

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 62 (1936)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Granulation et prévision de la résistance probable des bétons  
**Autor:** Bolomey, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-47573>

### **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:** 15.03.2025

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

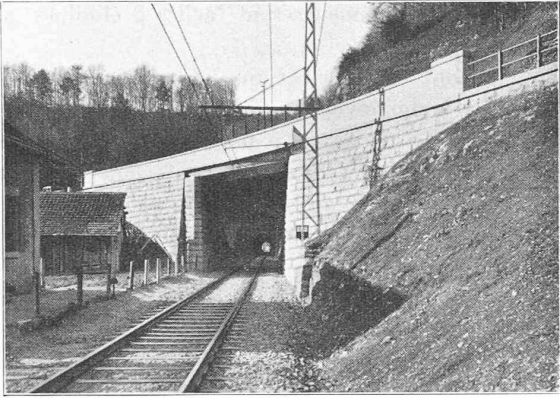


Fig. 9. — Passage supérieur N° 2.

pont. De même qu'au portail du *P. S.* N° 1 le pourtour de la voûte est marqué par le bandeau, de même ici les culées devraient saillir sur les murs d'ailes. Or au contraire l'extrémité de chaque culée est un plan vertical que le mur d'aile dépasse de son fruit. Si l'on voulait se conformer à la règle, il faudrait établir un système de surfaces qui se couperaient sur des arêtes inclinées. Les angles très aigus d'un pont aussi oblique prendraient alors l'apparence d'une proue. Comme les murs sont revêtus de moellons, leur construction serait très délicate. La disposition adoptée, sur la proposition de la direction des travaux, conserve les avantages esthétiques et pratiques du moellonnage. Les arêtes sont verticales et les angles aigus effacés autant qu'il est possible. La ligne principale du pont est celle de la corniche et du parapet prolongés jusqu'aux extrémités des murs d'ailes.

#### Exécution.

On ne pouvait interrompre le trafic ni sur la voie des *C. F. F.*, ni sur la route. Pour éviter tout accident pendant la construction, une zone de la « ligne de contact » donnant le courant électrique aux locomotives, devait être isolée au droit de chaque passage. Par suite de la pente de la voie et de la distance relative des *P. S.* il n'était pas possible d'isoler les deux zones à la fois. Il fallait donc construire les deux ouvrages l'un après l'autre. Les travaux avaient été adjugés en deux lots, comprenant chacun l'un des *P. S.* et la moitié de la nouvelle route. Le *P. S.* N° 1 fut construit d'abord, en  $7\frac{1}{2}$  semaines de travail.

Cependant, à l'autre extrémité du tunnel, on procédait au déplacement du *P. N.* N° 2 de 170 m environ vers l'aval. C'est que la route existante aurait été prise entre la voie et les remblais de la route nouvelle. On établit un tronçon de route provisoire sur une ancienne chaussée qui surplombe la Birse au sud de la voie. Les travaux en furent extrêmement facilités. En ce point la circulation routière ne fut jamais retardée par des encombrements dus aux mines. Le *P. S.* N° 2 fut fait ensuite, en 14 semaines de travail.

Il était plus difficile de maintenir une circulation normale sur le tronçon de la route proche du *P. S.* N° 1. La route ancienne suivait exactement le pied de la mon-

tagne. Elle allait être partiellement recouverte par les remblais de la nouvelle route. On établit des murs qui soutiennent les remblais ; ils laissent 5 m de large à la route inférieure où l'on a donc pu circuler pendant tous les travaux (fig. 5a).

La roche calcaire forme les 79 % des matériaux excavés et déplacés pour établir les remblais et l'empierrement. Le foisonnement est d'environ 18 %. Ce chiffre tient compte des recharges faites sur les remblais. Ceux-ci, ayant été entassés bloc sur bloc au hasard de la décharge des vagonnets, avaient subi des affaissements allant jusqu'au dixième de leur hauteur. Les pierres de la partie superficielle des talus ont été arrangées avec soin et recouvertes de terre végétale. A son passage sous le remblai, le ruisseau est canalisé et recouvert d'une dalle.

Les terrassements n'ont pas présenté de difficulté spéciale. Il faut mentionner pourtant que quelques éboulis ont obligé à construire des murs de revêtement au bord de la nouvelle route. Un terrain semblable d'éboulis se retrouve sous une partie des fondations du *P. S.* N° 1, l'autre partie étant établie sur le rocher. C'est pourquoi les murs d'ailes de ce passage sont sans liaison aucune avec le nouveau portail. De même au *P. S.* N° 2 des joints séparent l'une des culées de ses deux murs d'ailes.

