

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 70 (1944)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Choix des caractéristiques et contrôle du béton sur les chantiers  
**Autor:** Bolomey, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-53236>

### **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:** 29.03.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

### ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 13.50 francs

Etranger : 16 francs

#### Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 11 francs

Etranger : 13.50 francs

#### Prix du numéro :

75 centimes.

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

Paraissant tous les 15 jours

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.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : † M. IMER, à Genève ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

### Publicité : TARIF DES ANNONCES

Le millimètre  
(larg. 47 mm.) 20 cts.  
Tarif spécial pour fractions  
de pages.

En plus 20 % de majoration de guerre.

Rabais pour annonces  
répétées.



ANNONCES-SUISSES S.A.

5, Rue Centrale,  
LAUSANNE  
& Succursales.

### CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte.

SOMMAIRE : *Choix des caractéristiques et contrôle du béton sur les chantiers*, par J. BOLOMEY, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes : Communication de la Commission des concours de la S.I.A. au sujet du concours pour un pont-route sur l'Aar à Berne ; Extrait du procès-verbal de la 6<sup>e</sup> séance du Comité central du 3 décembre 1943.* — NÉCROLOGIE : Oscar Walter, ingénieur E. P. F. ; Frédéric Rey, ingénieur ; Jules-Henri Verrey, architecte. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION.

## Choix des caractéristiques et contrôle du béton sur les chantiers

par J. BOLOMEY, professeur à l'Ecole d'ingénieurs  
de l'Université de Lausanne.

### Introduction.

La fabrication et le contrôle de bétons devant avoir des caractéristiques bien déterminées et fixées à l'avance, correspondant au maximum d'économie dans l'emploi du ciment, nécessite les deux opérations essentielles suivantes :

A. *Etudes préliminaires.* Elles sont effectuées au bureau ou sur le chantier sous la direction d'un ingénieur et ont pour but de fixer les caractéristiques du béton. Elles comprennent :

1. Choix du ciment et de son dosage par mètre cube de béton.
2. Choix de la granulation des matières sèches (ciment + ballast) en tenant compte des matériaux à disposition, de la nature de l'ouvrage (épaisseurs à bétonner, encombrement des armatures), des installations (mode de mise en œuvre du béton).
3. Choix de la consistance du béton en tenant compte du mode de sa mise en œuvre (avec ou sans vibration ou pervibration).
4. Détermination de la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un béton à la consistance désirée.

Cette quantité d'eau peut être déterminée par des essais directs de gâchage ou par le calcul en se basant sur la granulation choisie sous 2 et sur la consistance fixée sous 3.

5. Détermination du rapport C/E et par suite des résistances probables du béton à divers âges en se basant sur les coefficients K de qualité du ciment.
6. Détermination de la densité du béton et du poids des composantes (ciment, sable et gravier, eau) par mètre cube de béton.

Ces études préliminaires peuvent être simplifiées en se basant sur les expériences faites sur d'autres chantiers.

B. *Essais de contrôle proprement dits.* Ils seront faits sur le chantier, par le personnel de celui-ci ; ils devront par conséquent être simples et d'une exécution facile. Leur but est de contrôler que la fabrication et la mise en œuvre du béton soient conformes aux décisions prises lors des essais préliminaires.

Ils comprennent les opérations suivantes :

1. Contrôle du dosage en ciment (essais de rendement).
2. Contrôle de la densité du béton.
3. Contrôle de la mise en œuvre du béton qui devra être compact, homogène, sans démelange des matériaux.
4. Contrôle des conditions de durcissement du béton.
5. Prélèvement d'éprouvettes de béton (cubes, prismes, mortier extrait du béton) qui seront ensuite rompues à la flexion et à la compression, ainsi que d'échantillons u ciment utilisé.
6. Contrôle de la consistance du béton au moyen de la table à secousses.
7. Contrôle de la granulation du ballast.

Les essais 6 et 7 ne sont nécessaires que si le béton a une densité ou une résistance inférieure à celle prévue. Ils permettent de déterminer la cause de ce défaut et le moyen d'y remédier.

## A. Etudes préliminaires.

Les graphiques 1 à 5 fournissent tous les renseignements nécessaires sur le choix du ciment et de son dosage, sur la granulation des matières sèches et la quantité d'eau de gâchage correspondante, sur les résistances probables des bétons.

L'emploi de ces graphiques est indiqué et commenté ci-après.

*Qualité du ciment.* La résistance probable des bétons est donnée par notre formule de chantier :

$$(1) \quad R = (C/E - 0,50) \cdot K$$

$C/E$  étant le rapport du poids du ciment  $C$  au poids  $E$  de l'eau de gâchage et  $K$  le coefficient de qualité du ciment. Le coefficient  $K$  varie d'un ciment à l'autre et, pour le même ciment, avec la durée et le mode de durcissement.

$K$  peut être déterminé directement au moyen des résistances de divers bétons pour lesquels on a pesé exactement le ciment et l'eau de gâchage.

La valeur de  $K$  peut aussi être déduite, à 10 % près des résistances indiquées sur les procès-verbaux des essais normaux des ciments, au moyen de la relation

$$(2) \quad K = Rn : 1,35.$$

$Rn$  étant la résistance en  $\text{kg/cm}^2$ , à l'âge considéré, du mortier normal plastique suisse.

Pour les ciments actuels,  $K$  varie entre les limites suivantes :

|                    | 3 jours         | 7 jours     | 28 jours    |
|--------------------|-----------------|-------------|-------------|
| CP ordinaire . . . | $K = 70 - 100$  | $140 - 170$ | $180 - 250$ |
| CP spécial . . .   | $K = 130 - 160$ | $200 - 260$ | $280 - 350$ |
| Ciment alumineux   | $K = 350 - 420$ | $400 - 460$ | $440 - 500$ |

Les variations de  $K$  en fonction de la durée du durcissement sont données par la formule

$$(3) \quad K = a - b \cdot \log T.$$

$T$  étant la durée du durcissement en jours.

Cette loi n'est valable que si le durcissement se fait à la température ordinaire, dans un milieu humide permettant aux réactions chimiques et aux cristallisations de se poursuivre normalement. L'accroissement de  $K$  est ralenti, il peut même être complètement arrêté, si le durcissement se fait dans un milieu sec. D'autre part une élévation de température accélère le durcissement initial, un abaissement de température le retarde.

Entre deux ciments ayant le même  $K$  à un certain âge, il faudra choisir celui qui a la plus grande constante  $a$  s'il importe d'obtenir rapidement des résistances élevées ou s'il est difficile de maintenir le béton humide (bâtiments, etc.). Au contraire la préférence sera donnée au ciment qui a la plus grande constante  $b$  si les conditions de durcissement sont favorables et si les résistances à 3, 7 ou même à 28 jours n'ont pas grande importance (fondations, bétons en grandes masses, etc.).

Connaissant  $K$  (ou les résistances de bétons) à deux âges, par exemple à 7 et à 28 jours, il est facile d'en déduire la valeur des constantes  $a$  et  $b$ .

*Exemple.* Supposons que pour un ciment nous ayons trouvé  $K$  à 8 jour = 160  $K$  à 35 jours = 250 nous avons :

$$\begin{aligned} 250 &= a - b \times \log 35; & \lg 35 &= 1,544 \\ 160 &= a - b \times \log 8; & \lg 8 &= 0,903. \end{aligned}$$

Nous tirons de ces deux équations

$$\begin{aligned} 90 &= 0,641 b & b &= 140 \\ & & a &= 34 \end{aligned}$$

Nous en déduisons :

$$\begin{aligned} K7 &= 34 - 140 \times 0,845 = 152 \\ K28 &= 34 - 140 \times 1,447 = 237 \\ K90 &= 34 - 140 \times 1,854 = 293. \end{aligned}$$

Le graphique 1 donne les résistances probables des bétons en fonction du rapport  $C/E$  et des coefficients  $K$ . Il indique aussi les relations existant entre  $C/E$ , le dosage  $C$  et la quantité d'eau de gâchage  $E$ , ces deux dernières quantités étant exprimées en fonction du poids total des matières sèches  $S+C$ .

*Choix de la granulation.* Ce choix doit se faire en tenant compte :

Des matériaux (sable et gravier) à disposition.

Des épaisseurs à bétonner et de l'encombrement des armatures.

De la plasticité et de la consistance désirées du béton, qui dépendent à leur tour du mode de mise en œuvre prévu.

Au point de vue économie du ciment, il faut choisir un diamètre  $D$  des gros grains de gravier aussi grand que le permettent les épaisseurs à bétonner ( $1/3$  à  $1/5$  de cette épaisseur), l'encombrement des armatures ( $D$  = distance entre deux barres), les installations de fabrication, de transport et de mise en œuvre du béton. Il faut aussi que le mélange ciment et ballast contienne des proportions convenables des diverses grosseurs de grains entre zéro et  $D$  mm pour permettre de réaliser un béton compact avec un minimum d'eau de gâchage.

