

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 4 (1952)

Artikel: La composition du béton

Autor: Joisel, Albert

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-5060>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CI 1

La composition du béton

The composition of concrete

Die Zusammensetzung des Betons

ALBERT JOISEL

Ingénieur diplômé de l'Ecole Polytechnique
Directeur du laboratoire du Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des
Liants Hydrauliques, Paris

AVERTISSEMENT

Des milliers d'ouvrages ont été publiés au cours des soixantes dernières années, dans les divers pays du monde, sur la composition du béton.

La multiplicité des théories, des courbes granulométriques et des méthodes proposées montre assez combien le sujet est complexe. Notre propos n'est donc pas de présenter une mise au point définitive de ce problème, mais plutôt un de ses aspects.

Le présent mémoire fait partie d'une étude d'ensemble *théorique et expérimentale* qui doit être publiée dans les Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics en 1952. Il nous a été impossible de la résumer efficacement et nous avons préféré en extraire un des principes théoriques essentiels.

L'EFFET DE PAROI ET LA THÉORIE DE M. A. CAQUOT

M. Caquot a exposé dans les Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France (juillet-août, 1937) une théorie qui a jeté une vive lumière sur les problèmes de la composition du béton. Nous allons la résumer brièvement.

Si β est la compacité d'un agrégat de dimension uniforme d (pour un serrage donné) une surface fictive S coupe les grains en milieu indéfini suivant une aire βS . Si les grains sont dans un moule, sa surface intérieure les rencontre suivant une aire nulle. Tout se passe donc comme si le moule était réduit d'un volume KSd (pour une paroi indéfinie). M. Caquot adopte pour β la valeur 0,56 en moyenne.

Granulométrie discontinue

Considérons un récipient de volume unité rempli de deux sortes de grains de dimensions respective d_1 et d_2 , très petites par rapport à lui. Soient v_1 et v_2 leurs volumes apparents et posons $\alpha = d_2/d_1$. Portons v_1 en ordonnées et v_2 en abscisses

(fig. 1). Si le récipient est rempli de grains de dimension d_1 , le point figuratif est A.
Ajoutons des grains de dimension d_2 :

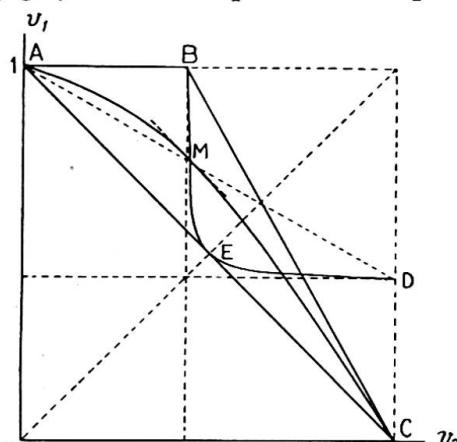


Fig. 1

Si $\alpha=1$, le point figuratif décrit le segment AC

Si $\alpha=0$, le point figuratif décrit les segments ABC

Si $\alpha=\infty$, le point figuratif décrit les segments ADC

Si α est quelconque, le point figuratif décrit une courbe AMC.

La compacité du mélange est maximum en un point M où la tangente est parallèle à AC.

L'expérience montre que le lieu géométrique du point M est une hyperbole BED d'équations paramétriques:

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = a + \frac{b}{\mu} \\ v_2 = a + b\mu \end{array} \right\} \text{avec } \mu = \left[\frac{\alpha + \mu_0^{1/3}}{1 + \mu_0^{1/3}\alpha} \right]^3$$

Les constantes a , b et μ_0 se déterminent aux points B et E. On en déduit facilement le Tableau I.

TABLEAU I

| $\alpha =$ | 1/2 | 1/4 | 1/8 | 1/16 | 1/64 | 1/256 | 1/512 | 1/1024 | 1/4096 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| v_1 | 0,566 | 0,667 | 0,776 | 0,862 | 0,965 | 0,990 | 0,996 | 0,998 | 0,999 |
| v_2 | 0,467 | 0,452 | 0,445 | 0,443 | 0,441 | 0,440 | 0,440 | 0,440 | 0,440 |
| $v_1 + v_2 - 0,44$ | 0,593 | 0,679 | 0,781 | 0,865 | 0,966 | 0,990 | 0,996 | 0,998 | 0,999 |

On voit qu'en première approximation, on peut prendre:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_2 = 0,44 = 1 - \beta \text{ (ce qui se voit bien sur la figure 1)} \\ v_1 = v_1 + v_2 - 0,44 \end{array} \right.$$

tout en conservant la véritable valeur de la somme $v_1 + v_2$, ce qui est l'essentiel.

