

# Les granulats

Autor(en): **Hermann, Kurt / Egmond, Bram van**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **64 (1996)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146402>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Les granulats

**Quantitativement, les granulats constituent le principal composant du béton, sur les propriétés duquel ils exercent une grande influence.**

Les granulats, c'est-à-dire la grave et le sable de différentes granulométries, forment l'ossature solide du béton. Ils représentent quelque 80 % de la masse totale du béton et environ 75 % de son volume. Une utilisation optimale des granulats permet d'améliorer considérablement la qualité du béton.

Ce qui est exposé ci-après se limite à peu près exclusivement aux granulats d'origine naturelle d'une den-

sité de 2,6 à 2,7 kg/dm<sup>3</sup>. Il n'est par exemple pas traité des granulats lourds ( $\rho > 3,0$  kg/dm<sup>3</sup>) tels que baryte, minerai de fer ou granulats d'acier, ni des granulats légers ( $\rho < 2,0$  kg/dm<sup>3</sup>), telle l'argile expansée.

## Normes

Selon la prénorme SIA V 162.051 (correspond à ENV 206), les granulats se composent de «substances

minérales naturelles et/ou artificielles, concassées ou non concassées, dont les dimensions et formes de particules conviennent à la production du béton» [1]. Ils doivent en outre «répondre aux exigences des normes nationales ou aux règlements en vigueur sur le lieu d'utilisation du béton. Les granulats ne doivent pas contenir d'éléments nuisibles en quantités telles qu'ils pourraient porter préjudice à la durabilité du béton ou provoquer une corrosion des armatures.»

Les exigences auxquelles doivent répondre les granulats en Suisse sont fixées sous les chiffres 5 14 21 à 5 14 29 de la norme SIA 162 [2] ainsi que dans les essais 11 à 15 de la norme SIA 162/1 [3] ou de la norme VSS SN 670 710 d [4]. Nous y reviendrons plusieurs fois au cours de cet article.

## Origine des granulats

On utilise pour la majeure partie du béton classé des granulats divisés en trois groupes, en fonction de leur origine:

- Les *roches magmatiques* résultent du refroidissement plus ou moins rapide de roches fondues (magma). Elles sont solidifiées à l'état cristallin ou vitreux. Exemples: basalte, granit, diorite, porphyre.



Extraction de gravier dans le plateau.

Photo: TFB



Désignation	Forme du grain	Dimension du grain	Origine
Sables roulés	grains de roches et/ou de minéraux non concassés	plus fins que 4 ou 2,8 mm	dépôts de sols meubles (gravières, alluvions fluviales ou lacustres)
Sables concassés	grains de roches et/ou de minéraux concassés	plus fins que 2,8 mm	concassage et mouture de roches de carrières ou de grosses pierres de gravières, de rivières et de lacs, ainsi que d'éboulis
Graviers	grains de roches non concassés	2,8 ou 4 mm à 45 mm	dépôts de sols meubles (gravières, alluvions fluviales ou lacustres)
Gravillons	grains de roches et/ou de minéraux concassés	2,8 à 22,4 mm	concassage de roches de carrières ou de grosses pierres de gravières, de rivières et de lacs, ainsi que d'éboulis
Pierres concassées	grains de roches et/ou de minéraux concassés	22,4 à 63 mm	concassage de roches de carrières ou de grosses pierres de gravières, de rivières et de lacs, ainsi que d'éboulis

Tab. 1 Désignation des granulats sur la base de la forme et de la dimension du grain selon norme SN 670 710 d [4].

- Les *roches sédimentaires* sont des précipitations ou dépôts chimiques provenant d'un environnement aqueux. Exemples: calcaire, dolomie, marne, argile schisteuse, grès siliceux et calcaire, quartzite.
- Les *roches métamorphiques* résultent de la recristallisation de roches magmatiques et sédimentaires sous l'action de températures et pressions élevées. Exemples: gneiss, marbre, amphibolite, schiste micacé.

Le gisement est une autre caractéristique:

- Les *sédiments fluviaux et lacustres* résultent d'un tri naturel. Ils se composent de grains arrondis de différentes sortes de roches, généralement de roches dures, et

ne contiennent souvent que très peu de fines.

- Les *sédiments glaciaires* (gravier morainique) sont hétérogènes. Ils contiennent également souvent un peu de grains tendres roulés. Le pourcentage de sable de la fraction 0,2 à 0,5 mm est élevé, et il peut s'y trouver des composants argileux.
- Les matériaux provenant de carrières sont concassés et à arêtes vives. Ils sont de composition homogène, et leur qualité dépend beaucoup du lieu d'extraction.

