

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 62 (1936)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Granulation et prévision de la résistance probable des bétons  
**Autor:** Bolomey, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-47570>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.03.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs  
Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs  
Etranger : 12 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie  
F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. — Organe de publication de la Commission centrale pour la navigation du Rhin.

COMITÉ DE RÉDACTION. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève. — Secrétaire : EDM. EMMANUEL, ingénieur, à Genève. — Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. C. BUTTICAZ, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur cantonal ; E. PRINCE, architecte ; *Valais* : MM. J. COUCHEPIN, ingénieur, à Martigny ; HAENNY, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION : H. DEMIERRE, ingénieur, 11, Avenue des Mousquetaires,  
LA TOUR-DE-PEILZ.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION DU BULLETIN TECHNIQUE

A. DOMMER, ingénieur, président ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER ; E. SAVARY, ingénieur.

## ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,  
largeur 47 mm :  
20 centimes.

Rabais pour annonces  
répétées.

Tarif spécial  
pour fractions de pages.

Régie des annonces :  
Annonces Suisses S. A.  
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)  
Lausanne

SOMMAIRE : *Granulation et prévision de la résistance probable des bétons*, par J. BOLOMEY, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne. — *Fondation d'un bâtiment de caves*. — *Production et distribution d'énergie électrique en Suisse, pendant l'année hydrographique 1934/35*. — DIVERS : *Pour nous aider à sortir de la crise*. — *Cours de cadres*. — *Cours de soudure autogène*. — *Société vaudoise des ingénieurs et des architectes et Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne*. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — NOUVEAUTÉS. INFORMATIONS DIVERSES.

### Granulation et prévision

#### de la résistance probable des bétons,

par J. Bolomey, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne.

*Cédant à de pressantes sollicitations, M. le professeur J. Bolomey vient de procéder à un résumé général et à une mise au point de ses remarquables travaux sur les « liants » dont les étapes sont jalonnées par une série de mémoires que le « Bulletin technique de la Suisse romande » a eu l'honneur de publier.*

Réd.

La résistance des mortiers et bétons est influencée par : le dosage et la qualité du ciment ; la quantité d'eau de gâchage ; la durée et le mode de durcissement ; la densité du béton, fonction elle-même de la compacité, c'est-à-dire de la plus ou moins grande porosité ; la composition granulométrique et la nature du ballast, le degré de serrage et la consistance du béton. Ces derniers facteurs ont pour effet de modifier la quantité d'eau de gâchage et la compacité du béton et n'ont ainsi généralement qu'une influence indirecte sur la résistance.

*Formules de Feret.* En 1892 déjà l'éminent savant français Feret, se basant sur de nombreux essais systématiques, a exprimé la résistance à la compression d'un mortier ou béton par la formule :

$$(1) \quad R = K \frac{c}{e + v}$$

Cette formule (1) a été remplacée, quelques années plus tard, par celle plus précise et plus riche en enseignements :

$$(2) \quad R = K \left( \frac{c}{1-s} \right)^2$$

dans lesquelles :

$R$  = résistance à la compression, en kg/cm<sup>2</sup>.

$K$  = coefficient de résistance, en kg/cm<sup>2</sup>, variable avec la qualité du ciment, la durée et le mode de durcissement du béton.

$c$  = volume absolu du ciment par unité de volume de béton

$s$  = » du ballast » » »

$e$  = » de l'eau » » »

$v$  = » des vides (pores) » » »

La formule (2) peut s'écrire, en remarquant que

$$c + s + e + v = 1$$

$$(2') \quad R = K \left( \frac{c}{c + e + v} \right)^2$$

Chacune des formes de la formule de Feret a une signification fondamentale. De la formule (2) nous déduisons en effet : *Pour un dosage donné de ciment, la résistance du béton est d'autant plus élevée que le ballast occupe une plus grande partie de l'unité de volume de béton, c'est-à-dire que le ballast offre un plus petit volume de vides devant être rempli par la pâte liante et les pores de celle-ci.*

En observant que  $c + e + v$  représente le volume de la pâte liante et des vides par unité de volume de béton, la formule (2') signifie que : *La résistance d'un béton est proportionnelle au dosage en ciment de la pâte liante constituée par le ciment, l'eau de gâchage et les pores du béton.*

Malgré sa haute valeur instructive et sa précision, la formule de Feret n'est guère utilisée ailleurs que dans quelques laboratoires, à cause des difficultés de la détermination exacte des volumes élémentaires  $c$ ,  $e$ ,  $s$ ,  $v$ . Sur les chantiers, on a recours habituellement à l'une ou l'autre des formules suivantes :

*Formule d'Abrams.* En 1920, Abrams a résumé les résultats de ses milliers d'essais en exprimant la résistance du béton par la formule :

$$(3) \quad R = \frac{K}{A^x}, \quad \text{ou } \log R = \log K - x \log A$$

$x$  est le rapport du volume de l'eau de gâchage au volume apparent du ciment, la densité apparente de celui-ci étant admise égale à 1,5.