Ainsi, dans le cas de la compacité maximum les deux sortes de grains supportent un effet de paroi mutuel, mais tout se passe comme si cet effet ne portait *que sur les gros grains* dont le volume est réduit par le facteur $v_1 + v_2 - 0,44$. Par exemple, pour $\alpha = 1/4$ on a pour les *volumes absolus* des deux sortes de grains:

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= 0,44 \times 0,56 = 0,246 \\ \sigma_1 &= 0,679 \times 0,56 = 0,380 \end{aligned}$$

$$\underline{\sigma_1 + \sigma_2 =} \quad \underline{0,626} \quad \text{vide} = 0,374$$

Pour trois sortes, on a:

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= 0,374 \times 0,56 = 0,209 \\ \sigma_2 &= 0,679 \times 0,246 = 0,167 \\ \sigma_1 &= 0,865 \times 0,380 = 0,329 \end{aligned}$$

$$\underline{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 =} \quad \underline{0,705} \quad \text{vide} = 0,295, \text{ etc.}$$

On peut ainsi tracer les courbes représentatives des vides en fonction des dimensions extrêmes des grains pour différentes valeurs de α (fig. 2). On voit que toutes ces courbes admettent sensiblement pour enveloppe inférieure la courbe d'équation $0,47 (D/d)^{-1/5}$.

Granulométrie continue et indéfinie

L'expérience montre que le mélange de plusieurs ensembles de granulométrie quelconque aboutit à un ensemble dont le volume des vides est au plus égal à la somme des vides des ensembles constituants.

Si l'on sépare les grains d'un ensemble continu par une série de passoires dont les ouvertures sont en progression géométrique, par exemple de rayon $100,3 \approx 2$, et si on leur affecte les indices 1, 2, 3, 4, 5 . . . , on peut dire que cet ensemble est un mélange de quatre ensembles discontinus par exemple:

$$\begin{aligned} n, n+4, n+8, \dots \\ n+1, n+5, n+9, \dots \\ n+2, n+6, n+10, \dots \\ n+3, n+7, n+11, \dots \end{aligned}$$

dont les rapports de dimension sont $\alpha = 1/16$.

Le vide minimum vers lequel tend naturellement l'ensemble est proportionnel à $(D/d)^{-1/5}$.

Il en résulte que si V_n est un volume très grand contenant des grains jusqu'à l'indice n inclusivement, et V_{n+1} le volume contenant des grains jusqu'à l'indice $n+1$ et ayant le même vide que V_n , on a:

$$\frac{\text{Vide de } V_n}{V_n} = \frac{\text{Vide de } V_{n+1}}{V_{n+1}} \times 2^{1/5}$$

D'où les expressions suivantes:

$$\begin{aligned} V_{n+1} &= V_n \times 2^{1/5} = V_n \times 1,149 \\ V_{n+2} &= V_n \times 2^{2/5} = V_n \times 1,320 \\ V_{n+3} &= V_n \times 2^{3/5} = V_n \times 1,516 \\ V_{n+4} &= V_n \times 2^{4/5} = V_n \times 1,741 \\ V_{n+5} &= V_n \times 2^{5/5} = V_n \times 2 \\ V_{n+6} &= V_n \times 2^{6/5} = V_n \times 2,297, \text{ etc.} \end{aligned}$$

D'où l'on tire:

$$\text{Volume absolu des grains d'indice } n+1 = 0,149 V_n$$

$$\begin{array}{llllll} " & " & " & " & " & n+2 = 2^{1/5} \times 0,149 V_n \\ " & " & " & " & " & n+3 = 2^{2/5} \times 0,149 V_n \\ " & " & " & " & " & n+4 = 2^{3/5} \times 0,149 V_n \\ " & " & " & " & " & n+5 = 2^{4/5} \times 0,149 V_n \\ " & " & " & " & " & n+6 = 2 \times 0,149 V_n \end{array}$$

Granulométrie continue et limitée—Correction pour les plus gros grains

(a) Béton en masse indéfinie

Prenons $V_n = 1$ et soit ρ le rayon moyen des grains d'indice n , c'est-à-dire que:

$$\rho = \frac{\text{volume des grains d'indice } n}{\text{surface des grains d'indice } n}$$

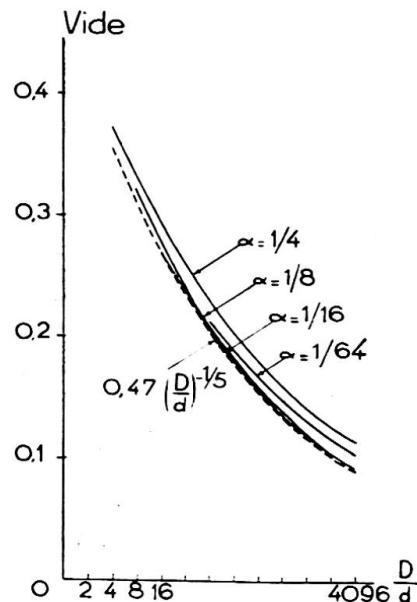


Fig. 2

Pour une granulométrie indéfinie, le volume des grains d'indice $n+1$ serait 0,149 et leur rayon moyen serait 2ρ .

La surface des grains d'indice $n+1$ serait donc $\frac{0,149}{2\rho}$

La surface des grains d'indice $n+2$ serait $\frac{2^{1/5} \times 0,149}{2^2 \rho}$

La surface des grains d'indice $n+3$ serait $\frac{2^{2/5} \times 0,149}{2^3 \rho}$, etc.