### Classification des granulats

Les granulats se classent en gros en matériau naturel (non concassé) et en matériau concassé. Les granulats concassés provenant de roches

de carrières et de gros blocs, ainsi que les granulats de recyclage, ne présentent que des surfaces de rupture, alors que le concassé provenant de matériaux roulés présente aussi des surfaces naturellement arrondies. Les grains roulés comprennent moins de 20 % de surfaces de rupture, alors que le concassé en comprend plus de 80 % [4].

La grosseur des grains, telle qu'elle est utilisée par exemple dans la norme SN 670 710 d [4] et présentée dans le *tableau 1*, est aussi un critère distinctif. On utilise également des mélanges de roches et/ou de minéraux concassés et non concassés (sables et graviers semi-concassés); la grave se compose de gravier et de sable.

Dureté	Résistance moyenne à la compression [N/mm <sup>2</sup> ]	Teneur en minéraux durs [% de la masse]	Exemples
Dures	> 140	> 25	Granit, gneiss, amphibolite, basalte, calcaire siliceux, grès alpin
Mi-dures	> 140	< 25	Calcaire, dolomie, serpentine
	60...140	50...100	Grès calcaire
Tendres	60...140	< 50	Grès molassique, calcaire marneux, schistes micacés, roches altérées
	< 60	0...100	

Tab. 3 Classification simplifiée de la dureté des roches selon SN 670 710 d [4].



Désignation de l'essai	Résistance			Performances particulières					Essai selon norme SIA 162/1
	B 25/15	B 30/20 et B 35/25	B 40/30 ≥	Étanchéité à l'eau	Résistance au gel	Résistance au gel et aux fondants chimiques	Résistance aux agents chimiques	Résistance à l'abrasion	
Analyse granulométrique	(*)	(*)	*	*	*	*	*	*	11
Propreté		(*)	*	*	*	*	*	*	12
Teneur en matières fines		(*)	*	*	*	*	*	*	13
Examen pétrographique	(*)	(*)	*	*	*	*	*	*	14
Impuretés organiques	(*)	(*)	*	*	*	*	*	*	15

\* essai indispensable  
(\*) l'essai peut être remplacé par des valeurs empiriques ou par des essais préalables

Tab. 2 Extrait du tableau 16 de la norme SIA 162 [2].

## Exigences concernant les granulats

Les granulats doivent de façon générale se composer de grains propres, durs, compacts, résistant à l'abrasion et durables, assurant une bonne liaison avec la pâte de ciment. Des expériences, dont les normes [3, 4] se font partiellement l'expression, nous ont appris que pour permettre cette liaison, les granulats doivent témoigner de propriétés précises. Nous allons traiter ici des plus importantes.

Selon la norme SIA 162, il faut contrôler «avant l'emploi la convenance des granulats quant à leur pétrographie, leur propreté, leur dureté, leur forme et leurs propriétés de surface. On peut également se référer à des ouvrages exécutés» [2].

Dans la norme SIA 162/1 [3], on trouve décrits cinq essais auxquels doivent être soumis les granulats utilisés pour tous les bétons  $\geq$  B 40/30, ainsi que pour les bétons étanches à l'eau et les bétons résis-

tant au gel et aux fondants chimiques. Certains des essais doivent également être exécutés sur les granulats utilisés pour d'autres sortes de bétons (voir *tableau 2*). Pour l'exécution des différents essais, voir la norme.

### Résistance et dureté

La résistance à la compression du gravier et du sable d'origine naturelle et du matériau concassé en provenant est généralement suffisante. Elle se situe entre 50 et 300 N/mm<sup>2</sup>, mais le plus souvent entre 150 et 200 N/mm<sup>2</sup>. Il est donc clair que la résistance à la compression du béton n'est pas déterminée par les granulats, mais par la résistance de la pâte de ciment durcie ainsi que par la liaison entre cette pâte et les granulats.