$K$  et  $A$  sont des coefficients variables avec la qualité du ciment, la durée et le mode de durcissement.

Pour la résistance à la compression à 28 jours de cylindres de béton de 15 cm de diamètre et de 30 cm de hauteur, Abrams a indiqué les valeurs (essais de 1920) :  $K = 985$

$$A = 7.$$

*Formule de Graf.* Se basant sur la formule d'Abrams et adaptant celle-ci aux conditions d'essai européennes, Graf a proposé en 1923 la formule :

$$(4) \quad R = \frac{R_n}{400} \left( \frac{A}{7^{2w}} + c \right) \quad \text{dans laquelle :}$$

$R_n$  = Résistance à la compression à 28 jours du mortier normal damé.

$A$  = Coefficient variable avec la qualité du ciment et la durée du durcissement. A 28 jours,  $A$  peut varier de 1300 à 2600, sa valeur moyenne est de 1640.

$w$  = Rapport du poids de l'eau de gâchage au poids du ciment.  
 $c$  = coefficient variable entre 20 et 40.

*Formule de Bolomey.* En 1925, nous basant sur la première formule de Feret, nous avons donné la formule de chantier pour les bétons compacts :

$$(5) \quad R = K \left( \frac{C}{E} - 0,50 \right)$$

qui n'est qu'un cas particulier de notre formule générale

$$(5') \quad R = \left[ \left( \frac{\Delta}{2,35} \right)^2 \cdot \frac{C}{E} \right]^B \frac{K}{2}$$

Dans ces formules :

$R$  = Résistance à la compression, à l'âge considéré, en kg/cm<sup>2</sup>.

$\Delta$  = Densité du béton lors de sa mise en œuvre. En général, pour les bétons de chantier, la densité  $\Delta$  est voisine de 2,35, de sorte que le rapport  $\Delta : 2,35$  diffère peu de 1,0.

$C : E$  = Rapport du poids du ciment au poids de l'eau de gâchage.

$B$  = Coefficient dépendant de la nature du ciment et pouvant varier entre 1,2 et 2,0. En général, on peut admettre  $B = 1,5$  pour les ciments portland purs de fours rotatifs.

$K$  = Coefficient de résistance, en kg/cm<sup>2</sup>, variable avec la qualité du ciment, la durée et le mode de durcissement du béton. Actuellement, pour les ciments purs de fours rotatifs, ( $B = 1,5$ ),  $K$  peut varier entre les limites suivantes :

	7 jours	28 jours
Ciments ordinaires	$K = 140-180$	$K = 180-250$
Ciments à hautes résistances	$K = 200-280$	$K = 280-350$

Si le rapport  $\Delta : 2,35$  est voisin de 1,0 et  $B = 1,5$ , la formule (5') devient :

$$(5'') \quad R = \left( \frac{C}{E} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{K}{2}$$

Pour  $0,9 > \frac{C}{E} > 2,5$  cette parabole peut être remplacée par la droite  $R = K \left( \frac{C}{E} - 0,50 \right)$  qui est notre formule de chantier.

D'une façon plus générale, la parabole correspondant à la formule (5') peut être remplacée, dans la zone des bétons de chantiers habituels, par la droite

$$R = K \left( \frac{C}{E} - L \right)$$

Pour  $L = 0$ , nous avons  $R = \frac{C}{E} \cdot K$ , formule qui est

semblable à celle de Feret  $R = K \frac{c}{e + \nu}$ , si le volume des vides est négligeable, les volumes absolus étant remplacés par les poids.

Le tableau I (page 75) donne les compositions internes ainsi que les résistances à la compression et à la flexion de 12 mortiers et bétons différant entre eux par le dosage et la granulation ; les résistances sont reportées sur la figure 1 d'après les formules Feret et Bolomey.

