

BétonlabPro 3

Leçon N°4

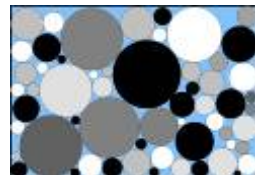
# Caractéristiques mécaniques des granulats

François de Larrard

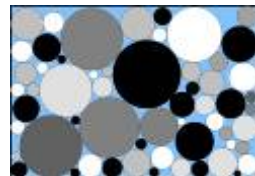
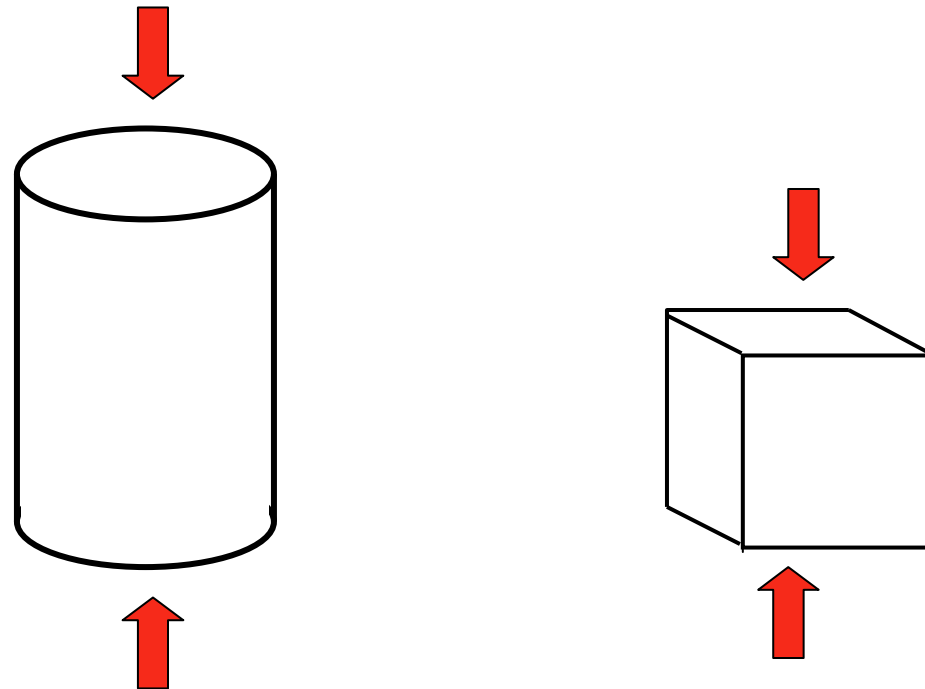
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
Centre de Nantes

# Plan de la leçon

- Influence du granulats sur la résistance du béton en compression: coefficients  $\underline{p}$  et  $\underline{q}$
- Influence du granulats sur la résistance du béton en traction: coefficient  $\underline{Kt}$
- Module élastique du granulats  $\underline{Eg}$
- Conclusion

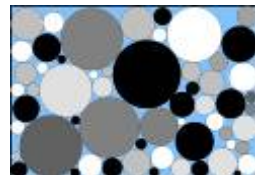


# Résistance en compression



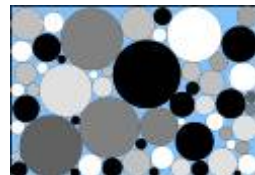
# Influence du granulat sur la résistance du béton en compression

- Résistance en compression ( $R_c$ ) = propriété essentielle du béton de structure
- Se mesure sur cylindre ou sur cube
  - sur cylindre: en partie centrale, le matériau est en compression simple
  - sur cube: le matériau est confiné par les plateaux de la presse => la résistance apparente est plus élevée
- BétonlabPro cherche à prévoir des  $R_c$  moyennes sur cylindre à différents âges



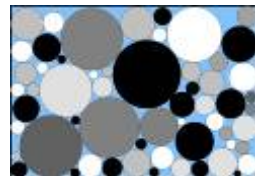
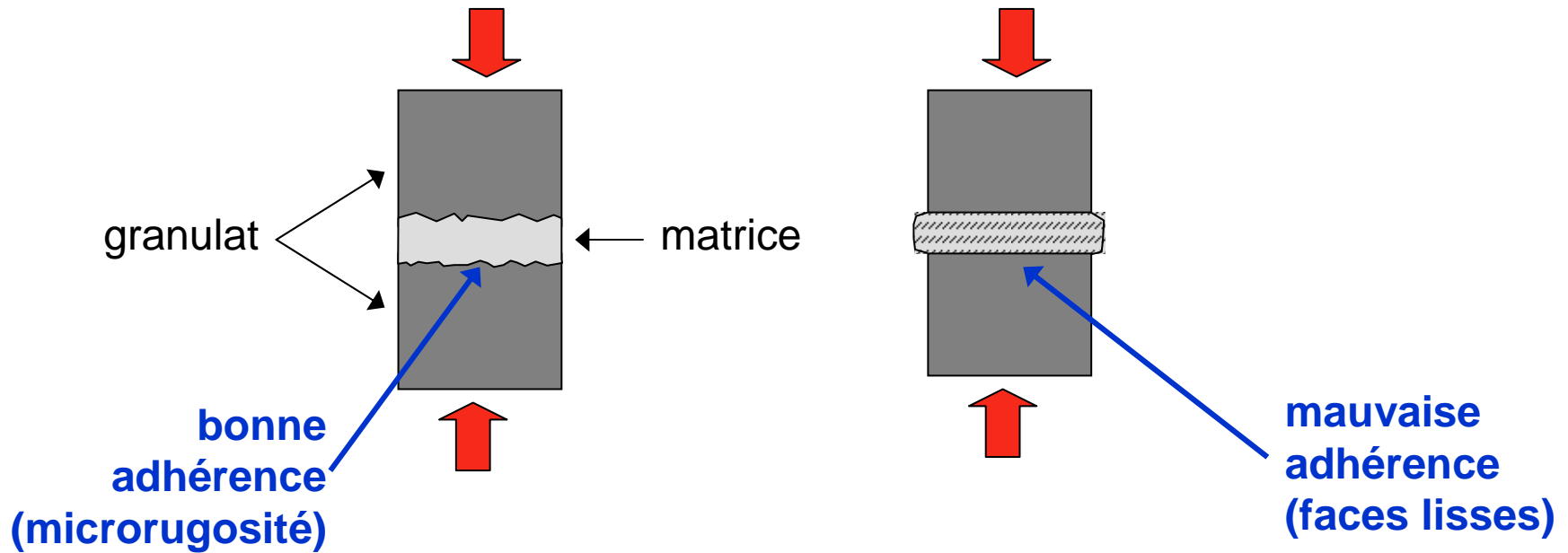
# Résistance en compression (suite)