Ces conditions sont réalisées par notre formule de granulation

$$(4) \quad P = A + (100 - A) \sqrt{d : D}$$

dans laquelle

$P$  = Poids des grains de ciment et de ballast d'un diamètre plus petit que  $d$  mm, ce poids étant exprimé en pourcentage du poids total du mélange ciment et ballast.

$D$  = Diamètre, en mm, des plus gros grains du ballast considéré.

$d$  = Diamètre quelconque compris entre 0,1 et  $D$  mm.

$A$  = Coefficient variable avec la maniabilité (consistance et plasticité) du béton, ainsi qu'avec la forme et la rugosité des grains de ballast.

|                            | Consistance  | Ballast roulé | Ballast concassé |
|----------------------------|--------------|---------------|------------------|
| Terre humide (béton vibré) | $A = 5 - 10$ | 8 - 12        |                  |
| Molle (béton non vibré)    | $A = 10$     | 12 - 14       |                  |
| Fluente (béton coulé)      | $A = 12$     | 14 - 16       |                  |

Cette formule a l'avantage d'être applicable à tous les mortiers et bétons, quels que soient leur dosage, consistance, nature du ballast et diamètre  $D$  de celui-ci.

Une granulation rationnelle doit en effet tenir compte, comme le fait celle ci-dessus, du dosage en ciment et de la nature du ballast. Il est évident que le ballast pourra être moins sableux pour un dosage de 400 kg de ciment que si celui-ci est réduit à 150. Plus un béton sera fluent, plus il devra contenir de particules fines pour empêcher le démixage. Un ballast concassé, qui est peu compact, devra contenir davantage de sable qu'un ballast roulé.

Connaissant la granulation du mélange ciment et ballast, ainsi que le dosage en ciment exprimé en fonction du poids des matières sèches ( $S+C$ ), il est aisé d'en déduire celle du ballast seul, si désiré. Il suffit de soustraire  $C : (S+C)$  de chacun des pourcentages correspondant aux divers diamètres  $d$  et de multiplier les chiffres ainsi obtenus par  $(S+C) : S$ .

Le graphique 4 permet de trouver immédiatement la granulation théorique correspondant à n'importe quel diamètre  $D$ , pour n'importe quel coefficient  $A$ . En reportant en abscisses

les racines carrées de  $d$  et  $D$ , ces granulations sont données par des droites.

*Calcul de l'eau de gâchage.* La quantité d'eau nécessaire pour gâcher un béton dépend de la granulation, de la nature des matériaux, de la consistance désirée. Le calcul peut se faire soit analytiquement, soit au moyen du module de finesse. C'est cette dernière méthode qui convient le mieux sur les chantiers. La quantité d'eau de gâchage  $E$  est donnée par notre formule

$$(5) \quad E = P \times \frac{F}{M} \quad \text{dans laquelle}$$

$E$  = Eau de gâchage correspondant au poids  $P$  des matières sèches.  $E$  et  $P$  peuvent être exprimés soit en kilogrammes, soit en pour-cent du poids des matières sèches ( $S + C$ ).

$F$  = Coefficient variable avec la forme et la rugosité des grains de ballast, ainsi qu'avec la consistance du béton.

| Consistance                | Ballast roulé     | Ballast concassé |
|----------------------------|-------------------|------------------|
| Terre humide (béton vibré) | $F = 0,29 - 0,33$ | $0,35 - 0,39$    |
| Molle (béton non vibré)    | $F = 0,33 - 0,37$ | $0,39 - 0,43$    |
| Fluente (béton coulé)      | $F = 0,37 - 0,41$ | $0,43 - 0,49$    |

$M$  = Module de finesse du mélange ciment-ballast. Ce module est donné par la somme des refus sur les tamis à mailles de 0,15 ; 0,30 ; 0,60 ; 1,2 ; 2,4 ; 4,8 ; 9,6 ; 19 ; 38 ; 76 mm d'ouverture.

Le module est proportionnel à la surface  $Abcd$  (voir graphique 3) ; il est égal à

$$M = 8 \times \frac{\text{Surf. } Abcd}{\text{Surf. } ABCD}$$

$CB$  étant l'ordonnée passant par l'abscisse  $d = 25$  mm.

Cette relation permet la détermination rapide de  $M$  dès que la granulation de ( $S + C$ ) est connue, quels que soient les tamis utilisés et quelles que soient les échelles du graphique.

Dans le cas particulier où les granulations sont définies par les refus sur les tamis de 0,35 ; 1,7 ; 3,0 ; 6 ; 15 et 30 mm, le module sera obtenu directement en multipliant les refus par

|              |         |     |     |
|--------------|---------|-----|-----|
| sur tamis de | 0,35 mm | par | 2,6 |
| "            | "       | "   | 1,7 |
| "            | "       | "   | 3   |
| "            | "       | "   | 6   |
| "            | "       | "   | 15  |
| "            | "       | "   | 30  |

*Exemple.* Calculons le module de finesse de la granulation  $abc$  du graphique 3. Cette granulation est

|             | Refus             |
|-------------|-------------------|
| 0 — 0,35 mm | 0,20              |
| 0 — 1,7 "   | 0,32              |
| 0 — 3 "     | 0,38              |
| 0 — 6 "     | 0,50              |
| 0 — 15 "    | 0,74              |
| 0 — 30 "    | 1,00              |
|             | Module $M = 4,83$ |

La valeur exacte du module est de 4,9. La précision est donc suffisante.

Pour un béton mou, ballast roulé  $F = 0,35$

$$\text{d'où } E = 0,35 : 4,9 = 0,071 (S + C).$$

Deux mélanges ayant le même module exigeront la même quantité d'eau de gâchage. Ils sont donc équivalents.

Le module de finesse permet de juger immédiatement si un écart de la granulation théorique choisie est admissible ou non. Il faut et il suffit que le mélange considéré ait sensiblement le même module que celui de la granulation théori-

que choisie et en outre qu'il corresponde à un béton maniable, pouvant être rendu compact par les moyens de mise en œuvre dont le chantier dispose.

Le graphique 5 donne les modules de finesse et les quantités d'eau de gâchage correspondantes ( $F = 0,35$ ) pour tous les mortiers et bétons gradués exactement suivant

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

Connaissant  $E : (S + C)$  ainsi que le dosage  $C : (S + C)$  on en déduit immédiatement le rapport  $C/E$  et par suite la résistance probable du béton au moyen du graphique 1.

*Poids en kg/m<sup>3</sup> béton.* La densité, ainsi que les poids de ciment, de ballast et d'eau par mètre cube de béton, sont faciles à calculer dès que l'on connaît  $C : (S + C)$ ,  $E : (S + C)$  ainsi que les densités absolues du ciment et du ballast. Celles-ci peuvent être admises égales à 3,10 et à 2,65.

Soient  $C$ ,  $S$ ,  $E$  les poids du ciment, du ballast et de l'eau en kg/m<sup>3</sup> béton

$c$ ,  $s$ ,  $e$ ,  $v$  les volumes occupés dans le mètre cube de béton par le ciment, le ballast, l'eau et les vides.

On a

$$C + S + E = P = \text{Poids du mètre cube de béton}$$

$$c + s + e + v = V = \text{Volume correspondant} = 1000 \text{ litres.}$$

$$\text{Densité du béton} = P : V = \Delta b$$

$$\text{Poids du ciment/m}^3 \text{ béton} = 1000 \Delta b \times \frac{C}{(S+C)} \times \frac{(S+C)}{(C+S+E)}$$

$$\text{Poids du ballast/m}^3 \text{ béton} = 1000 \Delta b \times \frac{S}{(S+C)} \times \frac{(S+C)}{(C+S+E)}$$

$$\text{Poids de l'eau/m}^3 \text{ béton} = 1000 \Delta b \times \frac{E}{(S+C)} \times \frac{(S+C)}{(C+S+E)}$$

*Exemple.* Soient :

$$\begin{aligned} C &= 0,13 (S+C) & c &= 0,13 (S+C) : 3,10 = 0,042 (S+C) \\ S &= 0,87 (S+C) & s &= 0,87 (S+C) : 2,65 = 0,328 (S+C) \\ E &= 0,07 (S+C) & e &= 0,07 (S+C) : 1,00 = 0,070 (S+C) \\ & & v &= 0,010 (S+C) \end{aligned}$$

$$P = C + S + E = 1,07 (S+C) \quad V = c + s + e + v = 0,450 (S+C)$$

$$\Delta b = P : V = 1,07 : 0,45 = 2,378$$

$$C = \frac{2378 \times 0,13}{1,07} = 289 \text{ kg/m}^3 \quad c = 93 \text{ litres}$$

$$S = \frac{2378 \times 0,87}{1,07} = 1934 \quad s = 730 \quad "$$

$$E = \frac{2378 \times 0,07}{1,07} = 155 \quad e = 155 \quad "$$

$$v = \frac{1000 \times 0,010}{0,450} = 22 \quad "$$

$$\frac{2378 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ litres}}$$

Le graphique 2 donne, pour  $v = 0$ , les poids de béton, de ballast, de ciment et d'eau en kg/m<sup>3</sup> en fonction de  $C : (C + S)$  et de  $E : (C + S)$ . Il permet aussi de trouver ces poids pour une porosité donnée, par exemple de 1 ou 2 %. Si cette porosité existait au moment du gâchage et doit être attribuée à la présence de bulles d'air dans le béton, les poids indiqués par le graphique 2 seront multipliés par 0,99 ou 0,98. Si par contre la porosité est due à l'évaporation d'une certaine quantité d'eau de gâchage, les poids de ciment et de ballast du graphique 2 ne seront pas modifiés, mais les poids de l'eau de gâchage et du béton seront diminués de 10, respectivement de 20 kg/m<sup>3</sup>.

