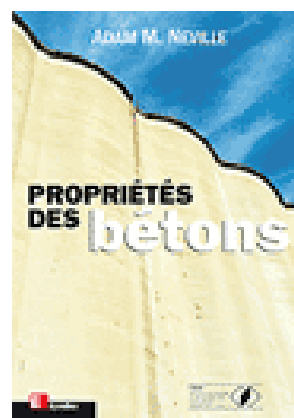


Introduction aux Technologies du Béton (Concrete Technology)

Support

- slides
- Livre - en français
- Adam NEVILLE
Propriétés de Béton



Production Annuelle
millions de tonnes

	<i>Béton</i>	<i>Acier</i>	<i>Bois</i>	<i>Plastiques</i>	<i>Papier</i>
France :	170	20	22	7	6
USA :	800	94	250	76	69
Monde :	> 10 000	700			

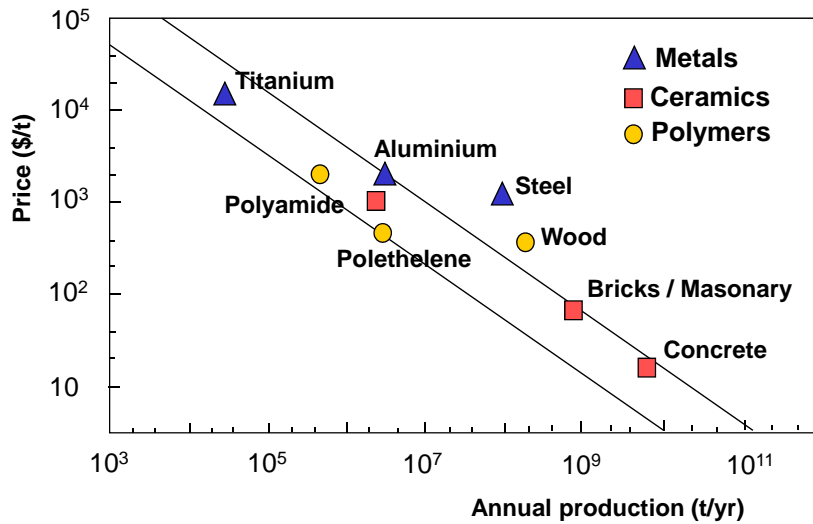
1 tonne par personne par année!

Pourquoi?

- Disponibilité** - Mat. 1ère partout dans le monde
faible coût énergétique
- Transportable** - poudre grise en sac ou en vrac
- Constructible** - adjoindre l'eau et malaxer
- Flexible** - remplir toutes les formes
avec une différence de volume très faible
- Durable** - pour les siècles
surtout résistant à l'eau,
barrages, tuyaux, etc

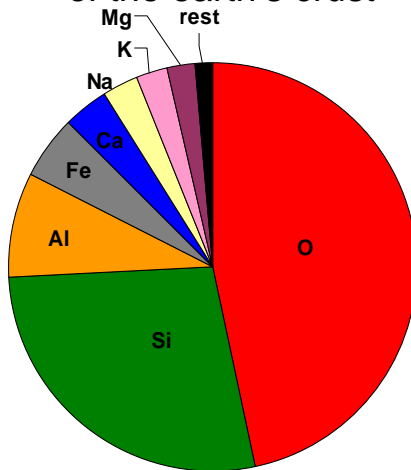
et à bas prix!

Price vs consumption of materials

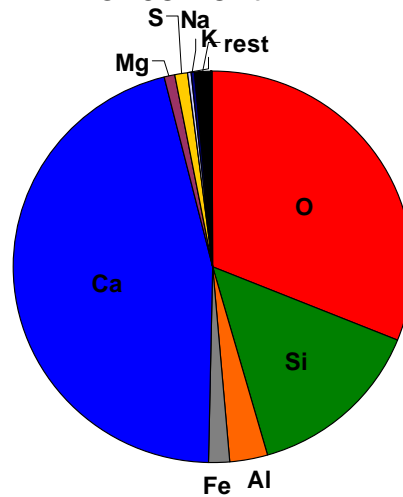


Source: INTRODUCTION à LA SCIENCE DES MATÉRIAUX, Mercier, Zambelli, Kurz

Composition of the earth's crust



Composition of cement



CaO readily available from limestone

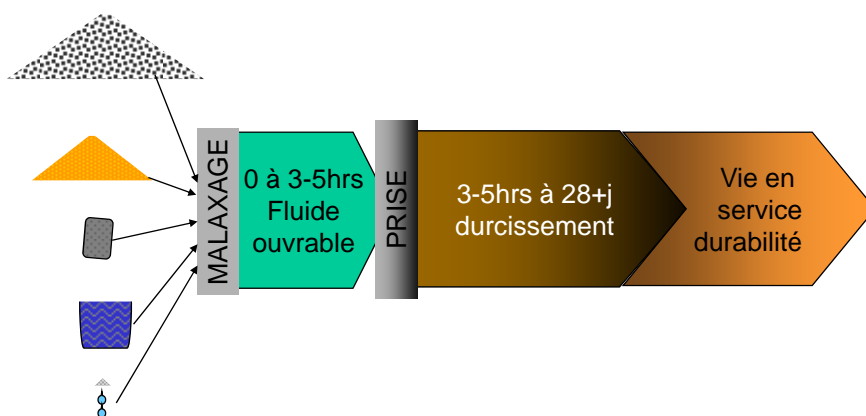
Quelques définitions

Un béton

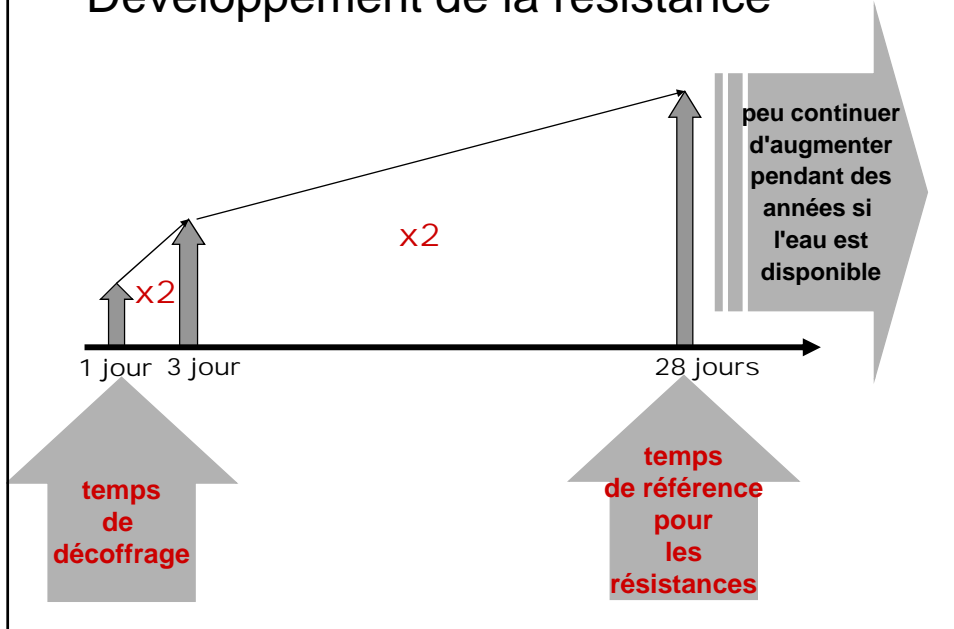
Granulats + colle = béton si $\varnothing > 8 \text{ mm}$
mortier si $\varnothing < 8 \text{ mm}$