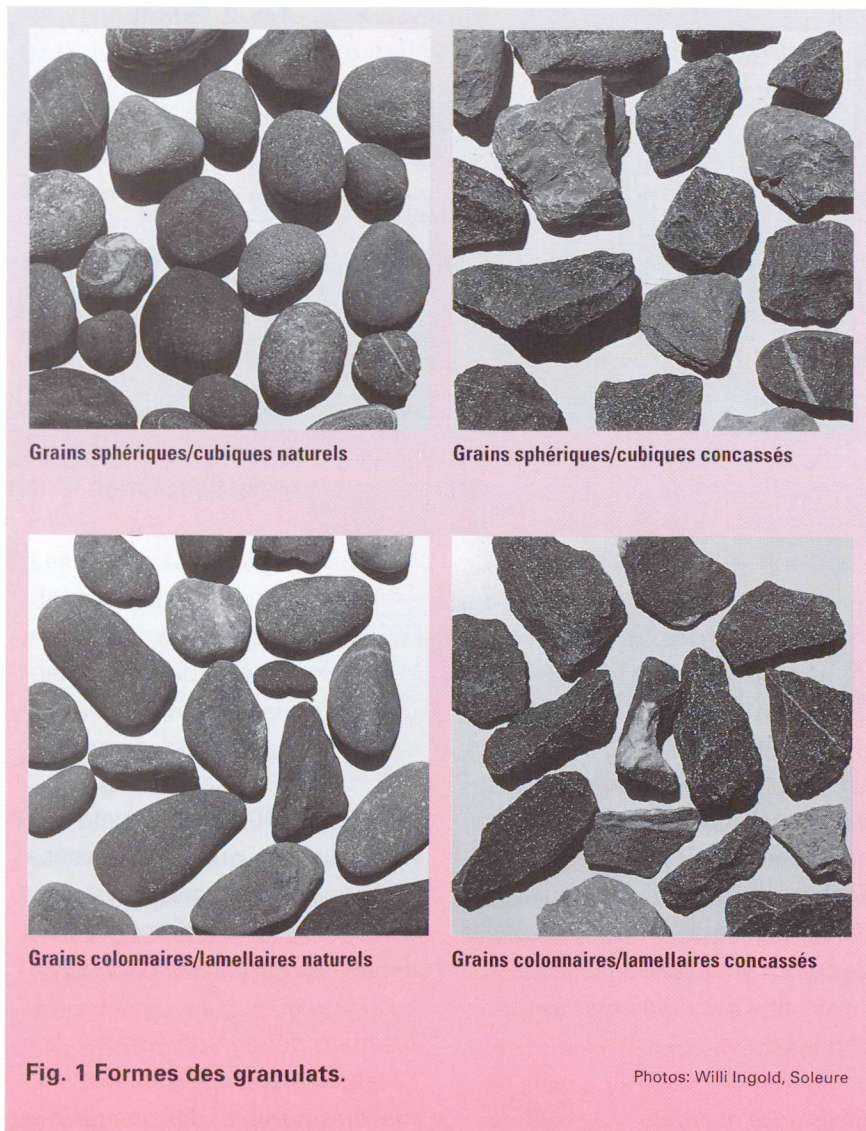
Les granulats peuvent être classés selon leur dureté: les minéraux durs rayent l'acier, alors que les minéraux tendres ou de dureté moyenne sont rayés par l'acier. Dans la nor-

me SN 670 710 d [4], la dureté des minéraux ainsi que leur résistance moyenne à la compression servent à une classification simplifiée de la dureté des roches (voir *tableau 3*).

### Examens pétrographiques

La teneur en roches tendres et en matières nuisibles des granulats est déterminée selon la norme SIA 162/1 (essai no 14) [3]. Les roches tendres se désagrègent facilement sous l'effet d'un coup de marteau. La plupart des molasses et des conglomérats naturels, les marnes calcaires et les marnes schisteuses, ainsi que les micaschistes, les rauwacken et les calcaires jurassiques poreux, sont par exemple des roches tendres. Pour les bétons à résistance  $\geq$  B 30/20 et pour ceux à propriétés particulières, la teneur en roches tendres est limitée à 5 % de la masse totale des granulats; avec une teneur comprise entre 5 % et 10 %, il faut contrôler les propriétés du béton durci. Pour les bétons





B 20/10 et B 25/15, 10 % ou 10 à 15 % représentent les valeurs limites.

#### Forme du grain

La forme du grain est une caractéristique importante des granulats. Le rapport entre la plus petite et la plus grande dimension est déterminant pour la caractérisation de la forme, c'est-à-dire que

$$\frac{\text{épaisseur (plus petit diamètre) / longueur (plus grand diamètre)}}{= c / a.}$$

Pour la fabrication du béton, on préfère les grains de forme ramassée

(grains cubiques ou sphériques), pour lesquels  $c/a \geq 0,40$ . Les grains avec  $c/a < 0,40$  sont qualifiés de colonnaires ou lamellaires; ils donnent des bétons frais peu malléables, difficiles à mettre en œuvre. La combinaison de cette caractéristique avec la caractéristique «naturel (non concassé) – concassé» permet de définir quatre classes:

- grains sphériques/cubiques naturels
- grains colonnaires/lamellaires naturels
- grains sphériques/cubiques concassés

- grains colonnaires/lamellaires concassés

Ils sont mis en parallèle à la figure 1.