Dans leur ensemble, les résistances effectives correspondent d'une façon satisfaisante à celles théoriques données par les formules ; certaines d'entre elles s'en écartent toutefois de 20 % et même plus. Ces anomalies sont attribuables, en partie, à la difficulté de fabriquer, de laisser durcir et de rompre un grand nombre d'éprouvettes dans des conditions exactement semblables de damage, d'humidité, de température, etc. ; elles proviennent aussi de la nature du ballast, de sa granulation, de l'intensité du damage. Ces divers facteurs, dont aucune formule de résistance ne tient directement compte, ont aussi une action sur la résistance, bien que leur influence soit en général négligeable vis-à-vis de celle du dosage de la pâte liante.

On aboutirait aux mêmes constatations en utilisant la formule d'Abrams qui, dans le cas particulier, aurait pour expression :

$$R = \frac{1320}{(6,3)^x} \text{ kg/cm}^2 \quad x = 1,5 \frac{E}{C}$$

#### *Influence des vides du ballast sur la résistance.*

Quelle que soit la formule de résistance adoptée, nous retrouverons toujours les deux lois de Feret :

a) La résistance est proportionnelle au dosage en ciment de la pâte liante.

b) La résistance est d'autant plus grande que le volume des vides du ballast est plus petit.

Pour un béton compact, le volume de la pâte liante sera égal au volume des vides du ballast.

Supposons constant le dosage de la pâte liante (résistance constante) ; le dosage en ciment par unité de volume de béton croîtra en même temps que le volume des vides du ballast, il décroîtra si le volume des vides diminue.

Supposons constant le dosage en ciment de l'unité de volume de béton ; la pâte de ciment devra être d'autant plus diluée, donc à plus faible dosage, (chute de résistance) que le volume des vides du ballast sera plus grand et vice-versa.

Le problème de la granulation consiste ainsi à trouver un ballast offrant le minimum de vides qui pourront être complètement remplis par un volume minimum de pâte liante. C'est la *condition de compacité*.

Celle-ci n'est pas suffisante. Il faut encore que le béton fabriqué avec ce ballast soit maniable, c'est-à-dire qu'il puisse être aisément mis en œuvre sans qu'il y ait

Tableau I. — Compositions internes, densités et résistances de mortiers et de bétons, à divers dosages et à divers grosseurs  $D$  du ballast roulé.

Béton gradué suivant  $P = 10 + 90 \sqrt{d : D}$

Béton gradué suiv. $P = 10 + 90 \sqrt{d : D}$ $D =$	C en kg par m <sup>3</sup> $\Delta_c = 3,07$	E	S béton $\Delta_s = 2,65$	Densité du béton $\Delta$	Porosité %	$(\frac{c}{1-s})^2$	$(\frac{\Delta}{2.35})^2 \times \frac{c}{E}$	Compression		Flexion	
								7j. kg/cm <sup>2</sup>	28j. kg/cm <sup>2</sup>	7j. kg/cm <sup>2</sup>	28j. kg/cm <sup>2</sup>
2 mm	385	280	1485	2.15	3.1	0.081	1.15	107	176	32	45
4 "	391	259	1560	2.21	2.2	0.096	1.34	115	205	34	46
8 "	397	220	1683	2.30	0.9	0.129	1.73	179	307	45	62
20 "	408	183	1829	2.42	0.0	0.176	2.32	275	383	50	64
2 mm	283	275	1542	2.10	5.0	0.048	0.83	48	77	15	25
4 "	286	254	1630	2.17	3.6	0.058	0.96	68	115	21	31
8 "	292	215	1743	2.25	3.0	0.078	1.24	97	183	27	34
20 "	303	182	1915	2.40	0.0	0.122	1.75	155	234	42	48
2 mm	187	272	1601	2.06	6.30	0.024	0.53	22	34	10	13
4 "	188	250	1692	2.12	5.3	0.028	0.61	37	59	9	14
8 "	192	212	1816	2.22	4.3	0.038	0.80	46	83	10	18
20 "	204	167	2039	2.41	0.0	0.078	1.16	90	159	21	32

Tous ces mortiers et bétons ont été gâchés à une consistance pâteuse permettant la mise en place par secousses, sans damage direct.

Le durcissement s'est effectué dans l'eau à +17°

tendance au démixage ou à la formation de nids de gravier. En d'autres termes il faut que le béton soit suffisamment onctueux ou plastique<sup>1</sup>. C'est la condition de maniabilité.

La maniabilité est conférée au béton par sa teneur en particules de ciment et de sable fin d'un diamètre inférieur à 0,1 mm.

Ces particules ont la propriété de retenir une grande quantité d'eau et de former avec celle-ci une sorte de pâte qui empêche le démixage des grains du ballast et facilite la mise en œuvre du béton.

