemple)?:
 - Soit un superplastifiant ancienne génération de type mélamine. Dose de saturation 0,75% d'extrait sec (e.s.) pour un ciment, 4% pour une fumée de silice, 0,35% pour un filler calcaire
 - Cas d'un BHP avec 400 kg/m³ de ciment et 40 kg/m³ de fumée de silice (10%):
 - 3 kg e.s. de superplastifiant consommé par le ciment
 - 1,6 kg e.s. de superplastifiant consommé par la fumée de silice
 - Cas d'un béton autoplaçant avec 300 kg/m³ de ciment et 200 kg/m³ de filler calcaire
 - 2,25 kg e.s. de superplastifiant consommé par le ciment
 - 0,7 kg e.s. de superplastifiant consommé par le filler calcaire



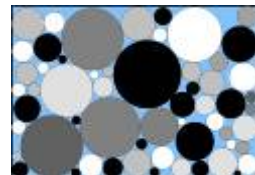
Mesure du dosage de saturation

- La méthode utilisée pour le ciment (voir leçon n°5) n'est pas directement applicable aux additions minérales car sans ciment, l'environnement ionique et l'adsorption de l'adjuvant sur l'addition sont fortement modifiés
- → Principe retenu:
 - Méthode au cône de Marsh (voir leçon 5 et mode opératoire dans l'aide en ligne)
 - Mesure du dosage de saturation du ciment seul: Sp^*_C
 - Mesure du dosage de saturation d'un mélange contenant A% d'addition et (100-A%) de ciment: Sp^*_{C+A}
 - On déduit $Sp^*_A = (100 \times Sp^*_{C+A} - (100-A\%) \times Sp^*_C) / A\%$



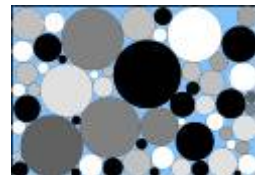
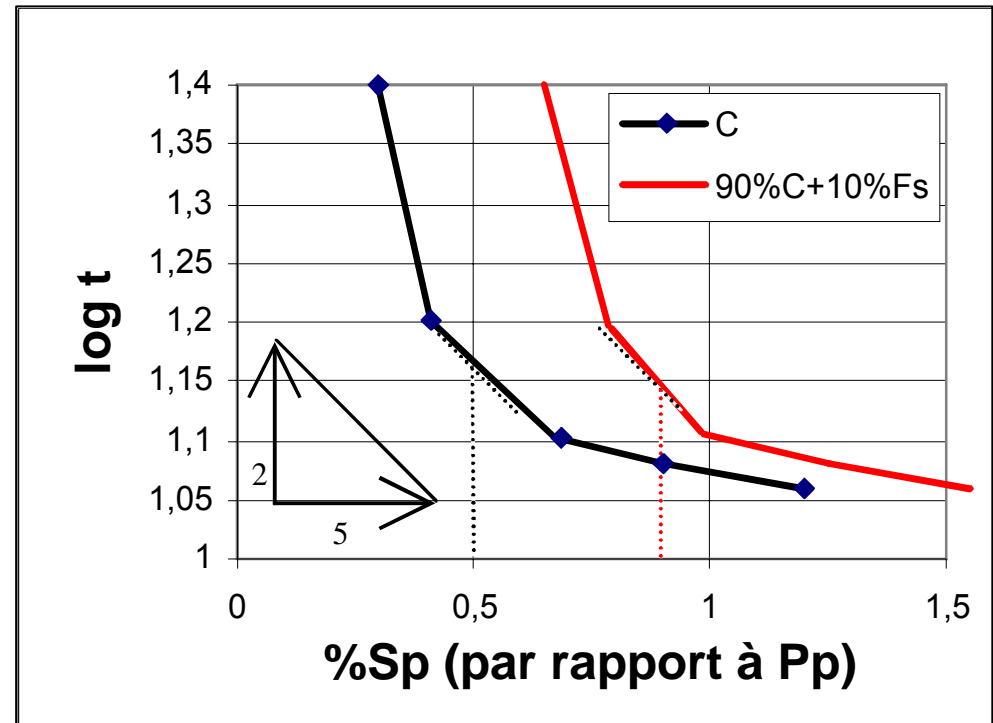
Mesure du dosage de saturation