- Rc dépend de l'âge et des conditions de conservation (elle augmente avec le temps et l'humidité)
- Rc dépend de la composition du béton, et notamment de la matrice liante:
  - rapport eau/ciment
  - classe du ciment (32,5 – 42,5 – 52,5 ...)
  - présence d'additions minérales: cendres volantes, fillers, laitier moulu...



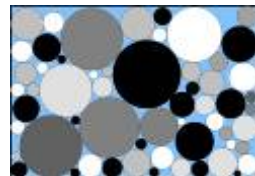
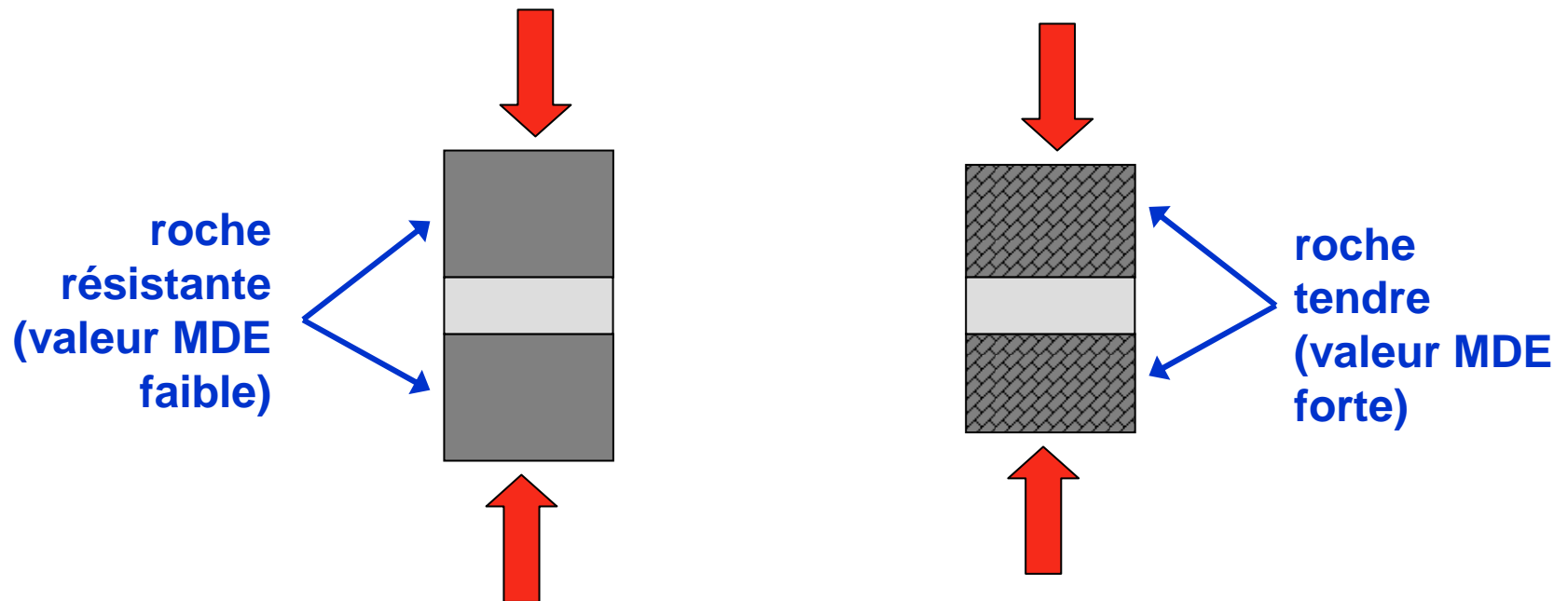
# Résistance en compression (suite)

- Rc dépend aussi du type de granulat:
  - effet de l'adhérence avec la pâte



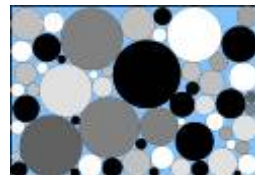
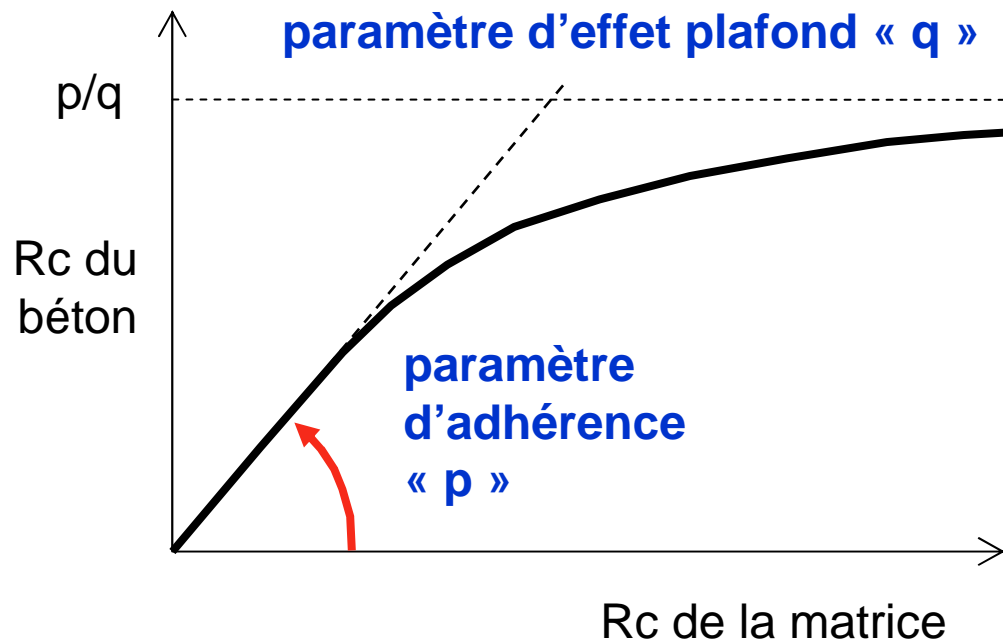
# Résistance en compression (suite)