Cette teneur en particules fines devra être d'autant plus grande que le béton sera plus fluent, c'est-à-dire qu'il faudra fixer sous forme de pâte une plus grande quantité d'eau.

La composition granulométrique d'un ballast satisfaisant aux conditions ci-dessus a été définie par Fuller par sa parabole<sup>2</sup> :

<sup>1</sup> On confond fréquemment la plasticité avec la fluidité (consistance).

La plasticité est fonction de la teneur du béton en particules de diamètre inférieur à 0,1 mm. Elle confère au béton un aspect onctueux, même si celui-ci est relativement sec ; elle empêche le démixage des matériaux parce que la pâte liante adhère aux grains de ballast.

La fluidité, ou consistance, du béton dépend de la quantité d'eau de gâchage effective par rapport à celle strictement nécessaire pour remplir tous les vides. Un béton peut être plastique et relativement sec ; il peut être à la consistance fluente tout en étant peu plastique et exposé au démixage.

<sup>2</sup> Ne pas confondre la parabole de Fuller avec la courbe de Fuller, combinaison d'une ellipse (sable) et d'une droite (gravier).

$$(6) \quad P = 100 \sqrt{d : D}.$$

$D$  = diamètre des plus gros grains du ballast, en mm.  
 $d$  = diamètre quelconque compris entre zéro et  $D$  mm.  
 $P$  = % du poids du ballast plus petit que  $d$  mm.

Cette granulation donne des résultats satisfaisants pour un dosage à 200 kg de ciment par m<sup>3</sup> de béton à la consistance pâteuse, fabriqué avec un ballast roulé.

La plasticité laisse à désirer si le dosage est inférieur à 200 kg ou si le béton fluent a été fabriqué avec un ballast à grains anguleux.

Par contre, il pourra y avoir excès de plasticité et perte inutile de résistance si le béton, sec, à fort dosage, est préparé avec un ballast à grains arrondis.

Pour remédier à ces inconvénients, il convient de modifier la formule de Fuller en y introduisant un coefficient  $A$ , variable avec la consistance du béton et la forme des grains du ballast et en considérant, non pas la granulation du ballast seul, mais celle du (ballast + ciment). Nous obtenons ainsi notre formule :

$$(7) \quad P = A + (100 - A) \sqrt{d : D}.$$

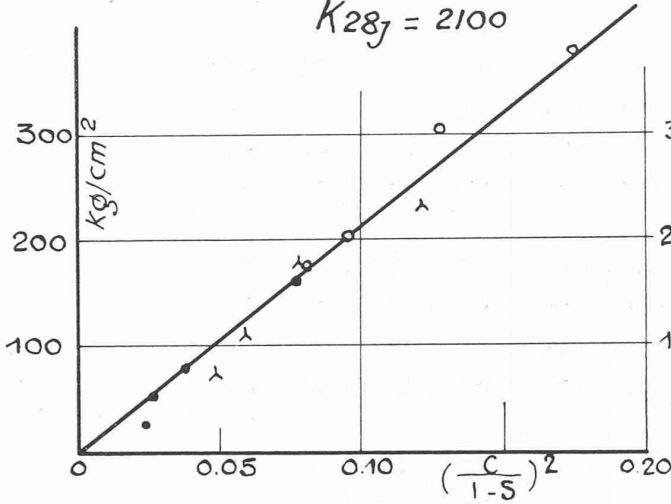
$P$  = poids, exprimé en % du poids total du mélange, des grains de (ciment + ballast) de diamètre plus petit que  $d$  mm.  
 $A$  = coefficient variable avec la consistance du béton et la forme des grains du ballast.

Résistances à la compression  
à 28 jours

Formule Feret

$$R = \left(\frac{c}{1-s}\right)^2 \times K$$

$$K_{28j} = 2100$$



○ Dosage 390

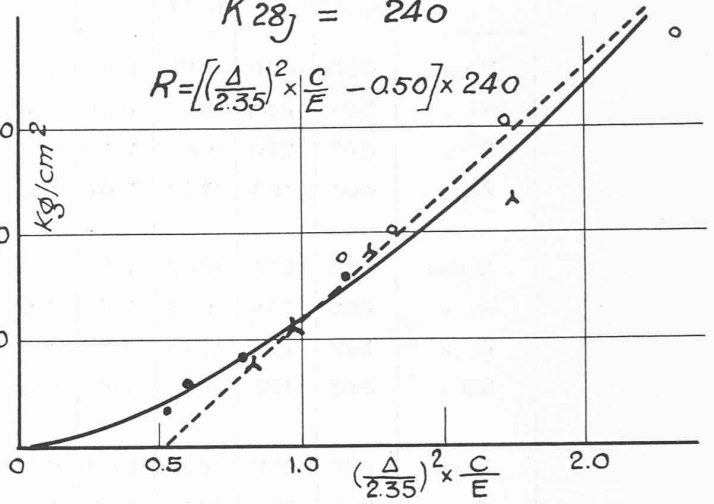
△ Dosage 290

Formule Bolomey

$$R = \left[ \left(\frac{\Delta}{2.35}\right)^2 \times \frac{c}{E} \right]^{3/2} \times \frac{K}{2}$$