- Choix de $A\%$ dans le mélange dicté par:
 - Le pourcentage probable dans la gamme de bétons étudiés si il est connu, par exemple:
 - $A\% \sim 10\%$ pour la fumée de silice dans un BHP
 - $A\% \sim 40\%$ pour un filler calcaire dans un BAP
 - L'ordre de grandeur attendu de Sp_A^* (augmente avec la surface spécifique en général). Plus cette valeur est faible plus il faut prendre $A\%$ élevé pour minimiser l'erreur lors de la mesure (car on raisonne sur la consommation marginale de l'addition en superplastifiant)



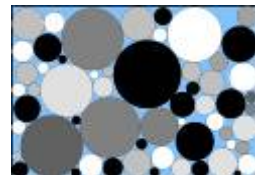
Mesure du dosage de saturation

- Exemple:
 - $Sp^*_C = 0,5 \%$
 - $Sp^*_{C+A} = 0,9 \%$
 - $\rightarrow Sp^*_A = 4,5 \%$



Introduction des données dans BétonlabPro - Exemple

- Soit le matériau « Nouvelle cendre volante », dont on admet qu'elle a les mêmes propriétés que le matériau « Cendre volante », sauf le dosage de saturation en superplastifiant et les compacités
- On a mesuré des temps d'écoulement suivant la méthode des coulis dans les conditions suivantes:
 - dosage de saturation du ciment égal à 0,35% d'e.s
 - coulis basés sur un mélange à 80% de ciment et 20% de cendre volante
 - Teneur en extrait sec du superplastifiant: 30%

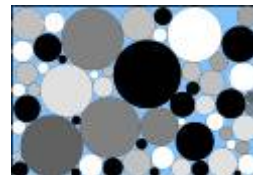


Introduction des données dans BétonlabPro - Exemple

- Résultats de laboratoire obtenus sur coulis

| % E.S | 0 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 |
|-------------------------------|----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| sable (g) | 1371 | 1371 | 1371 | 1371 | 1371 | 1371 | 1371 | 1371 |
| ciment (g) | 932 | 932 | 932 | 932 | 932 | 932 | 932 | 932 |
| cendre volante (g) | 233 | 233 | 233 | 233 | 233 | 233 | 233 | 233 |
| eau ajout (g) | 392 | 387,9 | 386,6 | 385,2 | 383,8 | 382,5 | 381,1 | 379,8 |
| superplastifiant | 0 | 5,825 | 7,767 | 9,708 | 11,650 | 13,592 | 15,533 | 17,475 |
| temps d'écoulement (s) | - | 30 | 19,6 | 16 | 13,5 | 13 | 13,2 | 12,9 |

- Remarque: l'eau totale est constante, l'eau d'ajout varie car le superplastifiant apporte de l'eau (70% de sa masse)



BétonlabFree 3

Fichier Edition Constituants Sélection Calculs ?

- Menu Constituants
- Banque de constituants

Banque de constituants

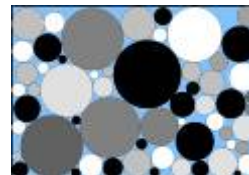
Dossiers disponibles

- Granulats.cst
- Matériaux génériques.cst

Constituants disponibles

- Cendre volante
- Ciment CEM I 52,5
- Ciment CEM II/A-LL 32,5 N
- Concassé 0/4
- Concassé 12,5/20
- Concassé 2/6
- Concassé 20/50
- Concassé 5/12,5
- Concassé 5/20
- Filler calcaire
- Fumée de silice
- Laitier
- Roulé 0/5
- Roulé 5/12,5

- cliquer sur « Matériaux génériques »
- cliquer sur « Cendre volante »
- cliquer sur Editer



BétonlabFree 3

Fichier Edition Constituants Sélection Calculs ...?

