

Technologie du béton – GCI 340

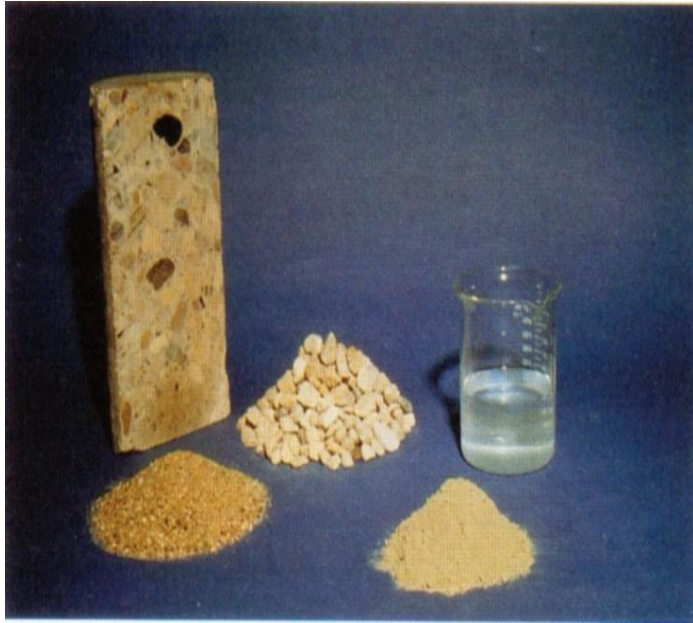
Ammar Yahia, ing., Ph.D.
Génie civil

Automne 2011

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Généralités – variables influençant la qualité du béton
- Caractéristiques des granulats
- Propriétés des granulats à béton
- Essais de caractérisation

Constituants de béton



Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Importance d'utiliser des granulats de type et de qualités appropriés – 60 à 80% du volume de béton (70 à 85% de sa masse)
- Grande influence sur :
 - les propriétés du béton (plastique et durci) – maniabilité, la masse volumique, le module d'élasticité, la dilatation thermique, fluage, retrait,
 - le dosage (formulation)
 - le coût
- On distingue deux classes de granulats: gros granulats et les granulats fins

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- On distingue deux classes de granulats: gros granulats et les granulats fins – dimension des particules

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- **Granulats fins** = sable naturel ou manufacturé (pierre concassé dont la plupart des particules sont < 5 mm (jusqu'à 10 mm))
- **Gros granulats** = gravier granulats concassés ou une combinaisons de deux où prédominent les particules > 5 mm
 - * Dimension de 5 à 40 mm (5 – 25 mm)
- Certains dépôt de granulats naturels (appelé gravier ou tout-venant) consistent en gravier et en sable directement utilisable dans le béton après un minimum de traitement

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Le gravier et le sable naturels sont extraits ou dragués d'une gravière, d'une rivière, d'un lac ou d'un fond marin
- Production des granulats concassés par broyage de la roche mère – efficacité du broyage, type de broyeur, etc.

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Les granulats fins sont lavés et calibrés en carrière ou en usine – variation en ce qui concerne la qualité, la propreté, le calibre, la teneur en humidité, etc.

Constituants: silice, quartz, mica, argile, feldspath, Calcite, dolomite, etc.

- En Amérique du Nord: le gravier constitue près de la moitié des GG utilisés dans le béton!!
Le reste = granulats concassés

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Granulats utilisés dans le béton sont un mélange de minéraux!
- Un minéral = Solide naturel (sous des condition de température et de pression normales) homogène possédant une composition chimique définie et une structure atomique ordonnée.
= Un minéral caractérisé par une formule chimique et une structure cristalline!



Souffre

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Roches = association des minéraux!!

Exemples:

- 1) Le granite contient le quartz, des feldspath, du mica et autres minéraux
- 2) La plupart des calcaires contiennent de la calcite, de la dolomite et de petites quantités de quartz, de feldspath et d'argile

Chapitre 3 – Les granulats à béton

Échelle de MOHS (1 – 10):

Talc --- 1

Gypse --- 2

Calcite --- 3

Quartz --- 7

Diamant --- 10

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Exigences pour utilisation dans le béton?
 - Propreté
 - dureté
 - résistance et durabilité
 - exempte de tout produit chimique
 - non recouvertes d'argile ou produit fin?
 - Particules friables sont indésirables
 - Éviter les granulats contenant une quantité appréciable de schiste ou de roche schisteuse, de matériaux poreux – résistent mal aux intempéries et résulter en des cratères!

Impuretés organiques – influence la prise et le durcissement et peut causer des détériorations

% passant le 80 μm – influence l'adhérence et augmente la demande en eau

Mottes d'argile et particules friables – influence la maniabilité et la durabilité et peut causer des cônes d'éclatement

Granulats réactifs aux alcalis – expansion, une fissuration et des cônes d'éclatement