Pâte de ciment = eau + ciment
Mortier = eau + ciment + sable
Béton = eau + ciment + sable + granulats

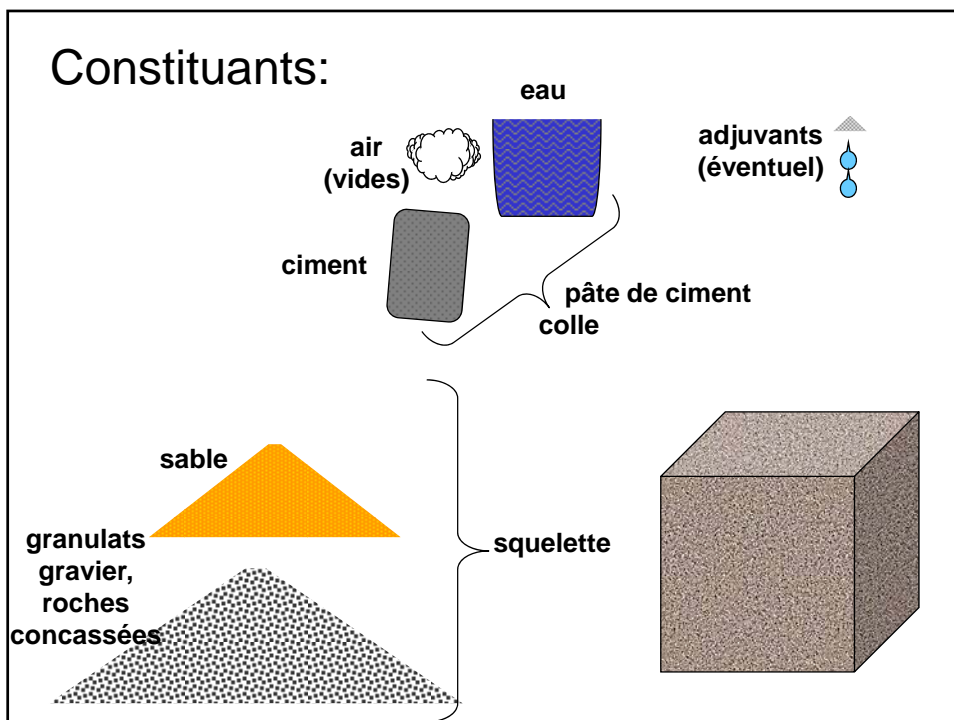
Le vie d'un béton



Développement de la résistance

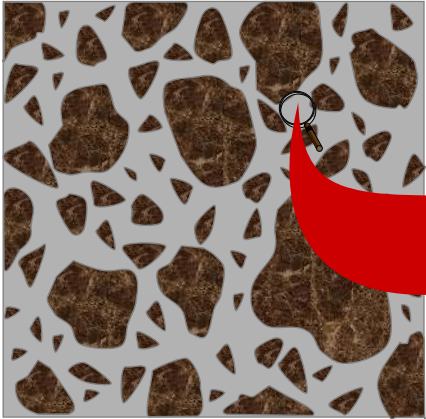


Constituants:

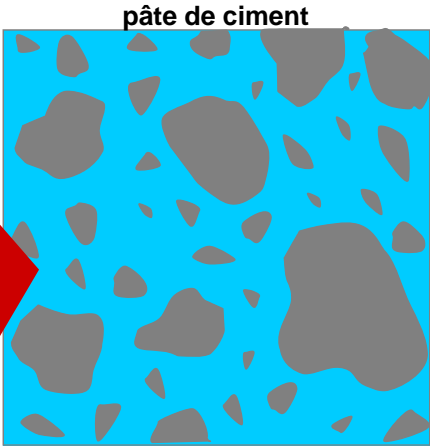




2 niveaux de microstructure

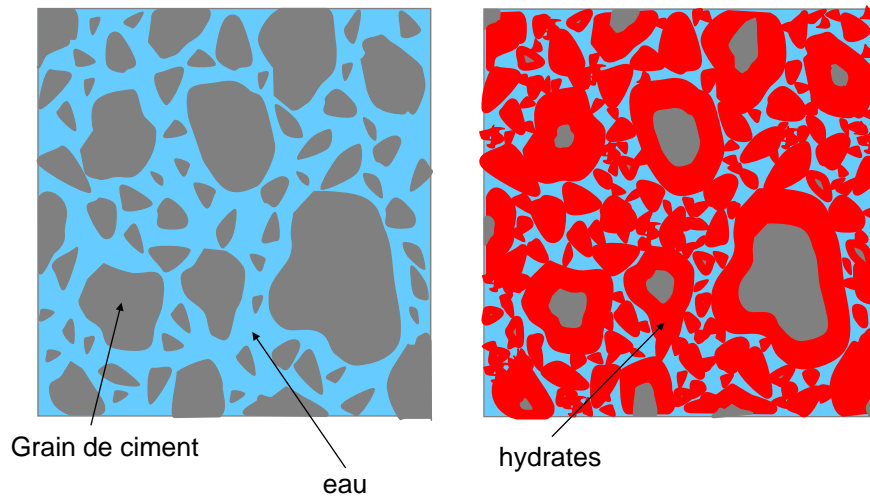


squelette granulaire ~60-70% vol.
colle ~40-30% vol.
 pâte de ciment



Grains de ciment ~30-50% vol.
L'eau ~70-50% vol.

Hydratation transformation de pâte fluide en solide rigide



Rôle de l'eau

Anhydres + eau \Rightarrow hydrates

L'eau est combinée dans les hydrates

L'hydratation continue seulement s'il y a de l'eau disponible.