#### Emploi des graphiques 1 à 5.

Ces graphiques permettent de résoudre rapidement les problèmes suivants :

## a) Déterminer le dosage d'un béton dont la résistance est imposée.

Il faut connaître ou se donner au préalable la qualité du ciment (facteur  $K$ ), ainsi que la granulation prévue pour le béton qui permettra de déterminer  $E : (S + C)$  au moyen du graphique 5.

Le graphique 1 donne le  $C/E$  correspondant à la résistance imposée  $R$  et au coefficient de qualité  $K$ ; puis,  $C/E$  et  $E : (S + C)$  étant connus, de trouver  $C : (S + C)$ . Enfin le graphique 2 donne directement les poids de ciment, ballast et eau de gâchage en fonction de  $E : (S + C)$  et de  $C : (S + C)$ .

*Exemple.* La résistance imposée est de 300 kg/cm<sup>2</sup>, le facteur  $K$  étant de 250 (bon ciment portland ordinaire à 28 jours).

L'horizontale  $R = 300$  et l'oblique  $K = 250$  (partie supérieure du graphique 1) se coupent en un point d'abscisse  $C/E = 1,70$ .

La verticale passant par  $C/E = 1,70$  coupe l'oblique  $E : (S + C) = 0,07$  à l'ordonnée  $C : (S + C) = 0,12$ ; elle coupe l'oblique  $E : (S + C) = 0,10$  à l'ordonnée  $C : (S + C) = 0,17$ .

Le graphique 2 donne pour  $C : (S + C) = 0,12$  et  $E : (S + C) = 0,07$

Ciment = 276 kg/m<sup>3</sup>  
Ballast = 1997 »  
Eau = 162 »

Poids du béton = 2435 kg/m<sup>3</sup>.

Pour  $C : (S + C) = 0,17$  et  $E : (S + C) = 0,10$  nous avons

Ciment = 365 kg/m<sup>3</sup>  
Ballast = 1780 »  
Eau = 215 »

Poids du béton = 2360 kg/m<sup>3</sup>.

Le graphique 5 montre que  $E = 0,07 (S + C)$  peut être obtenu par la granulation théorique  $P = 7 + 93 \sqrt{d : 30}$ ; de même  $E = 0,10 (S + C)$  correspond à une granulation théorique  $P = 10 + 90 \sqrt{d : 10}$ .

Le graphique 4 permet de trouver immédiatement les refus sur les divers tamis pour ces deux granulations, tandis que le graphique 3 indique dans quelle mesure il est permis de s'écarter sans inconvénient de ces granulations théoriques.

b) Quelle est la résistance probable à 28 jours d'un béton vibré au dosage de 250 kg/m<sup>3</sup> de ciment spécial et gradué suivant  $5 + 95 \sqrt{d : 15}$ ?

Nous admettons que pour ce ciment spécial  $K = 300$  à 28 jours.

Le graphique 5 donne, pour  $D = 15$  et  $A = 5$ , un module de finesse  $M = 4,2$ .

Pour du béton vibré et du ballast roulé  $F = 0,30$ .

$E : (S + C) = F : M = 0,30 : 4,2 = 0,0715$ .

Le graphique 2 indique que, pour  $C = 250$  kg/m<sup>3</sup> et  $E = 0,0715 (S + C)$ ,  $C : (S + C) = 0,11$ , ce qui correspond à la composition du béton suivante :

Ciment = 250 kg/m<sup>3</sup>  
Ballast = 2020 »  
Eau = 160 »  
Poids par m<sup>3</sup> = 2430 kg/m<sup>3</sup>.

La partie inférieure du graphique 1 donne, pour  $C : (S + C) = 0,11$  et  $E : (S + C) = 0,0715$ , un rapport  $C/E = 1,55$ . La partie supérieure du graphique 1 indique que, pour  $C/E = 1,55$  et  $K = 300$ , la résistance probable du béton est de 315 kg/cm<sup>2</sup>.

c) Déterminer la résistance probable d'un béton coulé, au dosage de 200 kg/m<sup>3</sup> d'un ciment dont le facteur  $K = 200$ .

Supposons que nous devions utiliser un ballast roulé dont la granulation irrégulière est donnée ci-après. Nous en déduisons la granulation du mélange  $(S + C)$  en admettant provisoirement, en nous basant sur le graphique 2, que le dosage 200 correspond à un  $C : (S + C) = 0,09$ , d'où  $S : (S + C) = 0,91$ .

|            | Ballast seul | Ballast seul | $S + C$ |
|------------|--------------|--------------|---------|
| 0 — 0,1 mm | 4 %          | 3,6 %        | 12,6 %  |
| 0 — 0,3 »  | 10 %         | 9 %          | 18 %    |
| 0 — 1 »    | 22 %         | 20 %         | 29 %    |
| 0 — 2 »    | 30 %         | 27 %         | 36 %    |
| 0 — 4 »    | 32 %         | 29 %         | 38 %    |
| 0 — 8 »    | 35 %         | 32 %         | 41 %    |
| 0 — 15 »   | 50 %         | 45 %         | 54 %    |
| 0 — 30 »   | 65 %         | 59 %         | 68 %    |
| 0 — 60 »   | 100 %        | 91 %         | 100 %   |

Le module de finesse peut se déterminer graphiquement ; il peut aussi se calculer directement comme suit :

| Tamis               | Refus/tamis | Long. applicable |     |        |
|---------------------|-------------|------------------|-----|--------|
| 0,1                 | 87          | ×                | 0,8 | = 0,70 |
| 0,3                 | 82          | ×                | 1,6 | = 1,31 |
| 1                   | 71          | ×                | 1,4 | = 0,99 |
| 2                   | 64          | ×                | 1,0 | = 0,64 |
| 4                   | 62          | ×                | 1,0 | = 0,62 |
| 8                   | 59          | ×                | 1,0 | = 0,59 |
| 15                  | 46          | ×                | 1,0 | = 0,46 |
| 30                  | 32          | ×                | 1,0 | = 0,32 |
| 60                  | 0           |                  |     |        |
| Module de finesse = |             |                  |     | 5,63   |

Pour béton coulé et ballast roulé  $F = 0,40$ .

$E : (S + C) = F : M = 0,40 : 5,63 = 0,071$ .

Le graphique 2 donne, pour  $C = 200$  et  $E : (S + C) = 0,071$ ,  $C : (S + C) = 0,088$ . Le béton aura la composition suivante :

Ciment = 200 kg/m<sup>3</sup>  
Ballast = 2060 »  
Eau = 160 »  
Poids du béton = 2420 kg/m<sup>3</sup>.

Si cette composition est comparée avec celle trouvée sous  $b$  pour le béton vibré, fabriqué avec un ballast gradué de 0 — 15 mm, on remarque que la quantité d'eau de gâchage est la même pour les deux bétons, malgré les différences de consistance. Cette particularité est due aux différences des diamètres  $D$  des deux ballasts.

Le graphique 1 indique que, pour  $E = 0,071 (S + C)$  et  $C = 0,088 (S + C)$ ,  $C/E = 1,25$ .

Pour  $C/E = 1,25$  et  $K = 200$ , la résistance probable du béton est de 150 kg/cm<sup>2</sup>.

## d) Déterminer les poids de sable et de gravier par mètre cube de béton.

La connaissance de ces poids permet d'obtenir une granulation qui se rapproche en général suffisamment de celle théorique, en tous cas pour les petits chantiers.

