

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 51 (1925)
Heft: 17

Artikel: Détermination de la résistance à la compression des mortiers et bétons
Autor: Bolomey, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-39530>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 17.07.2025

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

d'utiliser, pour les nouvelles turbines, des tuyaux d'aspiration à hauts rendements, tels que les turbines à hélice les demandent.

Comme il fallait se borner à l'emploi de tuyaux d'aspiration de forme aplatie, la décision fut prise d'entreprendre, dans le laboratoire des Ateliers des Charmilles S. A., des essais très complets, destinés à mettre en lumière l'influence de ces conditions sur le fonctionnement des turbines.

Ces essais furent exécutés avec un modèle représentant à l'échelle 1 : 4,3 environ la chambre de la turbine, la turbine elle-même et son tuyau d'aspiration.

Sur la base de ces essais, les Usines d'Olten-Aarburg ont commandé aux Ateliers des Charmilles S. A. neuf turbines à axe vertical destinées à être accouplées directement avec des alternateurs de puissance correspondante. Ces turbines, qui devaient donc être installées dans les chambres existantes, furent construites pour 94 tours-minute, au lieu de 28,5 tours-minute et 1000 ch. au lieu de 300 ch. sous une chute nette d'environ quatre mètres. Les dimensions du canal amenant l'eau à l'usine permettaient, sans autre, le passage du débit supplémentaire correspondant à l'augmentation de puissance des nouveaux groupes.

Les trois premiers groupes nouveaux ont été mis en marche avec un plein succès dans le courant de l'hiver dernier. Des essais provisoires de réception, exécutés par la Motor-Columbus A. G., ont donné, tant au point de vue de la puissance, qu'à celui des rendements, des résultats tout à fait satisfaisants qui confirment pleinement ceux obtenus avec le modèle d'essais.

Cette transformation d'usine présente une série de particularités intéressantes, surtout en ce qui concerne la marche en parallèle des groupes; car les turbines ne possèdent aucun réglage automatique; deux d'entre elles seulement ont un distributeur à aubes mobiles, munies d'un réglage à main, tandis que les autres n'ont que des distributeurs à aubes fixes.

Détermination de la résistance à la compression des mortiers et bétons

par J. BOLOMEY, ingénieur-directeur des travaux d'aménagement des chutes de Barberine et Vernayaz (Chemins de fer fédéraux).

(Suite et fin.)¹

Détermination de la granulation d'un sable à densité maximale.

Une méthode plus générale a été indiquée en 1907 par W. B. Fuller & S. E. Thompson (« The laws of proportioning concrete »).

La composition granulométrique théorique correspondant à la résistance maximale peut être définie par la parabole de Fuller

¹ Voir Bulletin technique du 18 juillet 1925, p. 182.

$$(4) \quad P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

D = diamètre maximal du gravier.

d = diamètre quelconque compris entre 0 et D .

P = % du poids du mélange d'un diamètre plus petit que d .

ou, pour le mélange ($C+S+G$) par la courbe de Fuller, combinaison d'une droite ($d > 0,1D$) et d'une ellipse ($d < 0,1D$) déterminée par l'équation

$$(5) \quad (P-7)^2 = \frac{b^2}{a^2} (2a \cdot d - d^2)$$

dans laquelle a et b sont des coefficients dépendant du diamètre D et de la nature des matériaux.

Ces deux formules (voir tableau III) correspondent à des bétons très résistants et denses, mais manquant de plasticité et difficiles à mettre en place sauf en grandes masses et moyennant un sérieux damage. Il y a en général avantage à modifier la parabole de Fuller en y introduisant une constante A tenant compte du ciment et du fin $< 0,5$ mm. et dépendant de la nature des matériaux et du degré de plasticité requis.

La formule 4) devient ainsi

$$(6) \quad P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Matériaux de rivière	$F=1,7$	$A=10$
» »	$F=2,6$	$A=12$
Matériaux concassés	$F=1,7$	$A=12$
» »	$F=2,6$	$A=14$

Le tableau III et la figure 9 donnent les valeurs correspondantes à toutes ces formules en fonction du diamètre maximum D admis pour le gravier (fig. 9 p. 211).

La formule 6) se remémore facilement et donne d'excellents résultats qui ont été vérifiés pour D compris entre 10 et 100 mm. et pour matériaux de rivière ou concassés.

Pour $D < 10$ mm. il convient de s'en tenir à la parabole de Fuller $100 \sqrt{\frac{d}{D}}$ s'il n'est pas nécessaire d'obtenir un mortier particulièrement plastique.