Hydratation

Augmentation de volume solide

1 vol. ciment \rightarrow \sim 2 vols hydrate

La quantité d'eau ajoutée, relative au ciment est exprimée en rapport e/c en poids

Si $e/c = 0.5$,
quel est le volume de ciment dans le mélange de départ?
(la densité de ciment ~ 3)

Quel est le volume de solide après hydratation?

Un béton est composé de:

- **un squelette, les granulats**
- **une colle, les pâtes de ciment**
- **la liaison (l'interface) entre les deux**

Sa qualité dépend de la qualité de tous les trois.

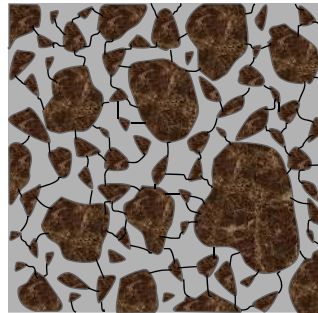
Les granulats:

Les granulats sont nettement moins chers que le ciment (~5x)

Mais on ne peut pas faire une pâte de ciment dans une large section sans qu'elle se fissure



Les granulats limitent la longueur des fissures:
plus de fissures, mais plus fines et plus courtes



Squelette granulaire

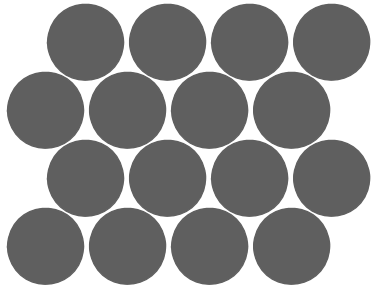
On veut minimiser la quantité de pâte de ciment:

- plus économique
- moins de phase dans laquelle l'eau peut pénétrer
- moins de chaleur dégagée
- moins de retrait

mais

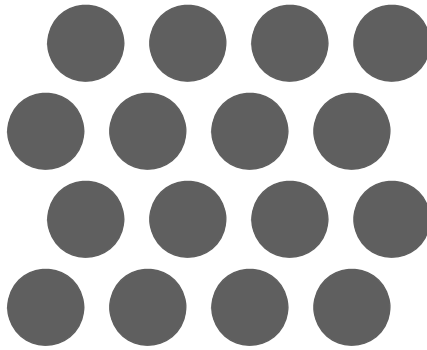
**la pâte de ciment doit remplir les espaces entre les granulats:
et fluidifier le béton pendant le malaxage et la mise en place**

Empilement des grains mono-taille:



Densité maximale ~74%

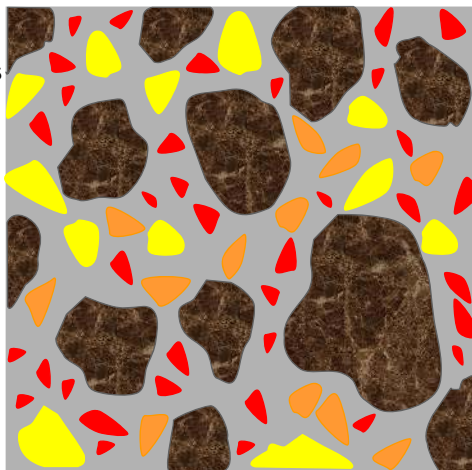
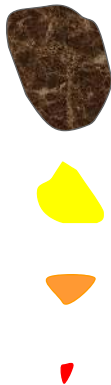
Mais difficile à déformer:
frottement entre les grains



Il faut espacer les grains
densité max. pratique < 60%

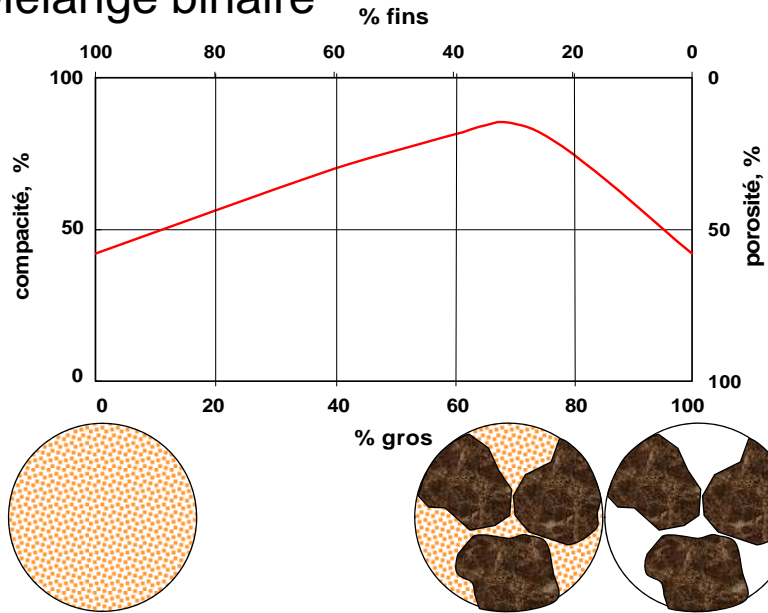
Empilement plus efficace avec une distribution des tailles:

Les petits peuvent remplir
les espaces entre les grands

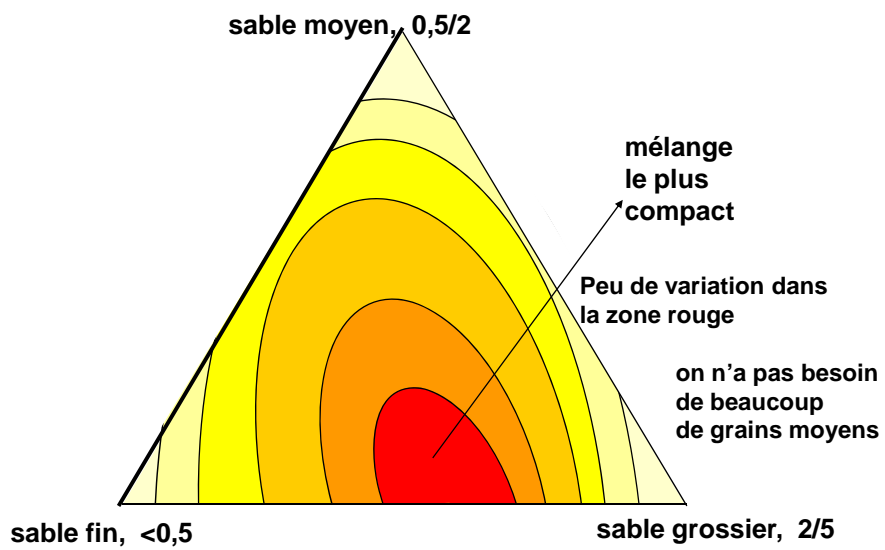


(connu par les romains)