- entrer le nouveau nom

- cliquer sur « Propriétés »

- Rappeler le (super)plastifiant utilisé pour la demande en eau le cas échéant

Propriétés de la cendre volante

Général Propriétés Squelette Coupure 1

Nom Nouvelle Cendre volante

Date 10/09/1999 19:11:37

Commentaires
Cendre silico alumineuse. Superplastifiant utilisé: polycarboxylate

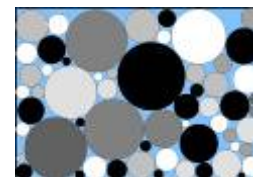
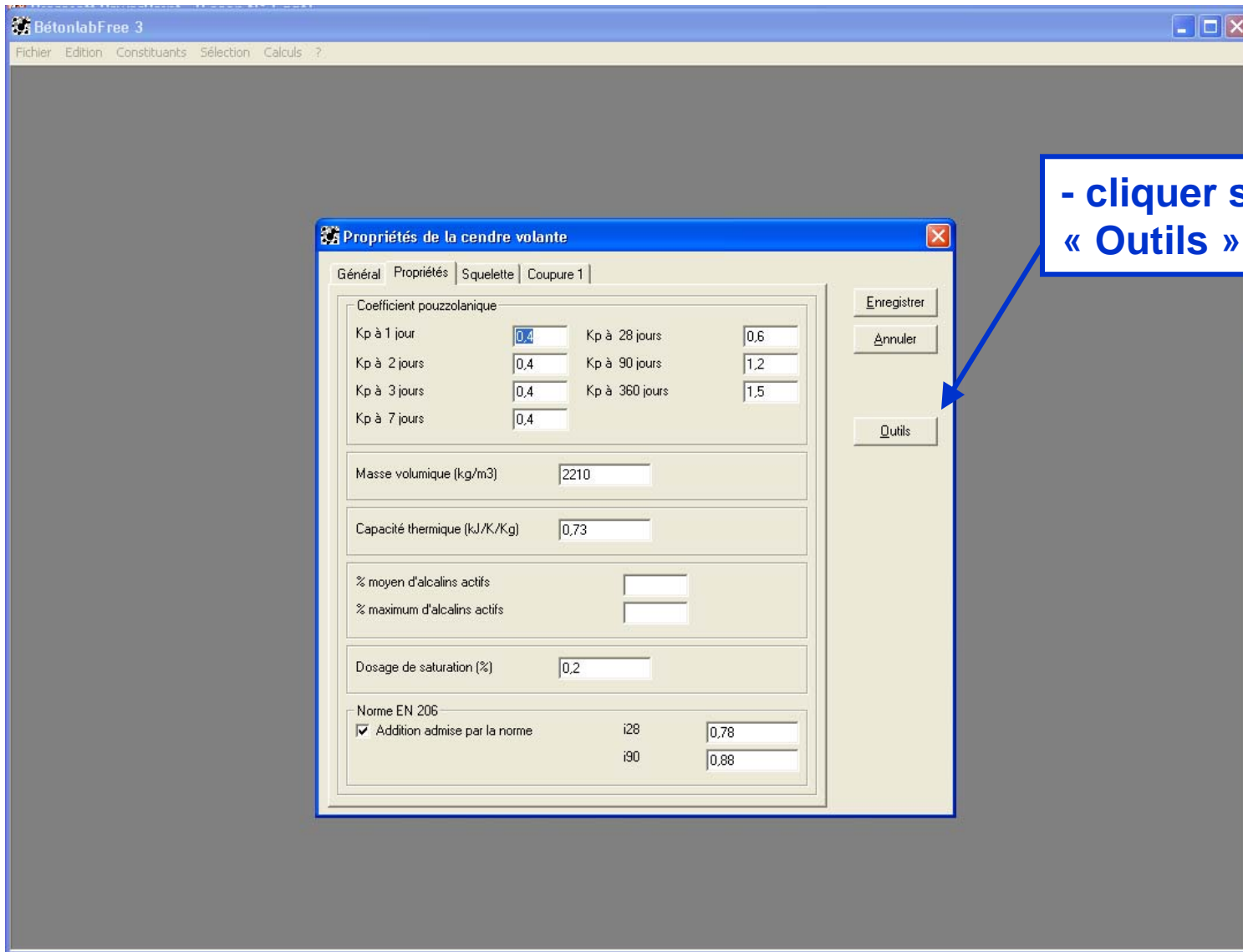
Coût (Euro/t) 32

Enregistrer

Annuler

Outils





BétonlabFree 3

Fichier Edition Constituants Sélection Calculs ?