– effet de la résistance propre du granulat



# Résistance en compression (suite)

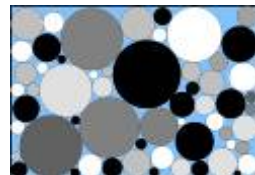
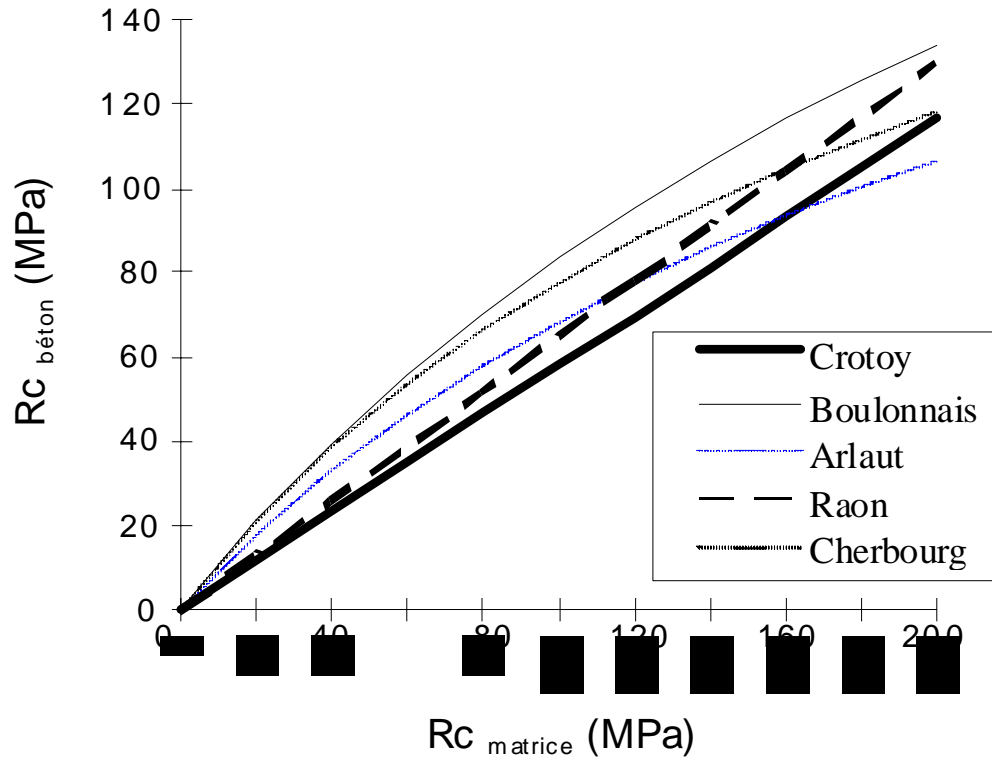
Deux paramètres du granulat,  $p$  et  $q$ , décrivent son effet sur  $R_c$  du béton





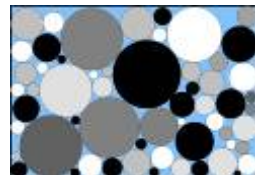
# Résistance en compression (suite)

## Exemples réels



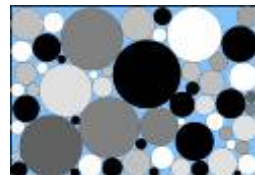
# Résistance en compression (suite)

- Attention
  - quand  $p \uparrow$ , l'adhérence et la résistance du béton augmentent
  - quand  $q \uparrow$ , le plafond descend et la résistance du béton diminue



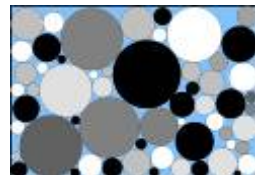
# Résistance en compression (suite)

- Les paramètres  $p$  et  $q$  ne peuvent pas se mesurer directement
- Ils doivent être calibrés sur des résultats d'essais de compression sur béton
- Pour ces résultats, on doit connaître
  - la formule du béton
  - les granularités et masses volumiques
  - la classe vraie du ciment (mesurée sur prismes 4x4x16)

