

BétonlabPro 3

Leçon N°10

Simulation de formules de béton

François de Larrard

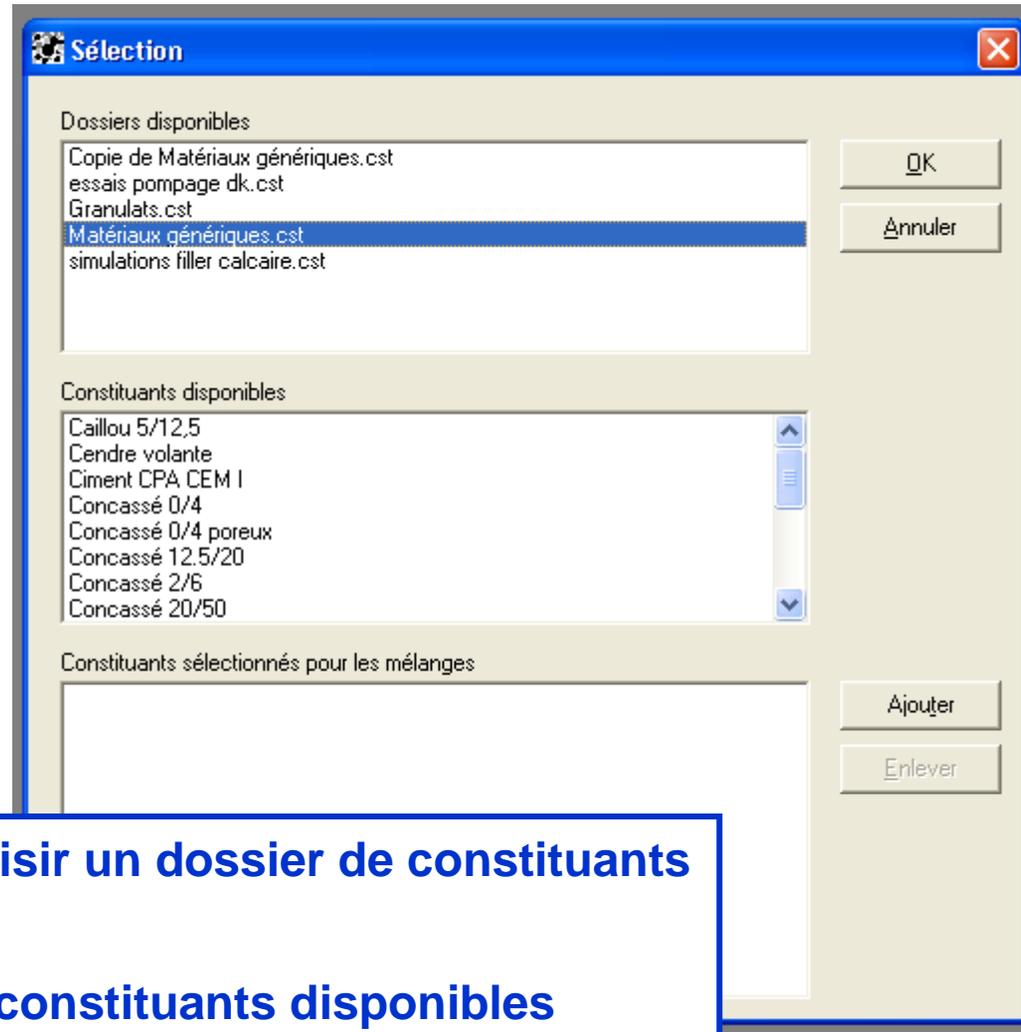
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Centre de Nantes

Plan de la leçon

- Sélection des constituants
- Options de calculs
- Entrée d'une formule et ajustements
- Sauvegarde
- Utilisation d'entraîneurs d'air
- Granularité - Diagramme de remplissage
- Exportation de données
- Aide en ligne
- Conclusion



Sélection des constituants



- choisir un dossier de constituants (.cst)

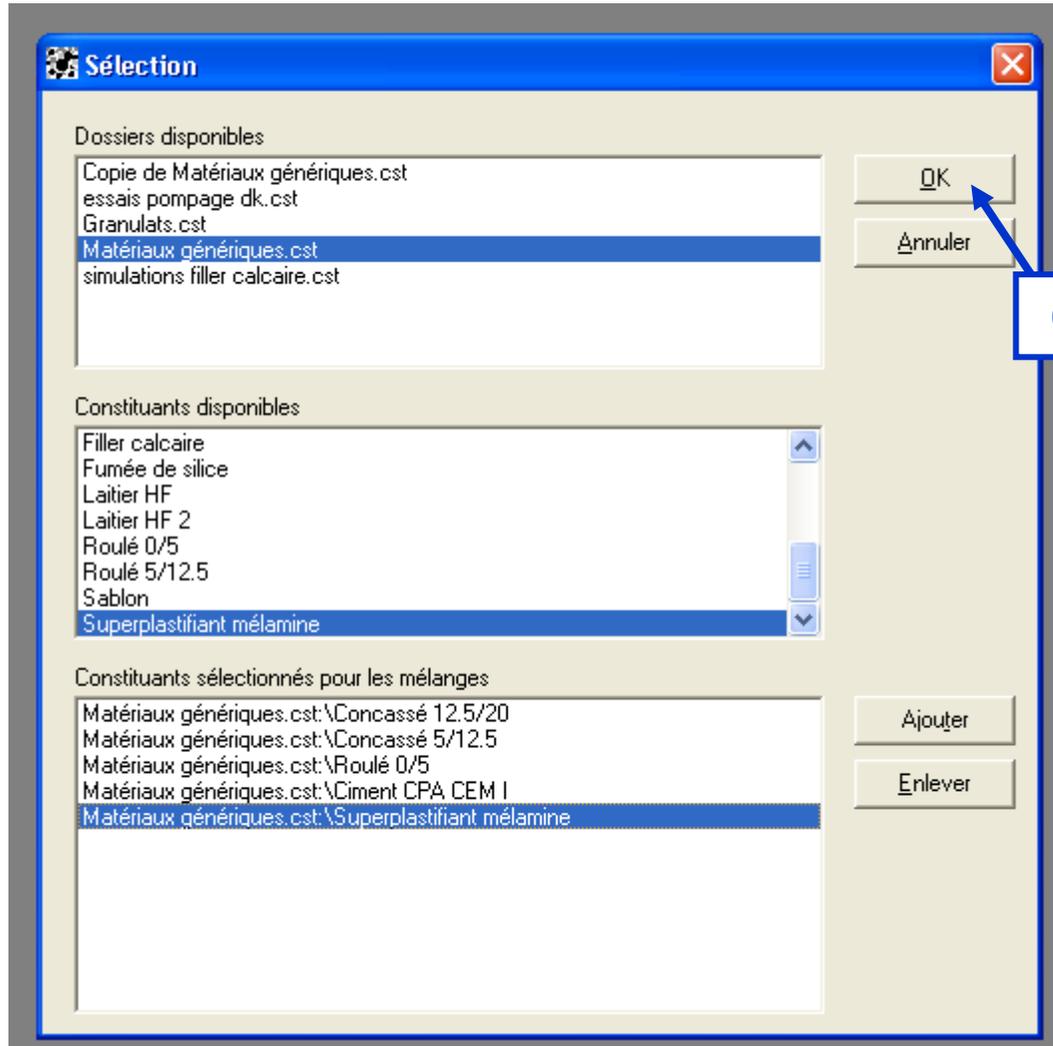
- les constituants disponibles apparaissent