$$K_{28j} = 240$$

$$R = \left[ \left(\frac{\Delta}{2.35}\right)^2 \times \frac{c}{E} - 0.50 \right] \times 240$$

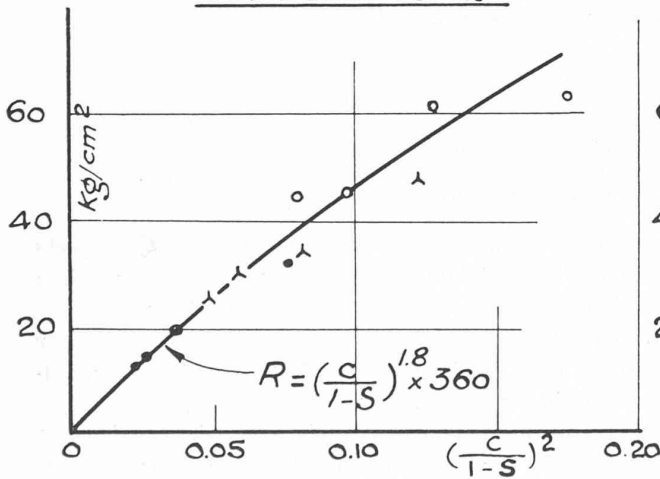


○ Dosage 190

Résistances à la flexion  
à 28 jours

Formule Feret

$$R = \left(\frac{c}{1-s}\right)^{1.8} \times 360$$



Formule Bolomey

$$R = \left[ \left(\frac{\Delta}{2.35}\right)^2 \times \frac{c}{E} - 0.25 \right] \times 37$$

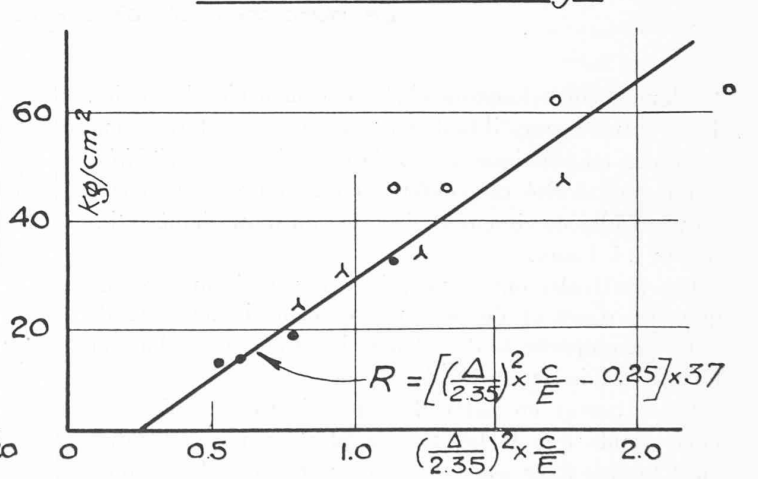


Fig. 1. — Résistance à la compression et à la flexion de bétons à divers dosages et ballasts. — Consistance pâteuse.

	Consistance		
	terre humide	pâteuse	fluente
Ballast roulé . . . . .	A = 8	A = 10	A = 12
Ballast concassé . . . . .	A = 10	A = 12	A = 14

D = Diamètre maximum admis pour les plus gros grains du ballast.  
d = Diamètre quelconque compris entre zéro et D mm.

Dans le cas particulier, A = 10, dosage 200 kg, la formule (7) correspond à la même granulation du ballast que la formule (6).

La formule (7) est très souple et donne de bons résultats

quels que soient le dosage, le diamètre D, la forme des grains du ballast, la consistance du béton. Par contre, il n'est pas toujours possible de réaliser exactement cette granulation théorique sur les chantiers; l'expérience prouve en outre qu'on peut s'en écarter très notablement tout en conservant, parfois même en améliorant légèrement, la résistance et la maniabilité du béton.