Le nombre total des journées de travail sur le chantier est de 12 600. Les 70 % des ouvriers et employés étaient des chômeurs occupés hors de leur profession. Ils ont fait preuve de bonne volonté et se sont adaptés à leur métier de manœuvre d'une manière très satisfaisante.

Les entreprises Masset à Delémont, Steiner, Müller & Otter à Laufon et Scherrer frères à Zwingen ont exécuté les travaux. Les chantiers ont été ouverts le 12 avril 1934, et le 4 décembre de la même année les travaux étaient entièrement terminés. La nouvelle route a été ouverte à la circulation dès le 16 novembre 1934.

## Granulation et prévision de la résistance probable des bétons,

par *J. Bclomey*, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne.  
(Suite et fin)<sup>1</sup>

*Module de finesse d'Abrams.* La composition granulométrique d'un ballast est définie si l'on connaît les refus exprimés en pour cent du poids total, sur une série de tamis à mailles de différentes ouvertures convenablement choisies.

En additionnant les refus sur tamis à mailles de 0,15 0,30 0,6 1,2 2,4 4,8 9,6 19 38 76 152 mm d'ouverture, le poids total étant pris comme unité, on obtient le module de finesse d'Abrams du ballast considéré. En considérant le mélange du (ballast + ciment), on obtiendra le module de finesse du béton. La figure 2 et le tableau III donnent les granulations de cinq bétons et la détermination des modules de finesse correspondants.

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 28 mars 1936, page 73.

Tableau III. - Calcul du module de finesse des bétons I à V.

Diamètre des mailles	Béton I D = 2 mm	Béton II D = 4 mm	Béton III D = 8 mm	Béton IV D = 20 mm	Béton V D = 20 mm
0,15 mm	0,74	0,78	0,81	0,84	0,81
0,3 »	0,56	0,66	0,73	0,79	0,73
0,6 »	0,39	0,54	0,64	0,74	0,69
1,2 »	0,19	0,39	0,54	0,68	0,65
2,4 »	0,00	0,18	0,40	0,58	0,61
4,8 »	—	0,00	0,19	0,45	0,52
9,6 »	—	—	0,00	0,26	0,32
19 »	—	—	—	0,01	0,01
38 »	—	—	—	0,00	0,00
M =	1,88	2,55	3,31	4,35	4,34
E = 35 : M	18,6 %	13,7 %	10,6 %	8,0 %	8,0 %
Eau effective :	15,1	13,3	10,6	8,2	—

Le module de finesse a les propriétés importantes suivantes : La résistance d'un béton croît en même temps que le module de finesse du ballast qui a servi à sa fabrication. Deux ballasts de même nature et de même module de finesse sont équivalents. A égalité de dosage et de consistance, ils permettent de fabriquer des bétons ayant des résistances sensiblement égales. Ceci sous la réserve expresse que ces ballasts correspondent à des bétons maniables et compacts.

D'après ce que nous avons vu plus haut, relativement à l'influence du rapport  $\frac{C}{E}$  sur la résistance, nous pouvons déduire que la quantité d'eau de gâchage diminue quand le module de finesse augmente et qu'à chaque module de finesse correspond une quantité d'eau de gâchage déterminée, compte tenu du dosage en ciment, de la nature du ballast, de la consistance du béton.

Dans son ouvrage « The design of concrete mixtures », Abrams a donné toute une série de graphiques permettant de trouver rapidement les quantités d'eau de gâchage et les résistances probables des bétons en fonction du module de finesse, en tenant compte de la nature du ballast (roulé ou concassé), du dosage, de la qualité du liant, de la consistance du béton.

Bien que le module de finesse permette d'apprécier rapidement la qualité d'un ballast, pourvu que celui-ci corresponde à un béton maniable, son emploi ne s'est pas généralisé jusqu'ici en Europe, sauf peut-être en Allemagne et en Angleterre, pour les raisons suivantes :

La détermination du module exige, au moins à première vue, l'emploi de nombreux tamis à mailles d'ouvertures bien définies qu'il est parfois difficile et coûteux de se procurer.

Le recours à des graphiques, qu'on n'a pas toujours sous la main, est peu pratique et peut donner lieu d'autant plus facilement à des erreurs d'interprétation que la signification réelle du module de finesse n'est pas connue.