Il faut au préalable définir ce qu'on entend par sable et par gravier. Le sable sera constitué par tous les grains de ballast dont le diamètre est compris entre zéro et  $d$  mm ; le gravier contient tous les grains de  $d$  à  $D$  mm.

Le poids total du ballast (sable + gravier) est donné par le graphique 2 en fonction du dosage fixé et de la quantité d'eau de gâchage. Celle-ci est indiquée par le graphique 5 en fonction du diamètre  $D$ , de la granulation théorique adoptée et de la consistance désirée. Le graphique 4 donne, pour n'importe quel  $D$ , le pourcentage en poids des grains plus petits que  $d$  mm (ciment et sable) et celui des grains plus gros que  $d$  mm (gravier). En multipliant ces pourcentages par le poids des matières sèches et en déduisant le ciment du poids (ciment + sable) on obtient les quantités cherchées.

*Exemple 1.* Sable 0 — 6 mm, gravier 6 — 15 mm, dosage 350 CP.

Le graphique 5 donne, pour  $D = 15$ ,  $A = 10$ ,  $F = 0,35$ , une valeur de  $E = 0,087 (S + C)$ .



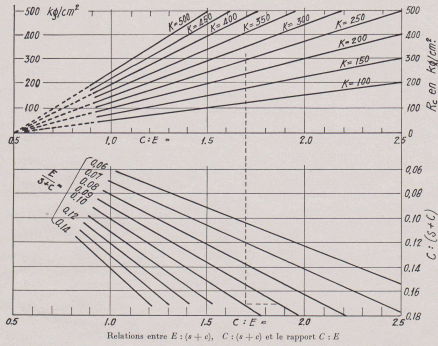
# Choix des caractéristiques et contrôle du béton sur les chantiers

par J. BOLOMBEY, professeur à l'Ecole d'Ingénierie de l'Université de Lausanne.

Graphique 1

Résistances probables à la compression en fonction du rapport C : E et du coefficient K.

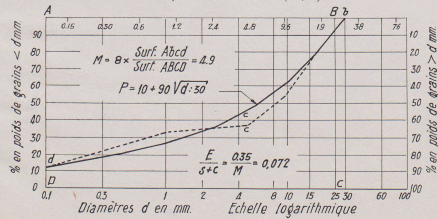
$$R = (C : E - 0.30) \cdot K$$



Relations entre E : (s + c), C : (s + c) et le rapport C : E

Graphique 3

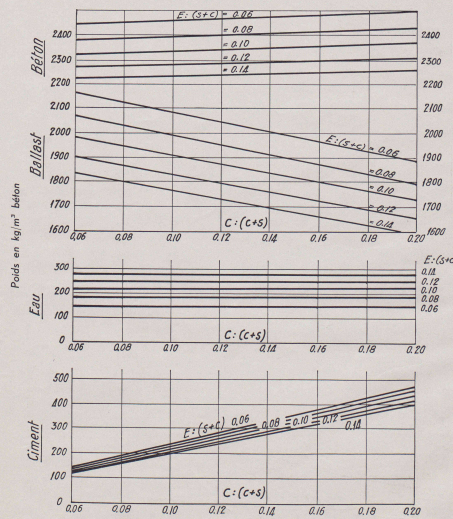
Module de finesse M et calcul de E : (S + C)



Graphique 2

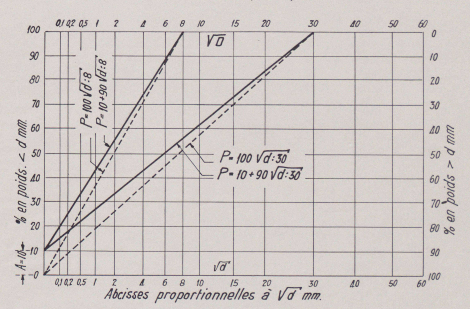
Poids de ciment, de ballast et d'eau en kg/m³ béton en fonction de C : (C + S) et de E : (C + S)

$c = C : 3.10$   $s = S : 2.65$   $e = E : 1.0$   
 $c + s + e + v = 1.000 \text{ m}^3$   $C + S + E = \text{poids du m}^3 \text{ béton}$   
 $v = 0$



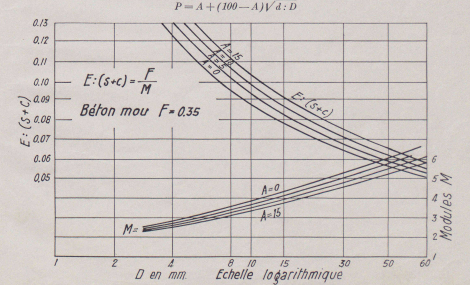
Graphique 4

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



Graphique 5

Modules de finesse M et valeurs de E : (S + C) pour les bétons mous gradués suivant  $P = A + (100 - A) \sqrt{d : D}$



Seite / page

leer / vide /  
blank

Le graphique 2 donne, pour  $C = 350$  et  $E = 0,087 (S + C)$

$$\text{Ciment} = 0,160 (S + C) = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ballast} = 0,840 (S + C) = 1840 \text{ kg/m}^3$$

$$(S + C) = 2190 \text{ kg/m}^3.$$

Le graphique 4 montre que, pour  $D = 15$ ,  $d = 6$ ,  $A = 10$

$$\text{Ciment + sable (0—6) mm} = 0,68 (S + C) = 0,68 \times 2190 = 1490 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Gravier (6—15) mm} = 0,32 (S + C) = 0,32 \times 2190 = 700 \text{ »}$$

$$\text{Le poids du sable est de } 1490 - 350 = 1140 \text{ »}$$

Exemple 2. Sable 0—8 mm, gravier 8—30 mm, dosage 250 CP, granulation  $P = 5 + 95 \sqrt{d} : 30$ , béton à la consistance de terre humide  $F = 0,30$ .

Le graphique 5 indique que, pour  $D = 30$  et  $A = 5$ , le module de finesse est de 5,1. L'eau de gâchage sera

$$E : (S + C) = F : M = 0,30 : 5,1 = 0,059.$$

Le graphique 2 donne, pour  $C = 250 \text{ kg/m}^3$  et  $E = 0,059 (S + C)$

$$\text{Ciment} = 0,107 (S + C) = 250 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ballast} = 0,893 (S + C) = 2070 \text{ kg/m}^3$$

$$(S + C) = 2320 \text{ kg/m}^3$$

Le graphique 4 montre que, pour  $A = 5$ ,  $D = 30$ ,  $d = 8$

$$\text{Ciment + sable 0+8 mm} = 0,54 (S + C) = 0,54 \times 2320 = 1250 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Gravier (8—30) mm} = 0,46 (S + C) = 0,46 \times 2320 = 1070 \text{ »}$$

$$\text{Le poids du sable est de } 1250 - 250 = 1000 \text{ »}$$

Les volumes apparents de sable et de gravier, en litres par mètre cube de béton, s'obtiennent en divisant les poids en  $\text{kg/m}^3$  par les densités apparentes. Celles-ci sont variables, spécialement pour les sables, suivant leur teneur en eau et leur degré de tassement; il faut les déterminer directement dans chaque cas particulier.

Les exemples ci-dessus supposent le ballast nettement séparé en sable de 0— $d$  mm et en gravier de  $d$ — $D$  mm. Ces conditions sont rarement exactement réalisées sur le chantier, le plus souvent le gravier contient une notable proportion de sable. Dans ce cas le poids du « gravier » doit être majoré du poids du sable qu'il contient et le poids du « sable » diminué d'autant.

e) Déterminer la densité approximative d'un béton gâché avec une quantité d'eau de gâchage de  $E \%$  du poids des matières sèches.

La densité absolue du mélange  $(S + C)$  est toujours voisine de 2,70, quel que soit le dosage. Cette densité peut être admise pour un calcul rapide.

Nous avons

$$\text{Poids } (S + C) = 1,00 \times (S + C)$$

$$\text{Poids (eau)} = E \times (S + C)$$

$$\text{Poids total } P = (1,00 + E) (S + C)$$

$$\text{Volume } S + C = (S + C) : 2,70$$

$$\text{Volume } E = E \times (S + C) : 1,00$$

$$\text{Volume total} = (S + C) : 2,70 + E (S + C)$$

$$\text{Densité} = P : V.$$

Exemple. Eau de gâchage  $E = 0,08 (S + C)$

$$\text{Poids total} = 1,08 (S + C)$$

$$\text{Volume total} = (1 : 2,70 + 0,08) (S + C) = 0,45 (S + C)$$

$$\text{Densité} = P : V = 1,08 : 0,45 = 2,40.$$

Si la porosité du béton est de 2 % en volume, sa densité tombera à  $0,98 \times 2,40 = 2,35$ .