Propriétés de la cendre volante

Général Propriétés Squelette Coupure 1

Coefficient pouzzolanique

Kp à 1 jour 0,4 Kp à 2 jours 0,4

Kp à 3 jours 0,4 Kp à 7 jours 0,4

Masse volumique (kg/m³) 2210

Capacité thermique (kJ/K.Kg) 0,73

% moyen d'alcalins actifs

% maximum d'alcalins actifs

Dosage de saturation (%) 0,1

Norme EN 206

Addition admise par la norme

BtIOutils 3

Compacité 1 Saturation 1

Compacité 2 Saturation 2

Compacité 3 Activité

C/(C+A) (%) 80

Dosage de saturation du ciment (%) 0,35

| % superplastifiant | Temps (s) |
|--------------------|-----------|
| 0,15 | 30 |
| 0,2 | 19,6 |
| 0,25 | 16 |
| 0,3 | 13,5 |
| 0,35 | 13 |
| 0,40 | 13,2 |
| 0,45 | 12,9 |

Dosage de saturation de l'addition (%) 0,1

Grapher

Calculer

Exporter Copier Quitter Aide A propos

Courbe de saturation

| % de superplastifiant | Log(t) |
|-----------------------|--------|
| 0,15 | 1,48 |
| 0,20 | 1,30 |
| 0,25 | 1,21 |
| 0,30 | 1,14 |
| 0,35 | 1,12 |
| 0,40 | 1,13 |
| 0,45 | 1,12 |

- Cliquer sur
« Saturation 2 »