Mélange binaire



Mélange ternaire (Ferret 1890s)



On a vu que les mélanges les plus compacts sont entre grands et petits grains

Pourquoi utilise-t-on les mélanges avec granulometrie continue



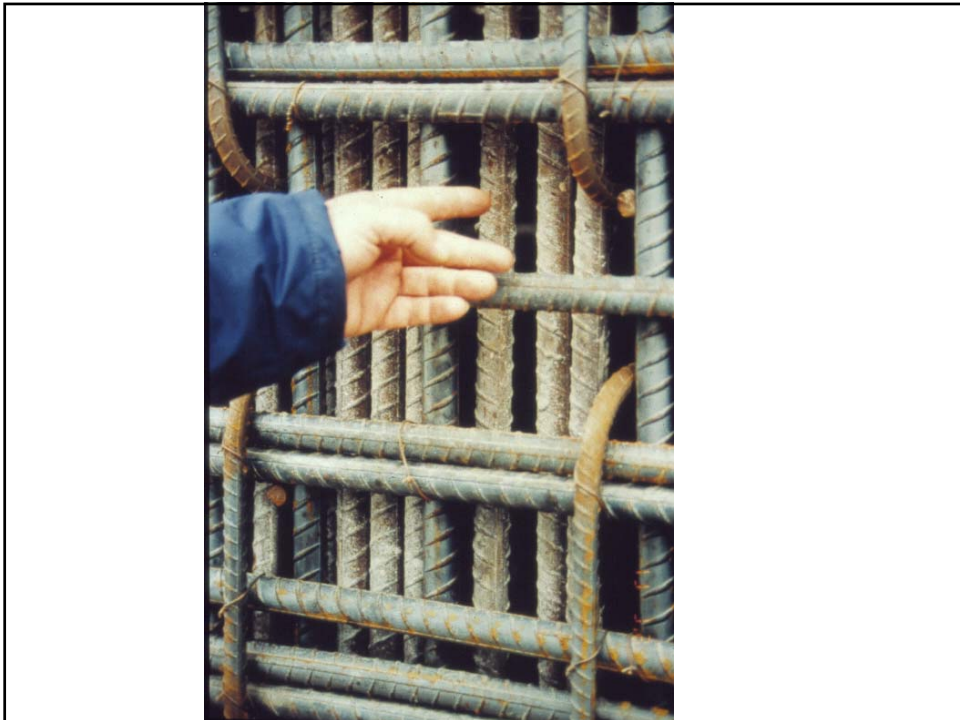
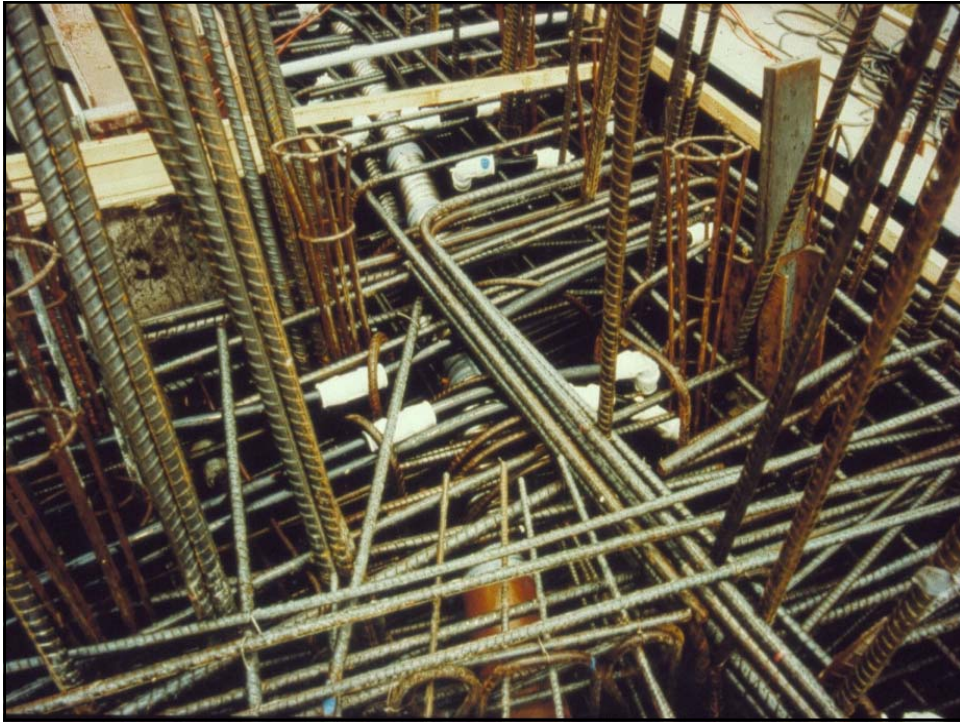


La taille maximum
des granulats
est déterminée par
la taille de la pièce
de béton

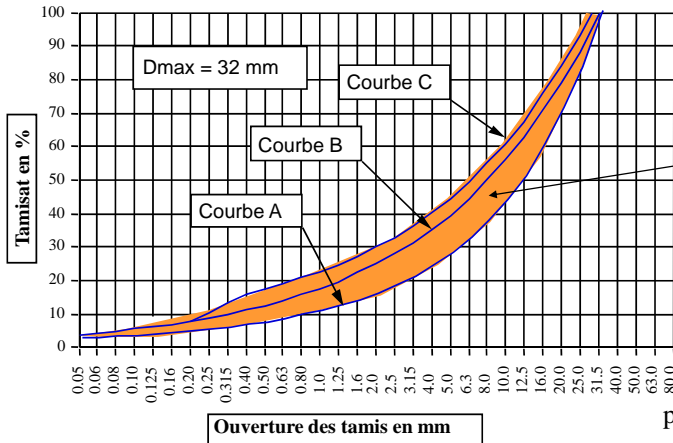


Le diamètre
maximum doit
être moins de
un cinquième de la
taille de la pièce

Ex. mur du 150 mm, taille max ~30 mm



Mélanges continus



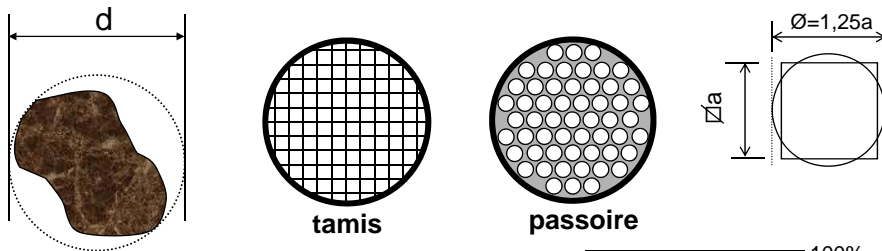
Le fuseau des mélanges compacts et ouvrables