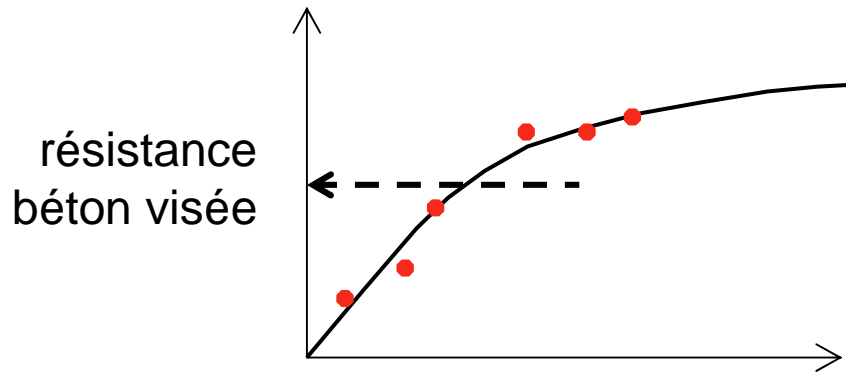


# Résistance en compression (suite)

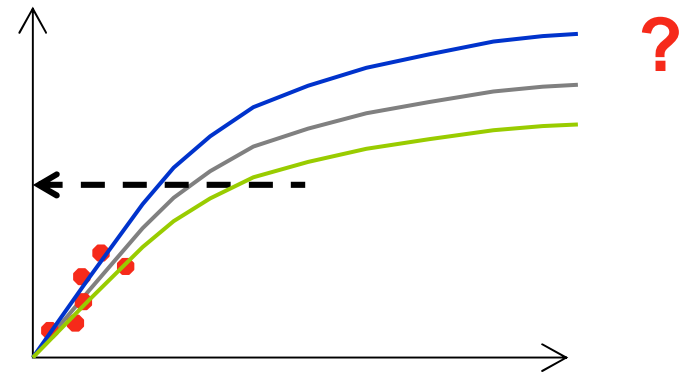
- On doit disposer d'au moins deux valeurs de  $R_c$  sur béton
- Ces valeurs doivent de préférence encadrer la résistance à 28 jours maximisée pour le béton formulé avec le granulat



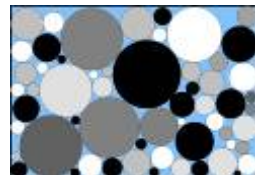
# Résistance en compression (suite)



**calibration  
fiable**



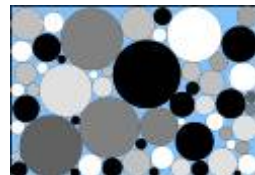
**calibration  
hasardeuse**



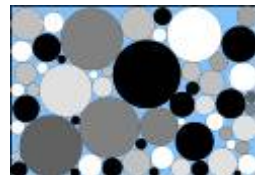
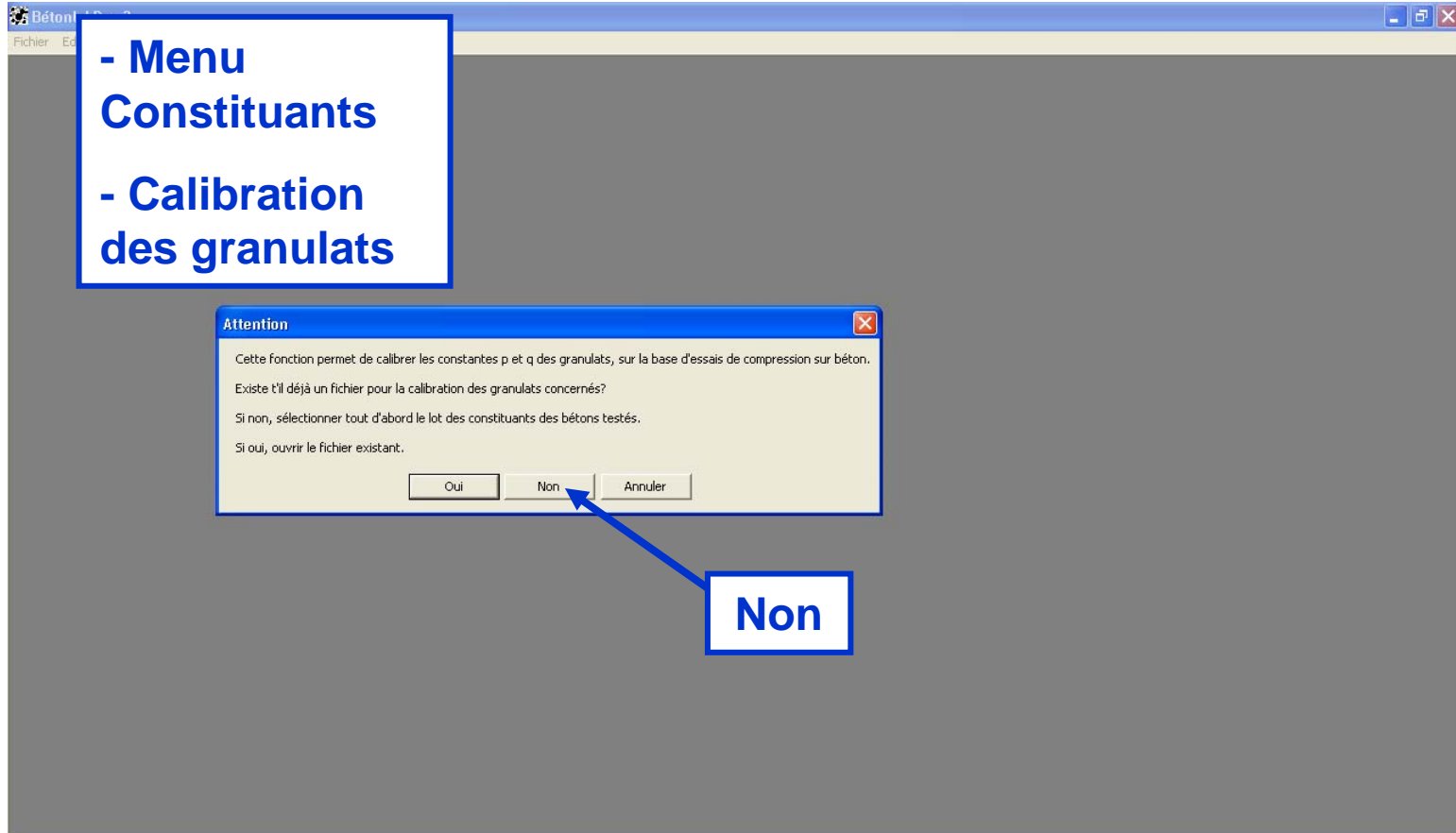
# Résistance en compression (suite)

