Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 75 (1949)
Heft: 19: Comptoir Suisse, Lausanne, 10-26 septembre 1949

Artikel: Un aspect du problème de la granulation des bétons
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-56883

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: 26.01.2026

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

Un aspect du problème de la granulation des bétons [1]

Lors d'une série de recherches théoriques et expérimentales sur les bétons poreux [2], M. **F. Goded,** ingénieur, dont nous signalons ici les travaux, remarqua l'influence prépondérante de la *surface des agrégats* sur les propriétés du béton. Il en déduit qu'il serait indiqué d'introduire ce concept dans les expressions donnant la résistance R. En supposant constantes les autres variables telles que l'âge, le rapport Ciment/Eau, le dosage, etc., il écrit

$$R = f(S.V.D) \tag{1}$$

où S = surface des grains ; V = pourcentage des vides ; D = diamètre maximum.

La fonction (1) n'est pas facile à connaître. V dépend de la granulométrie, des conditions de fabrication et de mise en place du béton, et S ne se laisse pas déterminer simplement.

L'auteur indique que, lorsque D = constante et V varie très peu, cette fonction prend la forme

$$R = \frac{b}{S^m} \tag{2}$$

ou b = coefficient qui dépend de la valeur de D
m = exposant

En admettant $m = 1$ et en faisant usage de cette formule (2), M. Goded est arrivé à des résultats pratiques intéressants vérifiés par des essais.

L'usage de la formule (2) requiert la connaissance préalable d'une expression permettant de calculer la surface des agrégats pour n'importe quelle granulométrie. Cela n'est pas possible en toute rigueur, étant donné l'irrégularité des grains ; néanmoins l'auteur y parvient de manière approximative comme indiqué ci-dessous.

Calcul de la surface des agrégats

On admet que tous les composants ont la même forme (polyèdre régulier ou sphère, selon qu'il s'agit de ballast concassé ou roulé). Soit un ballast donné par sa granulométrie déterminée à l'aide de tamis à mailles carrées (fig. 1), et de poids Δ.

On voit que le poids des éléments de grandeurs comprises entre D et $d_1 = \epsilon_1 D$ est de $\frac{\alpha_2 \Delta}{100}$, celui des éléments compris entre $d_1 = \epsilon_1 D$ et $d_2 = \epsilon_2 D$ est $\frac{\alpha_2 \Delta}{100}$, etc. Si l'on choisit ϵ_1 et ϵ_2 suffisamment proches, on peut admettre que tous les éléments entre $\epsilon_1 D$ et $\epsilon_2 D$ sont égaux, et il en est de même pour les autres intervalles. Ainsi en appelant v_2 et s_1 le volume et la surface de chacun des polyèdres égaux, de grandeur comprise entre D et $\epsilon_1 D$, et R_1 le rayon de la sphère circonscrite, on peut écrire

$$\frac{s_1 R_1}{v_1} = \frac{s_2 R_2}{v_2} = \ldots\ldots = \delta \quad \text{(constante)}. \tag{3}$$

La valeur de cette constante δ dépend du genre de polyèdre ; elle diminue lorsque le nombre des faces augmente, en passant de $\delta = 3\sqrt{3}$ pour l'octoèdre à $\delta = 3$ pour la sphère.

Si n_i est le nombre des polyèdres égaux, de grandeur comprise entre $\epsilon_{i-1} D$ et $\epsilon_i D$, on pourra écrire :

$$v_i \, n_i \lambda = \frac{\alpha_i \Delta}{100}$$

λ étant le poids spécifique commun. La surface S_i totale de ces n_i polyèdres sera :

$$S_i = n_i s_i = s_i \frac{\alpha_i \Delta}{100} \cdot \frac{1}{v_i \lambda}$$

et, en tenant compte de (3)

$$S_i = \frac{v_i \delta}{R_i} \cdot \frac{\alpha_i \Delta}{100} \cdot \frac{1}{v_i \lambda} = \frac{\Delta}{100} \cdot \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{\alpha_i}{R_i}. \tag{4}$$

En outre, si les valeurs ϵ_{i-1} et ϵ_i sont très proches, on peut admettre que :

$$R_i = \frac{\epsilon_{i-1} + \epsilon_i}{2^2} \cdot D \tag{5}$$

[1] Nous pensons indiqué de donner à nos lecteurs un aperçu d'une étude publiée récemment en Espagne par M. **F. Goded,** au n° 65 des publications de l'*Institut Technique de la Construction*, à Madrid (Réd.).