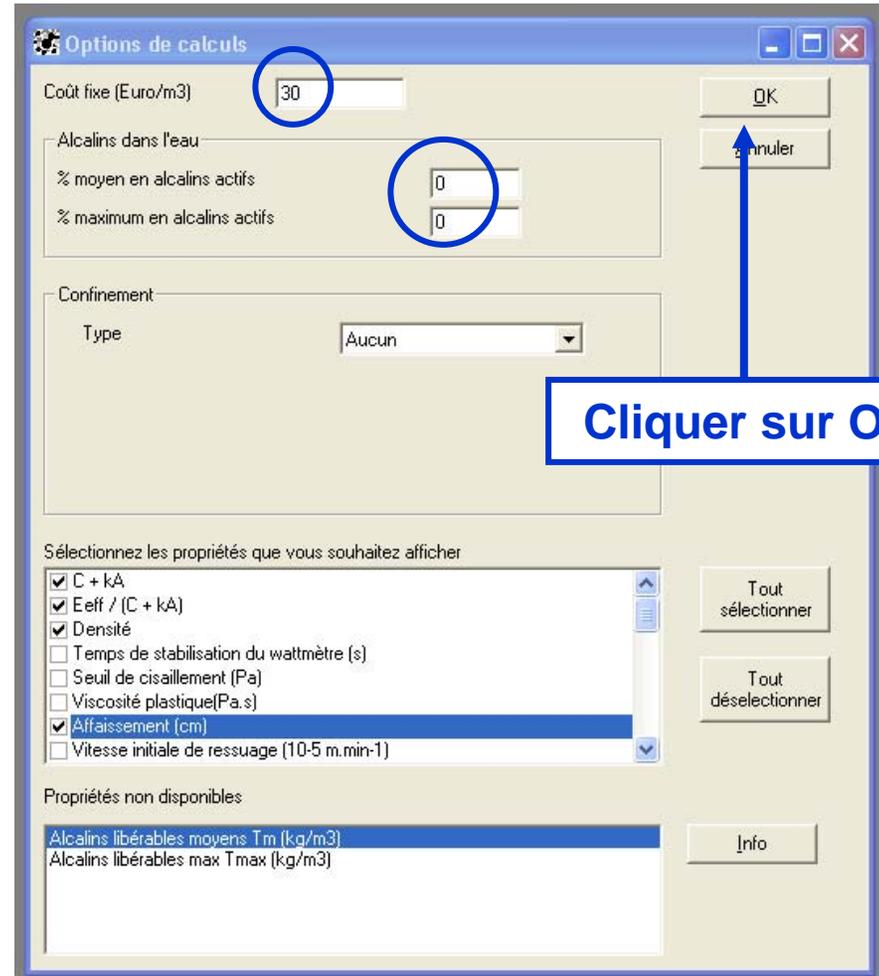
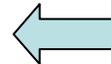
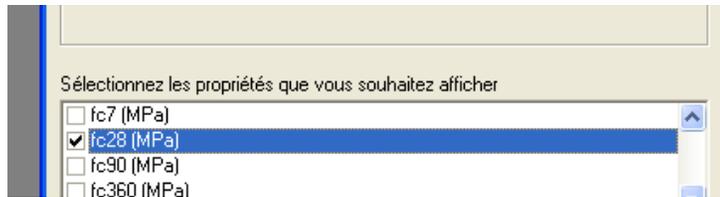
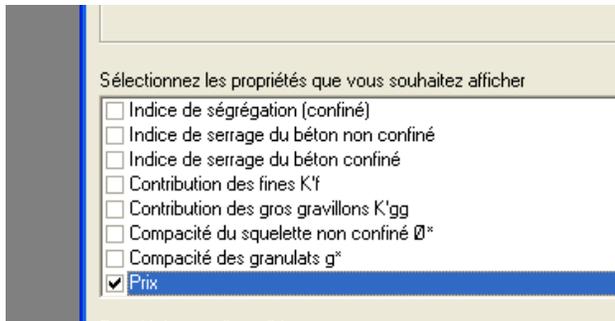
Sélection des constituants (suite)

- en double-cliquant sur les constituants disponibles, ceux-ci sont recopiés dans l'écran inférieur

- en cas d'erreur, on peut aussi en enlever



Options de calculs



Entrée d'une formule et ajustements

The screenshot displays the BétonlabPro 3 software interface. The main window is titled "BétonlabPro 3" and has a menu bar with "Fichier", "Edition", "Constituants", "Sélection", and "Modifications". A sub-window titled "Simulations" is open, showing a "Composition" section with input fields for G1 (%), G2 (%), S1 (%), C1 (kg/m3), SP1 (%), and Eau eff (kg/m3). A red box highlights this input area. To the right, a table displays simulation results for various parameters. A second red box highlights this table. A blue callout box on the left contains the text "- écran de saisie de la composition", and another on the right contains "- écran de résultat des simulations".

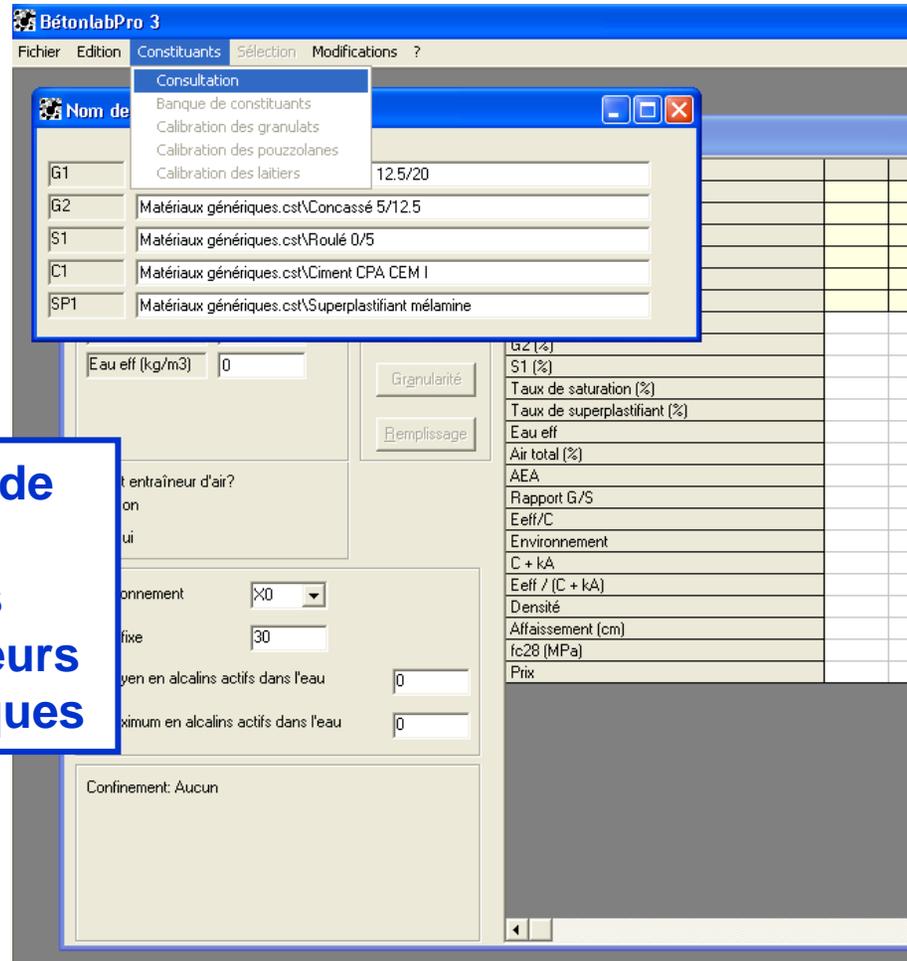
Paramètre	Valeur
Gâchée n°	
G1 (kg/m3)	
G2 (kg/m3)	
S1 (kg/m3)	
C1 (kg/m3)	
SP1 (kg/m3)	
Eau (kg/m3)	
G1 (%)	
G2 (%)	
S1 (%)	
Taux de saturation (%)	
Taux de superplastifiant (%)	
Eau eff	
Air total (%)	
AEA	
Rapport G/S	
Eeff/C	
Environnement	
C + kA	
Eeff / (C + kA)	
Densité	
Affaissement (cm)	
fc28 (MPa)	
Prix	