## Exemple de calibration de $p$ et $q$

- On veut calibrer le gravillon « Caillou 5/12,5 » en vue de formuler un béton de  $R_{c28} = 50 \text{ MPa}$
- On connaît les résistances à 7 et 28 jours de trois bétons réalisés avec ce gravillon et d'autres matériaux préalablement caractérisés (granularité, masse volumique, compacité)



# Résistance en compression (suite)



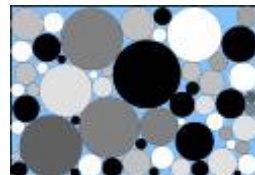
# Résistance en compression (suite)

**- Sélectionner les constituants (dossier « Matériaux génériques »)**

**- Cliquer sur « OK »**

**Constituants sélectionnés pour les mélanges**

- Matériaux génériques.cst:\Caillou 5/12,5
- Matériaux génériques.cst:\Roulé 0/5
- Matériaux génériques.cst:\Ciment CPA CEM I
- Matériaux génériques.cst:\Superplastifiant mélamine





# Résistance en compression (suite)

**Calibration**

Constituants

G1	Matériaux génériques.cst\Caillou 5/12,5
S1	Matériaux génériques.cst\Roulé 0/5
C1	Matériaux génériques.cst\Ciment CPA CEM I
SP1	Matériaux génériques.cst\Superplastifiant mélatmine

Calibrer  
Annuler

Composition

G1 (kg)	996
S1 (kg)	806
C1 (kg)	450
SP1 (kg)	15
Eau (kg)	153

Entrer  
Modifier n°

Aucune gâchée

Supprimer  
Exporter

Agent entraîneur d'air?  
 Non  
 Oui

Résistance

fc3 (MPa)	
fc7 (MPa)	64
fc28 (MPa)	71

Béton n°	1	2	3
G1 (kg)	1024	956	996
S1 (kg)	829	774	806
C1 (kg)	300	400	450
SP1 (kg)	0	0	15
Eau (kg)	194	214	153
Air total (%)			
AEA	Non	Non	Non
fc1 (MPa)			
fc2 (MPa)			
fc3 (MPa)			
fc7 (MPa)	20	36	64
fc28 (MPa)	35	42	71
fc90 (MPa)			
fc360 (MPa)			

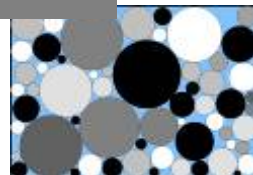
**Pour chaque béton:**

- Introduire les compositions (eau d'ajout sur granulats secs)

- Introduire les valeurs de Rc

- Cliquer sur « Entrer »

- Une fois tous les bétons entrés, cliquer sur « Calibrer »



# Résistance en compression (suite)

Annuler

**Options de la calibration**

Les mêmes valeurs de p et q vont être imposées aux granulats suivants par calibration:

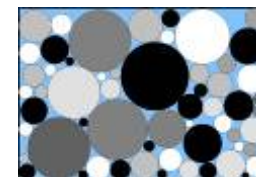
Sélectionner les granulats pour lesquels vous souhaitez imposer les mêmes valeurs de p et q:

- Matériaux génériques.cst:\Caillou 5/12,5
- Matériaux génériques.cst:\Roulé 0/5

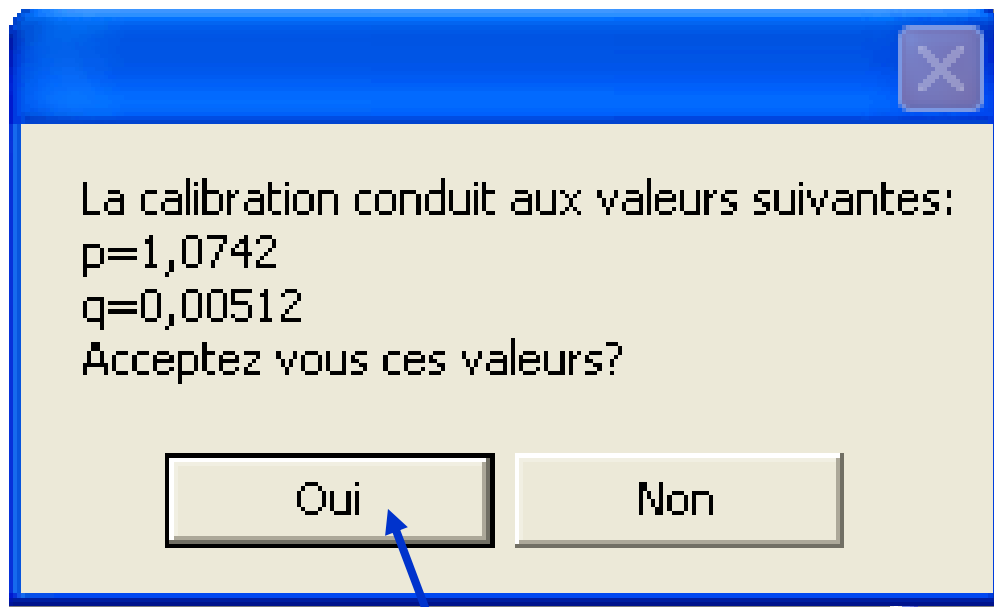
Aucune contrainte sur p et q  
 Imposer q  
 Imposer p/q

OK  
Annuler

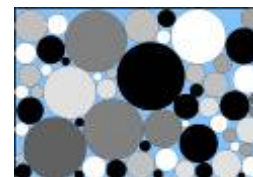
**Les valeurs de p et q sont imposées au « Caillou 5/12,5 »**  
**- puis cliquer sur « OK »**



# Résistance en compression (suite)



cliquer sur  
« Oui »