[2] Voir « Hormigones Permeables », Revue de Obras Publicas, août-septembre 1947.

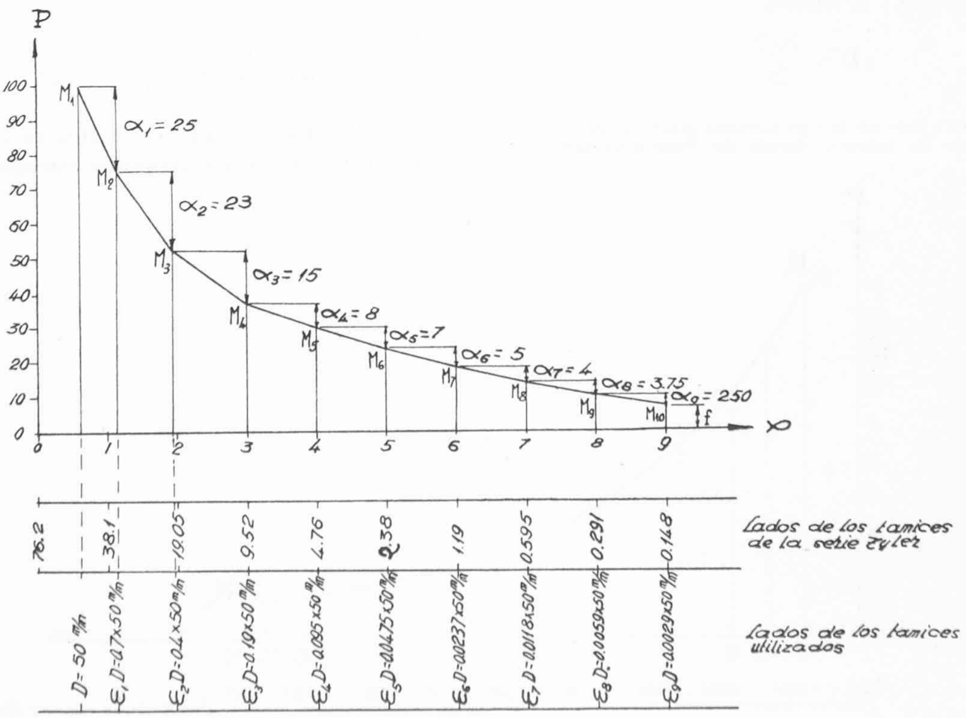

Fig. 1.

puis, en faisant la somme de tous les intervalles, on en déduit la formule permettant de calculer d'une façon approximative la surface totale des grains d'un ballast de poids Δ une fois sa granulométrie connue :

$$S = \Sigma S_i = \frac{\Delta}{25\,D} \cdot \frac{\delta}{\lambda}\, \Sigma\, \frac{\alpha_i}{\epsilon_{i-1} + \epsilon_i} \tag{6}$$

Equation de la granulométrie idéale

Ayant fixé les bases exposées ci-dessus, l'auteur se propose d'établir l'équation de la courbe granulométrique d'un béton qui répondrait à la condition de l'expression (2), avec $m = 1$; cela revient à dire que les différents pourcentages sont en rapports inverses de leurs surfaces respectives.