Enfin rien ne permet de déceler, lors de la détermination du module, si le ballast considéré correspond à un béton maniable ou non et comment un ballast, dont la granulation a été reconnue être défectueuse, peut être amélioré.

Ces divers inconvénients sont faciles à éliminer, ainsi que nous le montrons ci-après.

En reportant en abscisses sur le graphique des compositions granulométriques (fig. 2) le logarithme des diamètres  $d$  des grains de ballast, les intervalles entre les abscisses de deux tamis consécutifs sont tous égaux entre eux et ont pour valeur  $\log 2$ , puisque l'ouverture des mailles double toujours d'un tamis au suivant.

Nous avons ainsi :

$$\text{Module } M = \frac{\sum \text{refus sur divers tamis}}{AE}$$

Les refus et  $AE$  étant exprimés en cm ou en mm

$$\text{Surface } (ABCD) = \frac{\sum \text{refus sur tamis}}{AE} \log 2 = M \log 2.$$

La surface  $(ABCD)$  est donc proportionnelle au module  $M$ ; elle est égale à celui-ci si les échelles sont choisies de telle sorte que  $AE = 1,00$ ,  $\log 2 = 1,00$ . Dans le cas de la figure 2.  $AE = 3,5$  cm,  $\log 2 = 0,7$  cm, le module  $M = \text{surf. } (ABCD)$  en  $\text{cm}^2 : 2,45$ .

Cette considération permet de calculer le module en partant de tamis à mailles d'ouvertures quelconques, les granulations des bétons étant définies, par exemple, par les pour cent traversant les tamis de 0,1 0,5 2,4 8 20 60 mm. Il sera déterminé d'une façon d'autant plus précise que les tamis, surtout pour les petites ouvertures, seront plus nombreux.

D'autre part, il est admissible de déterminer le module de finesse de chaque composante du béton. Ces modules partiels n'ont pas de signification par eux-mêmes, mais ils permettent de calculer le module du mélange (ballast + ciment), le seul qui ait une utilité précise parce que seul il correspond à une quantité d'eau de gâchage bien déterminée.

Considérons un béton à 290 kg (13,5 % du poids des matières sèches) fabriqué avec un ballast dont le module est 5,02. Le module du ciment est nul puisque tous ses grains ont moins de 0,15 mm de diamètre. Le module de finesse du béton a pour valeur

$$M = 0,135 \times 0,00 + 0,865 \times 5,02 = 4,35.$$

Nous pouvons également calculer le module de finesse d'un béton obtenu par le mélange de plusieurs ballasts.

Supposons un béton composé comme suit :

10 %	de ciment	dont le module =	0
30 %	» sable	»	= 2,00
60 %	» gravier	»	= 7,00

Le module du béton sera

$$M = 0,10 \times 0,00 + 0,30 \times 2,00 + 0,60 \times 7,00 = 4,8$$

Il est ainsi aisé de déterminer dans quelles proportions doivent être mélangés deux ou plusieurs ballasts pour obtenir un ballast résultant à module donné. Il faudra s'assurer toutefois que ce ballast composé correspond à un béton compact et maniable.

Nous avons déterminé au laboratoire que la quantité d'eau  $E$ , exprimée en % du poids des matières sèches,

nécessaire pour le gâchage d'un béton de module  $M$  peut être calculée par la formule

$$(9) \quad E = b : M$$

dans laquelle  $b$  est un coefficient dépendant de la forme et de la rugosité des grains du ballast, ainsi que de la consistance désirée du béton.

Consistance du béton	Grains arrondis (ballast roulé)	Grains anguleux (ballast concassé)
Terre humide (béton damé)	$b = 32$ à $34$	$b = 38$ à $41$
Pâteuse (béton armé)	$b = 35$ à $38$	$b = 42$ à $45$
Fluente (béton coulé)	$b = 40$ à $44$	$b = 48$ à $52$

La formule (9) permet de calculer rapidement l'eau de gâchage pour n'importe quel dosage et pour n'importe quelle consistance du béton, pourvu que le module de finesse de celui-ci soit supérieur à 2 et que le mélange (ballast + ciment) corresponde à un béton compact et maniable.