- écran de saisie de la composition

- écran de résultat des simulations



Entrée d'une formule et ajustements (suite)



- possibilité de
revoir les
constituants
choisis, et leurs
caractéristiques



Entrée d'une formule et ajustements (suite)

Masses

100 %

1 m³

Volumes

Simulation

Composition

G1 (%)	40
G2 (%)	15
S1 (%)	45
C1 (kg/m3)	350
SP1 (%)	0
Eau eff (kg/m3)	180

Agent entraîneur d'air?
 Non
 Oui

Environnement: XC3

Coût fixe: 30

Confinement: Aucun

Gâchée n°	1
G1 (kg/m3)	743,9
G2 (kg/m3)	277,5
S1 (kg/m3)	823,7
C1 (kg/m3)	350
SP1 (kg/m3)	0
Eau (kg/m3)	183,9
G1 (%)	40
G2 (%)	15
S1 (%)	45
Taux de saturation (%)	0,75
Taux de superplastifiant (%)	0
Eau eff	180
Air total (%)	1,5
AEA	Non
Rapport G/S	1,24
Eeff/C	0,514
Environnement	XC3
C + kA	350
Eeff / (C + kA)	0,514
Densité	2,379
Affaissement (cm)	10,9
fc28 (MPa)	45,7
Prix	70,76



Entrée d'une formule et ajustements (suite)

The screenshot displays the 'Simulations' window in BétonlabPro 3. The interface is divided into several sections:

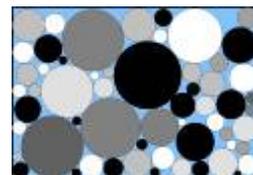
- Composition:** A table of input parameters for concrete composition.
- Buttons:** 'Gâcher', 'Optimiser', 'Granularité', and 'Remplissage'.
- Agent entraîneur d'air:** Radio buttons for 'Non' (selected) and 'Oui'.
- Environnement:** A dropdown menu set to 'XC3'.
- Coût fixe:** A text box containing '30'.
- Alcalins actifs:** Text boxes for '% moyen en alcalins actifs dans l'eau' and '% maximum en alcalins actifs dans l'eau', both set to '0'.
- Confinement:** A text box containing 'Aucun'.
- Tableau des résultats:** A table showing calculated values for various parameters.

Composition	
G1 (%)	40
G2 (%)	15
S1 (%)	45
C1 (kg/m3)	350
SP1 (%)	0
Eau eff (kg/m3)	180

Béton n°1	
Gâchée n°	1
G1 (kg/m3)	743,9
G2 (kg/m3)	277,5
S1 (kg/m3)	823,7
C1 (kg/m3)	350
SP1 (kg/m3)	0
Eau (kg/m3)	183,9
G1 (%)	40
G2 (%)	15
S1 (%)	
Taux de saturation (%)	
Taux de superplastifiant (%)	
Eau eff	
Air total (%)	
AEA	
Rapport G/S	
Eeff/C	
Environnement	XC3
C + kA	350
Eeff / (C + kA)	0,514
Densité	2,379
Affaissement (cm)	10,9
fc28 (MPa)	45,7
Prix	70,76

Eau entrée sous forme d'eau efficace (en kg/m3)

Eau calculée en eau d'ajout sur granulats secs



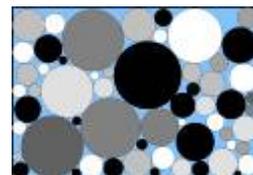
Entrée d'une formule et ajustements (suite)

The screenshot displays the 'Simulations' window in BétonlabPro 3. On the left, the 'Composition' section includes input fields for G1 (40%), G2 (15%), S1 (45%), C1 (350 kg/m3), SP1 (0%), and Eau eff (180 kg/m3). Below this, there are options for 'Agent entraîneur d'air?' (Non selected), 'Environnement' (XC3), and 'Coût fixe' (30). On the right, a table shows calculated values for various parameters. A blue arrow points from the 'SP1 (kg/m3)' row in the table to the 'SP1 (%)' input field, indicating that the percentage value is derived from the calculated kg/m3 value.

Paramètre	Valeur
Gâchée n°	1
G1 (kg/m3)	743,9
G2 (kg/m3)	277,5
S1 (kg/m3)	823,7
C1 (kg/m3)	350
SP1 (kg/m3)	0
Eau (kg/m3)	183,9
G1 (%)	40
G2 (%)	15
S1 (%)	
Taux de saturation (%)	
Taux de superplastifiant (%)	
Eau eff	
Air total (%)	
AEA	
Rapport G/S	1,24
Eeff/C	0,514
Environnement	XC3
C + kA	350
Eeff / (C + kA)	0,514
Densité	2,379
Affaissement (cm)	10,9
fc28 (MPa)	45,7
Prix	70,76

Superplastifiant entré en % d'extrait sec (actif) par rapport au poids de ciment seul

Superplastifiant calculé en kg/m³



Entrée d'une formule et ajustements

(suite)

Cliquer sur
« Gâcher »

Le dosage en
liant équivalent

et le rapport
eau/liant équ.

sont calculés
pour
l'environnement
en question

Catégorie d'en-
vironnement
entrée selon la
norme EN 206

The screenshot shows the 'Simulations' window of the BétonlabPro 3 software. On the left, the 'Composition' section has input fields for G1 (%), G2 (%), S1 (%), C1 (kg/m3), and SP1 (%). Below this, the 'Béton n°1' section has buttons for 'Granularité' and 'Remplissage'. The 'Environnement' section has a dropdown menu set to 'XC3', a 'Coût fixe' field with '30', and two percentage fields for active alkalis in water. On the right, a table displays calculated results for various parameters.

Gâchée n°	
G1 (kg/m3)	
G2 (kg/m3)	
S1 (kg/m3)	
C1 (kg/m3)	
SP1 (kg/m3)	
Eau (kg/m3)	
G1 (%)	
G2 (%)	
S1 (%)	
Taux de saturation (%)	
Taux de superplastifiant (%)	
Eau eff	
Air total (%)	1,5
AEA	Non
Rapport G/S	1,24
Eeff/C	0,514
Environnement	XC3
C + kA	350
Eeff / (C + kA)	0,514
Densité	2,379
Affaissement (cm)	10,9
fc28 (MPa)	45,7
Prix	70,76



Entrée d'une formule et ajustements (suite)

BétonlabPro 3

Fichier Edition Constituants Sélection Modifications ?