Caractéristiques	Signification et importance	Désignation des essais *		Caractéristique indiquée
Résistance à l'abrasion et à la dégradation	Indice de la qualité des granulats, résistance à l'usure des planchers et chaussées	CSA A23.2-16A CSA A23.2-17A CSA A23.2-23A	ASTM C 131 ASTM C 535 ASTM C 779	Pourcentage maximal de perte de masse.
Résistance au gel-dégel	Écaillage de la surface, rugosité et mauvaise apparence	CSA A23.2-24A —	ASTM C 666 ASTM C 682	Nombre maximal de cycles ou période d'immunité au gel, facteur de durabilité
Résistance à la désintégration par les sulfates	Résistance aux conditions climatiques	CSA A23.2-9A	ASTM C 88	Perte de masse, particules présentant des signes de détérioration
Forme et texture de la surface des particules	Ouvrabilité du béton frais	CSA A23.2-13A —	ASTM C 295 ASTM D 3398	Pourcentage maximal de particules plates et allongées
Granulométrie	Ouvrabilité du béton frais, économie	CSA A23.2-2A CSA A23.2-5A	ASTM C 136 ASTM C 117	Pourcentage minimal et maximal passant les tamis normalisés
Masse volumique	Calcul des mélanges, classification	CSA A23.2-10A	ASTM C 29	Masse volumique avant et après tassement
Densité	Calcul des mélanges	CSA A23.2-6A CSA A23.2-12A	ASTM C 127 ASTM C 128	—
Absorption et humidité superficielle	Contrôle de la qualité du béton (rapport E/C)	CSA A23.2-6A CSA A23.2-11A CSA A23.2-12A —	ASTM C 128 ASTM C 70 ASTM C 127 ASTM C 566	—
Résistance en compression et en flexion	Acceptation des granulats fins ayant échoué aux autres essais	CSA A23.2-8C CSA A23.2-9C	ASTM C 78 ASTM C 39	La résistance doit dépasser 95 % de la résistance obtenue avec du sable purifié
Définition des constituants	Bonne compréhension et communication	ASTM C125 ASTM C294	ASTM C 125 ASTM C 294	—
Constituants du granulat	Déterminer la quantité de matériaux nuisibles et organiques	CSA A23.2-3A CSA A23.2-4A CSA A23.2-5A CSA A23.2-7A CSA A23.2-8A —	ASTM C 142 ASTM C 123 ASTM C 117 ASTM C 40 ASTM C 87 ASTM C 295	Pourcentage maximal permis de constituants donnés
Résistance aux alcalis, réactivité et changement de volume	Résistance aux changements de volume	CSA A23.2-14A CSA A23.2-25A CSA A23.2-26A ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 586 —	ASTM C 1293 ASTM C 1260 — ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 586 ASTM C 342	Changement de longueur maximal, constituants, quantité de silice et alcalinité

Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Inspection visuel – faiblesses, traces d'impureté
- Expérience en service
- Essais de convenance et caractérisation

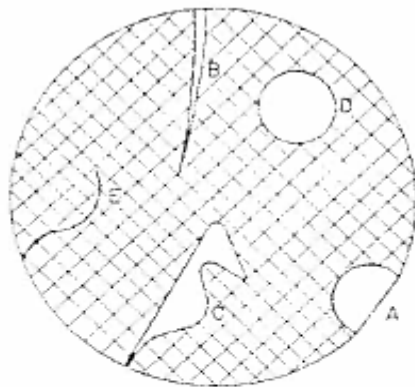
Chapitre 3 – Les granulats à béton

- Granulats (sable, gravier, pierre concassée) – bétons normaux dont la masse volumique est entre 2200 et 2400 kg/m³ -- CSA A23.1
- Granulats expansés à base de schiste, d'argile, d'ardoise ou de laitier -- bétons légers dont la masse volumique est entre 1350 et 1850 kg/m³ – ASTM C330

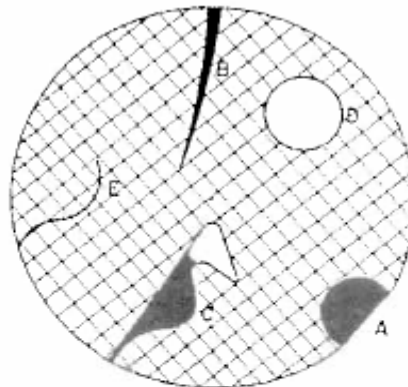
CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Masse volumique et humidité

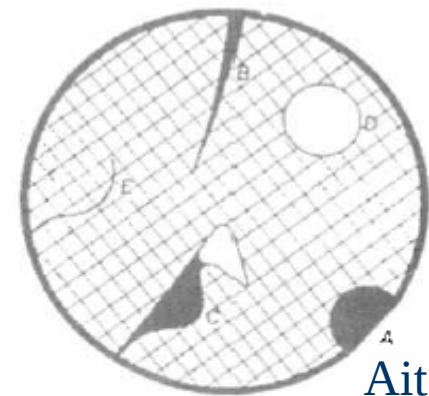
- granulats ont une capacité variable d'absorber des liquides (eau) dans leurs pores ouverts ou superficiels



Particule sèche
Tous les pores ouverts
ou superficiels sont
remplis d'air.



Particule SSS
Tous les pores ouverts
ou superficiels présentent
un ménisque à la surface de la particule.



Particule humide
Tous les pores ouverts
ou superficiels présentent
un ménisque. Il y a en plus un
film d'eau autour de la
particule

Aitcin et al.

Figure 4.1
Divers états d'une particule en fonction de sa teneur en eau

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Masse volumique et humidité

- Teneur en eau totale d'un granulat:

$$w_{\text{tot}} = \frac{\text{masse humide} - \text{masse sèche}}{\text{masse sèche}} \times 100$$

La masse humide = masse sèche $(1 + w_{\text{tot}}/100)$

La masse sèche = masse humide $/(1 + w_{\text{tot}}/100)$

$$\text{Absorption d'un granulat} = \text{abs} = \frac{\text{masse SSS} - \text{masse sèche}}{\text{masse sèche}} \times 100$$

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Résistance à l'abrasion

- Indice de la qualité globale d'un granulat – béton de revêtement à trafic important. Planchers industriels
- Une faible résistance à l'abrasion – augmenter les fines pendant le malaxage – rapport E/C!!
- Los Angeles CSA A23.2-16A (gg < 40 mm) et CSA A23.2-17A pour les gg > 40 mm)

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Résistance à l'abrasion

- Plus le minéral constituant la particule est dur -- meilleure sa résistance à l'abrasion (échelle de 1 à 10)!!
- Granulats vs. béton – essais sur béton
- Un granulat est tenace s'il résiste bien aux chocs.
- S'il brise facilement – fragile
- Le quartz (7) est dur, mais fragile!!