# Résistance en compression (suite)

Vérification de la mise en mémoire des valeurs de p et q:

- revenir à la page d'accueil du logiciel

- Constituants

- Banque de constituants

- Matériaux génériques

- « Caillou 5/12,5 »

- onglet « Propriétés »

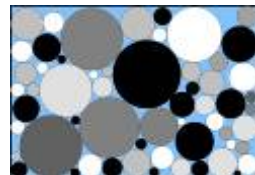
Propriétés du gravillon

Général Propriétés Squelette Coupure 1

Coef. d'adhérence p	1,0742
Coef. plafond q (MPa <sup>-1</sup> )	0,00512
Coef. de traction Kt (MPa <sup>-0.43</sup> )	0,35
Module élastique (GPa)	75
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2666
Absorption d'eau (%)	0,3
Capacité thermique (kJ/K/Kg)	0,84
% moyen d'alcalins actifs	
% maximum d'alcalins actifs	

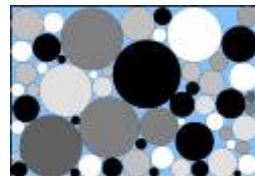
Enregistrer  
Annuler

On retrouve les valeurs de p et q précédemment déterminées



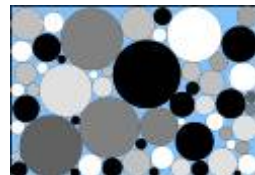
# Résistance en compression (suite)

- Si on simulait les bétons qui ont servi à la calibration avec ces valeurs, on trouveraient des  $R_c$  légèrement différents des valeurs expérimentales
- En effet, il y avait 6 valeurs de  $R_c$  et 2 paramètres à caler. Le logiciel a optimisé, mais ne peut pas coller exactement aux valeurs expérimentales



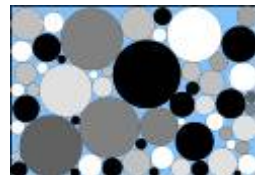
# Résistance en compression (suite)

- Chaque fraction granulaire a son propre jeu de paramètres  $p$  et  $q$
- Des fractions différentes d'une même carrière (par exemple un sable 0/4 et un gravillon 5/20) ont en principe les mêmes valeurs de  $p$  et  $q$



# Résistance en compression (suite)

- Si on doit calibrer à la fois plusieurs fractions, on peut faire l'hypothèse qu'elles ont les mêmes valeurs
- Pour un granulats de roche massive dont on connaît la résistance en compression sur carotte, on peut utiliser cette information pour caler la valeur de  $q$  (option proposée par le logiciel – cf. aide en ligne)



# Résistance en traction

Propriétés du gravillon

Général Propriétés Squelette Coupure 1

Coef. d'adhérence p	1,0742
Coef. plafond q (MPa <sup>-1</sup> )	0,00512
Coef. de traction Kt (MPa <sup>-0.43</sup> )	0,35
Module élastique (GPa)	75

Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) 2666

Absorption d'eau (%) 0,3

Capacité thermique (kJ/K/Kg) 0,84

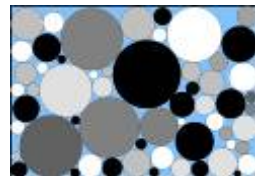
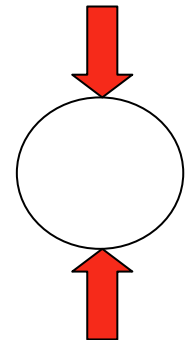
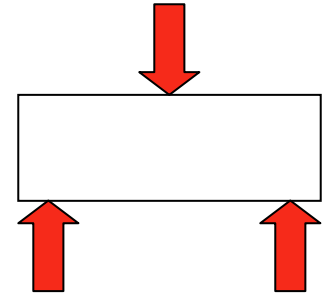
% moyen d'alcalins actifs