Nom des constituants

Simulations

Composition

Gâcher

Optimiser

Beton n°3

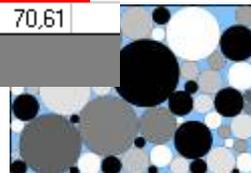
Granularité

Remplissage

Composants

Gâchée n°	1	2	3
G1 (kg/m3)	743,9	740,1	735,9
G2 (kg/m3)	277,5	276,1	274,5
S1 (kg/m3)	823,7	819,5	814,9
C1 (kg/m3)	350	350	350
SP1 (kg/m3)	0	0	0
Eau (kg/m3)	183,9	188,9	193,8
G1 (%)	40	40	40
G2 (%)	15	15	15
S1 (%)	45	45	45
Taux de saturation (%)	0,75	0,75	0,75
Taux de superplastifiant (%)	0	0	0
Eau eff	180	185	190
Air total (%)	1,5	1,4	1,3
AEA	Non	Non	Non
Rapport G/S	1,24	1,24	1,24
Eeff/C	0,514	0,529	0,543
Environnement	XC3	XC3	XC3
C + kA	350	350	350
Eeff / (C + kA)	0,514	0,529	0,543
Densité	2,379	2,375	2,369
Affaissement (cm)	10,9	13,9	16,4
fc28 (MPa)	45,7	44,1	42,4
Prix	70,76	70,69	70,61

Ajustements : effet du dosage en eau efficace



Entrée d'une formule et ajustements (suite)

Simulations

Composition

G1 (%)	40
G2 (%)	15
S1 (%)	45
C1 (kg/m3)	350
SP1 (%)	0
Eau eff (kg/m3)	180

Agent entraîneur d'air?
 Non
 Oui

Environnement: XC3

Coût fixe: 30

% moyen en alcalins actifs dans l'eau

% maximum en alcalins actifs dans l'eau

Gâcher

Optimiser

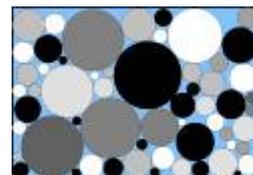
Beton n°1

Granularité

Remplissage

Gâchée n°	1	2	3
G1 (kg/m3)	743,9	740,1	735,9
G2 (kg/m3)	277,5	276,1	274,5
S1 (kg/m3)	823,7	819,5	814,9
C1 (kg/m3)	350	350	350
SP1 (kg/m3)	0	0	0
Eau (kg/m3)	183,9	188,9	193,8
G1 (%)	40	40	40
G2 (%)	15	15	15
S1 (%)	45	45	45
Taux de saturation (%)	0,75	0,75	0,75
Taux de superplastifiant (%)	0	0	0
Eau eff	180	185	190
Air total (%)	1,5	1,4	1,3
	Non	Non	Non
	1,24	1,24	1,24
	0,514	0,529	0,543
	XC3	XC3	XC3
	350	350	350
	0,514	0,529	0,543
	2,379	2,375	2,369
	10,9	13,9	16,4
	45,7	44,1	42,4
	70,76	70,69	70,61

En cliquant dans une colonne, on recopie la composition dans celle de la gâchée courante

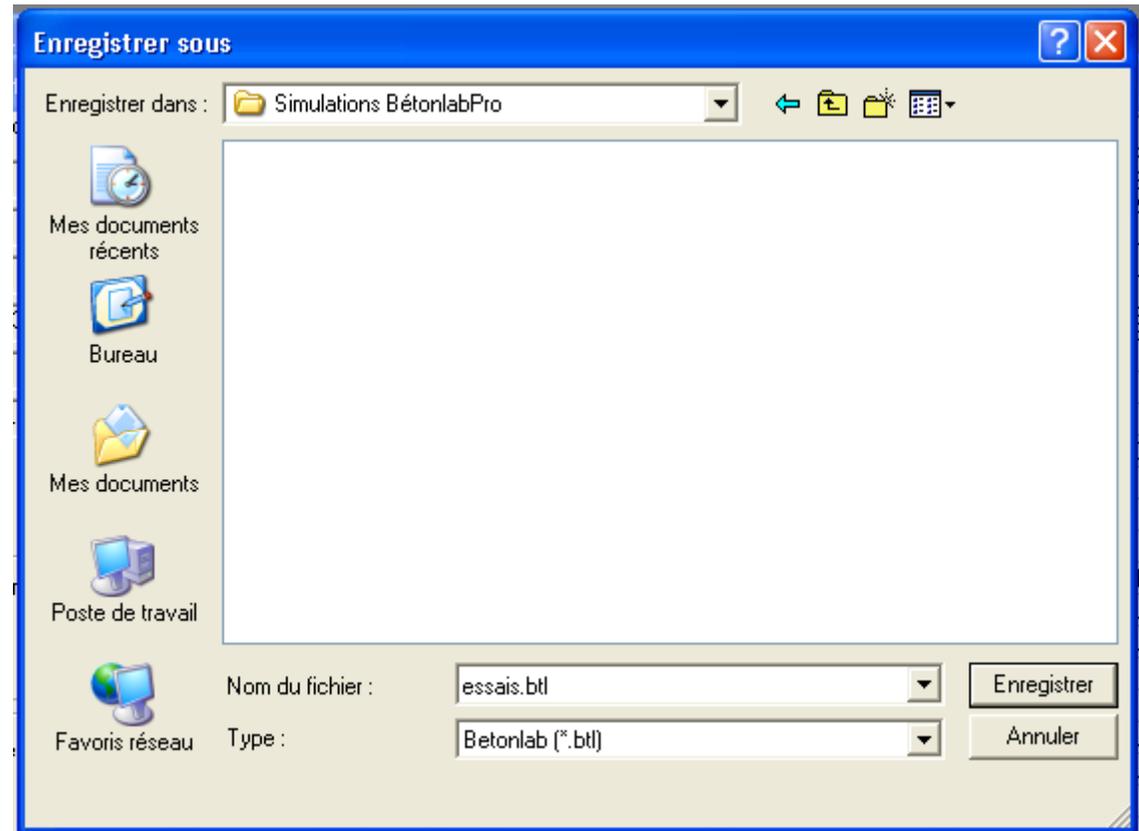


Sauvegarde

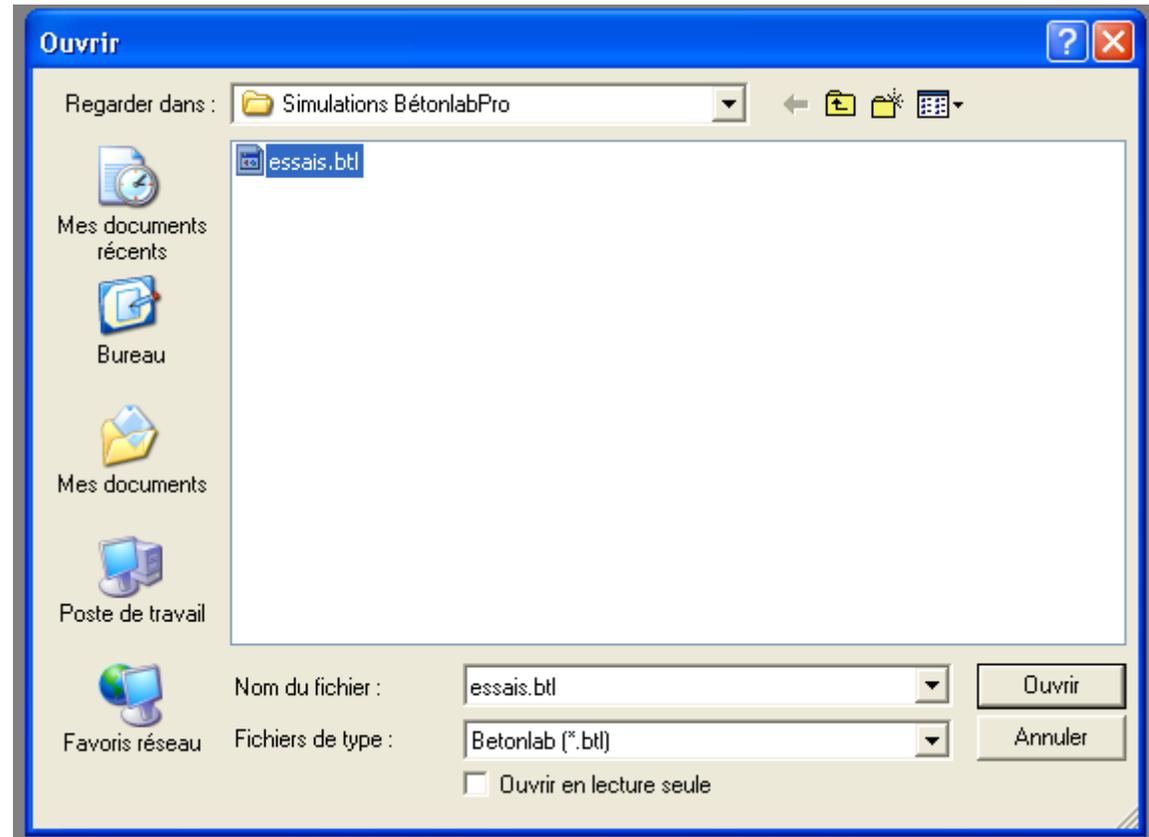
- Le logiciel peut sauvegarder une série de gâchées, sous forme d'un fichier .btl
- Il conservera en même temps les fichiers des constituants ayant servi aux simulations
- Si on modifie les fichiers des constituants, et si on ouvre ultérieurement le fichier de gâchées, on aura accès aux constituants *originaux* (« Réouverture temporaire.cst »)