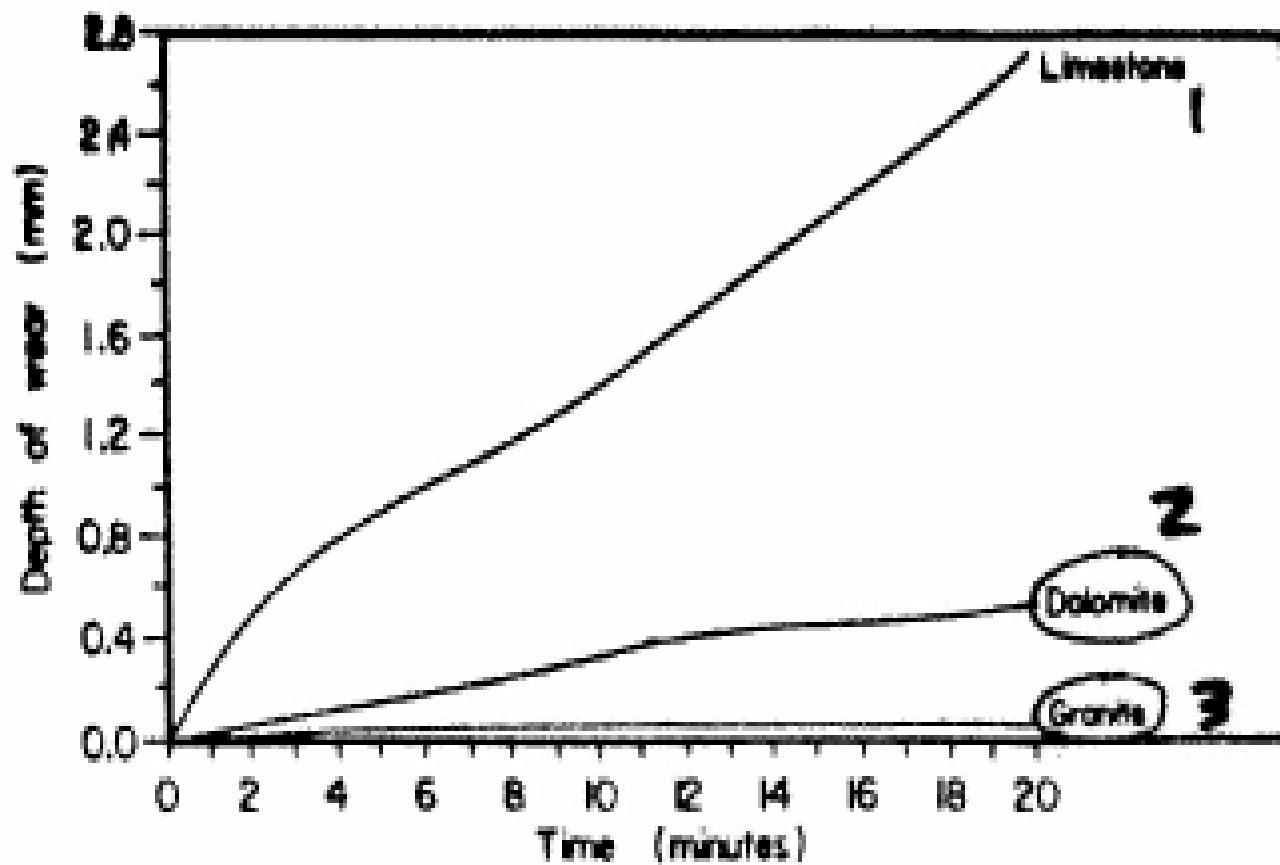


FIG. 2. Abrasion Resistance of Three Different Rocks

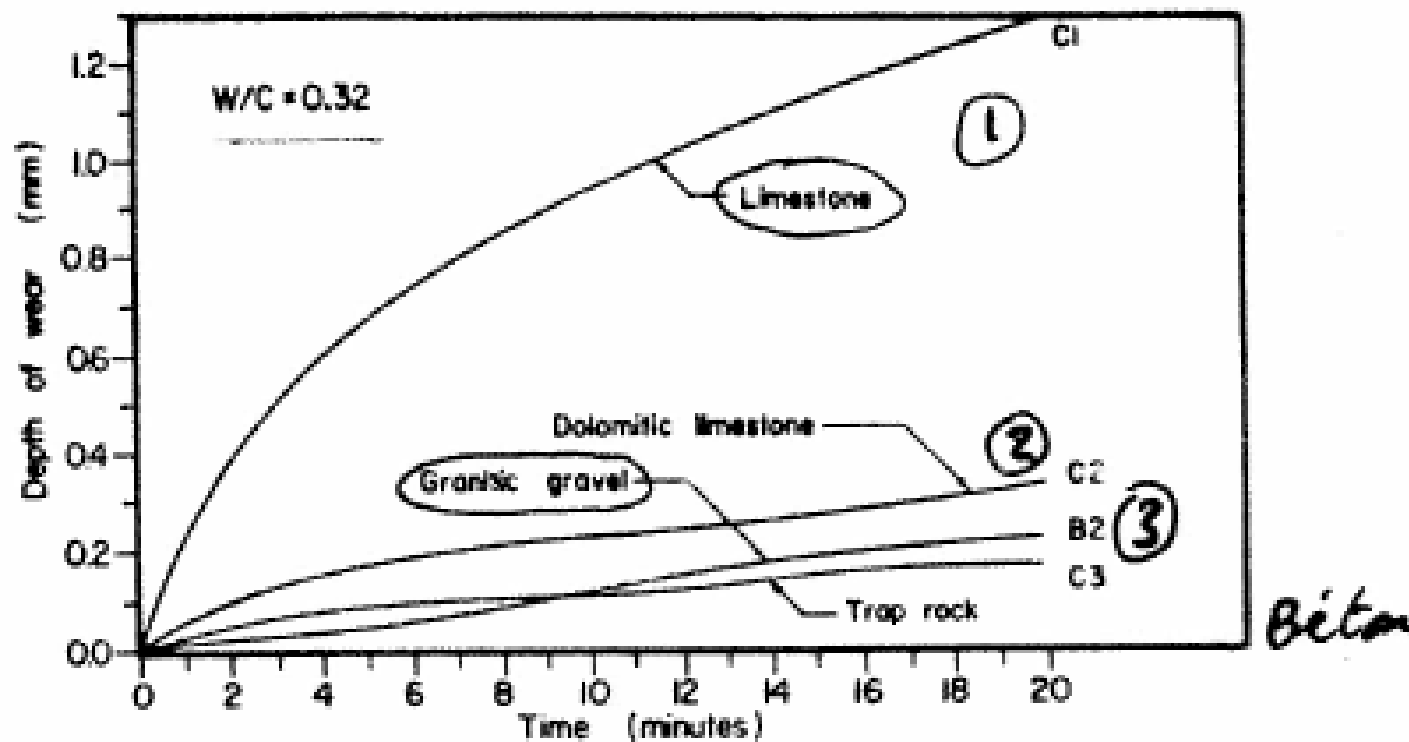


FIG. 5. Influence of Coarse Aggregate Nature on Concrete Abrasion Resistance

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Stabilité physique

- Un granulat n'est pas stable s'il subit un changement de volume par des cycles de gel-dégel, séchage-mouillage, expansions par la cristallisation des sels dans les pores du granulats, etc.
- Stabilité physique a un effet sur: durabilité, écaillage, al rugosité (adhérence) de la surface de béton
- Stabilité physique dépend de: porosité, absorption, structures des pores dans les granulats et de la vitesse de gel

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Stabilité physique

- Lors de gel le volume d'eau augmente de 9%. Si le taux de saturation du granulat est $> 91\%$ -- expansion
 - effet sur la zone de transition
 - sur l'écaillage du mortier au voisinage du granulat, surtout s'il est près de la surface
- Dimension critique dépend de la: porosité, perméabilité et résistance à la traction de granulat
- Essais accélérés et sévère de gel-dégel sur béton fait avec les granulats en question:
 - ASTM C666 – 300 cycles. On mesure la réduction du module d'élasticité – idée sur les dilatations critiques, indice de durabilité

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Stabilité physique

- ASTM C672: 50 cycles dans une solution NaCl – perte de masse et apparence
- L'usure par des cycles de séchage et mouillage

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

3. Stabilité chimique

Les granulats doivent être chimiquement stables dans les conditions normales d'utilisation (dépend d'environnement -- décomposition organique, carbonatation, oxydation, pluies acides, ...).

- * Il y a des sols et roches riches en sulfures qui s'oxydent pour donner naissance à des sulfates.
- * Résistance aux sulfates : mesure de la perte de masse du sable soumis à 5 cycles d'immersion dans une solution de MgSO₄ (max. perte de masse de 15%) ou dans une solution de Na₂SO₄ (max. perte de masse de 10%).

Expansion maximale d'une barre de mortier dans une solution sulfatée.

- * Réaction entre les granulats avec les alcalis de ciment (Na₂O et K₂O) ----->> expansion.

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

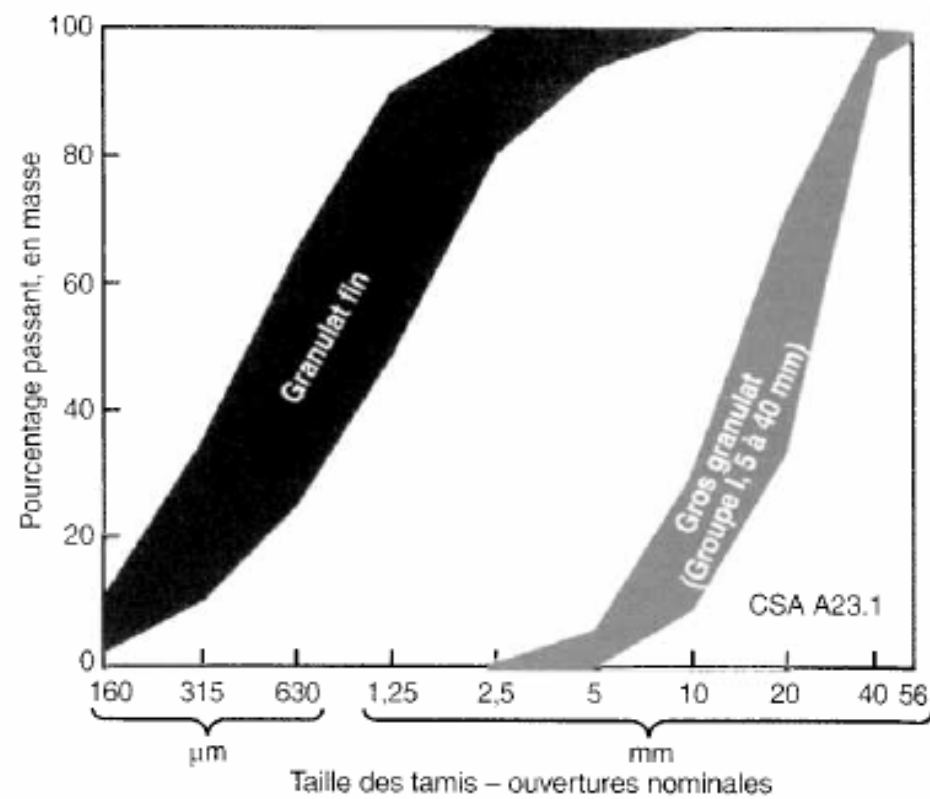
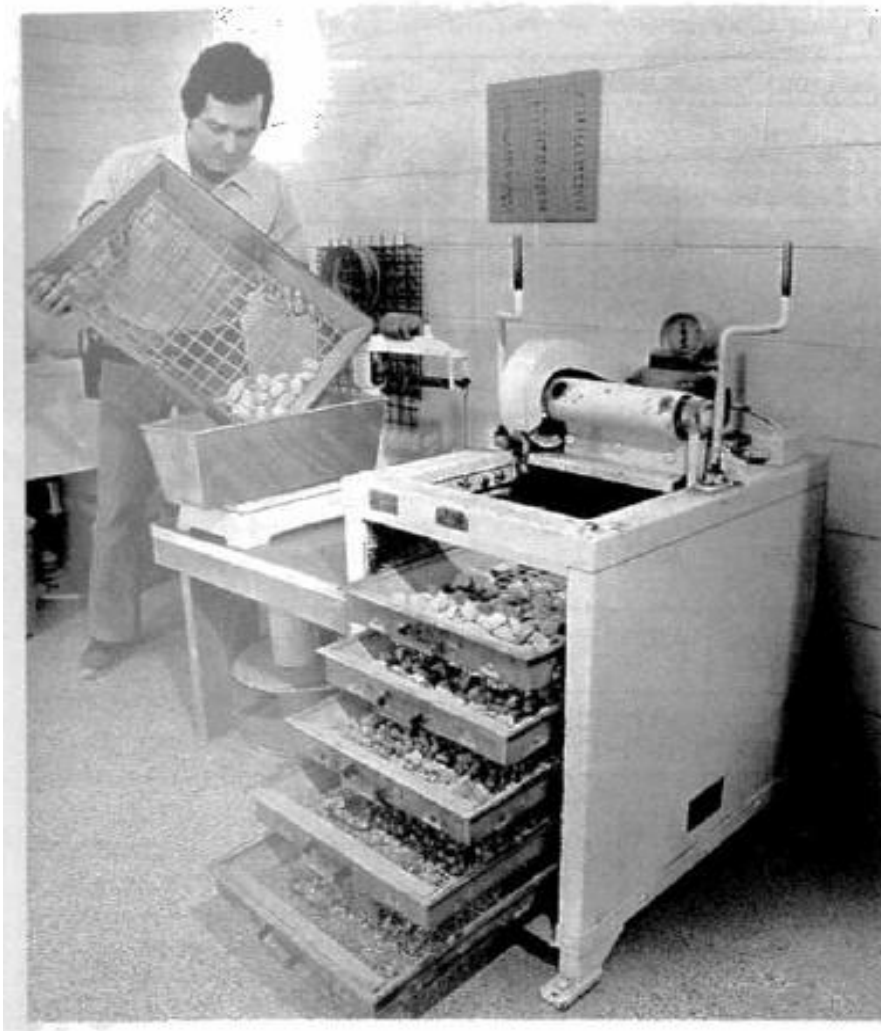
Forme et texture superficielle des granulats