La surface totale des grains d'indice $>n$ (somme d'une progression géométrique illimitée) serait :

$$\frac{\frac{0,149}{2\rho}}{1 - \frac{2^{1/5}}{2}} = \frac{1}{5,7\rho}$$

et le rayon moyen de leurs intervalles (de volume unité puisque $V_n=1$) serait donc par définition : $5,7\rho$.

Supposons maintenant que n soit l'indice de la dernière sorte de grains (les plus gros) de l'ensemble. Cette dernière sorte de grains a pour volume absolu $V_n - V_{n-1}$.

Posons

$$V_n - V_{n-1} = x V_{n-1}$$

La surface de la dernière sorte de grains est par définition $(x V_{n-1})/\rho$. Et le rayon moyen des intervalles de cette dernière sorte est par définition ρ/x .

Or le rayon moyen de l'avant dernière sorte de grains est $\rho/2$. Il faut donc que $\rho/x = 5,7 \times \rho/2$. D'où $x=0,35$ au lieu de 0,149 pour une granulométrie indéfinie. On voit donc que la proportion de la dernière sorte de grains doit être plus forte que pour la granulométrie indéfinie.

(b) Effet de paroi des coffrages

Posons encore

$$V_n - V_{n-1} = x V_{n-1}$$

La surface des intervalles formés par la dernière sorte de grains est $(x V_{n-1})/\rho$.

La surface des coffrages est $\frac{V_n}{R} = \frac{V_{n-1}(1+x)}{R}$

On doit donc avoir :

$$\frac{x V_{n-1}}{\rho} + \frac{V_{n-1}(1+x)}{R} = \frac{0,35 V_{n-1}}{\rho}$$

D'où

$$x = \frac{0,35 - \rho/R}{1 + \rho/R}$$

Cette formule permet de calculer la proportion de la dernière sorte de grains pour un rayon moyen donné des coffrages.

Comme r , rayon moyen des grains les plus gros $= \rho\sqrt{2}$, on en déduit facilement le Tableau II.

M. Caquot considère que pour un vide 100, la limite de la zone du liant ressort à 0,4 mm. correspondant à un volume 200.

TABLEAU II

| | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| ρ/R | 0,175 | 0,140 | 0,105 | 0,070 | 0,035 | 0 |
| r/R | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,05 | 0 |
| x | 0,149 | 0,184 | 0,222 | 0,262 | 0,304 | 0,35 |

Le tracé de ses courbes granulométriques est donc représenté par la figure 3.
Exemple: Moule cubique de 140 mm. d'arête; agrégat roulé $D \approx 12,5$ mm.

$$R = \frac{(140)^3}{6 \times (140)^2} = 23,3 \text{ mm.}$$

$$r \approx \frac{\pi(12,5)^3}{\pi \times 12,5^2} = 2,1 \text{ mm.}$$

$$\frac{r}{R} = \frac{2,08}{23,3} = 0,09.$$

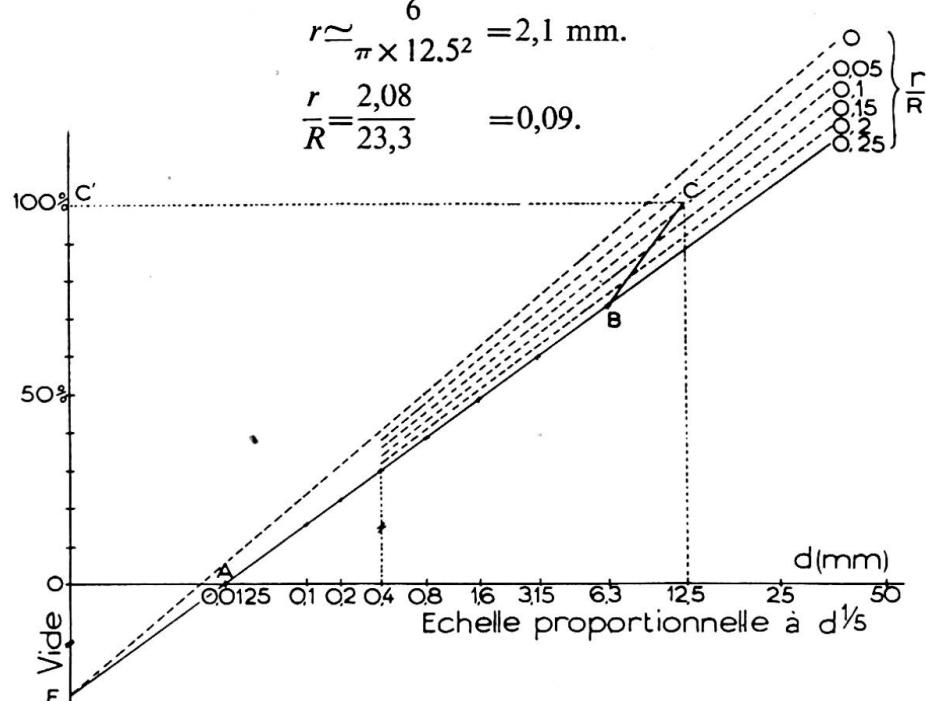


Fig. 3. Volume absolu de matériaux solides passant à travers les passoires

La courbe granulométrique est formée par les deux segments de droite ABC. On en déduit facilement les proportions des diverses classes de grains:

| | | % |
|--------------|---|-----------|
| 0-0,1 mm. | . | 16 |
| 0,1-0,2 mm. | . | 7 |
| 0,2-0,4 mm. | . | 7 |
| 0,4-0,8 mm. | . | 8 |
| 0,8-1,6 mm. | . | 11 |
| 1,6-3,15 mm. | . | 11 |
| 3,15-6,3 mm. | . | 13 |
| 6,3-12,5 mm. | . | 27 |
| | | <hr/> 100 |