A. $p = 50 \left(\frac{d}{D_{\max}} + \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}} \right)$ **B.** $p = 100 \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}}$

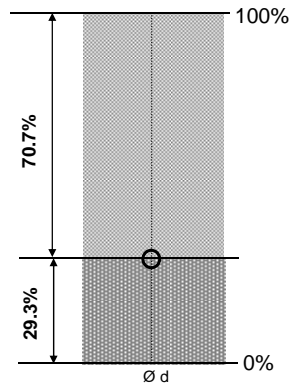
C. 5% au-dessus de **B.** au-delà de $d=0.4$ mm

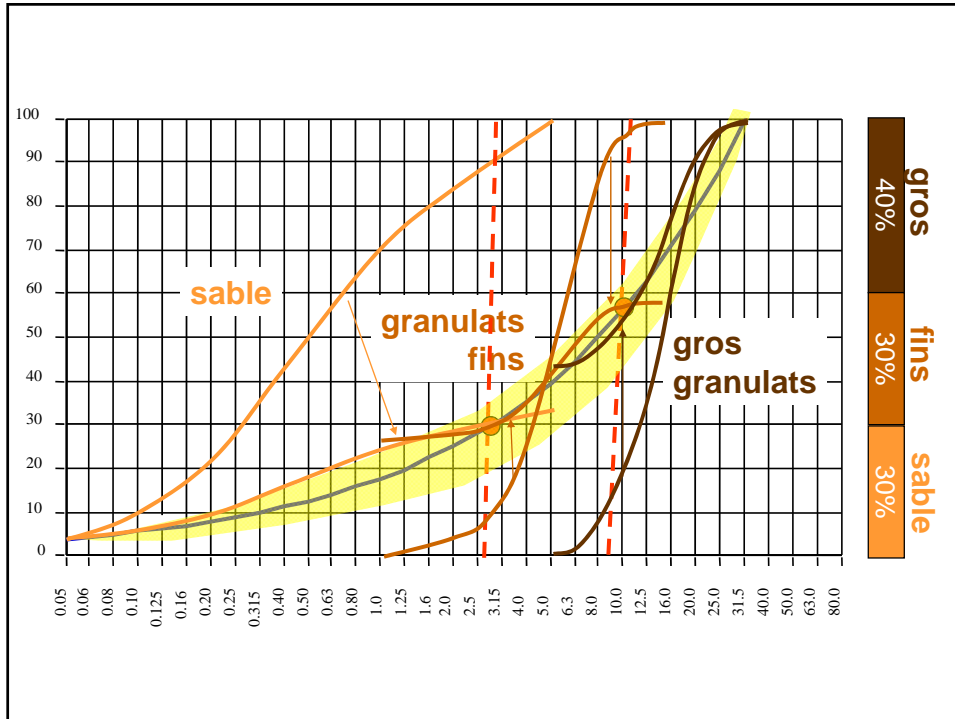
p : % des tamisats cumulé
 d : diamètre granulat considéré
 D_{\max} : diamètre maximum des granulats

Mélanges continus





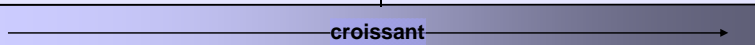



	Poids en gr.	Poids en %
passoire $\varnothing d$		
refus	1414	70.7
tamisé	586	29.3
total	2000	100





La forme des granulats

	granulats roulés			
forme	sphériques	aplatis / allongés	cubiques	aplatis / allongés
				
angularité	arrondis		anguleux	
état de surface	lisses		rugueux	
besoin en eau				
ouvrabilité aptitude au compactage				

Granulats - exigences (1)

Les granulats doivent:

1) être stables et durables:

- résistants à des cycles gel-dégel
- résistants à des cycles mouillage-séchage
- résistants à des cycles de température
- résistants à l'abrasion
- résistants aux réactions chimiques

Ils doivent donc être compacts et non réactifs

⇒ *stabilité du béton*

2) posséder résistance et dureté:

⇒ *résistance du béton*

Granulats - exigences (2)

Les granulats doivent:

3) être propres:

- pas d'argiles (instables cycles mouillage-séchage)
- pas d'impuretés

⇒ *adhérence granulats / pâte*

4) donner un mélange compact:

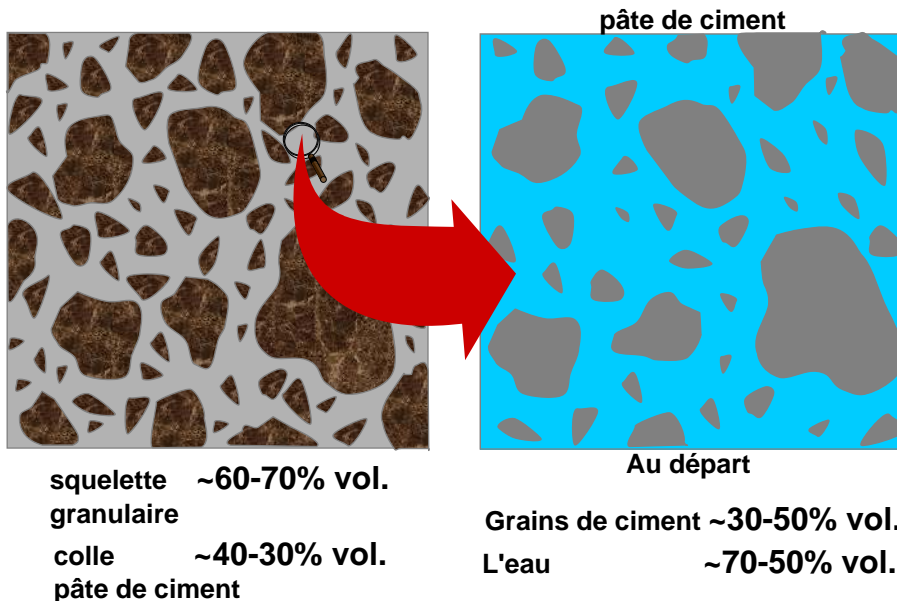
- forme correcte
- bonne granulométrie
- teneur en éléments fins limitée