Sauvegarde (suite)



Sauvegarde (suite)



Sauvegarde (suite)

BétonlabPro 3
 Fichier Edition Constituants Sélection Modifications ?

Nom des constituants

G1	réouverture temporaire.c...\Concassé 12.5/20
G2	réouverture temporaire.c...\Concassé 5/12.5
S1	réouverture temporaire.c...\Roulé 0/5
C1	réouverture temporaire.c...\Ciment CPA CEM I
SP1	réouverture temporaire.c...\Superplastifiant mélamine

SP1 (%) 0
 Eau eff (kg/m3) 190

Beton n°3
 Granularité
 Remplissage

Agent entraîneur d'air?
 Non
 Oui

G1 (%)	45	45	45
G2 (%)	15	15	15
S1 (%)	40	40	40
Taux de saturation (%)	0,75	0,75	0,75
Taux de superplastifiant (%)	0	0	0
Eau eff	180	185	190
Air total (%)	1,1	1	1
AEA	Non	Non	Non
Rapport G/S	1,522	1,522	1,522
Eeff/C	0,514	0,529	0,543
Environnement	X0	X0	X0
C + kA	350	350	350



Utilisation d'entraîneurs d'air

- Sans entraîneur d'air, BétonlabPro estime le volume d'air occlus dans le béton *en place*
- Avec entraîneur d'air, l'utilisateur entre la teneur en air (occlus + entraîné) qu'il recherche
- Lors des premiers essais en laboratoire, il sera nécessaire de rechercher la dose d'AEA (adjuvant entraîneur d'air) nécessaire



Utilisation d'entraîneurs d'air (suite)

- Exemple: béton dosé à 350 kg/m³ de ciment
- Squelette : 60 % de gravillon/40% de sable
- Affaissement recherché = 100 mm
- Teneur en air recherchée = 5 %



Utilisation d'entraîneurs d'air (suite)

Simulations

Composition

G1 (%)	60
S1 (%)	40
C1 (kg/m3)	350
Eau eff (kg/m3)	189

Gâcher

Optimiser

Béton n°5

Granularité

Remplissage

Agent entraîneur d'air ?

Non

Oui Air total %

Environnement

Coût fixe

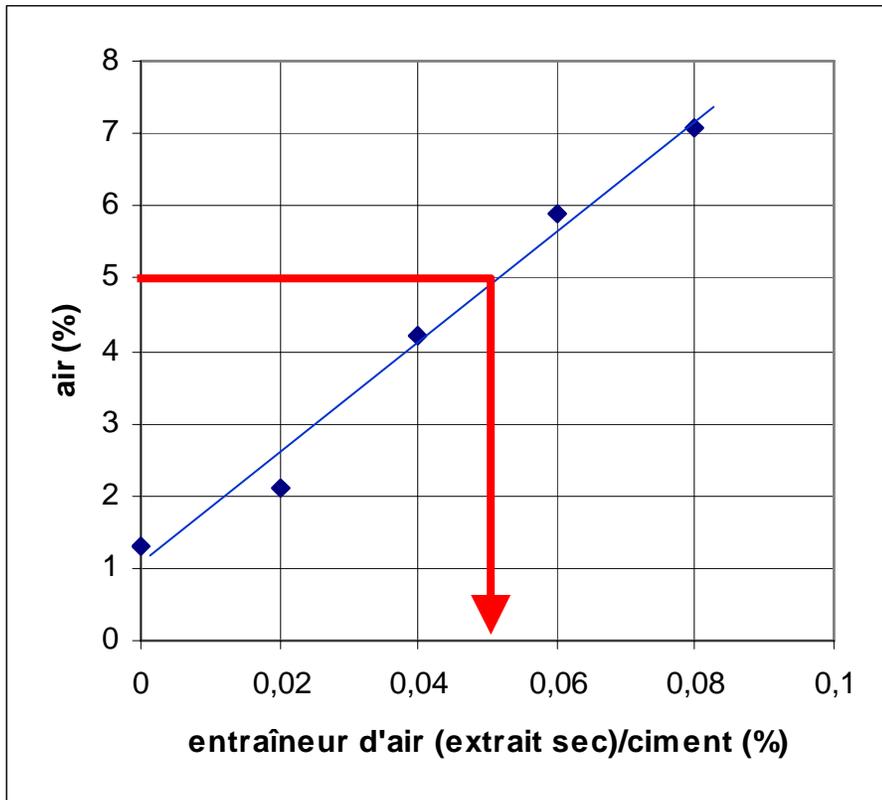
% moyen en alcalins actifs dans l'eau

% maximum en alcalins actifs dans l'eau

Gâchée n°	1	2	3	4	5
G1 (kg/m3)	1109	1097,6	1094,2	1033,7	1040,1
S1 (kg/m3)	731,5	724,1	721,8	681,9	686,1
C1 (kg/m3)	350	350	350	350	350
Eau (kg/m3)	184,1	194	197	196,8	192,8
G1 (%)	60	60	60	60	60
S1 (%)	40	40	40	40	40
Eau eff	180	190	193	193	189
Air total (%)	1,6	1,3	1,2	5	5
AEA	Non	Non	Non	Oui	Oui
Rapport G/S	1,516	1,516	1,516	1,516	1,516
Eeff/C	0,514	0,543	0,551	0,551	0,54
Environnement	X0	X0	X0	X0	X0
Affaissement (cm)	0	7,9	10,1	12,2	10
fc28 (MPa)	50,2	46,6	45,6	38	33,3



Utilisation d'entraîneurs d'air (suite)



- Gâchées d'essai
- Dosage d'AEA retenu = 0,05%
- Concentration solide 20%
- Dosage au m^3

$$= \frac{0,05}{100} \cdot \frac{350}{0,2} = 0,875 \text{ kg/m}^3$$



Utilisation d'entraîneurs d'air (suite)