Pour obtenir des bétons de même ouvrabilité, les grains plats allongés et les grains à surface rugueuse exigent davantage d'eau que les grains ronds à surface lisse. Les grains plats présentent le risque de se disposer horizontalement lors du compactage, ce qui entraîne une concentration d'eau sous les grains, avec pour corollaire des points faibles dans le béton.

#### Propreté

Les impuretés organiques (p. ex. sucre) peuvent retarder considérablement, ou même interrompre, l'hydratation du ciment, et donc également la prise et le durcissement du béton.

Selon la norme SIA 162/1, essai no 15, on peut admettre pour des bétons de résistance  $\geq B 30/20$ , ainsi que pour des bétons à propriétés particulières, une teneur en impuretés organiques allant au plus jusqu'à 0,05 % de la masse du sable. Les impuretés minérales telles que pyrite, charbon et autres matériaux de faible résistance au gel tels que particules d'argile, de marne ou de schiste, ainsi que les matériaux à



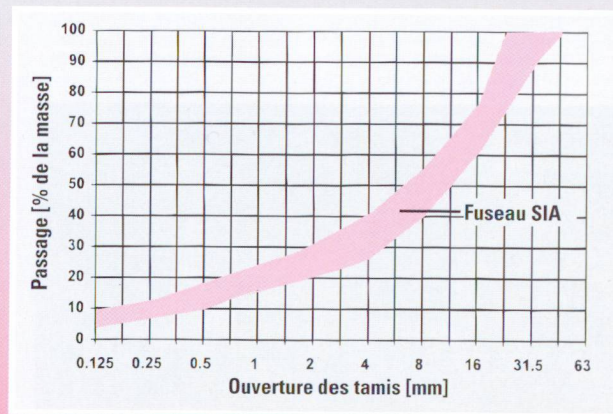


Fig. 2 Si la courbe granulométrique des granulats naturels roulés n'est pas fixée par des essais préliminaires, elle doit, selon la norme SIA 162 [2], se situer à l'intérieur de la zone hachurée («fuseau SIA»).

forte porosité et faible résistance à la compression (tous détectés par l'essai no 14 de la norme SIA 162/1 [3]), nuisent à la durabilité du béton.

### Sable et fines

Le sable, c'est-à-dire la fraction 0–4 mm, exige environ 95 % de la surface spécifique d'un mélange de grave convenant pour la fabrication du béton. Plus le sable est fin, plus la surface que doit recouvrir la pâte de ciment est grande. Avec une quantité de ciment déterminée, cela signifie qu'une plus grande quantité d'eau est nécessaire pour que le béton frais puisse être travaillé. Il en résulte un rapport e/c plus élevé, avec pour conséquence une diminution de la résistance à la compression du béton durci.

On compte parmi les fines la fraction < 0,125 mm de la grave, le ciment et, le cas échéant, les ajouts. Dans le béton frais, les fines servent de lubrifiant, lequel améliore l'ouvrabilité et le pouvoir de rétention d'eau, diminue le risque de ségrégation lors de la mise en place et facilite le compactage. Des teneurs en fines trop élevées ont des conséquences négatives: le béton frais devient pâteux et collant, alors que le béton durci témoigne d'une résistance moindre, ainsi que d'un retrait et d'un fluage élevés. Selon les re-

commandations du TFB, la teneur en fines pour des bétons avec granulats d'un diamètre maximum de 32 mm doit se situer entre 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>, et entre 400 et 450 kg/m<sup>3</sup> pour des bétons avec granulats d'un diamètre maximum de 16 mm [5]. Dans la norme SIA 162, on recommande pour les bétons à propriétés particulières (spécialement bétons pompés) et pour les bétons apparents, une teneur en fines d'au moins 350 kg/m<sup>3</sup>.

### Granulats pour bétons classés

La composition granulométrique des granulats est représentée sous forme de courbes granulométriques. Il en a été traité en détail dans le précédent «Bulletin du ciment», consacré aux analyses granulométriques des granulats [6].