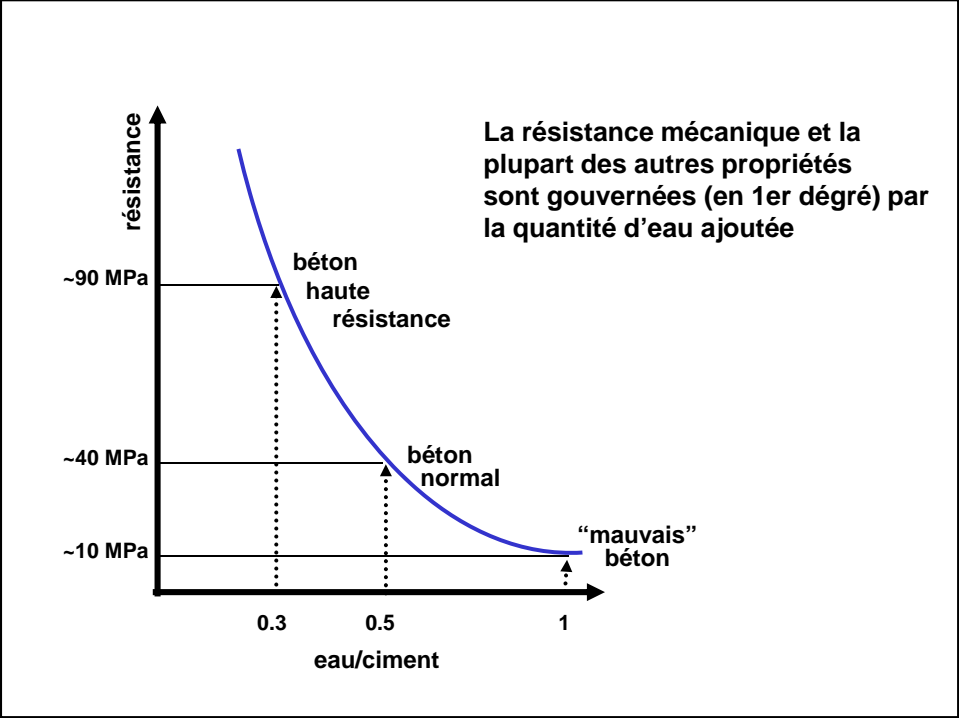
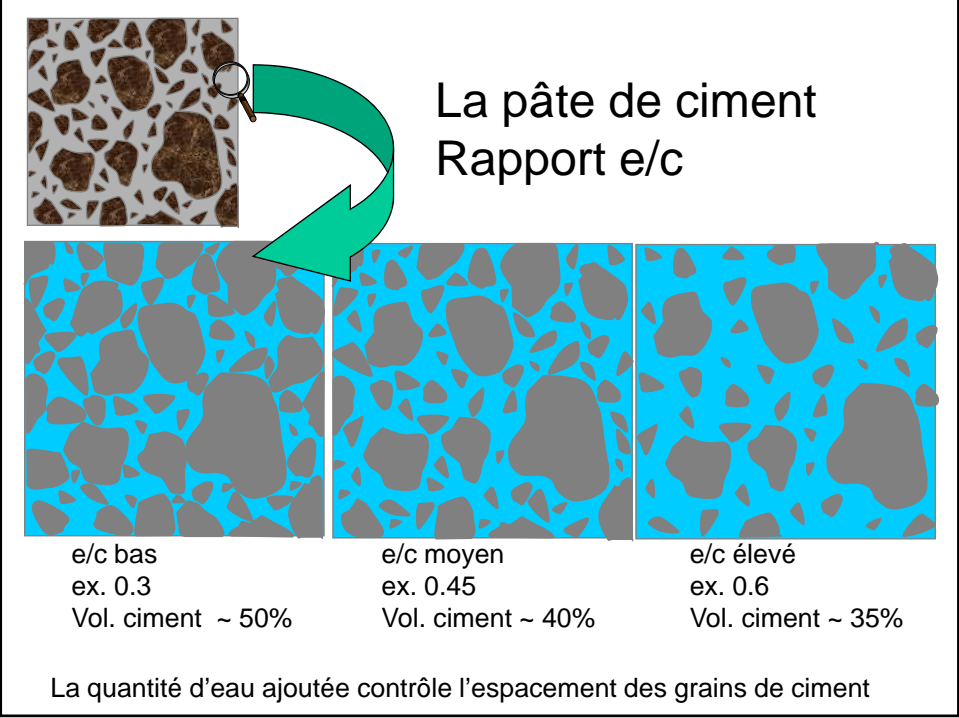
⇒ *réduction du volume de ciment*

Matières nuisibles à éviter dans les granulats

Matières nuisibles	Effets
les éléments gélifs	granulats poreux et tendres
le gypse l'anhydride la pyrite	attaque par sulfate
le charbon les scories	peu résistants ; contiennent parfois du soufre
les impuretés organiques le bois les végétaux	putréfaction, instabilité de volume selon l'humidité
les matières humiques les sucres ou limonades	retardent ou empêchent la prise

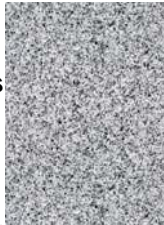
2 niveaux de microstructure





La pâte de ciment doit remplir les espaces entre les granulats

Granulats
~70%
(60-80)



Quand le $e/c \downarrow$, il faut augmenter
« le dosage en ciment » pour garder
le même volume de pâte
qui donne la fluidité du béton

Pâte du ciment
~ 30%

eau

ciment

Normalement les formulations de béton
sont exprimées en poids pour faire **1m³**

Exemple de formulations « modèles »

	ci ment		e/c		Eau		sable		coarse agg		total		paste vol fract
	wt	vol			wt	vol	wt	vol	wt	vol	wt	vol	
Bas de gamme	250	80.6	0.7		175	175	700	269	1155	444	2280	969	0.26
standard	310	100	0.6		186	186	700	269	1155	444	2351	999	0.29
bonne qualité	350	113	0.5		175	175	700	269	1155	444	2380	1001	0.29
haute résistance	400	129	0.4		160	160	700	269	1155	444	2415	1002	0.29
très haute résistance	465	150	0.3		140	140	700	269	1155	444	2460	1003	0.29