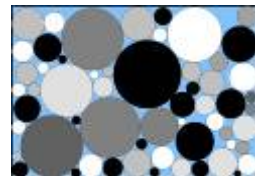
- Introduire les
données

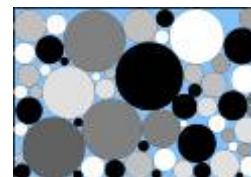
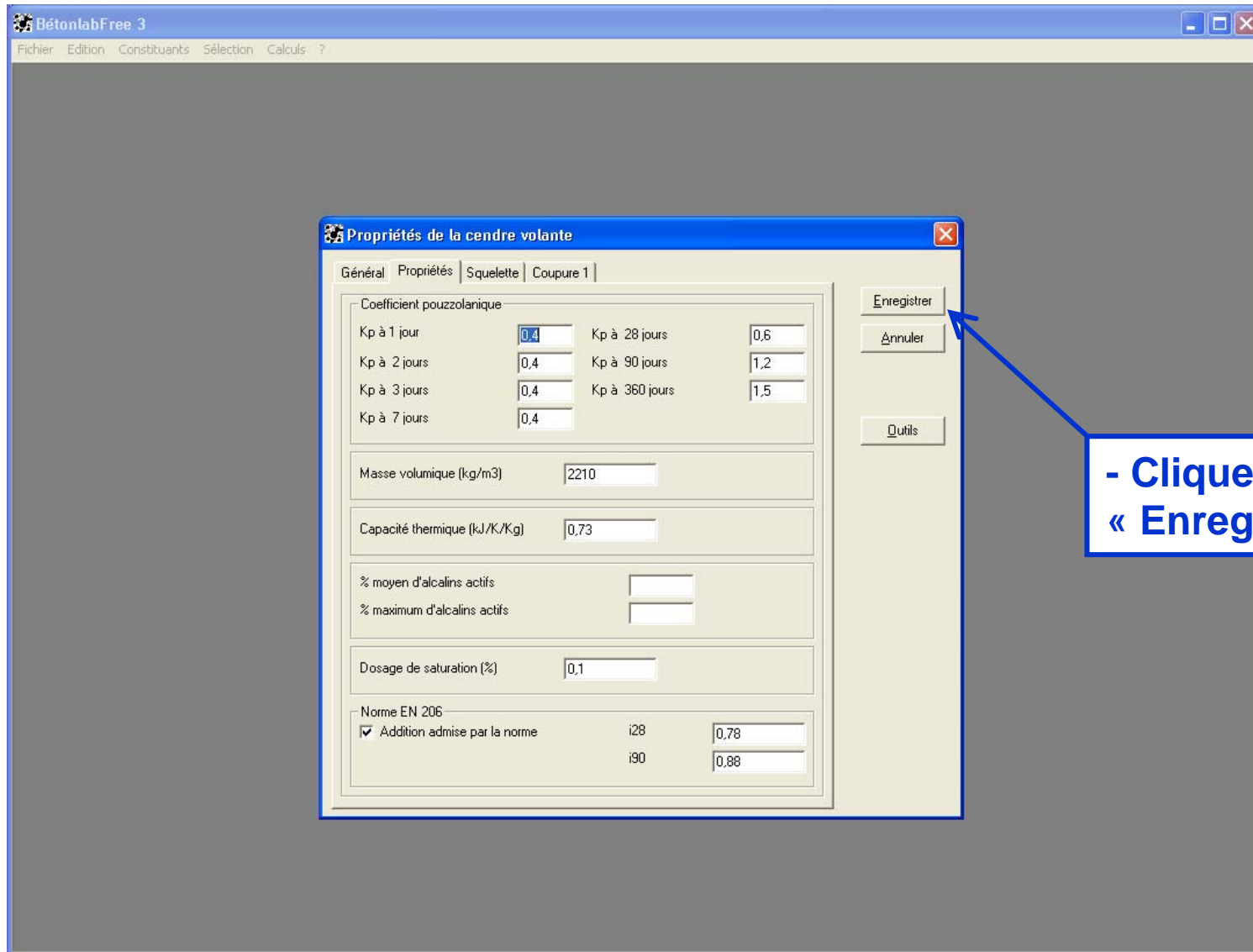
- Cliquer sur
« Calculer »

- Le dosage de
saturation
apparaît (0,1 %)

- Visualiser la
courbe de
saturation

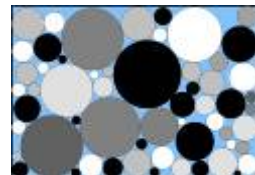
- Introduire la
valeur dans la
fiche de
l'addition





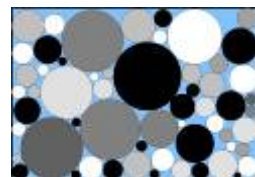
Mesure de la demande en eau

- Mesure permettant le calcul de la compacité de l'addition (voir leçon 6)
- Compacité sans superplastifiant: donnée indispensable dans BétonlabPro pour simuler des mélanges contenant du ciment et de l'addition
- Compacité à saturation: donnée indispensable si on souhaite en plus simuler des bétons avec (super)plastifiant



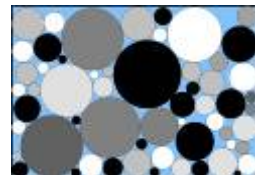
Mesure de la demande en eau

- En l'absence de superplastifiant: la demande est mesurée comme celle du ciment suivant l'une des deux méthodes proposées (voir leçon 6)