La composition granulométrique des mélanges de grave naturels peut varier fortement. C'est pourquoi la grave utilisée pour la fabrication du béton est généralement lavée, séparée en fractions granulométriques (sable 0–4 mm, gravier 4–8, 8–16, 16–32 mm), puis remélangée. Ce procédé est décrit dans la norme SIA 162, pour des bétons  $\geq$  B 30/20 et pour des bétons à propriétés particulières. (Pour un béton B 25/15, on peut utiliser des mélan-

ges de grave naturels si leurs qualités sont connues et conformes.) Dans l'édition 1968 de la norme SIA 162, les limites à l'intérieur desquelles devaient se situer les courbes granulométriques des granulats pour les bétons à haute résistance et les bétons spéciaux étaient définies avec précision. Selon la version actuellement en vigueur de la norme SIA 162 [2], une restriction analogue n'est applicable que pour la grave roulée dont la courbe granulométrique n'a pas été fixée par des essais préliminaires («fuseau SIA» dans figure 2).

### Mélanges de granulats de bonne composition

La composition granulométrique doit en principe être choisie de façon à ce que les granulats forment une ossature avec peu de vides. Cela signifie que les vides entre les gros grains doivent pouvoir être dans une large mesure remplis par des grains plus petits; le but est d'obtenir une densité de tassement aussi élevée que possible. Dans la plupart des cas, on fera bien de s'en tenir aux indications pour courbes granulométriques de mélanges de granulats figurant dans la norme SIA 162 («fuseau SIA» dans figure 2). Les mélanges de granulats dont les courbes granulométriques



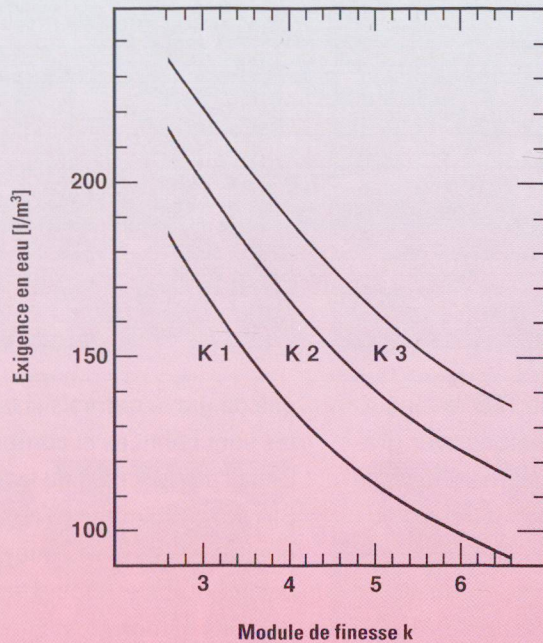


Fig. 3 Exigence en eau des bétons en fonction du module de finesse k des granulats (selon [8, 9]).

se situent au-dessus du fuseau SIA ont un trop fort pourcentage de fines, et donc un besoin en eau et en ciment très élevé. Ils peuvent, le cas échéant, ne pas convenir à la fabrication du béton. Les mélanges de granulats dont les courbes granulométriques se situent au-dessous du fuseau SIA ne sont généralement pas indiqués non plus pour la fabrication du béton, car en raison de leur faible pourcentage de sable, ils sont difficiles à mettre en œuvre, et rarement bien compactables. Lors de la composition de mélanges de granulats, il faut parfois tenir compte d'effets contraires. On a par exemple peu de chance de réussite en essayant de composer un mélange exigeant peu de pâte de ciment (et donc peu de ciment) et assurant une bonne ouvrabilité en

même temps qu'un compactage optimal, car

- si un mélange de granulats à gros grains exige effectivement moins de pâte de ciment, il est difficile à mettre en œuvre et à compacter, et
- un mélange de granulats à grains fins exige beaucoup de pâte de ciment (grande surface spécifique des grains).

Les «granulométries discontinues» sont un cas spécial. Il s'agit en l'occurrence de compositions granulométriques dans lesquelles des fractions granulométriques entières manquent. Cela se traduit par une courbe granulométrique inconstante (voir figure 5).

Les avis sont partagés en ce qui concerne l'utilisation de compositions granulométriques constantes

et inconstantes. Quelques-uns des avantages et des inconvénients des granulats avec granulométrie discontinue appropriée par rapport aux granulats sans granulométrie discontinue sont, selon [7]:

- exigence en eau souvent moindre
- meilleure pompabilité
- résistance plus élevée du béton jeune
- résistance à l'abrasion plus élevée, mais possible diminution de la qualité antidérapante
- résistance à la compression plus faible et résistance à la traction par flexion beaucoup moins élevée