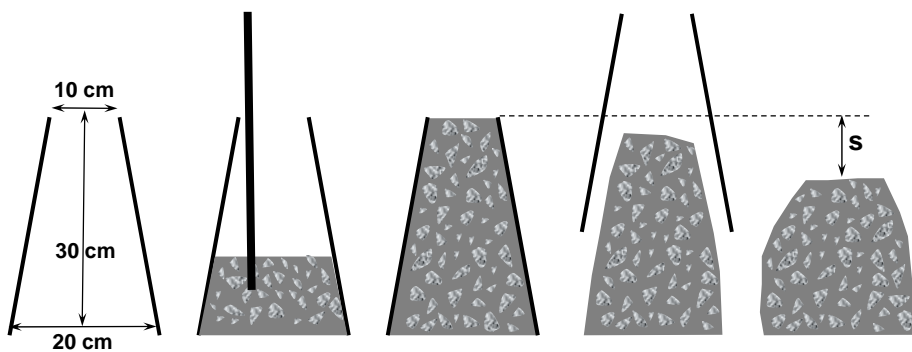
Ouvrabilité

Capacité à remplir les formes
à se compacter

fluidité

- La présence des granulats empêche l'utilisation de la plupart des équipements conçus pour caractériser la rhéologie des autres fluides
- Besoin de tests robustes qui peuvent être utilisés sur les chantiers

Slump test



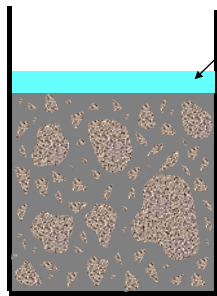


What is wrong with this picture!



À éviter pour un bon béton:

Ressuage - (bleeding)

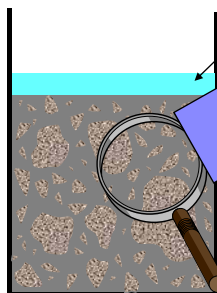


Emergence
d'un couche
d'eau en
surface



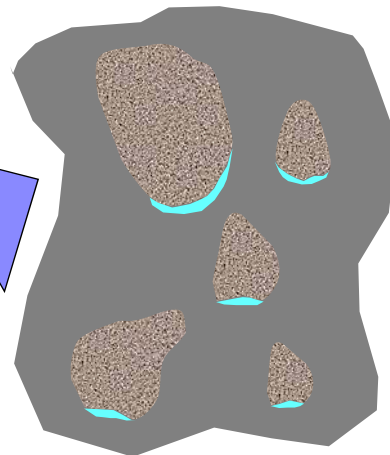
À éviter pour un bon béton:

Ressuage - (bleeding)

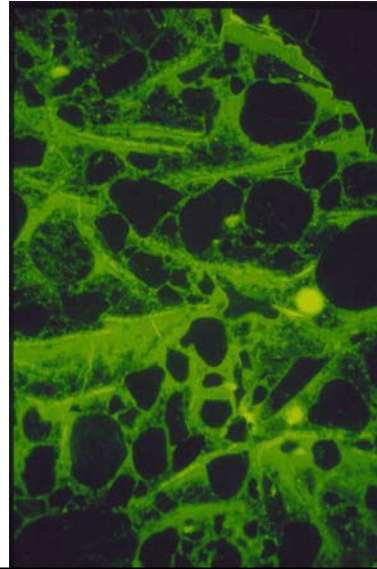
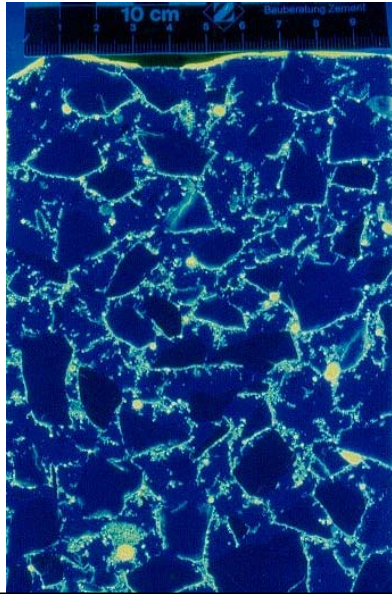


Emergence
d'un couche
d'eau en
surface

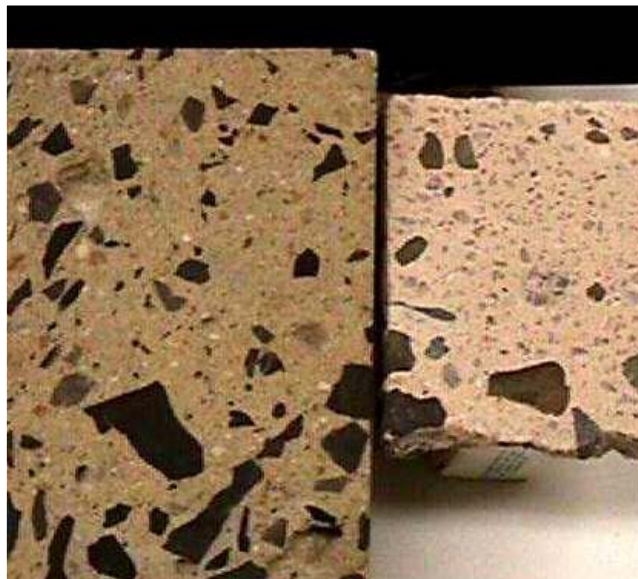
aussi
microressuage



bleeding

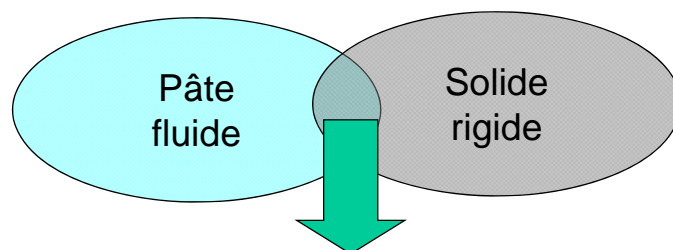


ségrégation



- **Le ressuage et la ségrégation peuvent être évités avec une bonne formulation du béton:**
- **bonne granulométrie du squelette granulat**
- **bon dosage en ciment**
- **bon rapport e/c**

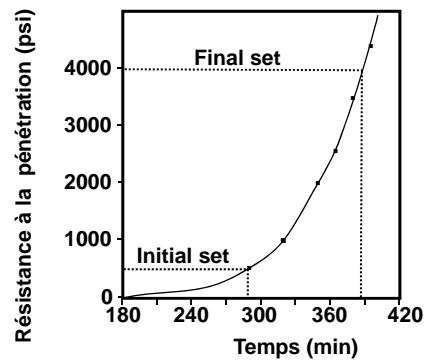
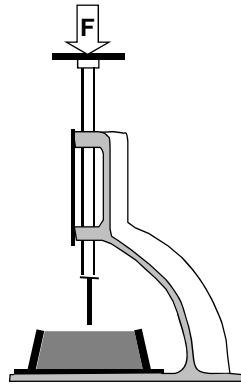
La prise



La transition n'est pas franche
la définition de la prise est un peu
arbitraire

Le test classique:

Aiguille « Vicat »



La prise

- Avec des méthodes plus précises, il semble que la prise corresponde au point de formation d'un squelette solide continu.