Supposant donnée la courbe granulométrique (fig. 2), on en établit alors l'équation par le développement suivant :

$$\text{Il pose } \frac{\alpha_1}{\frac{1}{S_1}} = \frac{\alpha_2}{\frac{1}{S_2}} = \,.\,.\,.\,.\,. = \frac{\alpha_n}{\frac{1}{S_n}} \cdot$$

En tenant compte des expressions du paragraphe précédent, cela revient à écrire :

$$\frac{\alpha_1}{\sqrt{1 + \epsilon_1}} = \frac{\alpha_2}{\sqrt{\epsilon_1 + \epsilon_2}} = \,.\,.\,.\,.\,. \frac{\alpha_n}{\sqrt{\epsilon_{n-1} - \epsilon_n}} \cdot \tag{7}$$

En outre on a :

$$100 - f = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \tag{8}$$

où f est le pourcentage des éléments inférieurs à $\epsilon_n D$ (dans la figure 2, $\epsilon_n D = 0{,}15$ mm). Il reste à déterminer la loi de variation de ϵ telle que la même importance soit accordée aux différentes grandeurs [1] ; pour cela il faut diviser $x_f - x_o$ en n parties égales et l'abscisse x_i sera donnée par

$$x_i = x_o + \frac{i}{n}\,(x_f - x_o). \tag{9}$$

Mais la représentation logarithmique de la figure 2 suppose entre la variable x et ϵ la relation :

$$\epsilon D = \frac{76{,}2}{2^x}\,.$$

[1] Voir à ce sujet : « Note sur la représentation graphique de la composition granulométrique des bétons ». *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1933, p. 224-229.

Cela permet de tirer de (9), après simplification :

$$\epsilon_i = \epsilon_f^{\frac{i}{n}}. \tag{10}$$

Portant cette valeur dans les équations (7) et tenant compte de (8) on obtient :

$$\frac{\alpha_1}{1} = \frac{\alpha_2}{\epsilon_f^{\frac{1}{2n}}} = \,.\,.\,.\,.\,. = \frac{\alpha_n}{\epsilon_f^{\frac{n-1}{2n}}} = \frac{100 - f}{\sum\limits_{i=1}^{i=n} \epsilon_f^{\frac{i-1}{2n}}} = \frac{\left(100 - f\right)\left(1 - \epsilon_f^{\frac{1}{2n}}\right)}{1 - \epsilon_f^{\frac{1}{2}}} \tag{11}$$

d'où l'on peut tirer après simplification

$$\sum_{i=1}^{i=i} \alpha_i = \frac{100 - f}{1 - \epsilon_f^{\frac{1}{2}}} \left(1 - \epsilon_f^{\frac{i}{2n}}\right) \cdot \tag{12}$$

Les deux coordonnées d'un point de la courbe cherchée sont

$$\epsilon = \epsilon_i$$
$$P = P_i = 100 - \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_i. \tag{13}$$

Compte tenu de (10) et de (12), les équations paramétriques de la courbe cherchée seront :

$$\epsilon = \epsilon_f^{\frac{i}{n}}$$
$$P = 100 - \frac{100 - f}{1 - \epsilon_f^{\frac{1}{2}}} \left(1 - \epsilon_f^{\frac{i}{2n}}\right) \cdot \tag{14}$$

En éliminant le paramètre $\epsilon_f^{\frac{i}{n}}$, et en posant

$$\frac{100 - f}{1 - \epsilon_f^{\frac{1}{2}}} = K \tag{15}$$

il reste :

$$P = 100 - K\,(1 - \sqrt{\epsilon}) = 100 - K\left(1 - \sqrt{\frac{d}{D}}\right) \tag{16}$$

équation d'une famille de courbes de l'allure de celle de la figure 2 et à chacune desquelles correspond une valeur de K.