On a aussi le dosage de l'eau: $OE/EC' = 227 \text{ litres/m}^3$

PRINCIPE DE LA COMPACITÉ MAXIMUM

Pour obtenir une courbe granulométrique de référence, M. Caquot a été conduit à adopter un nombre fixant la compacité d'un ensemble de grains solides de même grosseur. Il a choisi 0,56 qui est la compacité moyenne qu'on obtient habituellement, mais on trouve expérimentalement suivant les formes de grains et aussi suivant le serrage adopté des compacités sensiblement différentes: La compacité maximum de billes sphériques identiques est $\frac{\pi}{3\sqrt{2}}=0,74$ et pratiquement des grains d'agrégat de même grosseur atteignent des compacités de 0,65 grâce à certaines vibrations sous pression.

Par contre, la compacité de certains ensembles de grosseur uniforme peut être assez faible, dans le cas de serrage par coulage par exemple, surtout si la forme des grains est défectueuse, s'ils comportent des plaquettes ou des aiguilles, ou s'ils sont petits.

Il convient donc d'envisager les conséquences des écarts de compacité sur l'échelle des abscisses qui doit être adoptée dans chaque cas pour que la courbe granulométrique reste linéaire. Pour cela, nous étudierons quelques valeurs de la compacité β d'un ensemble de grains de même grosseur.

1er cas $\beta=0,52$

L'hyperbole est évidemment toujours la courbe la plus simple qu'on puisse adopter comme lieu du point M (fig. 1) correspondant au maximum de compacité.

Posons comme l'a fait M. Caquot:

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = a + \frac{b}{\mu} \\ v_2 = a + b\mu \end{array} \right\} \text{avec } \mu = \left[\frac{\alpha + \mu_0^{1/3}}{1 + \mu_0^{1/3}\alpha} \right]^3$$

Il est clair que la forme de cette fonction μ n'interviendra pas dans le résultat final; nous cherchons en effet l'enveloppe de toutes les courbes telles que celles de la figure 2, c'est-à-dire des courbes correspondant à toutes les valeurs de μ , ou à toutes les valeurs de α . La fonction μ n'intervient que dans la répartition de ces courbes, mais l'enveloppe reste la même.

On détermine facilement les constantes a , b , μ_0 aux points B et E (fig. 1): $a=0,479$; $b=0,021$; $\mu_0=0,04$. Et l'on en déduit le Tableau III:

TABLEAU III

| $\alpha =$ | 1/2 | 1/4 | 1/8 | 1/16 | 1/32 | 1/64 | 1/128 | 1/256 | 1/512 | 1/1024 | 1/2048 | 1/4096 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| v_1 | 0,535 | 0,608 | 0,711 | 0,815 | 0,896 | 0,942 | 0,970 | 0,984 | 0,993 | 0,996 | 0,998 | 1,000 |
| v_2 | 0,487 | 0,482 | 0,481 | 0,480 | 0,480 | 0,480 | 0,480 | 0,480 | 0,480 | 0,480 | 0,480 | 0,480 |
| $v_1 + v_2 - 0,48$ | 0,542 | 0,610 | 0,712 | 0,815 | 0,896 | 0,942 | 0,970 | 0,984 | 0,993 | 0,996 | 0,998 | 1,000 |

En prenant comme précédemment:

$$v_2 = 0,48 \text{ quel que soit } \alpha$$

et $v_1 = v_2 - 0,48$

on peut calculer les vides d'ensembles discontinus pour différentes valeurs de α , comme il a été indiqué précédemment; on obtient le Tableau IV:

TABLEAU IV

| α | Nombres de sortes de grains | | | | | | |
|----------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| 1/2 | 0,48 | 0,468 | 0,449 | 0,430 | 0,411 | 0,394 | 0,377 |
| 1/4 | 0,48 | 0,433 | 0,364 | 0,307 | 0,256 | 0,215 | 0,179 |
| 1/8 | 0,48 | 0,380 | 0,276 | 0,205 | 0,156 | | |
| 1/16 | 0,48 | 0,326 | 0,208 | 0,134 | | | |
| 1/32 | 0,48 | 0,284 | 0,162 | 0,083 | | | |
| 1/64 | 0,48 | 0,260 | 0,140 | | | | |
| 1/128 | 0,48 | 0,243 | 0,123 | | | | |
| 1/256 | 0,48 | 0,237 | | | | | |

On peut ainsi construire les courbes représentatives des vides *en fonction des dimensions extrêmes* des grains pour les diverses valeurs de α (fig. 4).