% maximum d'alcalins actifs

Enregistrer

Annuler

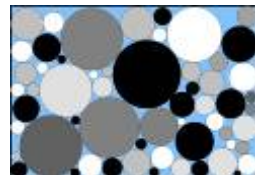
Outils



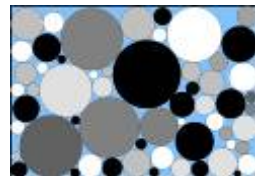
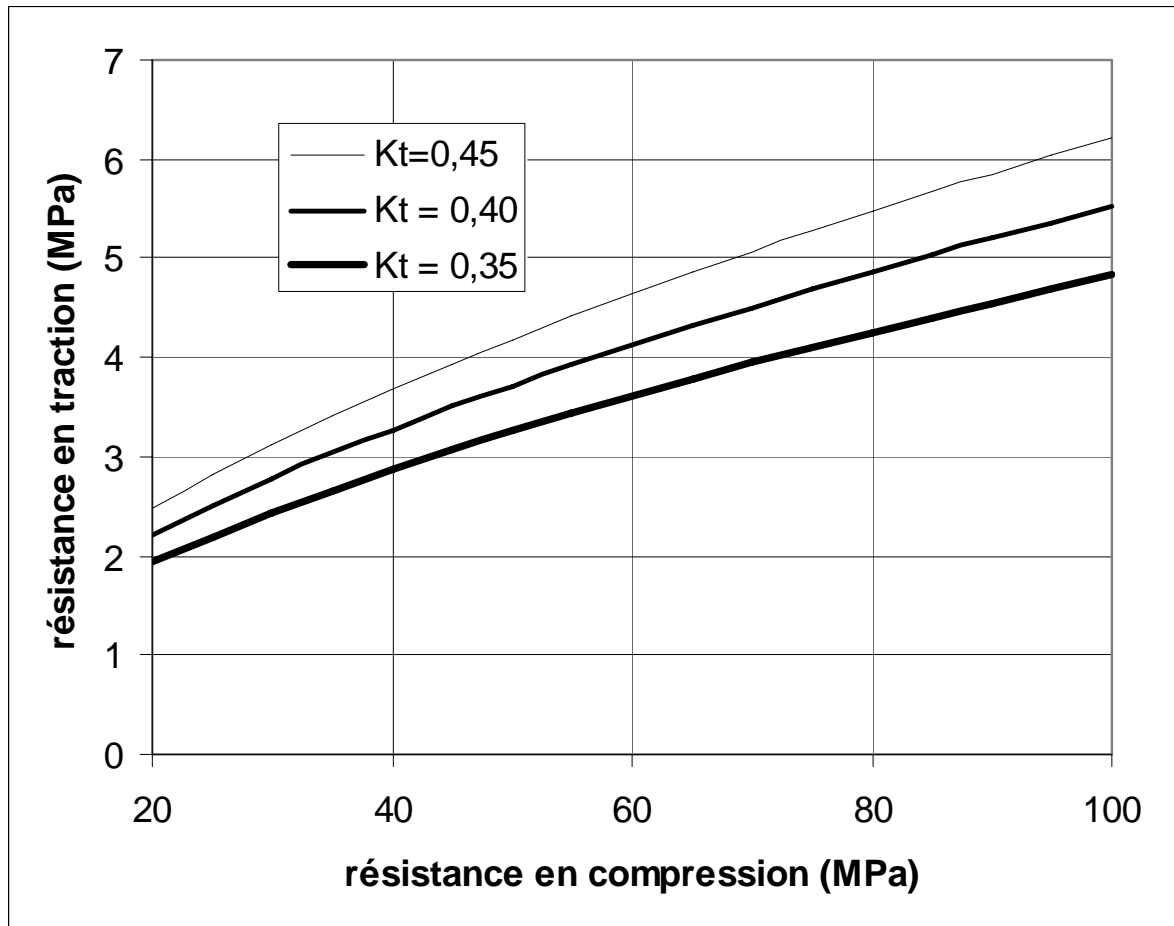


# Résistance en traction (suite)

- La résistance en traction est une propriété secondaire, sauf pour certaines applications (chaussées...)
- Elle se mesure en traction directe, en flexion ou en fendage
- BétonlabPro cherche à prévoir la résistance moyenne au fendage à 28 jours
- Elle est liée à la résistance en compression
- Elle dépend aussi du granulat, par l'intermédiaire d'un coefficient  $K_t$

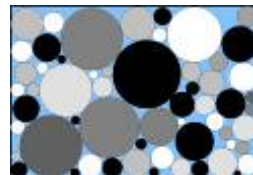


# Résistance en traction (suite)



# Résistance en traction (suite)

- Le  $K_t$  d'une fraction granulaire ne peut pas se mesurer directement; il doit être calibré
- Première méthode:
  - on connaît  $R_c$  et  $R_t$  pour un béton dont tout le squelette est constitué par des granulats de même origine
  - on a alors
$$K_t = \frac{R_t}{R_c^{0,57}}$$
  - si on a plusieurs bétons, on fait la moyenne des valeurs trouvées



# Résistance en traction (suite)

- Exemple:

- béton A:  $R_c = 28 \text{ MPa}$        $R_t = 2,6 \text{ MPa}$

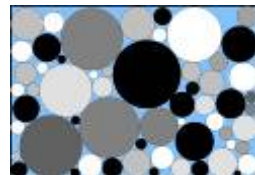
- => valeur de  $K_t = 0,39$

- béton B:  $R_c = 42 \text{ MPa}$        $R_t = 3,45 \text{ MPa}$

- => valeur de  $K_t = 0,41$

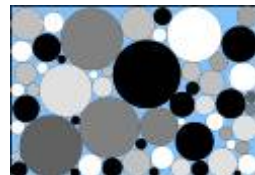
- valeur finale retenue pour le granulat:

$$K_t = \frac{0,39 + 0,41}{2} = 0,40$$



# Résistance en traction (suite)

- Deuxième méthode
  - on dispose de résultats de  $R_{t28}$  pour des bétons contenant la nouvelle fraction granulaire, combinée à d'autres granulats dont le  $K_t$  est connu
  - on entre une valeur forfaitaire dans le fichier du granulat à caractériser
  - on simule les bétons
  - on cherche la valeur de  $K_t$  qui permet de mieux retrouver les valeurs de  $R_t$  expérimentales.



# Module élastique

**Propriétés du gravillon**

Général | Propriétés | Squelette | Coupure 1

Coef. d'adhérence p	1,0742
Coef. plafond q (MPa <sup>-1</sup> )	0,00512
Coef. de traction Kt (MPa <sup>-0.43</sup> )	0,35
Module élastique (GPa)	75

Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2666
Absorption d'eau (%)	0,3

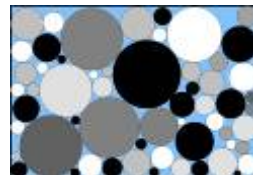
  

Capacité thermique (kJ/K/Kg)	0,84
------------------------------	------

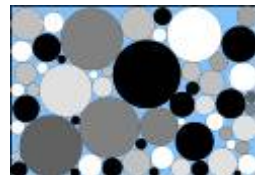
% moyen d'alcalins actifs	
% maximum d'alcalins actifs	