- plus faible résistance au gel

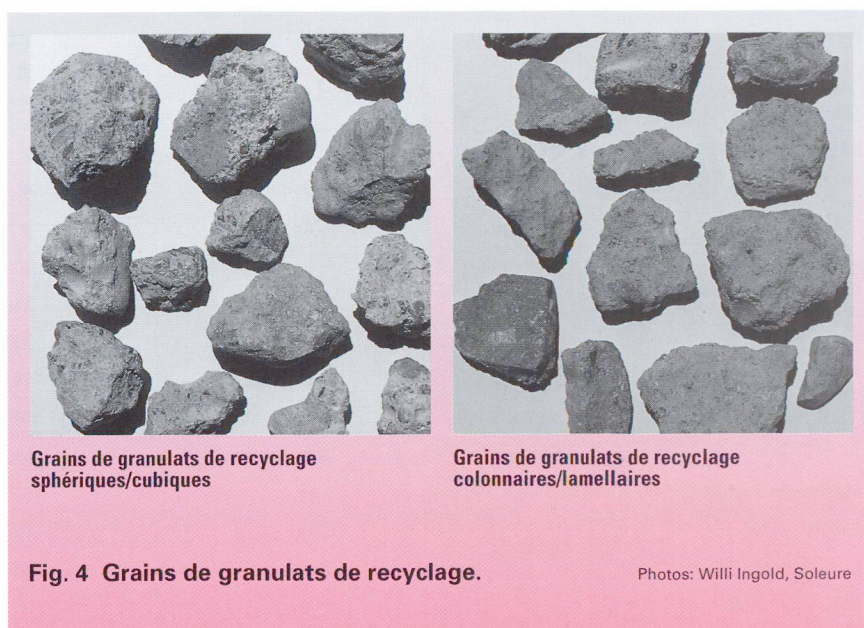
Les praticiens utilisent souvent le *module de finesse k* pour l'appréciation des courbes granulométriques des mélanges de grave, ce qui leur permet de quantifier le degré de finesse. Le module de finesse *k* se calcule comme suit:

- calculer le refus en pour cent sur chacun des tamis 0,25 à 63 mm
- additionner les pourcentages
- diviser le total par 100

En voici un exemple: pour le mélange de granulats décrit dans le tableau 1 et la figure 1 de [6], le module de finesse *k* est (voir valeurs numériques dans tableau 4):

$$k = (0 + 4 + 32 + 54 + 70 + 78 + 82 + 86 + 92) / 100 = 4,98$$





Plus le module de finesse  $k$  est petit, plus la surface spécifique du mélange de granulats est grande, et plus l'exigence en eau de ce mélange est élevée. L'exigence en eau en fonction de  $k$  est représentée à la figure 3 pour les bétons K 1 (consistance ferme), K 2 (consistance plastique) et K 3 (consistance molle). Les granulats à surface rugueuse témoignent d'une meilleure liaison avec la pâte de ciment durcie que les granulats à surface lisse, ce qui améliore leurs propriétés mécaniques (entre autres résistance plus élevée à la traction). C'est pourquoi les bétons à hautes performances avec résistances à la compression

> 100 N/mm<sup>2</sup> sont fabriqués de préférence avec de la dolomie ou du calcaire concassés [8].

### Granulats de recyclage

La recommandation SIA 162/4 [10], datant de 1994, contient des exigences concernant les granulats provenant de béton de démolition, de matériaux de démolition non triés et de matériaux routiers non bitumineux. Il a été traité de cette utilisation

très judicieuse de matériaux de recyclage ainsi que des récentes normes VSS élaborées à ce sujet dans un article du «Bulletin du ciment» de 1995, intitulé «Recyclage de matériaux de démolition» [11]. En complément, des granulats de recyclage sphériques/cubiques et colonnaires/lamellaires sont mis en parallèle à la figure 4.

### Exemples

Voici quelques années, on a fabriqué au TFB quatre bétons qui différaient principalement par la composition granulométrique (et donc par les courbes granulométriques) [12]:

- mélange A: courbe granulométrique constante, faible pourcentage de sable
- mélange B: courbe granulométrique constante, pourcentage de sable élevé
- mélange C: courbe granulométrique constante hors du fuseau SIA, pourcentage de sable trop élevé
- mélange D: courbe granulométrique inconstante avec granulométrie discontinue (fraction granulo-

Tamis [mm]	Refus dans les tamis		Refus calculé
	[g]	[% de la masse]	[% de la masse]
63			0
31,5	456	4	0 + 4 = 4
16	3192	28	4 + 28 = 32
8	2508	22	32 + 22 = 54
4,0	1778	16	54 + 16 = 70
2,0	889	8	70 + 8 = 78
1,0	479	4	78 + 4 = 82
0,50	456	4	82 + 4 = 86
0,25	661	6	86 + 6 = 92
0,125	502	4	96
< 0,125	479	4	100

Tab. 4 Calcul des refus en pour cent sur les différents tamis pour déterminer le module de finesse  $k$  [8].