On trouve que toutes ces courbes admettent pour enveloppe:

$$0,504(D/d)^{-1/6} = \frac{0,504}{(D/d)^{0,167}}$$

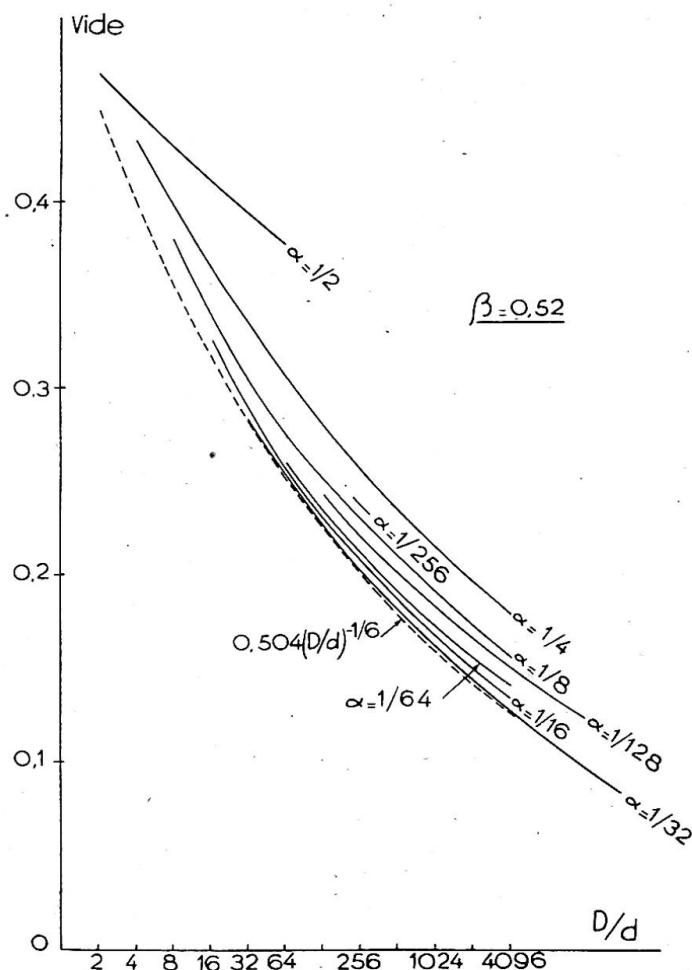


Fig. 4

2ème cas $\beta=0,56$

On trouve: $a=0,432$; $b=0,0682$; $\mu_0=0,12$.

Les valeurs de v_1 et v_2 en fonction de α ont été données précédemment.

On en déduit les vides d'ensembles discontinus pour différentes valeurs de α du Tableau V.

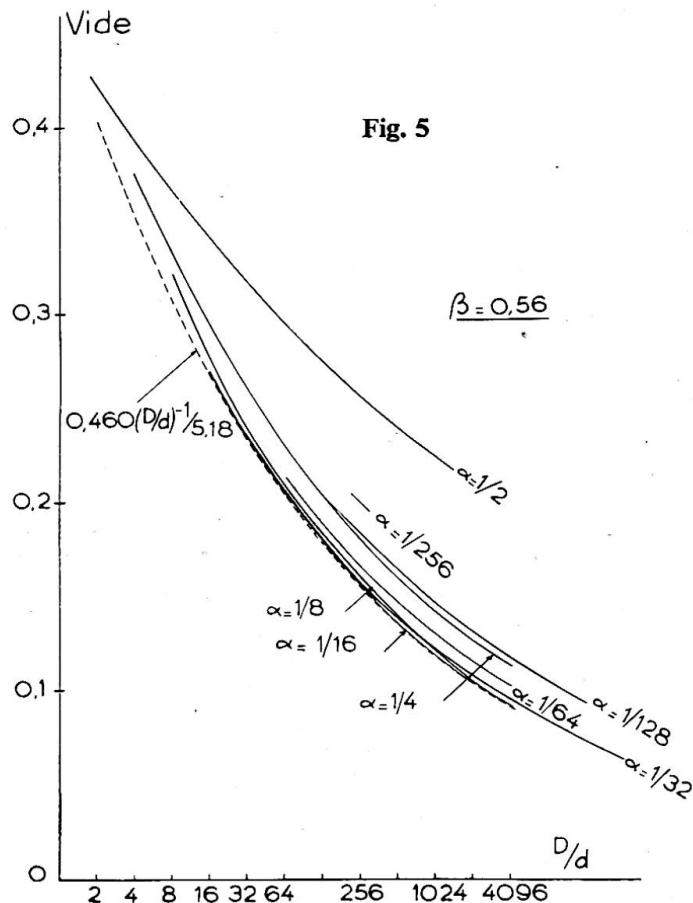
TABLEAU V

| α | Nombres de sortes de grains | | | | | | |
|----------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 |
| 1/2 | 0,44 | 0,422 | 0,392 | 0,364 | 0,341 | 0,317 | 0,295 |
| 1/4 | 0,44 | 0,374 | 0,295 | 0,230 | 0,181 | 0,142 | 0,114 |
| 1/8 | 0,44 | 0,322 | 0,208 | 0,139 | 0,092 | | |
| 1/16 | 0,44 | 0,270 | 0,157 | 0,092 | | | |
| 1/32 | 0,44 | 0,235 | 0,122 | 0,064 | | | |
| 1/64 | 0,44 | 0,213 | 0,103 | | | | |
| 1/128 | 0,44 | 0,204 | 0,094 | | | | |
| 1/256 | 0,44 | 0,200 | | | | | |

On peut ainsi tracer les courbes représentatives de ces vides en fonction des dimensions extrêmes des grains (fig. 5).