Pour apprécier rapidement si et dans quelle mesure un ballast s'écartant de la granulation théorique peut néanmoins fournir un béton de qualité, il faut recourir au

calcul de l'eau de gâchage ou au module de finesse d'Abrams.

*Calcul analytique de la quantité d'eau de gâchage d'un béton.*

La quantité d'eau de gâchage d'un béton compact dépend de la grosseur et de la forme des grains du ballast, du dosage en ciment, de la consistance du béton. Pour déterminer numériquement les relations qui existent entre ces divers facteurs et la quantité d'eau de gâchage correspondante, nous avons effectué un grand nombre d'essais en utilisant des ballasts de diverses natures et granulations et en faisant varier les dosages et les consistances du béton. Ces recherches systématiques de longue haleine nous ont permis de définir la quantité d'eau de gâchage *E* par la formule :

$$(8) \quad E = \Sigma e = \Sigma \frac{PN}{\sqrt[3]{d_1 d_2}}$$

*e* = poids de l'eau de gâchage nécessaire pour gâcher le poids *P*, exprimé en kg ou en % du poids total des matières sèches, d'une des composantes du béton dont le diamètre des grains est compris entre *d*<sub>1</sub> et *d*<sub>2</sub> mm.

*N* = Coefficient variable avec la densité absolue de la roche d'où provient le ballast, avec la rugosité et la forme des grains du ballast, avec la consistance du béton.

Pour un ballast provenant d'une roche dont la densité absolue est comprise entre 2,6 et 2,7, *N* a pour valeur :

Consistance du béton	Grains arrondis (ballast roulé)	Grains anguleux (ballast concassé)
Terre humide (béton damé)	<i>N</i> = 0,080	<i>N</i> = 0,095
Pâteuse (béton armé)	<i>N</i> = 0,090-0,095	<i>N</i> = 0,100-0,110
Fluente (béton coulé)	<i>N</i> = 0,100-0,110	<i>N</i> = 0,120-0,130

La formule (8) n'est plus applicable pour les grains de diamètre inférieur à 0,2 mm. Pour les matériaux dont le diamètre des grains est plus petit que 0,2 mm, il faut admettre (consistance pâteuse) :

- Ciment . . . . . *e* = 0,23 *P*
- Poudre de pierre, limon . . . . . *e* = 0,35 *P*
- Sable fin de rivière (0,1 à 0,35 mm) . . . . . *e* = 0,23 *P*
- Hydrate de chaux, trass . . . . . *e* = 0,50 *P*

Tableau II. — Calcul de l'eau de gâchage des bétons.

Ballasts composants <i>d</i> <sub>1</sub> à <i>d</i> <sub>2</sub>	0,09 $\sqrt[3]{d_1 \times d_2}$	Béton I		Béton II		Béton III		Béton IV		Béton V	
		<i>P</i> %	<i>e</i> %	<i>P</i> %	<i>e</i> %	<i>P</i> %	<i>e</i> %	<i>P</i> %	<i>e</i> %	<i>P</i> %	<i>e</i> %
0 — 0,35	0,23	48	11,1	36	8,3	29	6,7	22	5,1	28	6,4
0,35 — 2	0,10	52	5,2	38	3,8	26	2,6	16	1,6	10	1,0
2 — 4	0,045	—	—	26	1,2	19	0,9	12	0,5	4	0,2
4 — 8	0,028	—	—	—	—	26	0,7	17	0,5	18	0,5
8 — 20	0,016	—	—	—	—	—	—	33	0,5	40	0,6
Eau calculée <i>E</i> = Σ <i>e</i>		16,3		13,3		10,9		8,2		8,5	
Eau effective		15,1		13,3		10,6		8,2		—	

La figure 2 donne les courbes granulométriques de quatre bétons gradués suivant  $P = 10 + 90 \sqrt{d} : D$ , *D* ayant les valeurs de 2, 4, 8 et 20 mm. Ils correspondent aux 4 bétons à 290 kg du tableau I. Le tableau II indique le calcul de l'eau de gâchage de ces quatre bétons exprimée en % du poids des matières sèches, *N* ayant pour valeur 0,09 (ballast roulé, consistance pâteuse). Il montre que l'emploi de la formule (8) est très simple et rapide