On trouverait de même que pour

$$E = 0,06 (S + C) \quad \nu = 0 \quad \text{Densité} = 2,46$$

$$E = 0,08 (S + C) \quad \nu = 0 \quad \text{»} = 2,40$$

$$E = 0,10 (S + C) \quad \nu = 0 \quad \text{»} = 2,33$$

$$E = 0,12 (S + C) \quad \nu = 0 \quad \text{»} = 2,28$$

$$E = 0,14 (S + C) \quad \nu = 0 \quad \text{»} = 2,23.$$

Le densités des bétons sont données d'une façon plus précise, en tenant compte du dosage en ciment, sur le graphique 2. Elles permettent de juger rapidement de la qualité des bétons.

## B. Contrôle du béton sur le chantier.

Les essais principaux comprennent le contrôle du dosage en ciment, de la densité du béton, de la résistance de celui-ci. Il est désirable de les compléter par le prélèvement d'échantillons du ciment utilisé, par l'examen de l'eau de gâchage, par le contrôle de la consistance du béton et de sa granulation, par celui de sa mise en œuvre et des conditions de durcissement.

*Contrôle du dosage en ciment.* Ce contrôle, qui est indispensable, peut se faire exactement et très simplement au moyen d'essais de rendement, c'est-à-dire en mesurant le volume de béton auquel correspond une ou plusieurs gâchées pour lesquelles on connaît exactement la quantité de ciment utilisée.

Par exemple le béton d'une gâchée sera versé dans une caisse ou dans un silo étalonné, ce qui permettra de déterminer son volume. Dans d'autres cas on notera le nombre de sacs de ciment utilisés pour bétonner un élément de construction dont les dimensions sont connues.

Le dosage est parfois indiqué en kilogrammes de ciment pour un certain volume de ballast (en général 1200 litres, plus rarement 1000 litres). Si tel est le cas, il n'y a qu'à observer cette prescription de la soumission, bien qu'elle ne corresponde pas à un dosage bien déterminé par mètre cube de béton. Suivant le dosage et la consistance du béton, suivant la nature du ballast (roulé ou concassé) et sa teneur en humidité, suivant que le sable et le gravier sont livrés séparément ou déjà mélangés, la différence entre le dosage nominal pour un certain volume de ballast et le dosage effectif par mètre cube de béton peut atteindre et même dépasser 20 %. Or la résistance dépend du dosage par mètre cube de béton et non de celui pour un certain volume de ballast.

Le dosage prescrit par mètre cube de béton peut être réalisé approximativement au moyen de la benne de chargement de la bétonnière, à condition de connaître :

1. la contenance exacte de la benne, remplie à ras de son niveau supérieur;
2. le poids de ballast par mètre cube de béton (graphique 2);
3. la densité apparente du ballast, compte tenu de sa teneur en humidité et de son degré de tassement;
4. le volume qui sera occupé dans la benne de chargement par le ciment (poids de ciment par gâchée et densité apparente de ciment, tel que tassé dans la benne).

Exemple.

Contenance de la benne de chargement = 343 litres.

Dosage 300  $\text{kg/m}^3$  de ciment. La densité apparente de celui-ci est de 1,15 dans la caissette de dosage et de 1,30 tel que tassé dans la benne de chargement.

Ballast roulé de 0—30 mm humide, ayant une densité apparente de 1,75.

Pour un ballast roulé de 0—30 mm, la quantité d'eau de gâchage sera voisine de 7 % du poids des matières sèches (graphique 5). Le poids de ballast par mètre cube de béton est donné par le graphique 2; il est de 1970  $\text{kg/m}^3$  pour  $E = 7 \%$  et dosage 300.

Le volume occupé par les 1970 kg de ballast et les 300 kg de ciment tassé sera :

$$1970 : 1,75 + 300 : 1,30 = 1120 + 230 = 1350 \text{ litres.}$$

La benne de chargement ayant une contenance de 343 litres, on aura pour chaque gâchée :

$$\text{Ballast} = \frac{343 \times 1970}{1350} = 500 \text{ kg ou } 500 : 1,75 = 285 \text{ litres.}$$

$$\text{Ciment} = \frac{343 \times 300}{1350} = 76 \text{ kg ou } 76 : 1,30 = 58 \text{ litres.}$$

$$\text{Total} = 343 \text{ litres.}$$

Les 76 kg de ciment correspondent à 1 1/2 sac par gâchée ou 76 : 1,15 = 66 litres, mesurés avec la caissette de dosage.



Au lieu de déterminer le poids de ciment qui correspond à une benne de chargement complètement remplie de ballast et de ciment, on peut aussi déterminer le degré de remplissage de la benne qui correspond à un sac de ciment. Dans ce cas le dosage sera facilité, mais la bétonnière ne travaillera pas à pleine charge.

Dans l'exemple ci-dessus, à un sac de ciment de 50 kg, occupant dans la benne un volume de  $50 : 1,30 = 38$  litres, correspond un poids de ballast de 333 kg, occupant un volume de  $333 : 1,75 = 190$  litres. Au total  $38 + 190 = 228$  litres.

L'exactitude du dosage au moyen de la benne de chargement dépend de la connaissance plus ou moins précise des densités apparentes du ballast et du ciment tassé, ainsi que celle de la quantité d'eau de gâchage. Cette méthode constitue une première approximation qu'il sera toujours prudent de contrôler au moyen d'un essai de rendement.

Le tableau ci-dessous, déduit du graphique 2, indique dans quelle limite les volumes apparents par m<sup>3</sup> béton peuvent varier :

| Dosage 200 kg/m <sup>3</sup>       |                    |        |                  |                                |      |
|------------------------------------|--------------------|--------|------------------|--------------------------------|------|
| Eau<br>% (S + C) kg/m <sup>3</sup> | Ballast<br>Densité | Litres | Ciment<br>Litres | S + C<br>Litres/m <sup>3</sup> |      |
| 7 %                                | 2060               | 1,60   | 1290             | 155                            | 1445 |
| 7 %                                | 2060               | 1,75   | 1170             | 155                            | 1325 |
| 7 %                                | 2060               | 1,90   | 1080             | 155                            | 1235 |
| 9 %                                | 1960               | 1,60   | 1220             | 155                            | 1375 |
| 9 %                                | 1960               | 1,75   | 1120             | 155                            | 1275 |
| 9 %                                | 1960               | 1,90   | 1030             | 155                            | 1185 |

| Dosage 300 kg/m <sup>3</sup>       |                    |        |                  |                                |      |
|------------------------------------|--------------------|--------|------------------|--------------------------------|------|
| Eau<br>% (S + C) kg/m <sup>3</sup> | Ballast<br>Densité | Litres | Ciment<br>Litres | S + C<br>Litres/m <sup>3</sup> |      |
| 7 %                                | 1970               | 1,60   | 1230             | 230                            | 1460 |
| 7 %                                | 1970               | 1,75   | 1120             | 230                            | 1350 |
| 7 %                                | 1970               | 1,90   | 1030             | 230                            | 1260 |
| 9 %                                | 1870               | 1,60   | 1165             | 230                            | 1395 |
| 9 %                                | 1870               | 1,75   | 1065             | 230                            | 1295 |
| 9 %                                | 1870               | 1,90   | 980              | 230                            | 1210 |

La densité des ballasts étant variable d'un chantier à l'autre, il faut la déterminer directement dans chaque cas particulier.

A titre de renseignement le tableau ci-dessous donne les densités apparentes de ballasts roulés, bien gradués de 0,1 à D mm, suivant qu'ils sont secs ou humides (teneur en eau 4 %) et plus ou moins tassés.

|          | Tassement jet de pelle |         | Tassement par damage |         |
|----------|------------------------|---------|----------------------|---------|
|          | Secs                   | Humides | Secs                 | Humides |
| D = 2 mm | 1,70                   | 1,33    | 1,88                 | 1,72    |
| S = 4 »  | 1,84                   | 1,48    | 2,01                 | 1,85    |
| D = 10 » | 1,98                   | 1,63    | 2,13                 | 1,98    |
| D = 20 » | 2,05                   | 1,68    | 2,19                 | 2,07    |
| D = 40 » | 2,08                   | 1,81    | 2,20                 | 2,11    |

Contrôle de la densité du béton. La résistance probable des bétons est donnée par la formule

$$R = (C/E - 0,50) \times K.$$

Connaissant le coefficient K de qualité du ciment (approximativement  $K = Rn : 1,35$ , Rn étant la résistance à la compression à l'essai normal suisse) et le dosage C en ciment, la résistance probable peut se calculer au moyen du graphique 1 dès que la quantité d'eau de gâchage E est connue.