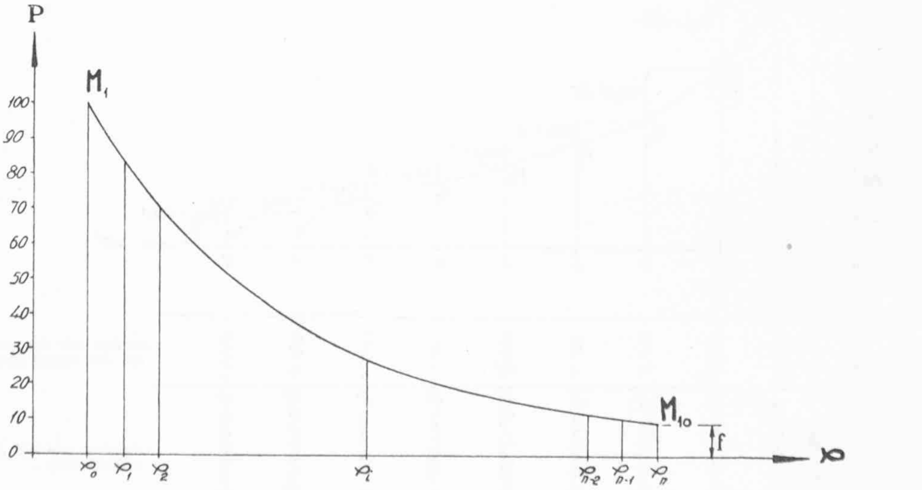

Fig. 2.

Il est facile de montrer que l'on peut écrire cette équation sous une forme plus générale :

$$P = 100 - K \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^{\rho} \right]$$

où $\rho = \frac{m}{m+1}$; l'expression 16 ne correspond qu'au cas particulier où dans l'équation (2) l'on a admis $m = 1$.

C'est par des essais qu'il conviendra de déterminer la valeur optimum de m correspondant à la granulométrie idéale.

Comparaison avec les formules de MM. les professeurs Bolomey et Füller

On constate que les formules de MM. Bolomey et Füller appartiennent toutes deux à la famille de l'équation (16). Cela est immédiat pour la formule de M. Füller

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

que l'on obtient en donnant à K la valeur $K = 100$.

Pour la formule de M. Bolomey, l'auteur démontre ce fait comme suit :

Si P = pourcentage du poids total des matières sèches (ciment + ballast) traversant le tamis de maille d

A = constante

la formule de M. Bolomey s'écrit :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}.$$

Soit Δ le poids total des agrégats ;

$\frac{\beta}{100}\,\Delta$ le poids du ciment.

Le poids total des matières sèches sera $\left(1 + \frac{\beta}{100}\right) \Delta$.

Le pourcentage des agrégats compris entre $d_{i-1} = \epsilon_{i-1} D$ et $d_i = \epsilon_i D > 0{,}30$ mm sera (fig. 3)

$$\alpha_i = \left[A + (100 - A) \sqrt{\epsilon_{i-1}}\right] - \left[A + (100 - A) \sqrt{\epsilon_i}\right] = (100 - A) \left(\sqrt{\epsilon_{i-1}} - \sqrt{\epsilon_i}\right)$$