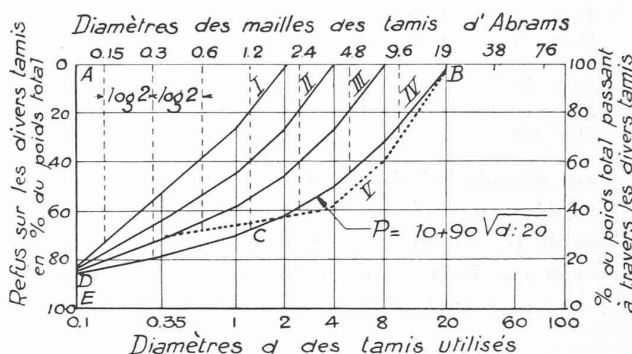


Fig. 2. — Compositions granulométriques des bétons de la fig. 1 et du tableau I.

dès que la composition granulométrique du béton est connue. L'eau de gâchage calculée correspond de façon très satisfaisante à celle qu'il a fallu employer effectivement pour obtenir un béton à la consistance désirée ; l'erreur commise dans l'évaluation de *E* est, en général, inférieure à 5 %, soit de l'ordre de grandeur de l'appréciation de la consistance du béton. Dans certains cas particuliers cette erreur peut cependant atteindre le 10 % du poids de l'eau de gâchage effective.

Connaissant la quantité d'eau de gâchage *E*, le dosage *C*, la qualité du ciment définie par son coefficient *K* à l'âge considéré, il est possible d'évaluer immédiatement la résistance d'un béton, sans qu'il soit nécessaire de recourir à un essai de gâchage, au moyen de la formule

$$R = K \left( \frac{C}{E} \right) - L$$

Le gros avantage de la formule (8) est de renseigner exactement sur l'influence de chaque grosseur de grain *d* et, en particulier, sur la nécessité de réduire le pourcentage en grains fins au minimum indispensable pour réaliser un béton compact ayant la maniabilité désirée.

Tout excès dans la teneur du béton en particules fines entraîne une majoration de la quantité d'eau de gâchage et, par suite, une perte de résistance. Nous avons en effet (ballast roulé, consistance pâteuse de chantier, *N* = 0,09) :

- e* = 23 % du poids des grains de ballast de 0,1 à 0,35 mm
- e* = 10 % » » » 0,35 à 2 »
- e* = 4,5 % » » » 2 à 4 »
- e* = 2,8 % » » » 4 à 8 »
- e* = 1,6 % » » » 8 à 20 »
- e* = 0,7 % » » » 20 à 60 »
- e* = 0,5 % » » » 60 à 120 »

La formule  $P = 10 + 90 \sqrt{d} : D$  (voir aussi fig. 2) permet de constater que le pourcentage de grains fins pourra être d'autant plus fortement réduit que le diamètre *D* sera plus grand. Il y a ainsi avantage, au point de vue de la résistance du béton, à choisir un ballast gradué à diamètre maximum *D* aussi grand que le permettent les installations, les épaisseurs à bétonner, l'encombrement des armatures.

Pour des bétons gradués suivant  $P = 10 + 90 \sqrt{d} : D$ , ballast roulé, consistance pâteuse de chantier, nous avons :



$D = 2 \text{ mm}$	$E = 16,3 \%$	du poids des matières sèches
$D = 4 \text{ »}$	$E = 13,3 \%$	» »
$D = 8 \text{ »}$	$E = 10,6 \%$	» »
$D = 20 \text{ »}$	$E = 8,2 \%$	» »
$D = 60 \text{ »}$	$E = 6,1 \%$	» »
$D = 120 \text{ »}$	$E = 5,2 \%$	» »

Pour obtenir la même résistance, un mortier de 0 à 2 mm devra recevoir un dosage 2 fois plus grand qu'un béton de 0—20 et 3 fois plus grand qu'un béton de 0—120 mm. Pour un même dosage de 300 kg, les résistances seront approximativement dans le rapport :

$D = 2 \text{ mm}$	. . . . .	0,28
$D = 4 \text{ »}$	. . . . .	0,37
$D = 8 \text{ »}$	. . . . .	0,50
$D = 20 \text{ »}$	. . . . .	0,65
$D = 60 \text{ »}$	. . . . .	0,80
$D = 120 \text{ »}$	. . . . .	1,00

Il convient, toutefois, de remarquer que le risque de démélange croît avec  $D$  et que, pour y remédier, il convient de majorer le coefficient  $A$  au fur et à mesure que  $D$  augmente.

De la formule (8) de calcul de l'eau de gâchage on peut déduire : *Un ballast permet d'obtenir un béton d'autant plus résistant que son  $E$  est plus faible; deux ballasts ayant le même  $E$  sont équivalents.*

Cette dernière loi permet d'apprécier si et dans quelle mesure il est loisible de s'écarter de la granulation théorique, lorsque celle-ci n'est pas exactement réalisable sur le chantier.