Cette quantité d'eau de gâchage peut se déduire de la densité du béton ; elle est d'autant plus grande que cette densité est plus faible. Elle est donnée pour un béton compact, vides nuls, par notre formule

$$(6) \quad E = \frac{B \times \Delta s - A}{\Delta s - 1} \quad \text{dans laquelle :}$$

E = eau de gâchage en litres par mètre cube de béton

C = dosage en ciment par mètre cube de béton

$\Delta s$  = densité absolue du ballast (en général 2,65)

$\Delta c$  = densité absolue du ciment (en général 3,10)

$\Delta b$  = poids du mètre cube de béton compact et sans vides

A =  $\Delta b - C$

B =  $1000 - C : \Delta c$ .

Exemple. Soient  $\Delta b = 2400$  kg/m<sup>3</sup> C = 300 kg/m<sup>3</sup>

$\Delta c = 3,10$   $\Delta s = 2,65$

A =  $2400 - 300 = 2100$

B =  $1000 - 300 : 3,10 = 903$

E =  $\frac{903 \times 2,65 - 2100}{2,65 - 1} = 177$  litres/m<sup>3</sup>

C/E =  $300 : 177 = 1,69$ .

La détermination de la densité, très simple en principe puisqu'il suffit de connaître le poids d'un certain volume de béton, est assez délicate sur le chantier. La formule (6) est en effet très sensible à la moindre erreur dans la détermination de la densité du béton. Si, dans l'exemple ci-dessus, on avait trouvé une densité de 2,39 au lieu de 2,40, la quantité d'eau de gâchage calculée aurait passé de 177 à 183 l/m<sup>3</sup>, soit une différence de 3,4 %.

Il est donc nécessaire d'éliminer toutes les bulles d'air du béton (porosité nulle) et de connaître son volume et son poids avec une grande précision, à quelques centimètres cube et quelques grammes près. Ceci exige un appareil spécial, tel que celui construit par le Laboratoire d'essai des matériaux de Lausanne. Il consiste en un récipient indéformable, d'une contenance d'environ deux litres, composé d'une cuve cylindrique inférieure sur laquelle se fixe une partie tronç-cônique supérieure terminée par un étroit goulot. La contenance du récipient, rempli au ras de son orifice supérieur, est exactement connue, ainsi que sa tare.

Pour réaliser l'élimination complète des bulles d'air, on verse au préalable dans le récipient une quantité d'eau connue, par exemple 500 gr, destinée à liquéfier complètement le béton et à permettre aux bulles d'air de s'échapper facilement. Après avoir complété le remplissage du récipient jusqu'au ras du goulot avec le béton à examiner, le récipient est pesé avec précision. On a :

Poids du béton = Poids du récipient rempli d'eau et de béton, diminué du poids de l'eau introduite (500 gr) et de la tare du récipient.

Volume du béton = Contenance du récipient, diminuée du volume de l'eau introduite (500 cm<sup>3</sup>).

Densité du béton = P : V.

Il faut éviter les pertes d'eau par rejaillissement de celle-ci lors de l'introduction du béton dans le récipient qui se fera avec précaution ou en employant un entonnoir à large col. Le béton fluent sera remué avec une tige métallique pour assurer le départ des bulles d'air. L'écume qui se forme à la surface sera écartée pour constater le remplissage exact du récipient.

Exemple.

Contenance du récipient 2052 cm<sup>3</sup>

Tare du récipient 1202 gr

Eau ajoutée 500 gr

Poids du récipient rempli de béton et d'eau ajoutée = 5463 gr

Poids du béton =  $5463 - 1202 - 500 = 3761$  gr

Volume du béton =  $2052 - 500 = 1552$  cm<sup>3</sup>

Densité du béton =  $3761 : 1552 = 2,425$ .

Supposons que le béton soit au dosage de 250 kg d'un ciment ayant un coefficient K = 220 (CP ordinaire à 28 jours), nous aurons :

A =  $2425 - 250 = 2175$

B =  $1000 - 250 : 3,10 = 919$

E =  $\frac{919 \times 2,65 - 2175}{2,65 - 1} = 158$  l/m<sup>3</sup>

C/E =  $250 : 158 = 1,58$ .

Résistance probable =  $(1,58 - 0,50) \times 220 = 270$  K/cm<sup>2</sup>.

Pour chaque appareil un graphique permet de trouver immédiatement la densité du béton en fonction du poids du récipient rempli de béton et de 500 gr d'eau de liquéfaction.

Les opérations sur le chantier se bornent ainsi à peser exactement 500 gr d'eau, à remplir soigneusement le récipient de béton, à peser le récipient rempli d'eau et de béton.

Connaissant la densité du béton, d'autres graphiques indiquent immédiatement la quantité d'eau de gâchage pour un dosage donné, ainsi que la résistance probable du béton pour  $K = 200$ . Si  $K$  est différent de 200 on aura

$$R = \text{Résistance du graphique} \times \frac{K \text{ réel}}{200}$$

La détermination exacte du dosage en ciment et de la densité du béton a le très gros avantage de fournir des indications précises sur la qualité du béton et sur sa résistance probable *au moment du gâchage* et avant la mise en œuvre du béton. Il est ainsi possible de remédier à temps à tout défaut éventuel, qu'il soit dû à une erreur de dosage, à une granulation défectueuse du ballast ou à un excès d'eau de gâchage.

La méthode usuelle, consistant à contrôler la qualité du béton au moyen du prélèvement d'échantillons qui seront ensuite rompus à la flexion ou à la compression, fournit certes de précieux renseignements. Malheureusement ceux-ci sont connus généralement trop tard pour permettre d'intervenir efficacement sur le chantier en cas de malfaçons.

*Contrôle de la qualité du ciment.* La vérification du dosage, la détermination de la densité, permettent de s'assurer que la fabrication du béton a été conforme aux prévisions. Par contre la résistance effective de celui-ci dépend de la qualité du ciment (coefficient  $K$ ) qui doit aussi être contrôlée, bien qu'il soit rare qu'elle donne lieu à des réclamations justifiées.

Sur les chantiers importants ce contrôle de la qualité du ciment se fera régulièrement au moyen des essais normaux, exécutés généralement par un laboratoire officiel, ou par la détermination des coefficients  $K$  à divers âges, ce qui est mieux à la portée d'un laboratoire privé.

Il est rare que la qualité du ciment soit régulièrement vérifiée sur les petits chantiers ; le plus souvent elle ne le sera qu'indirectement par le prélèvement de cubes ou de prismes qui seront ensuite envoyés à un laboratoire pour être rompus à 3, 7 ou 28 jours, rarement à 90 jours.

De tels essais fournissent de bonnes indications sur la qualité du ciment si le dosage et la densité du béton (teneur en eau) ont été déterminés au moment du gâchage, si la mise en moule a été faite correctement par secousses, sans dommage direct, et si le durcissement s'est effectué à la température ordinaire (13 à 18°) dans un milieu humide.

Très souvent ces conditions de succès ne sont pas toutes observées : il y a incertitude sur le dosage et sur la quantité d'eau de gâchage, la mise en moule s'est faite par dommage ce qui peut fausser tous les résultats, le durcissement n'a pas été surveillé. Dans ces conditions les renseignements obtenus sont douteux. On connaît la résistance des éprouvettes de contrôle, qui n'est pas nécessairement la même que celle du béton de l'ouvrage, mais on n'a pas obtenu d'indication sûre sur la qualité du ciment.

A ceci vient s'ajouter l'inconvénient, déjà signalé plus haut, que les résistances sont connues trop tardivement pour permettre de remédier à temps à un défaut de fabrication.

Le contrôle rationnel du béton se fera de la façon suivante :

1. Détermination du dosage exact au moyen d'un essai de rendement.
2. Détermination de la densité du béton. Ces essais 1 et 2 permettront de calculer le rapport  $C/E$ .

3. Fabrication d'éprouvettes de contrôle de la résistance (cubes ou prismes), le béton étant mis en moule par secousses, sans dommage direct, jusqu'à ce qu'il soit parfaitement compact. Il aura alors exactement la même résistance que celui de l'ouvrage si les conditions de durcissement sont les mêmes.

La mise en moule par secousses renseigne en même temps sur la maniabilité du béton, sur le danger de démélange (formation de nids de gravier).

4. Durcissement des éprouvettes à la température ordinaire dans un milieu humide.
5. Détermination des résistances à la flexion et à la compression (habituellement par un laboratoire officiel pour avoir un document à classer dans les archives de l'ouvrage).

Connaissant  $C/E$  (essais 1 et 2) ainsi que la résistance (essai 5), il est possible de calculer  $K = R : (C/E - 0,50)$ .