- Influence la porosité sur les propriétés du béton à l'état frais
- Formes des particules : arrondies, cubiques?
- Minimiser les particules plates et allongées
- Minimiser les particules ayant une surface rugueuse
- Éviter d'utiliser les granulats longs et clivés – diminution de la résistance en flexion – max 15% total des granulats
- L'usure par des cycles de séchage et mouillage

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

Granulométrie

- Analyse granulométrique par tamisage (CSA A23.1-2A ou ASTM C 136) -- la distribution des particules (dimension)
- Tamis normalisées:
GG: 1,25, 2,5, 5, 10, 14, 20, 40, 56, 80 et 112 mm
GF: 160, 315 et 630 μm et 1.25, 2.5, 5 et 10 mm



Dosage et contrôle

Gros granulats
+
Sable

Série normalisée unités métriques	Série impériale	
	Unités impériales	Unités métriques
112 mm	4"	100 mm
80 mm	3"	75 mm
56 mm	2"	50 mm
40 mm	1" $\frac{1}{2}$	37,5 mm
28 mm	1"	25 mm
20 mm	$\frac{3}{4}$ "	19 mm
14 mm	$\frac{1}{2}$ "	12,5 mm
10 mm	$\frac{3}{8}$ "	9,5 mm
5,00 mm	# 4	4,75 mm
2,50 mm	# 8	2,36 mm
1,25 mm	# 16	1,18 mm
630 μ m	# 30	600 μ m
315 μ m	# 50	300 μ m
160 μ m	# 100	150 μ m
80 μ m	# 200	75 μ m

Importance de la composition granulométrique

Généralement on souhaite avoir un béton résistant, étanche et durable. Pour atteindre ce but, il faut:

- le béton à l'état frais soit facile à mettre en œuvre et à compacter -- réduire la porosité
- un maximum de granulats/m³ de béton (pour réduire la quantité de pâte liante nécessaire pour remplir les vides
- un minimum de surface spécifique pour réduire la quantité d'eau de gâchage et obtenir un rapport E/C plus faible -- durabilité!!

Importance de la composition granulométrique

Par ailleurs, il faut choisir:

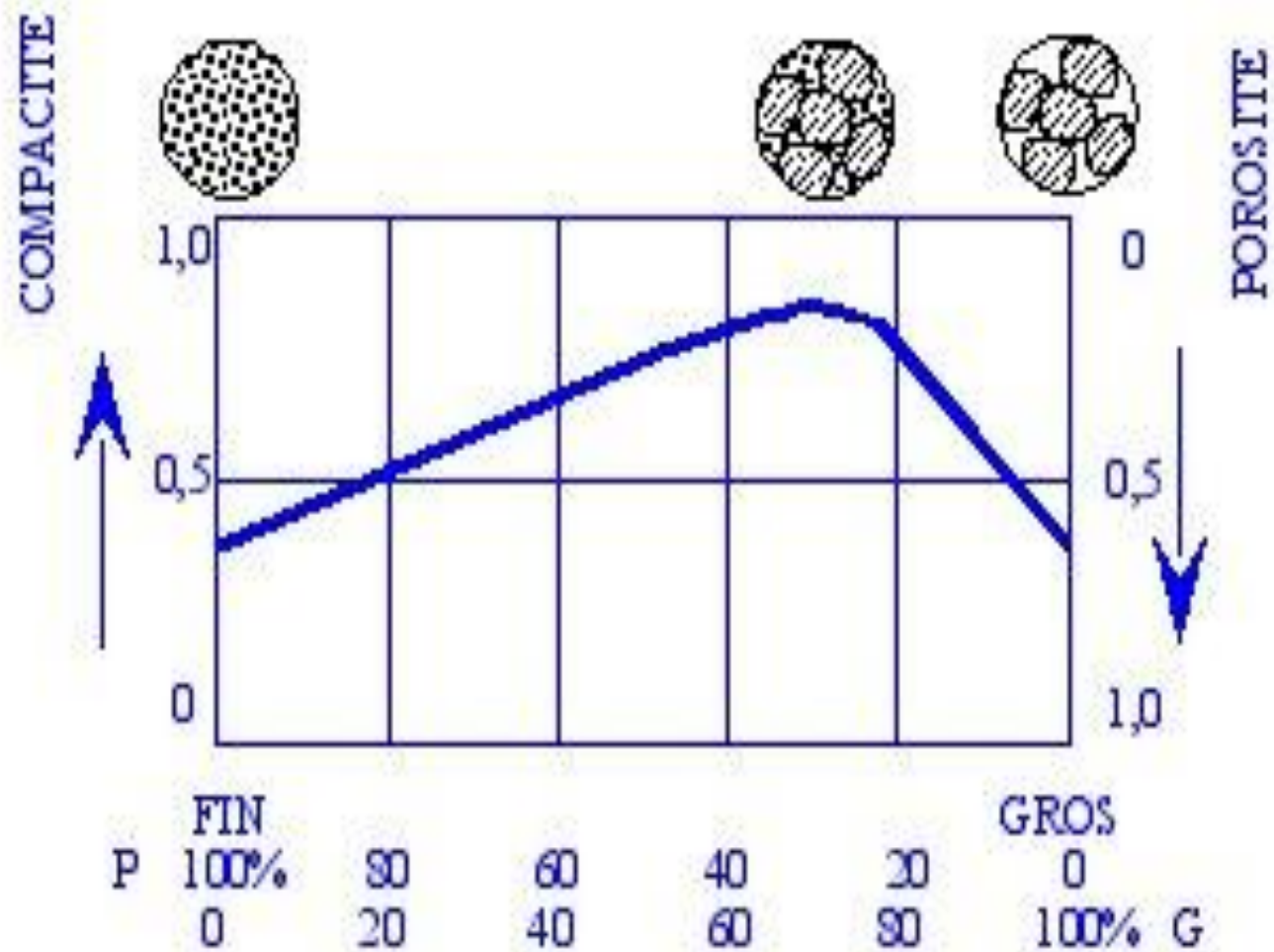
- $D_{\max}$ aussi grand, mais en tenant en compte de la dimension minimum de la pièce à bétonner
- la proportion de chaque dimension des grains doit être optimisée pour réduire les vides intergranulaires (meilleure compacité)
- il faut réduire la teneur en éléments fins au minimum requis pour obtenir une bonne maniabilité et faciliter la consolidation

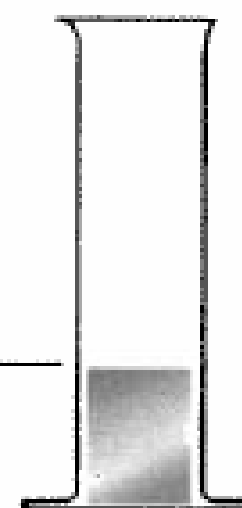
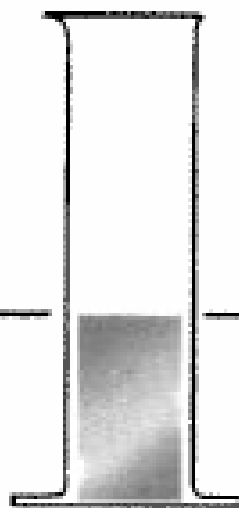
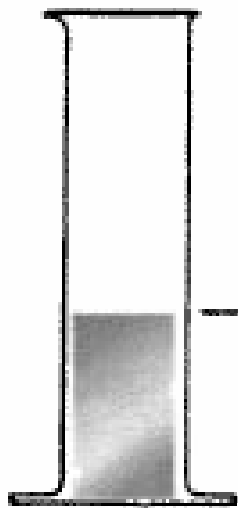
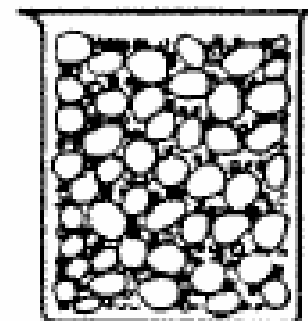
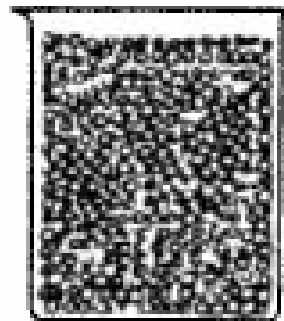
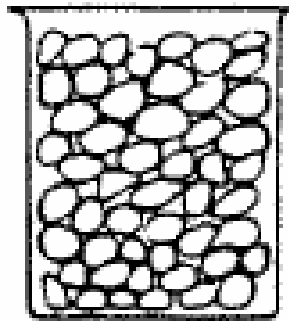
Granulométrie des gros granulats

- $D_{\max}$ affecte le coût du béton – il faut avoir plus de pâte pour un granulat de plus petite dimension!!
- Contraintes géométriques!!