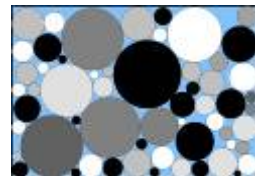
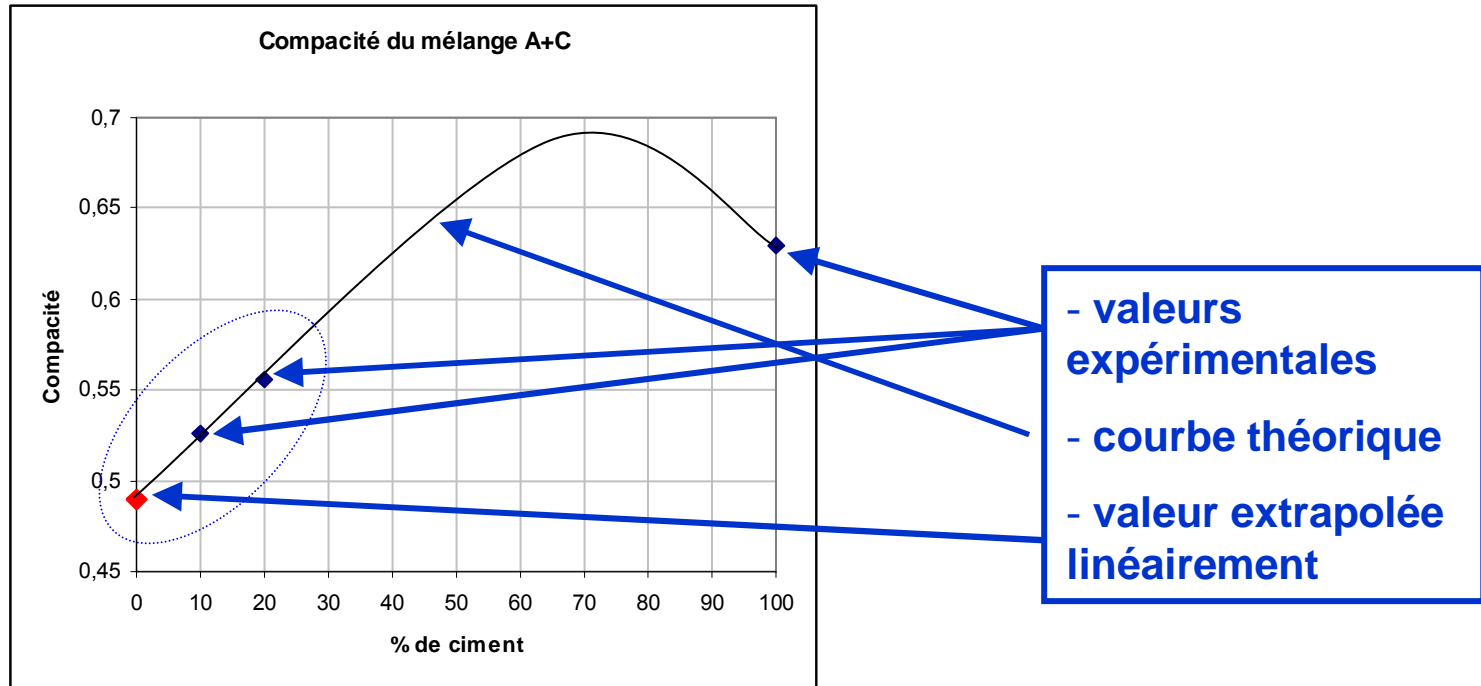


Mesure de la demande en eau

- A saturation en superplastifiant, la présence de ciment est obligatoire pour que l'adjuvant fonctionne. On procède comme suit:
 - détermination de la demande en eau suivant une des deux méthodes proposées dans la leçon n°6
 - d'un mélange composé de 80% d'addition et 20% de ciment, saturé en superplastifiant
 - d'un mélange composé de 90% d'addition et 10% de ciment, saturé en superplastifiant
 - calcul des compacités correspondantes et extrapolation linéaire de la compacité pour le mélange à 100% d'addition

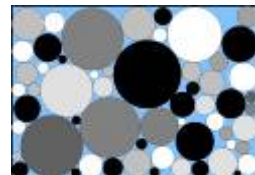


Mesure de la demande en eau



Introduction des données dans BétonlabPro - Exemple

- Soit le matériau « Nouvelle cendre volante » créée précédemment
- On suppose que les mesures ont été faites selon la méthode sur pâte normale et on a obtenu:



Introduction des données dans BétonlabPro - Exemple

| | | |
|---|------|-------------------|
| masse volumique du ciment | 3160 | kg/m ³ |
| masse volumique de la cendre volante | 2210 | kg/m ³ |
| dosage de saturation du ciment | 0,35 | % e.s. |
| dosage de saturation de la cendre volante | 0,1 | % e.s. |
| extrait sec (e.s) de l'adjuvant | 30 | % |

| Essais sans superplastifiant | |
|------------------------------|-----|
| Cendre volante (g) | 500 |
| Eau d'ajout (g) | 164 |

| Essais à saturation | | |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Mélange à 20% de ciment | Mélange à 10% de ciment |
| Ciment (g) | 100 | 50 |
| Cendre volante (g) | 400 | 450 |
| Sp (g) | 1,7 | 1,7 |
| Eau d'ajout (g) | 134 | 123 |



BétonlabFree 3

Fichier Edition Constituants Sélection Calculs ?

- Menu Constituants

- Banque de constituants

Banque de constituants

Dossiers disponibles

- Granulats.cst
- Matériaux génériques.cst**

Nouveau
Supprimer
Organiser

Constituants disponibles

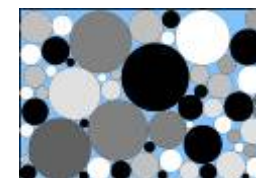
- Cendre volante
- Ciment CEM I 52,5
- Ciment CEM II/A-LL 32,5 N
- Concassé 0/4
- Concassé 12,5/20
- Concassé 2/6
- Concassé 20/50
- Concassé 5/12,5
- Concassé 5/20
- Filler calcaire
- Fumée de silice
- Laitier
- Nouveau ciment
- Nouvelle cendre volante**

Editer
Nouveau
Supprimer
Exporter
Quitter

- cliquer sur « Matériaux génériques »

- cliquer sur « Nouvelle Cendre volante »

- cliquer sur Editer



BétonlabFree 3

Fichier Edition Constituants Sélection Calculs ?

Propriétés de la cendre volante

Général Propriétés Squelette Coupure 1

Coupure 0,2 µ / 80 µ

Sans adjuvant

Compacité expérimentale 0,5798

Indice de serrage 4,8

Confinement Aucun

Enregistrer

Annuler

Outils

BtlOutils 3

| Saturation 1 | Saturation 2 | Activité |
|--|--------------|-------------|
| Compacité 1 | Compacité 2 | Compacité 3 |
| Masse volumique du ciment (kg/m3) | 2210 | |
| Concentration solide du superplastifiant (%) | 30 | |
| Masse de ciment C (g) | 500 | |
| Masse d'eau ajoutée (g) | 164 | |
| Masse de superplastifiant (g) | 0 | |
| Compacité du ciment | 0,5798 | |

Exporter Copier Quitter Aide A propos

- Cliquer sur « Outils »

- reporter la compacité

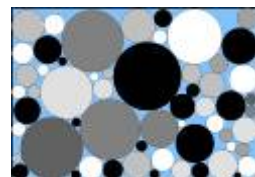
- indice de serrage = 4,8

- pas de confinement

- cliquer sur « Compacité1 »

- introduire les données sans superplastifiant

- la compacité s'affiche: 0,5798



BétonlabFree 3

Fichier Edition Constituants Sélection Calculs ?

BtOutils 3

| Saturation 1 | Saturation 2 | Activité |
|--|--------------|-------------|
| Compacité 1 | Compacité 2 | Compacité 3 |
| Masse volumique du ciment (kg/m3) | 3160 | |
| Masse volumique de l'addition (kg/m3) | 2210 | |
| Concentration solide du superplastifiant (%) | 30 | |
| Masse de ciment C (g) | 50 | 100 |
| Masse d'addition A (g) | 450 | 400 |
| Masse d'eau ajoutée (g) | 130 | 123 |
| Masse de superplastifiant (g) | 1,7 | 1,7 |
| C/(C+A) (%) | 10 | 20 |
| Compacité du mélange | 0,6258 | 0,6313 |
| Compacité de l'addition | 0,6203 | |