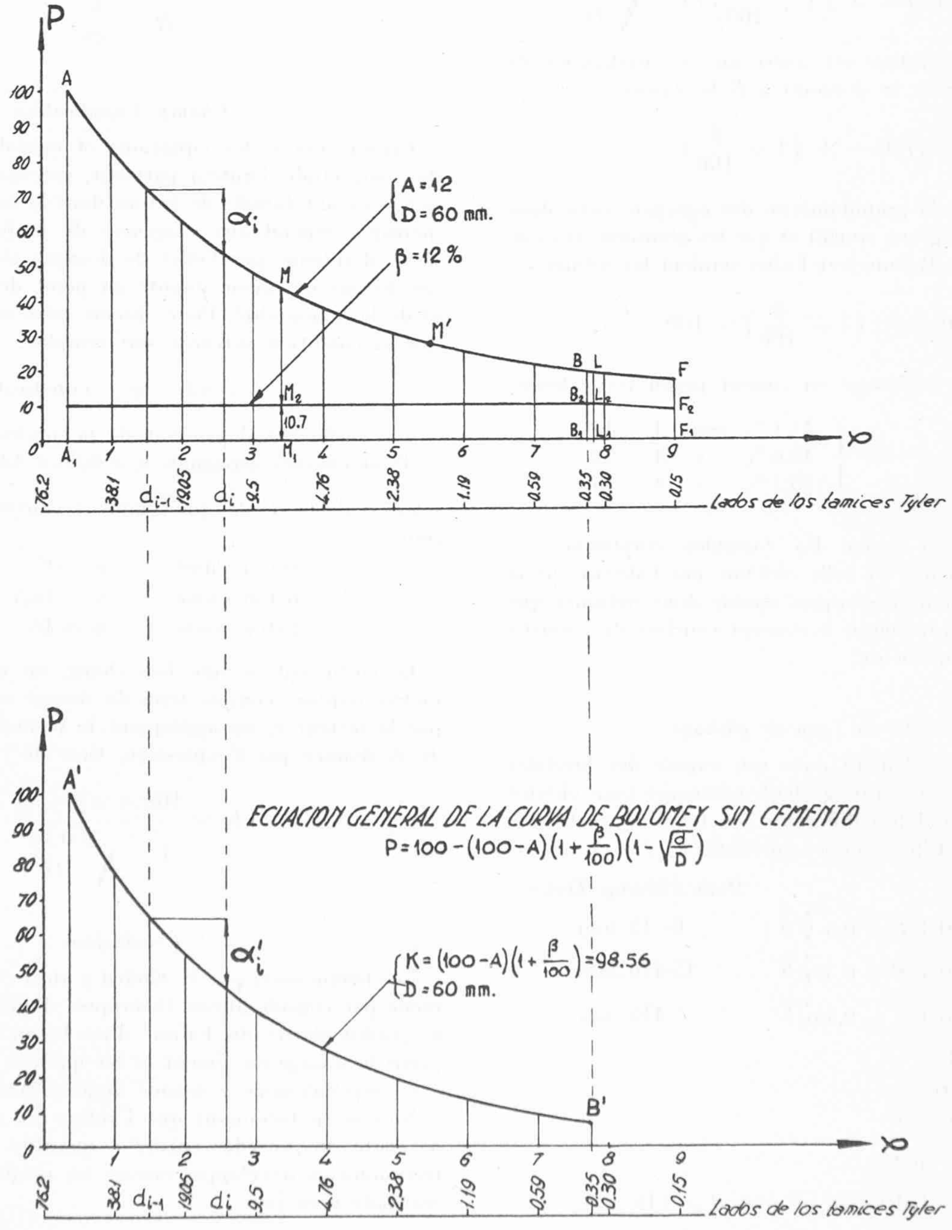

Fig. 3.

et son poids :

$$P_i = \frac{\alpha_i}{100}\left(1 + \frac{\beta}{100}\right)\Delta = (100 - A)\left(1 + \frac{\beta}{100}\right)\left(\sqrt{\epsilon_{i-1}} - \sqrt{\epsilon_i}\right)\frac{\Delta}{100}.$$

Cela suppose un pourcentage par rapport au poids total des seuls agrégats de :

$$\alpha_i' = \frac{P_i \times 100}{\Delta} = (100 - A)\left(1 + \frac{\beta}{100}\right)\left(\sqrt{\epsilon_{i-1}} - \sqrt{\epsilon_i}\right)$$

d'où l'on tire

$$\sum_{i=1}^{i=i} \alpha_i' = (100 - A)\left(1 + \frac{\beta}{100}\right)\left(1 - \sqrt{\epsilon_i}\right).$$

Mais on sait par ailleurs que $P_i = 100 - \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_i'$. On en conclut que la relation de M. Bolomey peut s'écrire :

$$P_i = 100 - (100 - A)\left(1 + \frac{\beta}{100}\right)\left(1 - \sqrt{\frac{d_i}{D}}\right).$$

Cette dernière équation est aussi un cas particulier de l'équation (16) obtenu en donnant à K la valeur

$$K = (100 - A)\left(1 + \frac{\beta}{100}\right).$$

Remarquons que la granulométrie des agrégats varie dans ce cas avec le dosage en ciment et que les granulométries de MM. les professeurs Bolomey et Füller seraient les mêmes si :

$$(100 - A)\left(1 + \frac{\beta}{100}\right) = 100$$

c'est-à-dire quand le dosage en ciment prend les valeurs :

$$\beta = \frac{A}{1 - \frac{A}{100}} = \begin{cases} 11{,}1\ \% & \text{pour } A = 10 \\ 13{,}6\ \% & \text{» } A = 12 \\ 16{,}3\ \% & \text{» } A = 14 \end{cases}$$

La correspondance entre les formules empiriques de MM. Bolomey et Füller et celle obtenue par l'auteur sur la base de considérations théoriques semble donc indiquer que la manière dont il a introduit le concept « surface du ballast » (équation 2) est judicieuse.