En plus des essais 1 à 5 ci-dessus, il sera prudent de prélever un échantillon du ciment utilisé qui sera conservé dans une boîte en fer blanc étiquetée et soigneusement fermée (boîte d'ovomaltine par exemple). En cas de contestation cet échantillon permettra de vérifier directement la qualité du ciment au moyen d'essais normaux réduits.

Il est fréquent qu'il n'y ait aucun contrôle de la qualité du béton sur les petits chantiers parce que les essais sont jugés trop coûteux et inutiles, les résultats n'étant connus que trop tard. Il est plus simple d'affirmer que « le béton est plus dur que la pierre » et se garder de le vérifier.

Les essais essentiels 1 et 2 se font rapidement sur le chantier lui-même, presque sans frais ni perte de temps. La fabrication d'éprouvettes et leur essai peuvent être notablement simplifiés en remarquant que la résistance du béton dépend du rapport  $C/E$ , donc de la pâte liante. Il n'est donc pas nécessaire de fabriquer des cubes de 16 ou 20 cm de côté de béton entier, lourds et encombrants, ne pouvant être rompus qu'à l'aide de puissantes presses. Il suffit d'extraire le mortier du béton et de fabriquer de petits prismes qui seront rompus à la flexion, soit à la main, soit au moyen d'une petite presse.

Le Laboratoire d'essai des matériaux de Lausanne a mis au point un appareil, facilement transportable, qui permet de rompre à la flexion de petits prismes de  $2 \times 2 \times 12$  cm de mortier extrait du béton et qui donne directement cette résistance en  $\text{kg/cm}^2$ . Celle-ci permet de déduire celle à la compression avec une précision suffisante pour les besoins du chantier. Il sera naturellement toujours désirable de la contrôler au moyen d'essais effectués sur cubes ou prismes de dimensions habituelles fabriqués avec du béton entier ; les prismes de mortier extrait permettront cependant de multiplier les essais et de suivre le durcissement du béton, les frais occasionnés par ce contrôle étant minimes.

#### *Qualité de l'eau de gâchage.*

L'eau de gâchage ne doit pas être boueuse, ni contenir des acides ou des matières organiques.

Il est rare qu'une eau limonneuse contienne plus d'un gramme par litre de particules terreuses. Cette faible teneur est sans influence sur la qualité du béton.

Il en est de même de l'emploi d'eau gypseuse. Une eau saturée contient environ  $2 \frac{1}{2}$  gr de gypse par litre. A raison de  $160 \text{ l/m}^3$ , on introduira ainsi 400 gr de gypse par mètre cube de béton. Or le ciment a une teneur normale en gypse de 3 à 4 %. Si le dosage est de 200 kg, ce seront 6 à 8 kg de gypse qui seront introduits dans le mètre cube de béton

par le ciment. Ce n'est pas le supplément de 0,4 kg qui peut menacer le béton.

Le danger que court le béton immergé dans l'eau gypseuse est que celle-ci se renouvelle constamment et apporte continuellement de nouvelles quantités de gypse qui finissent par être dangereuses.

*Contrôle de la mise en œuvre et du durcissement du béton.* Les essais de contrôle ci-dessus perdent une grande partie de leur valeur si la mise en œuvre du béton est négligée. On a bien des résultats théoriques mais ceux-ci ne correspondent pas avec certitude à la réalité.

Les conditions de succès consistent à réaliser sur le chantier un béton semblable à celui des éprouvettes de contrôle, c'est-à-dire compact et homogène, sans nids de gravier. Ces derniers sont inadmissibles. Ils diminuent fortement la résistance à la compression, annulent celle à la flexion, rendent le béton perméable et sensible aux actions chimiques, facilitent l'attaque des armatures par la rouille.

Pour éviter la formation de ces nids de gravier, il faut utiliser un béton suffisamment maniable et le travailler à la pelle ou avec une tige de fer. La vibration rend d'excellents services, tandis que le damage n'a qu'une action très limitée en profondeur (10 à 20 cm).

Dans les constructions armées il est très important de s'assurer que les armatures sont bien enrobées de béton et surtout qu'elles n'ont pas été déplacées par un damage intempêtif, ce qui est fréquent. Ici encore la vibration permettra de réaliser un béton compact, même dans les parties de l'ouvrage où les armatures sont très serrées, sans risquer de déplacer celles-ci.

Une attention toute particulière doit être accordée aux conditions de durcissement. Le jeune béton ne doit être exposé ni à l'eau courante, ni à la pluie, tant que le ciment n'a pas fait sa prise. Il doit ensuite être protégé contre l'action du soleil qui accentue le retrait et contre le gel qui peut le disloquer. Il faut le maintenir humide aussi longtemps que les conditions locales le permettent, ce qui améliore le durcissement et diminue le retrait. La plupart des fissures de retrait sont dues à un séchage trop rapide et peuvent être évitées en maintenant le béton humide jusqu'à ce qu'il soit devenu résistant et en le laissant ensuite sécher très lentement.

Ces considérations guideront l'ingénieur dans le choix de la nature du ciment et parfois aussi dans celui du dosage. Si le béton ne peut être maintenu longtemps humide, il est désirable de le fabriquer avec un ciment à durcissement rapide, de manière à ce qu'il ait acquis une résistance suffisante au moment où celle-ci cessera de s'accroître normalement par suite du manque d'eau d'hydratation. Dans les fondations ou pour les bétonnages en grosses masses, où le danger de rapide dessiccation n'est pas à craindre, il sera possible de réduire le dosage et d'utiliser un ciment à durcissement lent ou même très lent.

*Contrôle de la consistance du béton.* Le béton doit être à une consistance qui permette de le mettre facilement en œuvre, compact et sans nids de gravier, avec les moyens à disposition sur le chantier. La première condition à réaliser est la compacité ; la réduction de la quantité d'eau de gâchage au strict minimum ne vient qu'en second lieu.

La consistance sera celle d'une pâte ferme pour le béton vibré, celle d'une pâte molle pour le béton mis en place en le travaillant à la pelle ou avec une barre de bois ou de fer.

En général la consistance désirable s'évalue à l'œil ou en travaillant le béton avec une truelle ou encore en le tassant avec le pied. La détermination de la densité permet de s'as-

surer que la quantité d'eau de gâchage ne dépasse pas celle qui a été prévue.

En cas de contestations entre l'entrepreneur et la direction des travaux au sujet de la juste consistance du béton, celles-ci peuvent être liquidées au moyen de l'essai au « slump d'Abrams » ou au moyen de la « table à secousses ».

Le « slump » consiste à mesurer l'affaissement statique d'un tronc de cône de béton de 30 cm de hauteur, de 20 cm de diamètre à la base et de 10 cm de diamètre au sommet. Le tassement, après enlèvement du tronc de cône métallique servant de moule, définit la consistance. Ce tassement sera de :

- 0 — 3 cm pour le béton vibré,
- 3 — 10 » pour le béton mou, mis en place sans vibrations, en le travaillant à la pelle,
- 10 — 18 » pour le béton coulé.

Cet essai est très simple, peu coûteux, facile à exécuter sur le chantier, mais peu précis. Son avantage essentiel est de permettre de liquider rapidement les conflits de chantier.

Les « tables à secousses » sont de différents modèles. Celle fournie par la maison Stern A.-G. à Vienne fournit des renseignements particulièrement intéressants. Elle consiste en un tronc de cône de 20 cm de hauteur, 20 cm de diamètre à la base et de 13 cm de diamètre au sommet, placé au milieu d'un bassin circulaire de 30 cm de diamètre qui repose lui-même sur un plateau qui peut être soulevé sous l'action d'une manivelle pour retomber ensuite brusquement d'une hauteur de 4 cm.

Après avoir rempli de béton le moule tronc-côanique, celui-ci est soulevé et le tronc de cône de béton est soumis à une série de secousses. Sous l'influence de celles-ci le béton se tasse progressivement et la consistance est déterminée par le nombre de secousses nécessaires pour que la surface du béton, qui s'étale dans le bassin, soit devenue horizontale.

Il faudra en général, pour arriver à ce but :

|                                                                                                     |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Béton à la consistance faiblement molle                                                             |                    |
| pour vibrer . . . . .                                                                               | 40 — 100 secousses |
| Béton à la consistance molle, mis en place par le travail à la pelle ou à la barre de fer . . . . . | 15 — 30 »          |
| Béton à la consistance semi-fluide pour être coulé . . . . .                                        | 5 — 10 »           |

Il faudra majorer la quantité d'eau de gâchage de 30 à 50 % pour passer de la consistance pour vibrer (50 à 100 secousses) à celle du béton coulé (5 à 10 secousses), ainsi que permet de le constater le tableau ci-après.