Exporter Copier Quitter Aide A propos

Propriétés de la cendre

pure 0,2 μ /

ns adjuvant

compacité expérimentale

ce de serrage

finement

Enregistrer

Annuler

Outils

Compacité expérimentale 0,6203

Indice de serrage 4,8

Confinement Aucun

- cliquer sur « Compacité2 »

- introduire les données à saturation

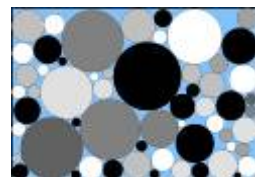
- la compacité s'affiche: 0,6203

- reporter la compacité

- indice de serrage = 4,8

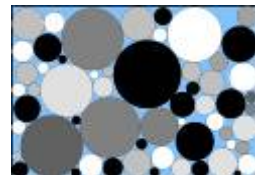
- pas de confinement

- enregistrer



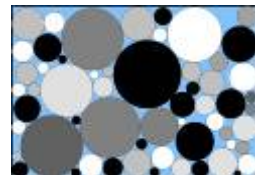
Cas particulier des fines de sables

- On suppose que les fines du sables ($<80\mu$) consomment du superplastifiant \rightarrow dosage de saturation Sp^*_F à fournir à BétonlabPro lorsque le sable contient des fines
- Dans la majorité des cas on peut faire l'hypothèse de $Sp^*_F=0$ car:
 - adsorption de superplastifiant par le sable prise en compte indirectement lors de la mesure de Sp^*_C
 - valeur de Sp^*_F faible par rapport à Sp^*_C (notamment à cause d'une surface spécifique plus faible)



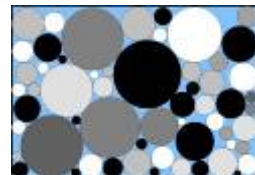
Cas particulier des fines de sables

- Quand est il conseillé de mesurer Sp^*_F ?
 - Quand les fines du sable représentent un pourcentage élevé de l'ensemble des fines du mélange ($\geq 25\%$ en masse par exemple): ceci peut être le cas dans un mortier et/ou avec un sable contenant plus de 15% de fines
 - Quand on cherche à simuler des matériaux avec des dosages de sable couvrant une large plage (du béton au mortier par exemple)
- Attention: un essai de saturation nécessite tamiser environ 20kg de sable pour obtenir les fines nécessaires



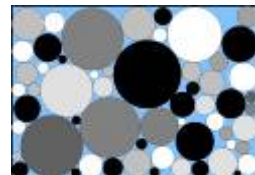
Cas particulier des fines de sables

- Si le dosage en fines du sable est faible ($\leq 5\%$), il n'est pas nécessaire de séparer les fines du sable en une coupure particulière, pour en faire une demande en eau. On mesure la compacité à sec de l'ensemble du sable (voir leçon 3)
- Au-delà de 5% de teneur en fines il est conseillé séparer les fines en une coupure pour en mesurer la demande en eau et améliorer la précision des simulations



Cas particulier des fines de sables

- Si on considère que $Sp_F^* = 0$, on peut en première approximation prendre la même demande en eau sans superplastifiant et à saturation
- Si on considère que $Sp_F^* \neq 0$, il faut mesurer la demande en eau au dosage de saturation
- Attention à la préparation des échantillons!
 - un essai de demande en eau sans superplastifiant demande entre 1 kg de fines pour l'essai sur pâte homogène et 3 kg pour l'essai sur pâte normale
 - ces quantités montent respectivement à 2 kg et 5,1 kg pour les essais à saturation
 - ces valeurs sont à multiplier par 10 pour obtenir la masse de sable à tamiser (pour une teneur en fines de 10%)



Conclusion

- Dosage de saturation des additions mesurée en présence de ciment
- En l'absence de (super)plastifiant la demande en eau des additions se mesure sur l'addition seule
- En présence de (super)plastifiant la demande en eau des additions est déduite de celle de mélanges contenant 10 et 20% de ciment
- Les fines des sables sont traitées comme des additions minérales si la précision des calculs l'exige