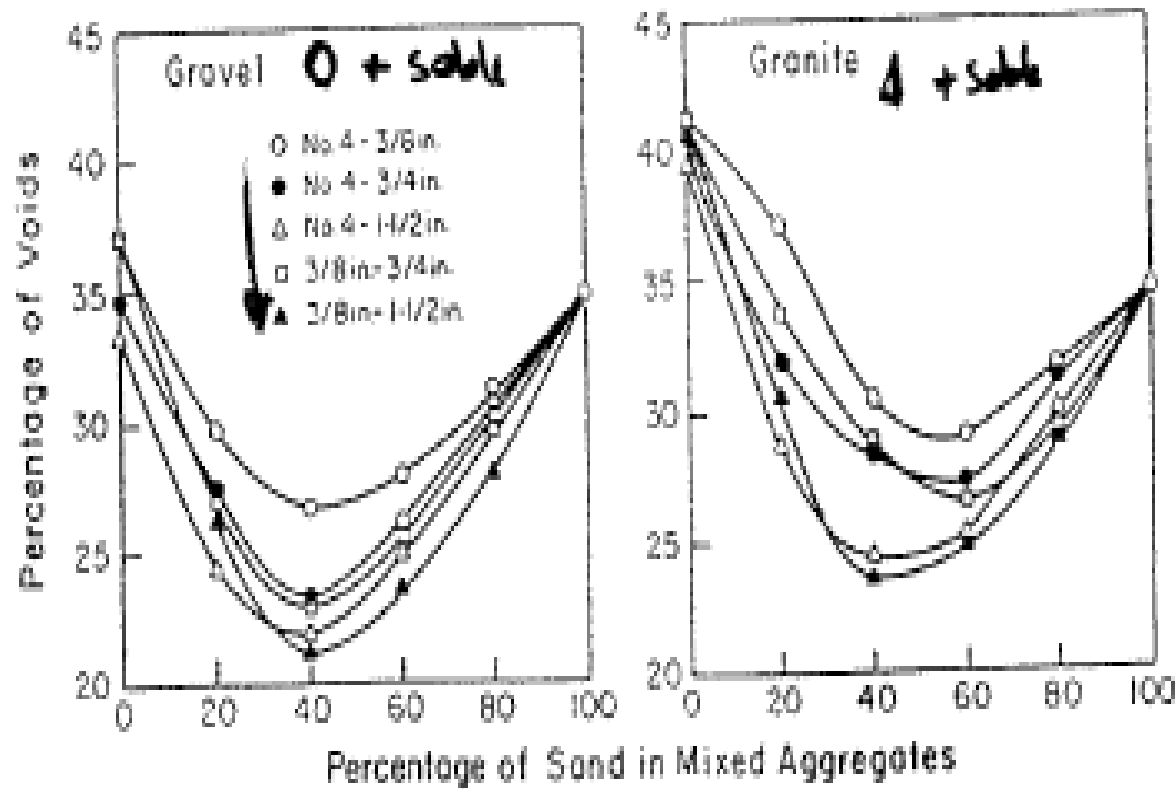
Granulométrie des granulats fins

- Granulométrie idéale dépend:
 - type d'ouvrage
 - richesse du mélange
 - ajouts des ajouts minéraux
 - les granulométrie grossières (mf élevé) sont plus économiques!! BHP – mf de 3
 - pour les mélanges maigres, les granulométries fins (mf faible) sont plus économiques
 - Le % du sable passant les tamis 315 mm et 160 μm la demande en eau et la maniabilité
- Max passant le 315 μm est entre 10 à 30%.





Dosage et contrôle



← *modèle volumique maximale*

Granulométrie des granulats fins

Module de finesse

- Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.
- Trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter la quantité d'eau tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile.
- Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (M_f).

Tableau 5-4. Détermination du module de finesse des granulats fins

Tamis	Pourcentage individuel retenu (masse) *	Pourcentage passant (masse)	Pourcentage retenu cumulatif, (masse)
10 mm	0	100	0
5 mm	2	98	2
2,5 mm	13	85	15
1,25 mm	20	65	35
630 µm	20	45	55
315 µm	24	21	79
160 µm	18	3	97
Bac	3	0	—
Total	100		283

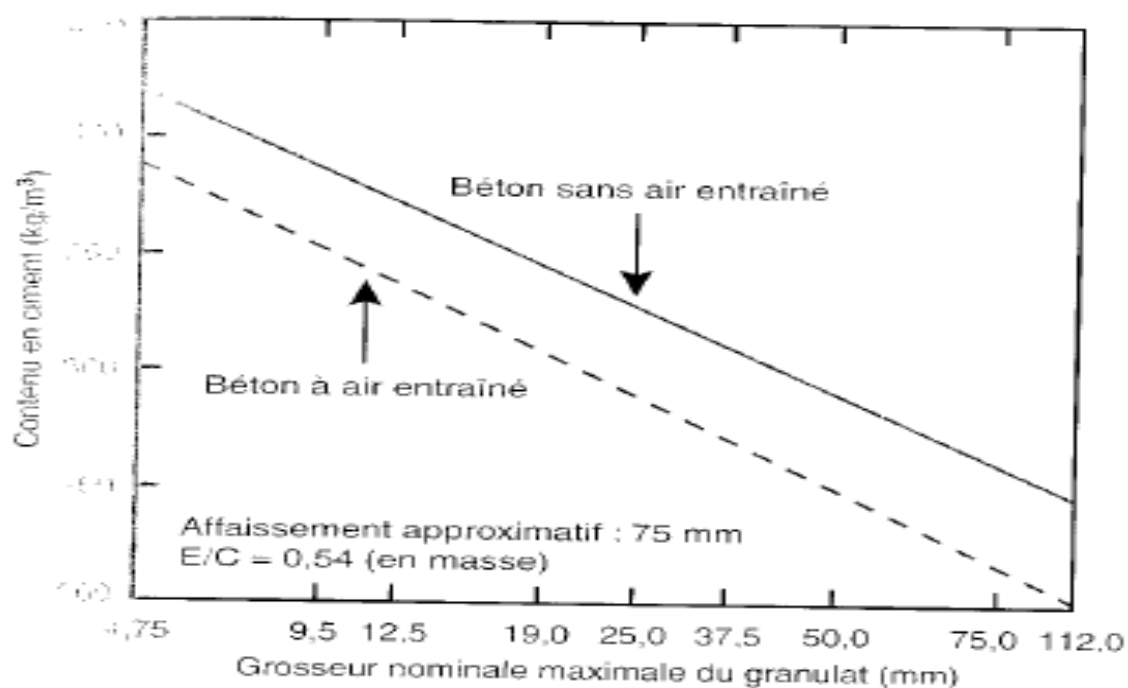
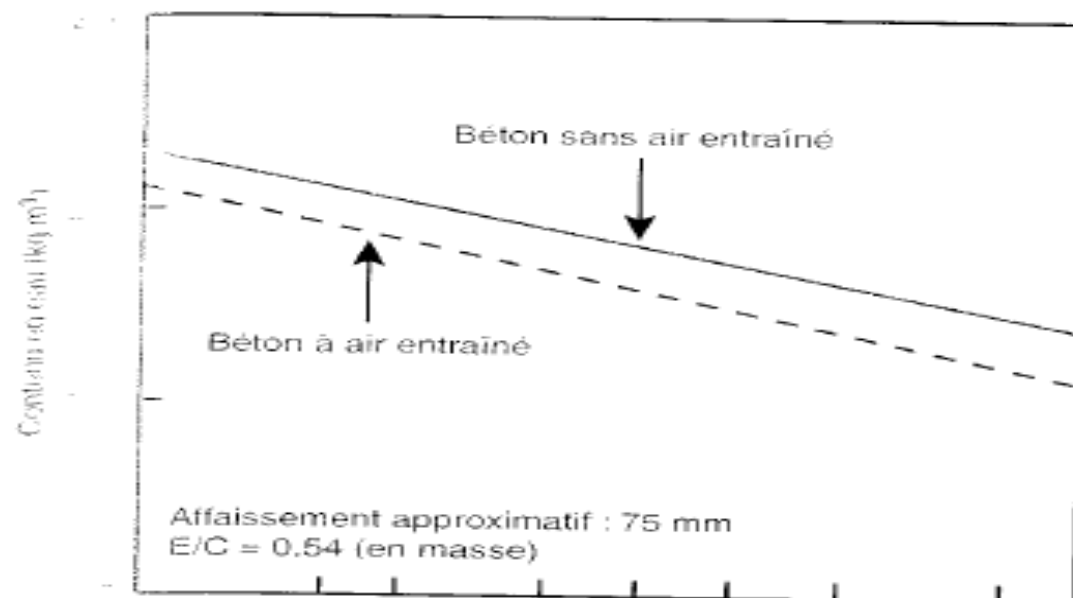
Module de finesse
= $283 \div 100 = 2,83$