Formules de l'eau de gâchage

L'auteur donne également dans son exposé des formules donnant la quantité d'eau de gâchage nécessaire pour obtenir des bétons de maniabilité différente, en fonction de la surface S du ballast. Elles sont les suivantes :

	Pour « Slump Test »
$E = 0{,}3\ C + 0{,}3\ F + 0{,}3\ \sqrt[4]{S}$	0- 15 mm
$E = 0{,}33C + 0{,}33F + 0{,}37\sqrt[4]{S}$	15-110 mm
$E = 0{,}36C + 0{,}36F + 0{,}45\sqrt[4]{S}$	> 110 mm

Dans ces formules :

E = eau en litres ;
C = ciment en kgs ;
$F = \frac{f}{100} - \Delta$ en kgs ;
S = surface du ballast en m² avec $d > 0{,}15$ mm.

Pour déterminer S, il propose l'usage de l'expression suivante :

$$S = \frac{\Delta \cdot \delta \cdot (100 - f)}{50\,\lambda\,\sqrt{0{,}15\,D}} \quad \text{pour granulométrie conforme à l'expression (16)}$$

dans laquelle λ = poids spécifique en kgs/dm³ ;
D = diamètre maximum en mm ;
δ = 3 pour ballast roulé ;
δ = 3,7 pour ballast concassé ;
S = surface en m².

Dosage discontinu

L'auteur montre que sa méthode de détermination de la granulométrie optimum est applicable également en cas de composition discontinue, soit au cas où il manquerait ou au cas où l'on voudrait supprimer les éléments compris entre $\epsilon_a D$ et $\epsilon_b D$ au sens des notations précédentes.

Tout revient à choisir en définitive, parmi les solutions possibles, celle qui donne la surface minimum, puisque selon (2)

$$R = \frac{b}{S^m}.$$

Champ d'application

Faisant usage des équations et considérations contenues dans son étude, l'auteur parvient, par exemple, à démontrer que pour une famille de bétons dont la composition granulométrique répond aux exigences de la formule (16), il est facile d'obtenir, par l'effet de dosages en ciment différents, des bétons de même qualité au point de vue du transport et de la maniabilité. Pour obtenir cette équivalence, il suffit que la condition suivante soit remplie :

$$f + n\beta = \psi = \text{constante.} \qquad (17)$$

n = coefficient dépendant de la qualité du ciment.
(Pour ciments espagnols n = 0,86 à 1,00.)

Les valeurs de ψ qui semblent convenables en pratique sont :

béton vibré : $\psi = 15$
béton damé : $\psi = 16{,}5$
béton coulé : $\psi = 18$

Le coefficient ψ une fois choisi, on obtient la granulométrie requise, compte tenu du dosage en ciment introduit par le facteur β, en appliquant la formule (16) avec valeur de K donnée par l'expression, tirée de (15) et (17),

$$K = \frac{100 + n\beta - \psi}{1 - \sqrt{\frac{0{,}15}{D}}}.$$

Conclusions

Le chemin suivi par M. Goded a ainsi conduit à l'établissement par considérations théoriques d'une équation donnant la granulométrie du ballast d'un béton dont on impose à priori le dosage en ciment et les qualités de maniabilité.

Ce résultat nous a semblé digne d'être signalé.

Notons en terminant que l'auteur lui-même conclut à la nécessité de procéder encore à quantité d'essais pour perfectionner et développer encore les résultats fournis par sa méthode à ce jour.