- Formule théorique retenue:
 - gravillon = 1040 kg/m^3
 - sable = 686 kg/m^3
 - ciment = 350 kg/m^3
 - eau d'ajout sur granulats secs = 192 kg/m^3
 - entraîneur d'air = $0,875 \text{ kg/m}^3$
- Nécessité d'ajuster les autres propriétés (cf. leçon N°11)



Granularité - Diagramme de remplissage

- Pour toute formule simulée, le logiciel peut afficher la granularité globale
- Peut afficher également le diagramme de remplissage
 - étendue granulaire divisée en classes (rapport 1 à 2,5)
 - pour chaque classe, calcule le rapport volume présent/volume maximum de grains
- Exemple: un béton continu et un béton discontinu



Granularité - Diagramme de remplissage (suite)

Nom des constituants

G1	Matériaux génériques.cst\Concassé 12.5/20
G2	Matériaux génériques.cst\Concassé 5/12.5
S1	Matériaux génériques.cst\Roulé 0/5
C1	Matériaux génériques.cst\Ciment CPA CEM I
SP1	Matériaux génériques.cst\Superplastifiant mélatmine

Simulations

Composition

G1 (%)	55
G2 (%)	0
S1 (%)	45
C1 (kg/m3)	350
SP1 (%)	0
Eau eff (kg/m3)	180

Agent entraîneur d'air?
 Non
 Oui

Environnement:

Coût fixe:

% moyen en alcalins actifs dans l'eau:

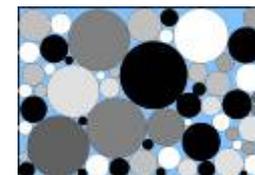
% maximum en alcalins actifs dans l'eau:

Confinement: Aucun

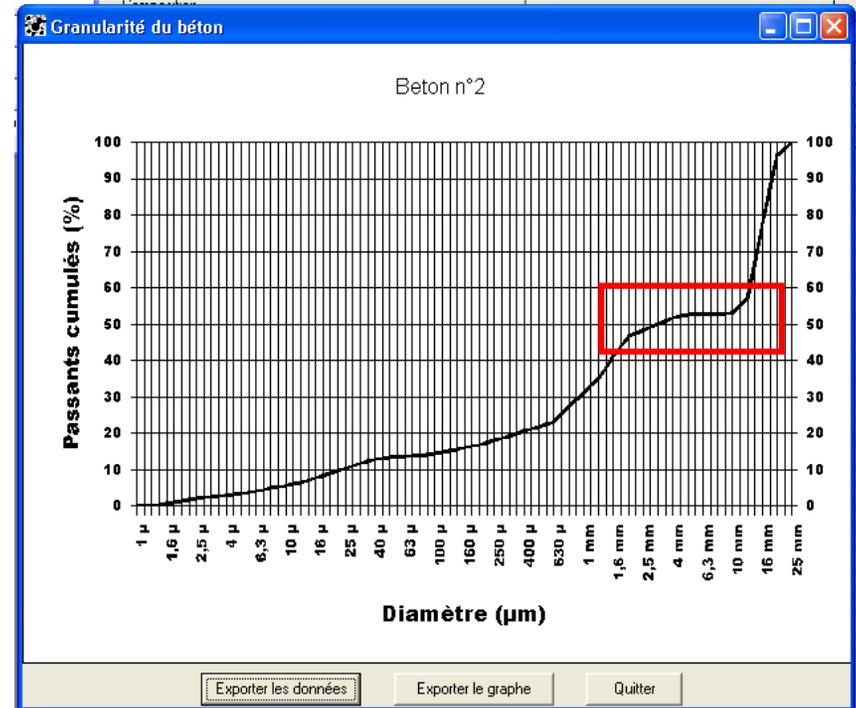
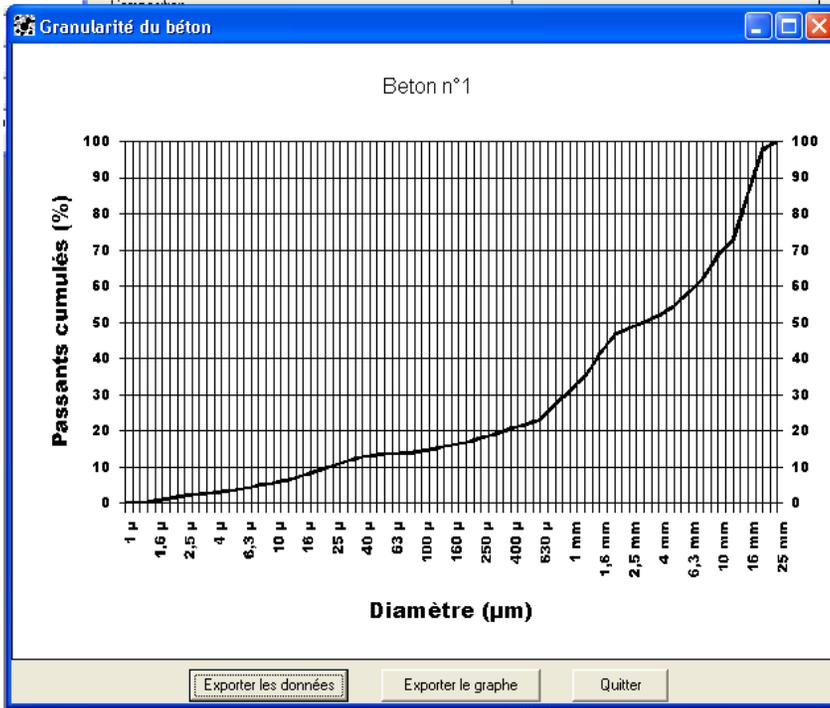
Buttons: Gâcher, Optimiser, **Remplissage**