Exigences de la norme CSA A23.1:

- Pour le béton à haute résistance, il est préférable de limiter le passant 160 μm à un maximum de 2%
- Des problèmes d'ouvrabilité surviennent si le pourcentage passant le tamis 315 mm est $< 10\%$
- Le granulat fin ne doit pas contenir plus de 45% de particules retenues sur entre deux tamis consécutifs
- Pour mieux contrôler la granulométrie, le module de finesse ne doit pas varier de plus 0.2%
- Si la granulométrie dépasse les limites??

- La grosseur nominale maximale du GG – dimension, de la forme de l'élément en béton, de la quantité et de la distribution des armatures. La grosseur nominale maximale ne doit pas dépasser:

1. Le $1/5$ de la dimension la plus étroite entre les parois des coffrages;
2. Les $3/4$ de l'espacement minimal entre les aciers d'armature ou entre les aciers d'armature et les coffrages;
3. Le $1/3$ de l'épaisseur des dalles;
4. La couverture spécifiée pour le béton qui n'est pas exposé au sol ou aux intempéries (se référer à la norme CSA A23.1, article 12.6.2);
5. Les $2/3$ de la couverture spécifiée dans CSA A23.1 pour le béton en contact avec le sol ou exposé aux intempéries (articles 12.6.2.2 et tableau 9);
6. La $1/2$ de la couverture spécifiée dans CSA A23.1 pour le béton exposé aux chlorures (article 12.6.2.2 et tableau 9); ou
7. Un tiers du plus petit diamètre interne du boyau ou du tuyau utilisé pour pomper le béton ou 40 mm, la plus petite dimension prévalant.



Exigences générales relatives au granulat grossier

ACNOR A-23. 1. M

	Grosseur nominale du granulat, mm	Masse totale passant chaque tamis*, %										
		112 mm	80 mm	56 mm	40 mm	28 mm	20 mm	14 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.25 mm
 Groupe I	40 à 5			100	95 à 100		35 à 70		10 à 30	0 à 5		
	28 à 5				100	95 à 100		30 à 65		0 à 10	0 à 5	
	20 à 5					100	90 à 100		25 à 60	0 à 10	0 à 5	
	14 à 5						100	90 à 100	45 à 75	0 à 15	0 à 5	
	10 à 2.5							100	85 à 100	10 à 30	0 à 10	0 à 5
Groupe II	80 à 40	100	90 à 100	25 à 60	0 à 15		0 à 5					
	56 à 28		100	90 à 100	30 à 65	0 à 15		0 à 5				
	40 à 20			100	90 à 100	25 à 60	0 à 15		0 à 5			
	28 à 14				100	90 à 100	30 à 65	0 à 15		0 à 5		
	20 à 10					100	85 à 100		0 à 20	0 à 5		
	14 à 10						100	85 à 100	0 à 45	0 à 10		
	10 à 5							100	85 à 100	0 à 20	0 à 5	

* Les tamis doivent être conformes aux exigences de la norme CGSB 8.2 relatives aux tamis d'essai en fil tressé.

† Pour empêcher la ségrégation, les granulats conformes à cette granulométrie doivent être mis en tas et dosés en deux grosseurs distinctes ou plus choisies dans les groupes I et II.

Note. Le groupe I comprend les combinaisons granulométriques les plus fréquemment utilisées dans la fabrication du béton. Le groupe II tient compte des exigences spéciales, soit granulométrie discontinue, pompage, etc., ou relatives à la combinaison de deux grosseurs ou plus pour obtenir les granulométries du groupe I.

Constat!!

Les quantités de granulats fins passant les tamis 315 et 160 mm influencent la maniabilité, la texture de surface, la teneur en air, le ressuage et la stabilité du béton

La plupart des spécification permettent de 5 à 30% (passant le tamis 315 μm)

- limite inférieure (condition de mise en place sont favorable – finition mécanique!!)
- finition à la main – 15% passant le 315 et 3% ou plus passant le tamis 160 μm

Constat!!

Les granulats ne souffrant ni d'une grande carence ni d'un excès de particules de diamètres donné et présentant une courbe granulométrique régulière – meilleure résultats sur béton!!