Propriétés	Unité	Mélanges d'essai				
		A	B	C	D	
<b>Granulats (secs)</b>						
Passant à	0,125 mm	% de la masse	2	4	6	3
	0,25 mm	% de la masse	4	7	11	6
	0,50 mm	% de la masse	9	14	21	12
	1,0 mm	% de la masse	14	23	33	19
	2,0 mm	% de la masse	21	33	49	30
	4,0 mm	% de la masse	26	40	60	40
	8,0 mm	% de la masse	44	57	73	43
	16,0 mm	% de la masse	60	78	89	78
	31,5 mm	% de la masse	100	100	100	100
Module de finesse k	–		5,22	4,48	3,64	4,72
Eau de gâchage	l/m <sup>3</sup>		150	174	198	165
Ciment Portland	kg/m <sup>3</sup>		300	300	300	300
Rapport eau/ciment	–		0,50	0,58	0,66	0,55
<b>Béton frais</b>						
Masse volumique apparente	kg/m <sup>3</sup>		2476	2449	2399	2475
Teneur en air	Vol.-%		0,7	0,8	1,6	0,8
Étalement	mm		420	430	410	420
<b>Béton durci</b>						
Classe de béton	–		B 35/25	B 30/20	B 25/15	B 30/20
Masse volumique apparente	kg/m <sup>3</sup>		2455	2388	2325	2435
Résistance à la compression à 28 jours	N/mm <sup>2</sup>		37,0	34,4	26,7	33,3

Tab. 5 Composition des mélanges d'essai [12].

métrique 4–8 mm manque); étant donné que les autres fractions granulométriques contiennent des déclassés supérieurs et inférieurs, on trouve tout de même

quelques grains du groupe 4–8 mm.

Les fractions granulométriques utilisées et le dosage en ciment étaient les mêmes pour les quatre bétons.

La consistance molle souhaitée (K 3; étalement 410 à 430 mm) a été obtenue en réglant la quantité d'eau de gâchage.

Les données des analyses granulométriques des différents mélanges de granulats ainsi que les propriétés des bétons frais et des bétons durcis sont résumées dans le *tableau 5*. La relation entre le module de finesse k et l'exigence en eau d'un mélange de béton frais de consistance K 3 dont il a été traité plus haut peut être vérifiée sur les quatre mélanges d'essai: plus le module de finesse k est bas, plus il faut d'eau de gâchage pour fabriquer un béton ayant un étalement de  $(420 \pm 10)$  mm (voir aussi *figure 3*).

Bram van Egmond et  
Kurt Hermann, TFB

## Bibliographie

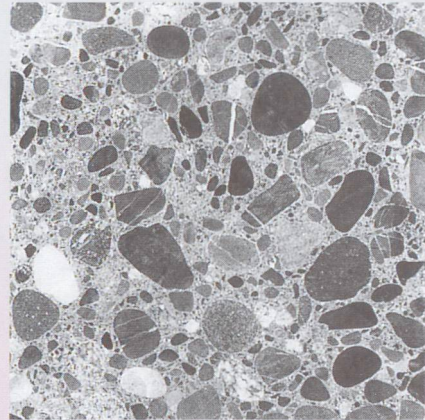
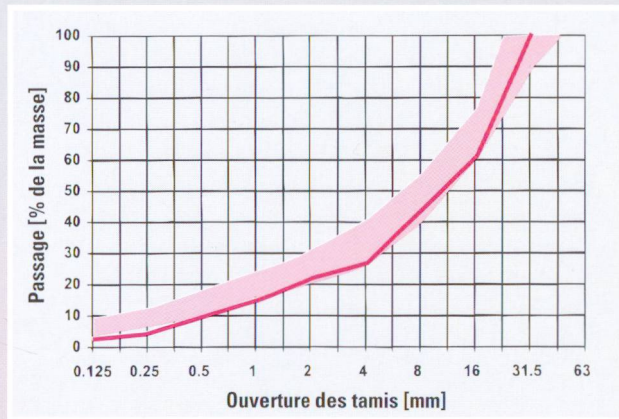
- [1] Prénorme SIA 162.051: «Béton: Performances, production, mise en œuvre et critères de conformité», édition 1994.
- [2] Norme SIA 162: «Ouvrages en béton», édition 1989 (rév. 1993).
- [3] Norme SIA 162/1: «Ouvrages en béton – Essais des matériaux», édition 1989.
- [4] Norme SN 670 710 d: Sables, graviers, gravillons et pierres concassées pour revêtements», édition octobre 1988.
- [5] Meyer, B., «Le rôle des fines dans le béton», Bulletin du ciment **54** [6], 1–8 (1986).
- [6] van Egmond, B., et Hermann, K., «Analyses granulométriques des granulats», Bulletin du ciment **64** [6], 3–7 (1996).
- [7] Weigler, H., et Karl, S., «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989).
- [8] Documentation pour le workshop TFB 955 251 «Siebanalyse von Zuschlägen» du 2 février 1996, à Wildeggen.
- [9] Trüb, U., «Module de finesse et eau de gâchage», Bulletin du ciment **50** [3], 1–6 (1982).
- [10] Recommandation SIA 162/4: «Béton de recyclage», édition 1994.
- [11] Werner, R., et Hermann, K., «Recyclage de matériaux de démolition», Bulletin du ciment **63** [2], 2–7 (1995).
- [12] Meyer, B., «Composition granulométrique du granulat et propriétés du béton», Bulletin du ciment **58** [7], 1–12 (1990) (à disposition au TFB sous forme de tiré à part).