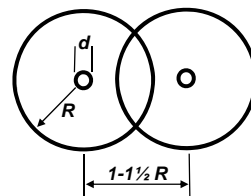
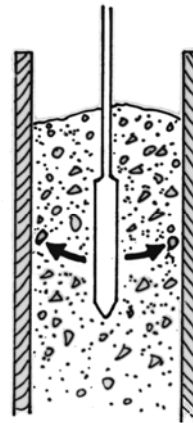
Un peu de pratique!

Les méthodes de livraison



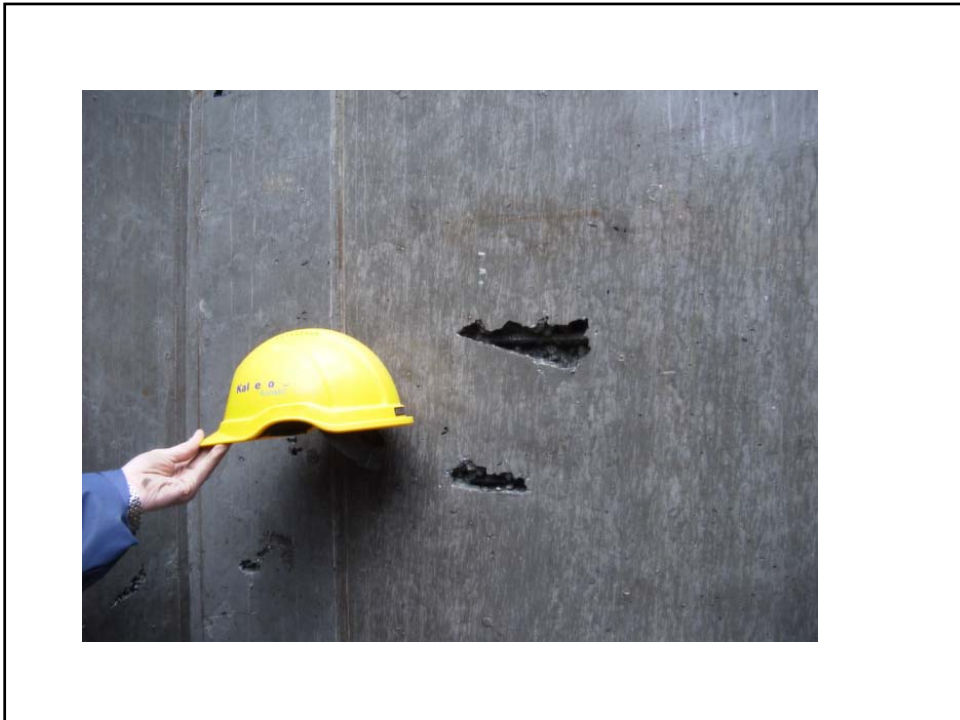


Compactage
Mise en place
Finition

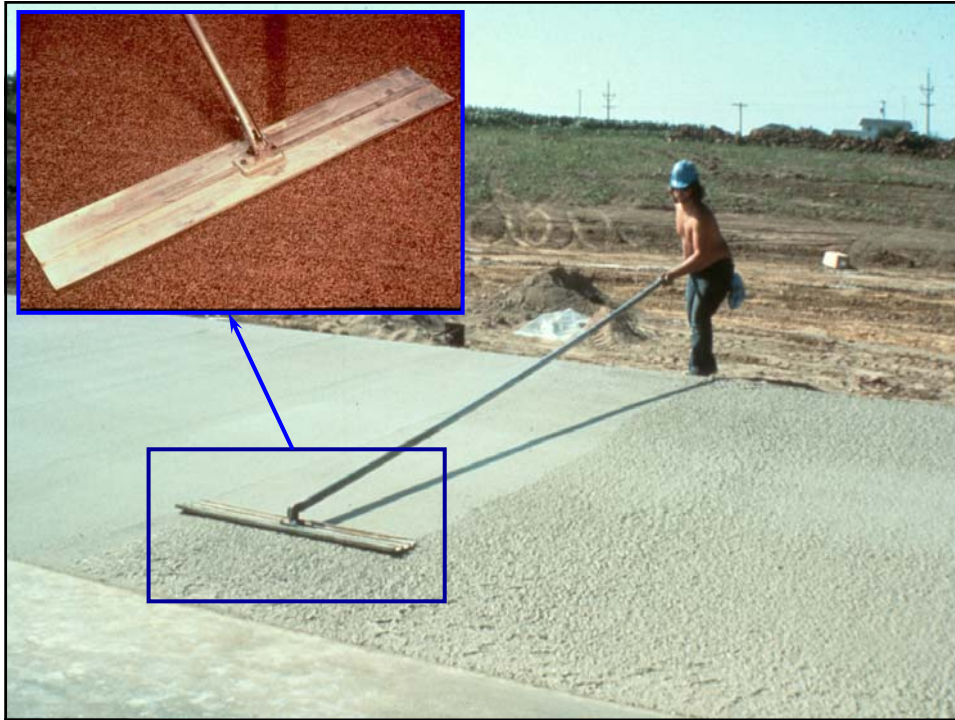


Zone d'influence

$$R = (3 \text{ à } 5) \times d$$







Résumé / questions

- Pourquoi utilise-t-on des mélanges continus des granulats?
- Comment calcule-t-on les proportions de sable, fins et gros granulats pour avoir un mélange compact?
- Quelle est l'importance du rapport eau / ciment?
- Quel processus amène le durcissement du béton?
- Qu'est-ce que la prise? Comment la mesurer?
- Si le rapport e/c diminue, comment faut-il changer le dosage en ciment?
- Quels paramètres de formulation influence le «slump» du béton?
- Quel est le moyen le plus utilisé pour compacter le béton?

Résumé / Questions

- **Quelle est la différence entre le béton et le mortier?**
- **Pourquoi met-on des granulats dans le béton?**
- **Pourquoi utilise-t-on des granulats de tailles différentes?**
- **Quelle est l'importance du rapport eau / ciment?**
- **Quel processus amène le durcissement du béton?**
- **Qu'est-ce que la prise? Comment la mesurer?**