On trouve que toutes ces courbes admettent pour enveloppe:

$$0,460 (D/d)^{-1/5,18} = \frac{0,460}{(D/d)^{0,193}}$$



3^{ème} cas $\beta=0,60$

On trouve: $a=0,375$; $b=0,125$; $\mu_0=0,2$. On en déduit les valeurs de v_1 et v_2 (Tableau VI).

TABLEAU VI

| $\alpha =$ | 1/2 | 1/4 | 1/8 | 1/16 | 1/32 | 1/64 | 1/128 | 1/256 | 1/512 | 1/1024 | 1/2048 | 1/4096 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| v_1 | 0,586 | 0,697 | 0,806 | 0,885 | 0,940 | 0,967 | 0,985 | 0,991 | 0,994 | 0,997 | 1,000 | 1,000 |
| v_2 | 0,449 | 0,423 | 0,411 | 0,406 | 0,403 | 0,401 | 0,401 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 |
| $v_1 + v_2 - 0,40$ | 0,635 | 0,720 | 0,817 | 0,891 | 0,943 | 0,968 | 0,986 | 0,991 | 0,994 | 0,997 | 1,000 | 1,000 |

En prenant:

$$\begin{aligned}v_2 &= 0,40 \\ \text{et } v_1 &= v_1 + v_2 - 0,40\end{aligned}$$

on peut calculer les vides d'ensembles discontinus pour différentes valeurs de α du Tableau VII.

TABLEAU VII

| α | Nombres de sortes de grains | | | | | | |
|----------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 |
| 1/2 | 0,400 | 0,379 | 0,347 | 0,315 | 0,286 | 0,260 | 0,238 |
| 1/4 | 0,400 | 0,328 | 0,246 | 0,184 | 0,139 | 0,105 | 0,078 |
| 1/8 | 0,400 | 0,270 | 0,168 | 0,106 | 0,065 | | |
| 1/16 | 0,400 | 0,226 | 0,121 | 0,065 | | | |
| 1/32 | 0,400 | 0,194 | 0,094 | 0,045 | | | |
| 1/64 | 0,400 | 0,179 | 0,080 | | | | |
| 1/128 | 0,400 | 0,168 | 0,070 | | | | |
| 1/256 | 0,400 | 0,165 | | | | | |

On peut ainsi tracer les courbes représentatives de ces vides en fonction des dimensions extrêmes des grains (fig. 6).

On trouve que toutes ces courbes admettent pour enveloppe:

$$0,416 (D/d)^{-1/4,5} = \frac{0,416}{(D/d)^{0,222}}$$

La récapitulation des calculs précédents fournit le Tableau VIII:

TABLEAU VIII

| | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Compacité β d'un ensemble de grains de même grosseur | 0,52 | 0,56 | 0,60 |
| Equation de la courbe représentative du vide en fonction du rapport des dimensions extrêmes des grains | $0,504 (D/d)^{0,167}$ | $0,460 (D/d)^{0,193}$ | $0,416 (D/d)^{0,222}$ |

On vérifie que pour une granulométrie uniforme, la somme $\beta + \text{vide}$ est indépendante de β et voisine de 1 :

| | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Compacité β | 0,52 | 0,56 | 0,60 |
| $\beta + \text{vide}$ | 1,024 | 1,020 | 1,016 |

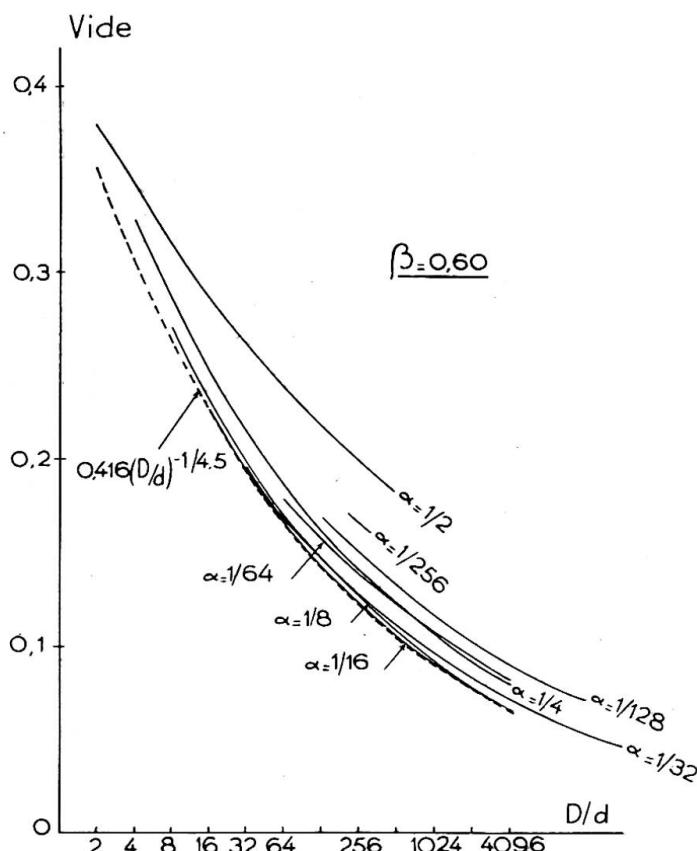


Fig. 6

Si l'on porte sur un graphique (fig. 7) en abscisse β et en ordonnée l'exposant de D/d figurant dans l'équation de la courbe représentative du vide en fonction du rapport D/d , on voit que les points obtenus définissent une courbe régulière. Ainsi, la courbe granulométrique idéale de l'agrégat est une droite dans un graphique où les abscisses sont proportionnelles à d^m (fig. 8).