Dans le cas des bétons de la figure 2 et du tableau III, pour  $b = 35$ , nous avons :

	Eau calculée = $b : M$	Eau effective
Béton I	$E = 35 : 1,88 = 18,6 \%$	15,1 %
Béton II	$E = 35 : 2,55 = 13,7 \%$	13,3 %
Béton III	$E = 35 : 3,31 = 10,6 \%$	10,6 %
Béton IV	$E = 35 : 4,35 = 8,0 \%$	8,2 %

L'erreur commise dans l'évaluation de  $E$  au moyen de la formule (9) est généralement inférieure à 5 % ; elle peut toutefois atteindre et même dépasser 20 % pour les granulations très irrégulières, à forte teneur en sable fin, ou pour les bétons à très fort dosage. D'une manière générale, le module conduit à sous-estimer les mortiers bien gradués et à surestimer les bétons à forte teneur en particules fines. La détermination de  $E$  au moyen du module est moins précise que par le calcul analytique.

Connaissant le dosage en ciment  $C$  et l'eau de gâchage  $E$ , il est aisé de déterminer la résistance probable du béton sans qu'il soit nécessaire de recourir aux graphiques d'Abrams.

Enfin la maniabilité d'un béton peut être évaluée par la comparaison de la granulation considérée avec une granulation théorique ayant le même diamètre maximum  $D$ . Pour qu'un béton soit d'égale maniabilité, il faut et il suffit qu'il ait la même teneur en fin plus petit que 0,5 mm et en sable de diamètre inférieur à  $D : 10$  que la granulation théorique correspondant au même diamètre  $D$ .

Si ces teneurs sont plus grandes que celles de la granulation théorique, la maniabilité sera améliorée ; elle sera diminuée dans le cas contraire. Le béton V de la figure 2 est équivalent au béton IV.

Le calcul de l'eau de gâchage d'un béton, que ce soit par la méthode analytique ou par celle du module de finesse, montre qu'il y a une infinité de granulations permettant de réaliser des bétons sensiblement égaux en maniabilité et en résistance à ceux exactement gradués suivant une loi déterminée.

Les compositions granulométriques théoriques ont le

gros avantage de concilier au mieux la maniabilité et la résistance ; elles permettent de trouver, sans tâtonnement, la granulation d'un béton compact à résistance voisine de celle maximum qui peut être obtenue, compte tenu du diamètre maximum  $D$ , du dosage et de la qualité du ciment, de la maniabilité et de la consistance du béton requises.

La granulation théorique servira ainsi de directive ; il y aura toujours avantage à chercher à s'en rapprocher le plus possible. Si toutefois les conditions de chantier ne permettent pas de la réaliser exactement, le calcul de l'eau de gâchage indiquera dans quelles limites et de quelle manière il est loisible de s'en écarter pour obtenir une granulation équivalente à la granulation théorique. Pour garantir aux bétons une maniabilité suffisante, il faudra conserver les mêmes teneurs en fin plus petit que 0,5 mm et en sable à grains de diamètre plus petit que 0,1  $D$  que la granulation théorique.

#### Conclusions.

L'étude qui précède montre qu'il est possible de calculer à l'avance, à 10 à 20 % près, la résistance probable d'un mortier ou d'un béton connaissant :

- Le dosage et la qualité du liant utilisé ;
- la nature et la granulation du ballast ;
- la consistance et la maniabilité du béton désirées.

Cette évaluation peut se faire au moyen du calcul de l'eau de gâchage par la méthode analytique ou par celle du module de finesse et en utilisant la formule de résistance de Feret ou celle de Bolomey.

La granulation théorique doit servir de directive ; il est permis de s'en écarter notablement, sans inconvénient, à condition de conserver le même  $E$  ou le même module  $M$  du béton, les mêmes teneurs en particules fines et en sable que la granulation théorique considérée.

A égalité de dosage, de maniabilité et de diamètre  $D$ , les ballasts roulés permettent de réaliser des bétons notablement plus résistants que les ballasts concassés.

Pour un même dosage et une même loi de granulation du béton, la résistance de celui-ci croît avec le diamètre maximum  $D$  des grains du ballast.

Pour une même granulation et un même dosage d'un béton, la résistance de celui-ci diminue en même temps que sa consistance est plus fluide.

Lausanne, le 6 février 1935.

## Usine hydro-électrique sur le Rio Colorado (Etats-Unis).

Nous avons donné une description de cette importante installation dans le « Bulletin technique » du 13 et du 27 avril 1935. Le *Génie civil* du 22 février dernier publie un article intéressant sur l'achèvement des travaux du barrage et sur l'ensemble des travaux. En général les chiffres