Il faut et il suffit que le ballast considéré ait le même  $E$  que le ballast théorique et qu'il permette de réaliser un béton suffisamment maniable. Cette dernière condition sera sûrement réalisée si la nouvelle granulation a la même teneur en particules plus petites que 0,5 mm et en sable de diamètre inférieur à 0,1  $D$  que la granulation théorique.

(A suivre).

## Fondation d'un bâtiment de cuves.

Pour donner à nos lecteurs une idée de l'intérêt que recèle notre nouveau confrère, les Annales de l'Institut technique du bâtiment et des Travaux publics, nous extrayons du premier numéro de cette publication (voir plus loin, dans la présente livraison, sous la rubrique « Bibliographie ») les éléments de la note suivante empruntés à l'Etude systématique des fondations, par M. Mayer, ingénieur au Corps des Mines.

Un négociant en vins, très important, qui dispose actuellement d'une batterie de cuves  $A$  située dans la région de Bercy, à faible distance de la Seine, projetait de faire construire, à côté des premières, un bâtiment plus important  $B$  comportant 4 étages de cuves d'une contenance totale de 100 000 hectos (fig. 1).

Le bâtiment existant est fondé sur radier général et charge le sol à raison de 22 tonnes par  $m^2$ . Le bâtiment projeté doit imposer au sol une charge uniforme de 24 tonnes par  $m^2$  avec des pointes de 30 tonnes dans certaines conditions où l'on suppose une partie seulement des cuves pleines.

Le Laboratoire devait faire l'étude du sous-sol et indiquer au constructeur un mode de fondation susceptible d'être

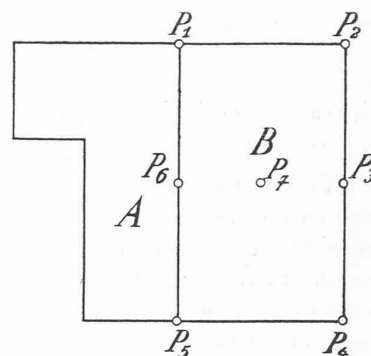


Fig. 1 — Disposition des bâtiments des cuves.

réalisé sans compromettre en rien la stabilité du premier groupe de cuves qui doit rester constamment en service.

Il n'est pas utile de souligner, devant un auditoire aussi averti, l'importance que peuvent avoir, pour un bâtiment de cuves, les moindres tassements du sol; toute fissure dans l'une des cuves entraînerait des pertes de liquide se chiffant par des sommes extrêmement élevées. Une étude approfondie était donc indispensable.

Deux sondages ont été effectués dans le terrain où devait s'élever la construction. Ils ont rencontré diverses couches récentes provenant des alluvions de la rivière et comprenant jusqu'à 3,80 m des remblais divers, de 3,80 m à 8,50 m une argile jaune récente légèrement sableuse dénommée « terre à poissons », de 8,50 à 12,25 m une argile blanche sableuse, également récente, enfin de 12,25 m à 14,80 m des dépôts de sable et galets constituant la base des dépôts modernes; à partir de 14,80 m on a rencontré l'argile sparnacienne, grise à sa partie supérieure, puis teintée à mesure que l'on s'enfonce. Les sondages ont été poussés dans l'argile jusqu'à 22,40 m (fig. 2).

D'après les renseignements obtenus, l'épaisseur totale de cette couche d'argile est de 21 m.

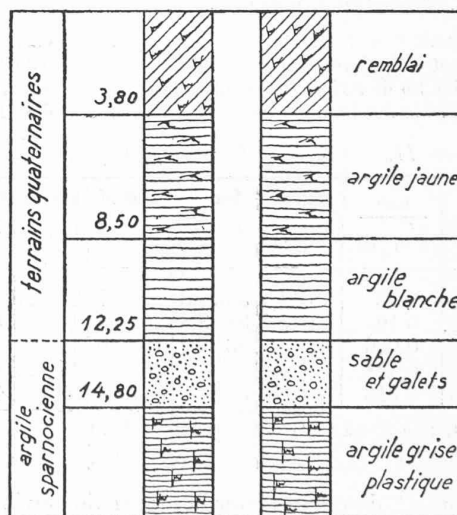


Fig. 2 — Composition du sol intéressé.

Au cours des sondages, des prélèvements d'échantillons intacts ont été faits tous les 2 m lorsqu'il a été possible. On a déterminé au laboratoire les caractéristiques usuelles des différentes couches : teneur en eau naturelle, poids spécifique, angle de frottement interne, cohésion, ainsi que les courbes