Cet exposant m dépend de la compacité β à laquelle se tasse un agrégat de granulométrie uniforme en milieu indéfini.

Correction pour les plus gros grains

(a) Béton en masse indéfinie

Le principe du calcul qu'a fait M. Caquot pour des abscisses proportionnelles à $d^{1/5}$ est toujours valable. Si $V_n=1$ et si ρ est le rayon moyen des grains d'indice n , la surface totale des grains d'indice $>n$ serait encore :

$$\frac{\frac{2^m - 1}{2\rho}}{1 - \frac{2^m}{2}} = \frac{2^m - 1}{(2 - 2^m)\rho}$$

et le rayon moyen de leurs intervalles: $\frac{2-2^m}{2^m-1} \rho$.

Si n est l'indice de la dernière sorte de grains (les plus gros) cette dernière sorte a pour volume absolu:

$$V_n - V_{n-1} = x V_{n-1}$$

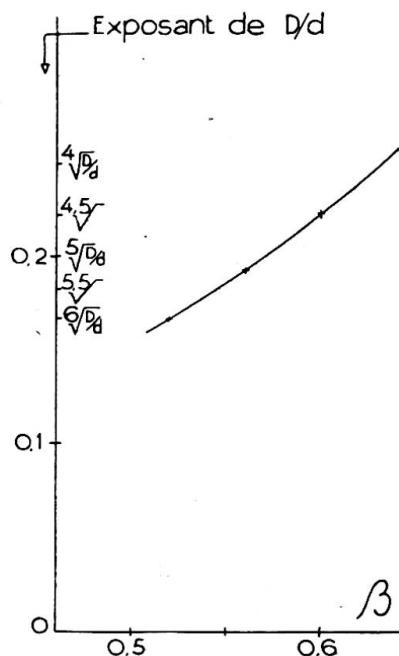


Fig. 7

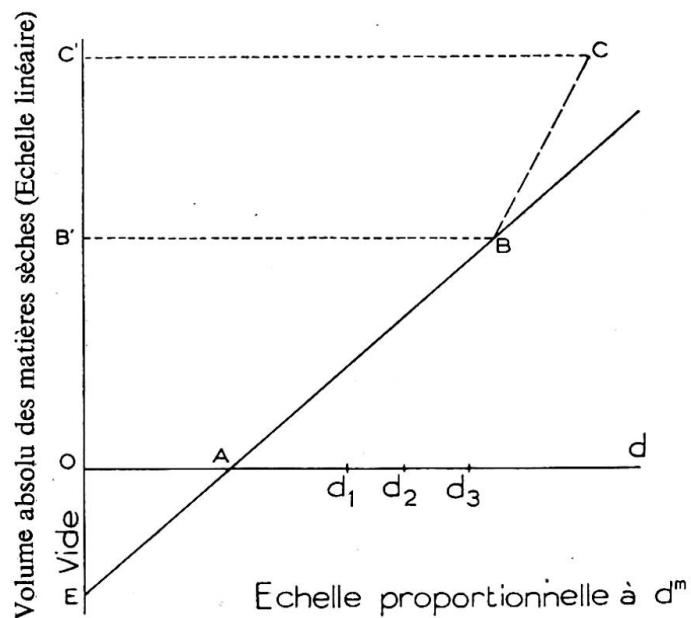


Fig. 8

La surface de la dernière sorte de grains est par définition $(x V_{n-1})/\rho$. Et le rayon moyen des intervalles de cette dernière sorte est par définition ρ/x .

Or le rayon moyen de l'avant-dernière sorte de grains est $\rho/2$.

Il faut donc que

$$\frac{\rho}{x} = \frac{2-2^m}{2^m-1} \frac{\rho}{2}$$

D'où

$$x = \frac{B'C'}{EB'} = \frac{2^m-1}{1-2^{m-1}}$$

On obtient donc x en fonction de m :

| m | 1/6 | 1/5 | 1/4 |
|-----|-------|-------|-------|
| x | 0,278 | 0,350 | 0,464 |

(b) Effet de paroi des coffrages

Comme précédemment, on a:

$$x = \frac{B'C'}{EB'} = \frac{\frac{2^m-1}{1-2^{m-1}} - \frac{\rho}{R}}{1 + \frac{\rho}{R}}$$

Comme r (rayon moyen des grains les plus gros) = $\rho\sqrt{2}$, on en déduit facilement le Tableau IX des valeurs de x qui fixent la proportion de la dernière sorte de grains:

TABLEAU IX

| ρ/R | 0,175 | 0,140 | 0,105 | 0,070 | 0,035 | 0 |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| r/R | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,05 | 0 |
| $x \begin{cases} m=1/6 \\ m=1/5 \\ m=1/4 \end{cases}$ | 0,088 0,149 0,246 | 0,121 0,184 0,284 | 0,157 0,222 0,325 | 0,194 0,262 0,368 | 0,235 0,304 0,415 | 0,278 0,350 0,464 |

La figure 9 représente les valeurs de x pour les valeurs de r/R de 0 à 0,25, en fonction de l'exposant m , ou de la compacité β d'un agrégat de granulométrie uniforme.