#### Granulation

|                             |                             |                    |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| $P = 10 + 90 \sqrt{d : 30}$ | $E = 6,0 \text{ à } 6,5 \%$ | 40 — 100 secousses |
|                             | 7,2 » 7,8 %                 | 15 — 30 »          |
|                             | 8,4 » 9,0 %                 | 5 — 10 »           |
| $P = 10 + 90 \sqrt{d : 15}$ | $E = 7,0 \text{ » } 7,5 \%$ | 40 — 100 »         |
|                             | 7,5 » 8,5 %                 | 15 — 30 »          |
|                             | 9,5 » 10 %                  | 5 — 10 »           |
| $P = 10 + 90 \sqrt{d : 6}$  | $E = 9,0 \text{ » } 9,5 \%$ | 40 — 100 »         |
|                             | 9,5 » 10,5 %                | 15 — 30 »          |
|                             | 11,0 » 12,0 %               | 5 — 10 »           |

L'essai à la table à secousses Stern fournit d'excellents renseignements sur la maniabilité du béton : celle-ci est inversement proportionnelle au nombre de secousses nécessaires pour obtenir l'étalement complet du béton. Par contre l'appareil est assez coûteux et il n'est pas aussi facilement transportable d'un chantier à l'autre que le cône d'Abrams, du fait de son poids de 24 kg.

**Contrôle de la granulation du ballast.** La juste consistance n'est pas, à elle seule, un critère sûr de la qualité du béton. Le tableau à la fin du chapitre précédent montre en effet qu'un béton fluide, gradué de 0 — 30 mm, exigera moins d'eau de gâchage qu'un béton à la consistance pour vibrer gradué de 0 — 6 mm. La granulation correcte est aussi importante que la consistance. Si donc la densité ne correspond pas aux prévisions il faudra vérifier non seulement la consistance, mais aussi la granulation du béton.

Ce contrôle peut se faire avec un jeu de tamis plus ou moins étendu ; il n'est nullement nécessaire de disposer de tamis standard spécialement fabriqués dans ce but. Il suffira en général de déterminer, sur les petits chantiers, la teneur du ballast en grains de diamètre plus petit que 0,1 ou 0,2 mm, en sable passant au tamis de 4 ou 6 mm et en gravier plus gros que 15 mm.

La teneur en ultrafin (< 0,1 mm) doit être aussi réduite que possible ; celle en sable doit être juste suffisante pour permettre de réaliser un béton compact et maniable.

Résumé. Les essais de contrôle du béton sur le chantier seront réduits aux opérations suivantes :

- Vérification du dosage (essai de rendement).
- Détermination de la densité du béton au moyen de la pesée exacte de l'eau introduite dans le récipient, puis de celle du récipient rempli d'eau et de béton.
- Prélèvement de prismes de mortier extrait du béton, éventuellement de cubes ou prismes de plus grandes dimensions de béton entier.
- Prélèvement et conservation dans des boîtes métalliques d'échantillons du ciment utilisé.
- Contrôle de la mise en place correcte du béton, sans nids de gravier, et des conditions de son durcissement.

Les contrôles de la consistance et de la granulation du béton ne sont nécessaires que pour rechercher les causes de défauts éventuels et pour indiquer comment y remédier.

Lausanne, septembre 1943.

## SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

### Communication de la Commission des concours de la S. I. A. au sujet du concours pour un pont-route sur l'Aar à Berne (pont du Kirchenfeld).

Sur la demande du Comité central de la S. I. A., la commission des concours de la S. I. A. a examiné les résultats de ce concours, exposés dans le n° 21 du tome 121 de la *Schweizerische Bauzeitung* ; il fait part des constatations suivantes :

1. Formulé d'une manière excessivement succincte et qui prête à malentendu sur l'ordre des opérations, le rapport publié donne trop peu de renseignements sur le mode d'appréciation du jury, ce qui a donné aux participants à ce concours l'impression que 36 projets avaient été écartés d'emblée de toute allocation de prix et de toute proposition d'achat, parce qu'ils n'auraient pas satisfait aux directives établies après « l'orientation générale » et avant la discussion des projets, notamment au deuxième point des directives concernant l'architecture urbaine. Cette impression a été renforcée par la réponse donnée à la question 42, d'après laquelle il avait été déclaré en son temps que la dilatation du pont

devait être aussi peu visible que possible. Il manque aussi dans le rapport du jury une critique sommaire des projets qui n'ont pas été retenus pour le classement, critique qui est demandée à l'art. 38 des normes à observer en matière de concours d'architecture et de génie civil (Form. n° 104 S. I. A.).

2. Il s'est trouvé néanmoins que les directives pour l'appréciation des projets n'avaient pas été établies déjà après une « orientation générale », comme on pouvait le supposer à la lecture de l'introduction du rapport, mais seulement après une critique approfondie et minutieuse de tous les rapports. Si ces directives avaient été mises à la fin du rapport, on aurait évité le principal motif du mouvement de protestation.

3. La valeur esthétique était laissée à la libre appréciation du jury, qui a tenu compte de la situation topographique générale de la ville et non pas des établissements actuels du quartier. Mais de toute façon on aurait dû donner un sens plus précis à la réponse à la question 42, d'autant plus que les projets devaient être dessinés sur deux photos représentant la situation actuelle.

4. La Commission pour les concours saisit cette occasion pour insister sur l'importance du soin à apporter à la rédaction du rapport du jury et sur la nécessité d'une exacte concordance au point de vue de la forme avec le programme et les principes du concours. Si l'on avait mieux observé cette condition dans le cas présent, il n'y aurait certainement pas eu de réclamation de la part de nombreux participants à ce concours.

Pour la commission des concours de la S. I. A. :

Le Président : R. CHRIST, architecte.

Zurich, le 30 décembre 1943.

### Extrait du procès-verbal de la 6<sup>e</sup> séance du Comité central du 3 décembre 1943.

#### 1. Etat nominatif.

Admission de nouveaux membres.

Par voie de circulation du 28 octobre 1943 au 1<sup>er</sup> décembre 1943 ont été admis :

|                 |              | Domicile     | Section      |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Roulet, J.-L.   | ing.-électr. | Ch.-de-Fonds | Ch.-de-Fonds |
| Van Berchem, A. | ing. civil   | Genève       | Genève       |
| Minder, F.      | ing. agron.  | Ilanz        | Grisons      |
| Schneider, W.   | ing. géom.   | Sedrun       | Grisons      |

Dans la séance du Comité central du 3 décembre 1943 ont été admis :

|                   |             |                |              |
|-------------------|-------------|----------------|--------------|
| König, M.         | ing. méc.   | Balsthal       | Berne        |
| Buntzen, T.       | ing. chim.  | Berne          | Berne        |
| Breitenbucher, R. | architecte  | Genève         | Genève       |
| Gallmann, F.      | ing. méc.   | Genève         | Genève       |
| Lang, R.          | ing. civil  | Coire          | Grisons      |
| de Montmollin, J. | architecte  | Neuchâtel      | Neuchâtel    |
| Hirsch, H.        | ing. civil  | Neuchâtel      | Neuchâtel    |
| Bandle, H.        | ing. agron. | Frauenfeld     | Thurgovie    |
| Keller, H.        | architecte  | Saint-Nicolas  | Waldstätte   |
| Spring, H.        | ing. civil  | Oberwinterthur | Winterthur   |
| Nicolet, S.       | ing. chim.  | Winterthur     | Winterthur   |
| Frisch, M.        | architecte  | Zurich         | Zurich       |
| Allemand, W.      | ing. civil  | Zollikon       | Zurich       |
| Bachofen, H.      | ing. civil  | Wallisellen    | Zurich       |
| Beely, E.         | ing. civil  | Zurich         | Zurich       |
| Stücheli, E.      | ing. civil  | Zurich         | Zurich       |
| Bueche, J.        | architecte  | Saint-Imier    | membre isolé |

#### Démissions :

|            |              |         |            |
|------------|--------------|---------|------------|
| Dinser, W. | ing. électr. | Yverdon | Waldstätte |
| Gloor, O.  | ing. électr. | Meggen  | Waldstätte |

#### Décès :

|               |              |             |             |
|---------------|--------------|-------------|-------------|
| Moor, K.      | ing. civil   | Bâle        | Bâle        |
| Keller, A.    | ing. méc.    | Berne       | Berne       |
| Hablützel, M. | ing. civil   | Feuerthalen | Schaffhouse |
| Nicod, G.     | ing. électr. | Lausanne    | Vaud        |
| Huguenin, A.  | ing. méc.    | Zuchwil     | Zurich      |

#### 2. Election des membres des commissions permanentes de la S. I. A.

Les membres des commissions suivantes ont été confirmés et élus par le Comité central pour une nouvelle durée de deux ans :

Commission pour la création de possibilités de travail :  
Dr h. c. R. Neeser, ing., Genève, président ; H. Blattner, ing.,