Beton n°2

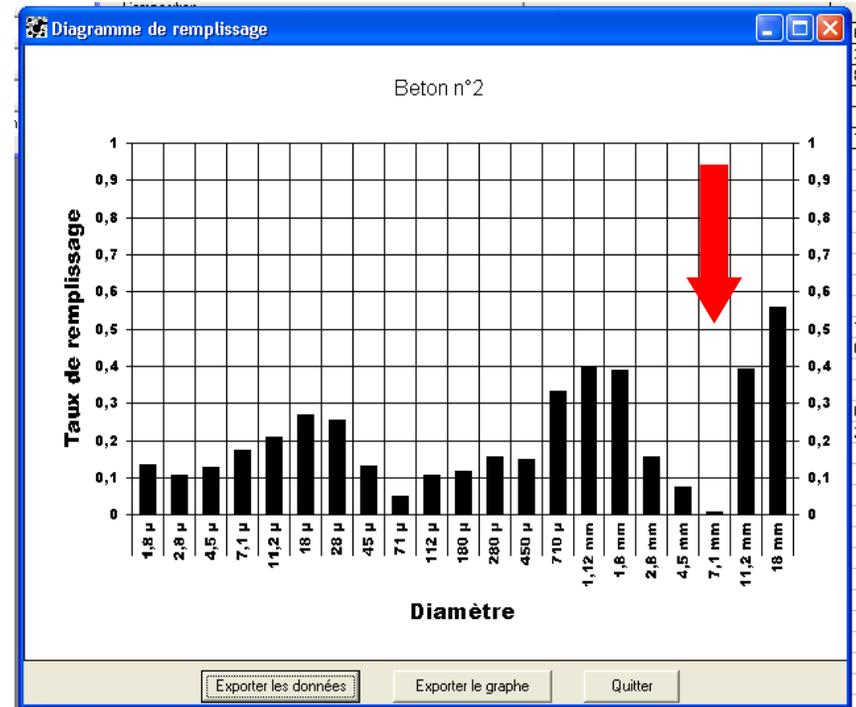
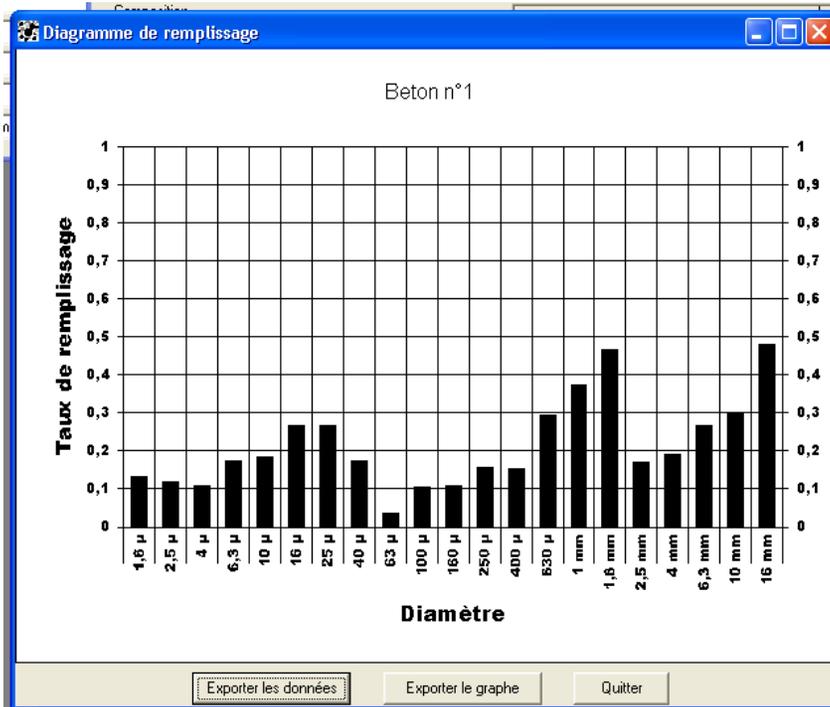
Gâchée n°	1	2
G1 (kg/m3)	650,6	1023,5
G2 (kg/m3)	369,8	0
S1 (kg/m3)	823,3	824,3
C1 (kg/m3)	350	350
SP1 (kg/m3)	0	0
Eau (kg/m3)	183,9	183,9
G1 (%)	35	55
G2 (%)	20	0
S1 (%)	45	45
Taux de saturation (%)	0,75	0,75
Taux de superplastifiant (%)	0	0
Eau eff	180	180
Air total (%)	1,6	1,5
AEA	Non	Non
Rapport G/S	1,239	1,242
Eeff/C	0,514	0,514
Environnement	x0	x0
C + kA	350	350
Eeff / (C + kA)	0,514	0,514
Densité	2,378	2,382
Temps de stabilisation du wattmètre (s)	91	90
Seuil de cisaillement (Pa)	1756	1595
Viscosité plastique (Pa.s)	146	140
Affaissement (cm)	10,1	12
Vitesse initiale de ressuage (10-5 m.min-1)	0,36	0,36
fc1 (MPa)	16,3	16,1
fc2 (MPa)	21,3	21,1
fc3 (MPa)	25,1	24,9
fc7 (MPa)	34,1	33,7
fc28 (MPa)	45,7	45,2
fc90 (MPa)	47,5	46,9
fc360 (MPa)	54,6	54
ft28 (MPa)	3,5	3,4
Ei28 (GPa)	40,4	40,1



Granularité - Diagramme de remplissage (suite)



Granularité - Diagramme de remplissage (suite)

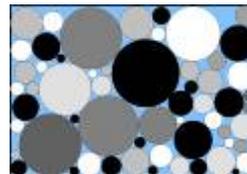


interprétation: cf. Leçon N°12



Exportation de données

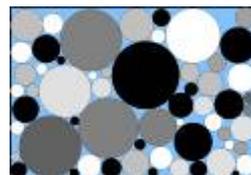
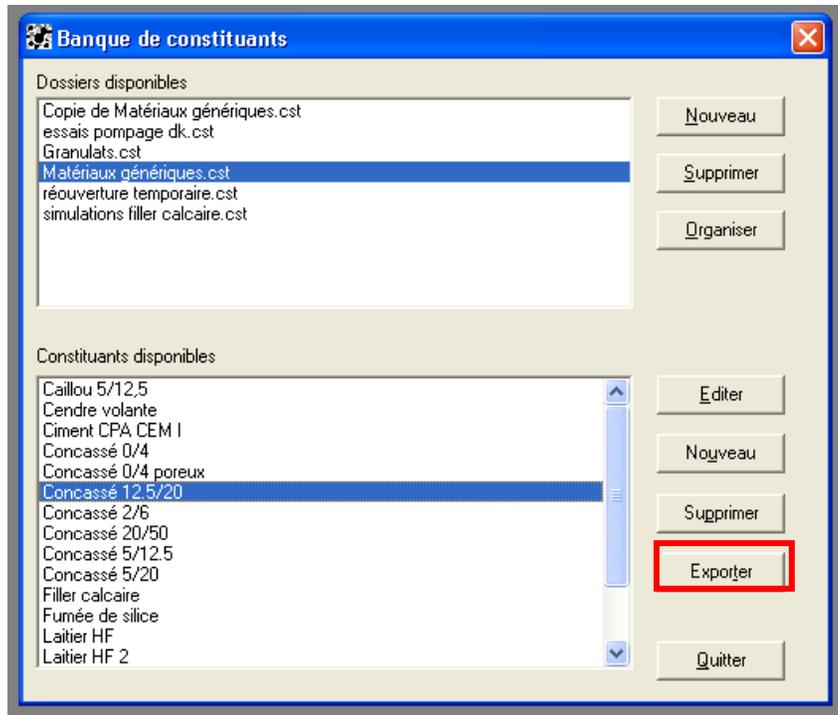
- Le logiciel peut exporter les données sous forme de tableau
- Une fois les données entrées dans le presse-papier, on les recopie dans un logiciel de type tableur (Microsoft EXCEL, OpenOffice Calc etc.) en utilisant la commande clavier « Ctrl v »
- L'exportation peut concerner des données « Constituants », ou des données « Bétons »



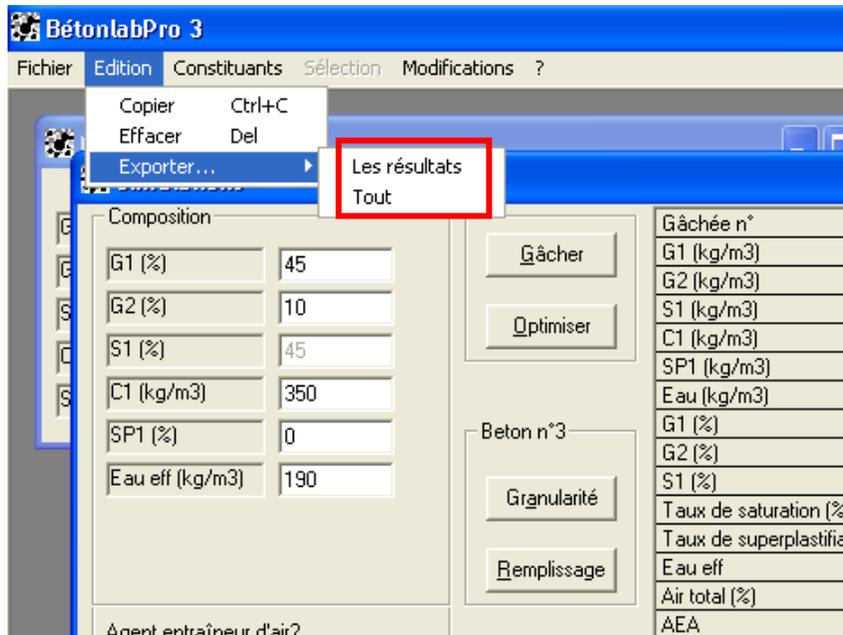
Exportation de données (suite)