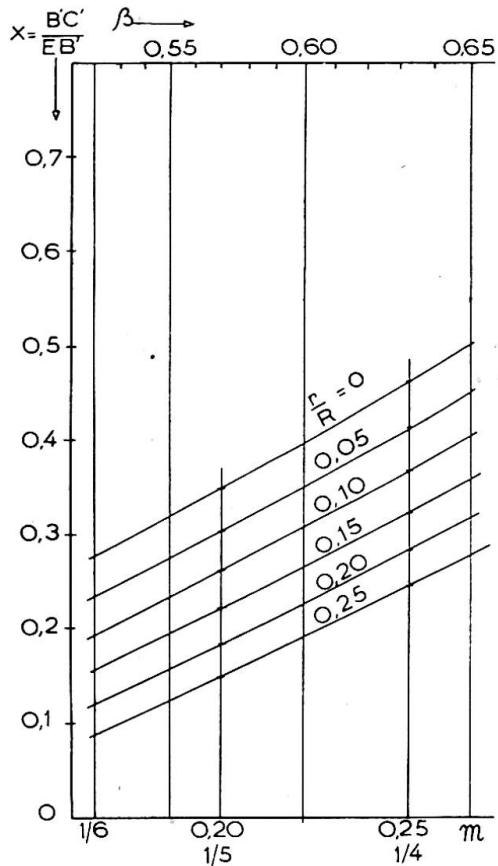


Fig. 9

l'exposant $m_p, p+1$ doit être diminué et l'échelle de l'intervalle (d_p, d_{p+1}) augmentée. Il en résulte que la proportion de cet agrégat doit aussi être augmentée puisqu'elle est toujours prise sur des ordonnées linéaires.

Résumé

La partie moyenne de la courbe granulométrique d'un béton correspondant à la compacité maximum est une droite dans un graphique où les ordonnées sont normales, et où les abscisses sont proportionnelles à d^m si d est l'ouverture des passoires.

L'exposant m est de l'ordre de 1/5 comme l'a prévu M. Caquot; il peut varier de 1/6 à 1/4 environ en fonction de la forme des grains et du mode de serrage.

La proportion des plus gros grains doit être calculée en fonction du coffrage.

Si le point de rencontre A de la courbe granulométrique et de l'axe des abscisses (fig.8) est fixé, le dosage de l'eau (représenté par le rapport OE/EC' en volume par mètre cube de béton) est d'autant plus faible que l'échelle est plus grande, c'est-à-dire que m est plus grand, ou que β est plus grand ce qui était facile à prévoir. On peut donc diminuer le dosage de l'eau en choisissant un agrégat qui se tasse facilement (grains bien arrondis) et un moyen de serrage puissant qui favorise l'orientation des grains (vibration, pression, etc.).

CONCLUSION

Si l'on cherche la compacité maximum d'un béton, et si l'agrégat est un mélange de diverses classes dont chacune a une forme et une facilité de serrage propre, chacune doit correspondre à une échelle particulière: si ces agrégats sont séparés par d_1, d_2, d_3 , etc. (fig. 8), à l'agrégat d_1/d_2 doit correspondre une échelle d'exposant $m_{1,2}$; à l'agrégat d_2/d_3 une échelle d'exposant $m_{2,3}$, etc.

Si la vibration a pour effet d'augmenter surtout la compacité de l'agrégat d_p/d_{p+1} ,

Summary

The middle part of the granulometric curve corresponding to a concrete of maximum density is graphically represented by a straight line if the abscissa d^m is chosen as the vertical ordinate, d representing the size of the sieve openings.

The order of magnitude of the exponent m is $1/5$, as M. Caquot has foreseen. It can vary between $1/6$ and $1/4$, depending on the shape of grain and the manner of compaction.

The proportion of the largest particles must be calculated having regard to the shutting.

Zusammenfassung

Der mittlere Teil der Kornzusammensetzung-Kurve eines Betons mit grösster Dichte ist in der graphischen Darstellung eine Gerade, wenn bei senkrechten Ordinaten die Abszisse d^m gewählt wird, wobei d die Grösse der Sieböffnungen bedeutet.

Der Exponent m ist von der Größenordnung $1/5$, wie es M. Caquot vorgesehen hatte. Er kann zwischen $1/6$ und $1/4$ variiieren, je nach Kornform und Verdichtungsart.

Das Verhältnis der grössten Kornkomponente muss in Zusammenhang mit der Schalung berechnet werden.

Leere Seite
Blank page
Page vide