Enregistrer  
Annuler  
Outils

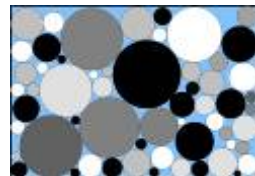
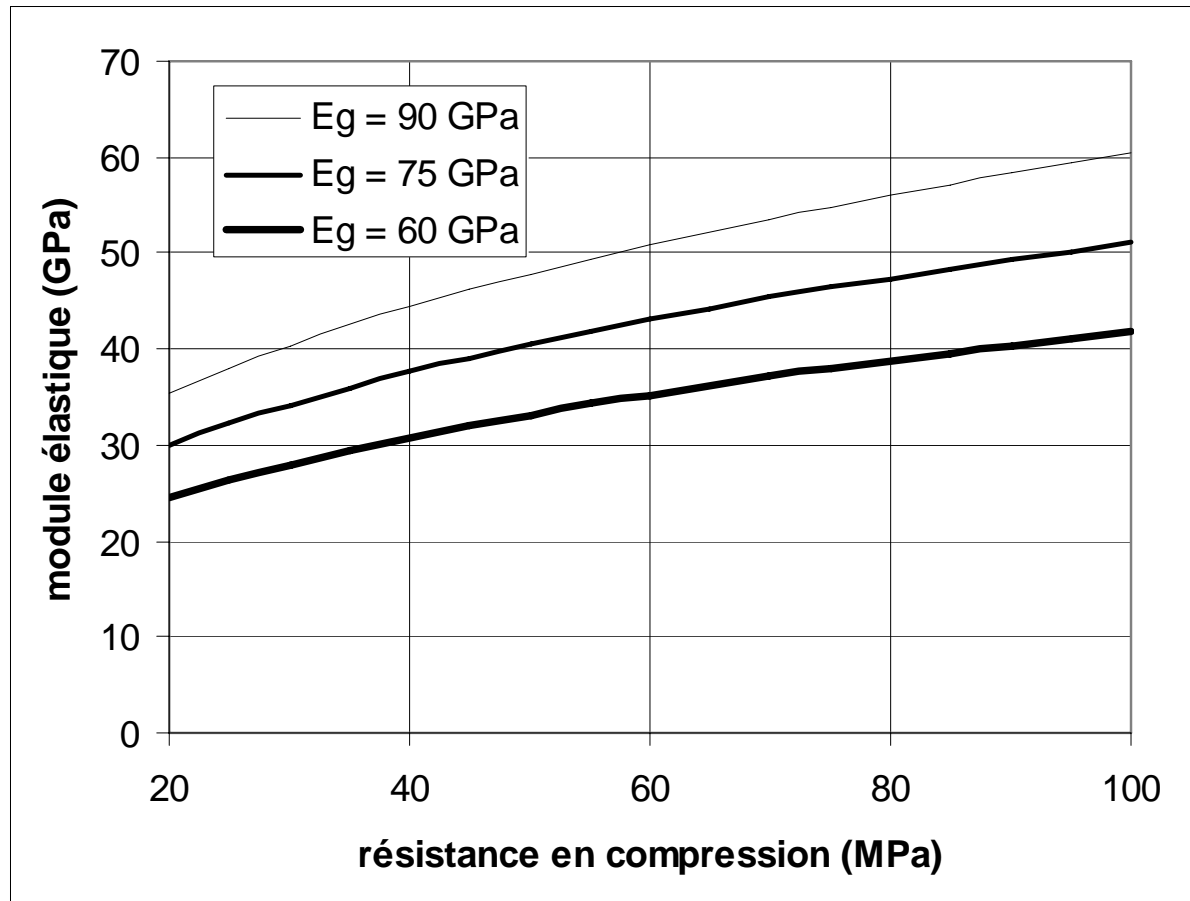


# Module élastique

- Le module élastique est parfois utile pour évaluer les déformations des structures en béton (flèche d'une poutre, calcul d'une chaussée etc.)
- Il se mesure sur cylindre, en effectuant plusieurs cycles de chargement du béton dans son domaine de service
- Le module élastique du béton dépend notamment de la résistance en compression du béton, mais aussi du module du granulat  $E_g$



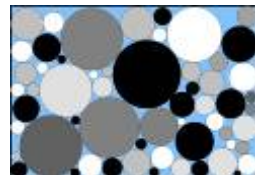
# Module élastique





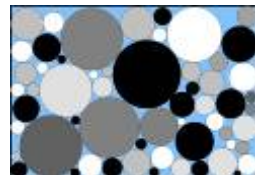
# Module élastique (suite)

- Le module élastique du granulat peut se mesurer sur des carottes de la roche d'origine (granulat de roche massive saine et homogène)
- A défaut, on peut l'évaluer par calibration sur des mesures de module de bétons utilisant le granulat en question



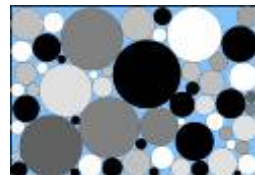
# Module élastique (suite)

- Comme pour  $K_t$  (2<sup>o</sup> méthode), on entre une valeur forfaitaire dans le fichier du granulat, et on simule les bétons
- On répète le processus jusqu'à faire coïncider au mieux valeurs théoriques et valeurs expérimentales de module élastique



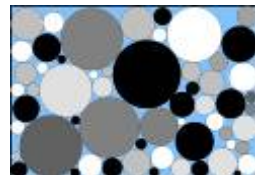
# Conclusion

- Dans BétonlabPro, les granulats sont caractérisés par 4 paramètres, distincts des propriétés normalement mesurées (Los Angeles, Micro-Deval etc.)
- Pour la résistance en compression:
  - paramètre  $p$  (traduit l'adhérence pâte de ciment/granulat)
  - paramètre  $q$  (traduit la résistance propre du granulat)



# Conclusion (suite)

- $p$  et  $q$  sont calibrés sur des résultats de béton. BétonlabPro propose un outil spécifique pour cette calibration
- Pour la résistance en traction, on utilise le paramètre  $K_t$ , qu'on peut déterminer par deux méthodes. Pour la seconde, il faut préalablement avoir déterminé  $p$  et  $q$



# Conclusion (fin)

- Pour le module élastique, on utilise le paramètre  $E_g$  (module du granulat), que l'on mesure sur la roche ou qu'on détermine par calibration
- $E_g$  permet aussi à BétonlabPro de calculer le retrait (endogène et total) et le fluage (propre et total) du béton