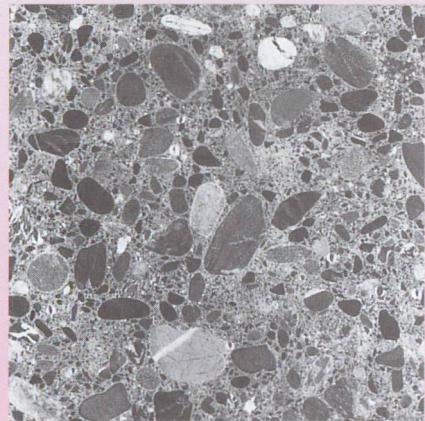
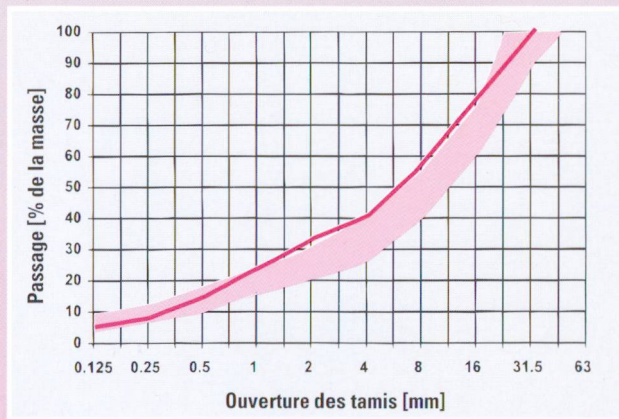
Fig. 5 Courbes granulométriques des granulats et coupes polies du béton durci de quatre mélanges d'essai (voir texte).

Photos: TFB [12]

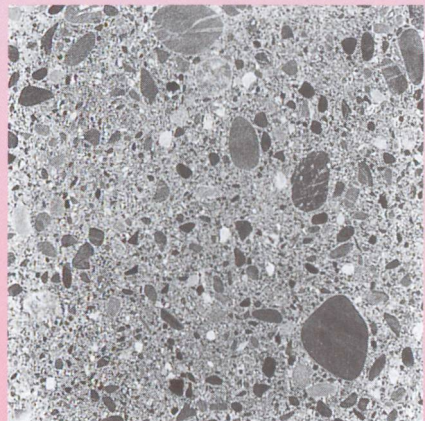
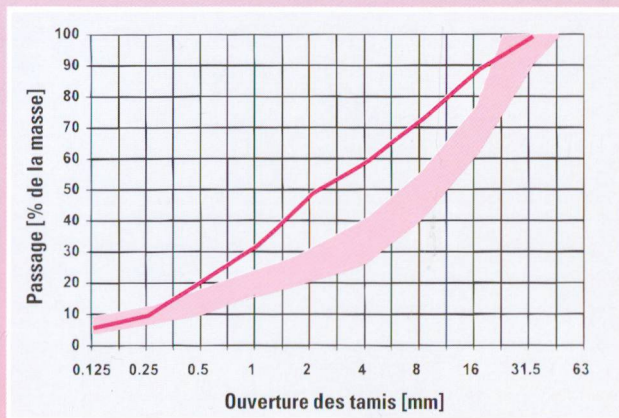
Mélange A



Mélange B



Mélange C



Mélange D