Données constituants:

Dans « Banque des constituants », bouton « Exporter »: recopie les données du constituant sélectionné (ici le « Concassé 12,5/20 ») dans le presse-papier



Exportation de données (suite)



Exportation d'une série de gâchées:

- Exporter «Les résultats»: copie le tableau des gâchées dans le presse-papier
- Exporter « Tout »: copie les données des constituants et le tableau des gâchées



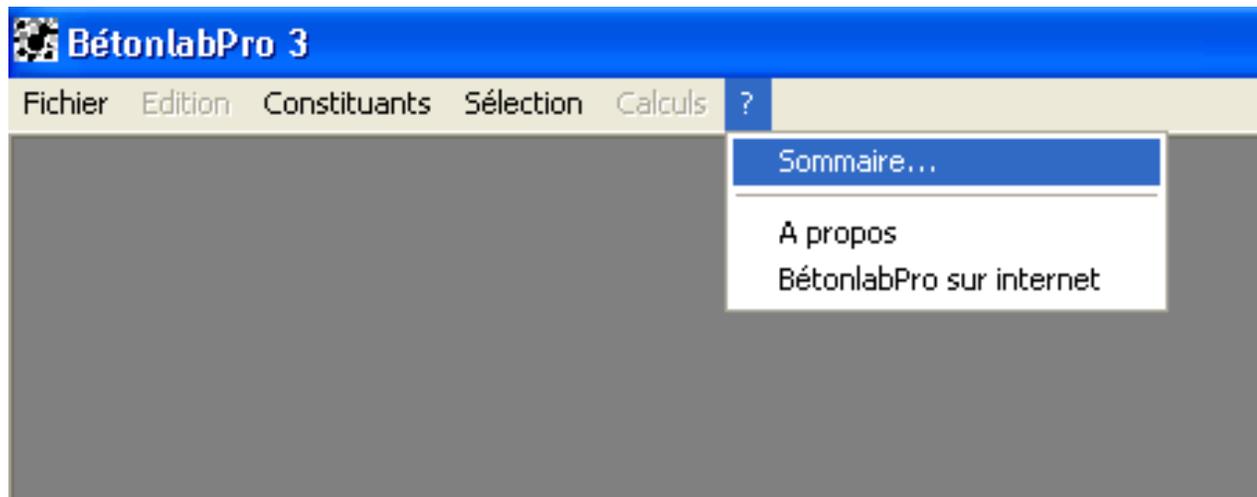
Exportation de données (suite)

- Exportation d'une seule gâchée:
 - on clique dans la colonne de la gâchée à exporter
 - elle est alors copiée dans le presse-papier
 - la commande CTRL v permettra de recopier un tableau à deux colonnes
 - 1° colonne: nom des paramètres
 - 2° colonne: données numériques



Aide en ligne

- BétonlabPro est équipé d'une aide en ligne assez complète
- A tout moment, l'aide contextuelle est accessible par la touche **F1**
- Pour accéder au sommaire de l'aide en ligne:



BétonlabPro 3

Fichier Edition Signet Options ?

Sommaire Index Précédent Imprimer << >>

Vue d'ensemble

Le logiciel BétonlabPro permet de simuler des gâchées de béton et d'en prédire certaines propriétés à l'état frais comme à l'état durci (l'affaissement et la résistance à la compression à 28 jours, par exemple). Contrairement à son prédécesseur Bétonlab, BétonlabPro peut prendre quantitativement en compte la spécificité des constituants locaux avec lesquels vont être fabriqués les bétons.

Pour en savoir plus sur les [nouvelautés](#) de la version 3 et la [compatibilité](#) avec la version 2.

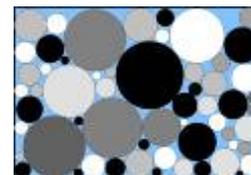
Avertissement: les auteurs de BétonlabPro ne garantissent pas les valeurs des propriétés des bétons obtenues lors des simulations avec ce logiciel. Ces valeurs doivent être vérifiées sur des gâchées réelles de béton. Les auteurs déclinent toute responsabilité en cas de dommages dus au non respect de cet avertissement.

Ce logiciel met en œuvre des modèles granulaires développés depuis plus de 20 ans au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et notamment le Modèle d'Empilement Compressible permettant de calculer la compacité d'un mélange de grains. La connaissance de ces modèles n'est pas nécessaire pour pouvoir utiliser BétonlabPro; toutefois, le lecteur intéressé pourra trouver tous les détails souhaités sur les modèles utilisés dans le logiciel dans le livre inclus au format pdf dans le cédérom d'installation:
Structures granulaires et formulation des bétons, par François de Larrard, n°OA 34 des Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 2000 [Ref.1].

complété par l'article suivant, plus récent, et qui récapitule les enrichissements apportés à la version 3 :
de Larrard F., Sedran T., « Le logiciel BétonlabPro 3 », Article soumis au Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Août, 2007 [Ref.5].

La démarche de formulation des bétons à l'aide de BétonlabPro se décompose de la façon suivante:

- ▶ [détermination des propriétés des constituants directement mesurables](#) (masse volumique, granularité...);
- ▶ [calibration des propriétés des granulats](#), [calibration des propriétés des liants pouzzolaniques](#) (cendres volante, filler siliceux ou fumée de silice) et [calibration des propriétés des laitiers](#) qui ne sont pas directement mesurables. Ces propriétés sont alors calées sur la base d'essais sur bétons;
- ▶ [stockage](#) de ces propriétés dans la banque de constituants;
- ▶ [sélection](#) du lot de constituants utilisés dans les simulations;
- ▶ choix des [options de calculs](#) (choix des propriétés calculées, coût fixe, degré de confinement);
- ▶ [simulation gâchée par gâchée](#): l'utilisateur simule manuellement des gâchées successives en faisant varier judicieusement les proportions des constituants afin d'obtenir les [propriétés](#) souhaitées. Ce mode de simulation permet de visualiser l'influence de chaque constituant sur les différentes propriétés des bétons simulés. Il permet également de dégrossir une formule en vue d'une optimisation automatique;
- ▶ [optimisation](#) automatique d'un béton: ce mode de simulation permet d'optimiser automatiquement, pour un lot de constituants donné, la composition d'un béton répondant à un [cahier des charges performantiel](#) défini par l'utilisateur;
- ▶ [vérification](#) sur des gâchées d'essai des propriétés de la formule établie: les modèles implémentés dans BétonlabPro... ne sont que des modèles. Il est donc indispensable de vérifier les propriétés simulées sur des gâchées réelles.



Conclusion

- Fonction simulation de BétonlabPro: « laboratoire électronique »
- Possibilité de simuler en peu de temps un grand nombre de gâchées
- Intérêt pédagogique
- On trouve toutes les fonctions classiques d'un logiciel (sauvegarde, manipulation de fichiers, exportations de données, aide en ligne etc.)



Conclusion (suite)

- Cependant, les simulations ne valent pas un essai bien fait
- En règle générale, toute propriété spécifiée doit être vérifiée par une mesure