La granulation à densité apparente maximale que nous avons trouvée se rapproche beaucoup de celle donnée par la formule

$$P = 12 + 88 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

La diversité de ces formules indique que l'on peut s'écarter sensiblement de l'une ou l'autre des compositions granulométriques théoriques sans diminuer notablement les qualités du béton. Il importe cependant de conserver le pourcentage de fin $< 0,5$ mm. la proportion de sable au gravier et la grosseur maximale D admise.

TABLEAU III
Compositions granulométriques à compacité maximale

D = diamètre maximum du gravier d = diamètre du grain considéré

Rapport $\frac{d}{D}$	Pourcentages P des matériaux plus petits que le diamètre d , d'après :							
	Courbe de Fuller		$P=100\sqrt{\frac{d}{D}}$	$P=10+90\sqrt{\frac{d}{D}}$	$P=12+88\sqrt{\frac{d}{D}}$	$P=14+86\sqrt{\frac{d}{D}}$	Dir. trav. de Barberine	
	rivière	concassé					$S+G$	béton 200 kg.
0.05	14	15	7	16	18	20	7	15
0.01	17	19	10	19	21	23	14	21
0.02	21	23	14	23	25	26	19	25
0.04	26	29	20	28	30	31	23	29
0.06	29	32	24	32	34	35	28	34
0.08	31	35	28	35	37	38	34	39
0.10	33	36	32	38	40	41	38	43
0.20	41	43	45	50	51	53	50	54
0.30	48	50	55	60	61	62	55	59
0.40	55	57	63	67	68	69	62	65
0.50	63	64	71	74	75	75	68	71
0.60	70	71	78	80	81	81	69	77
0.80	85	86	90	91	91	91	87	88
1.00	100	100	100	100	100	100	100	100
	Bétons		Mortier 0 - 10 mm.	$S+G$ de rivière $F=1.7$	$S+G$ de rivière $F=2.6$	$S+G$ concassé $F=2.6$	Correspond sensiblement au béton du barrage de Barberine	
	manquant de plasticité		peu plastiques		plastiques		peu plastique	

Influence du diamètre D du gravier.

L'importance du choix du diamètre D du gravier est mise nettement en évidence par le tableau IV. L'eau de gâchage y est calculée pour diverses valeurs de D , les matériaux étant gradués suivant la parabole $10 + 90\sqrt{\frac{d}{D}}$, $F=1,7$, sable et gravier de rivière.

En faisant varier D de 5 à 100 mm., la densité apparente des matières sèches passe de 1,97 à 2,35 ; celle du mortier ou béton de 2,24 à 2,48. En même temps que la densité augmente, la quantité d'eau de gâchage diminue de 270 à 136 litres par m³.

En admettant le même dosage de 300 kg. pour tous ces mortiers et bétons, le facteur $\frac{C}{E}$ variera de 1,1 à 2,2 et la résistance probable à 28 jours de 92 à 255 kg/cm².

En d'autres termes, on obtiendra la même résistance probable à 28 jours avec

mortier	0- 5 mm.	dosage	1,—
»	0- 10 »	»	0,85
béton	0- 25 »	»	0,69
»	0- 60 »	»	0,55
»	0-100 »	»	0,50

Il y a donc le plus grand intérêt à adopter un diamètre de gravier aussi grand que possible en tenant compte des installations disponibles et des conditions spéciales du travail à exécuter.

Le choix du diamètre D ne doit cependant pas compromettre la mise en œuvre. Le point essentiel est toujours d'obtenir en premier lieu du mortier ou béton compact. L'expérience indique que les dimensions maximales du gravier ne doivent pas dépasser le quart ou le cinquième de l'épaisseur à bétonner, suivant qu'il s'agit de matériaux de rivière ou concassés. Si cette règle n'est pas observée il sera difficile d'éviter la formation de cavités près des parements et la qualité du béton en souffrira fortement.

Au surplus, l'avantage des gros diamètres diminue rapidement (allure parabolique). En portant D de 60 à 100 mm. l'économie du dosage n'est que de 9 %, tandis qu'elle est de 20 % si D varie de 25 à 60 mm. ou de 10 à 25 mm.

Plasticité du mortier ou béton.

Il arrive fréquemment que les matériaux constitutifs du béton se séparent au cours du transport et ceci d'une façon d'autant plus intense que le dosage est plus maigre et la fluidité plus grande. La mise en œuvre se fait alors dans de mauvaises conditions, il se forme presque inévitablement des nids de gravier qui réduisent fortement la résistance effective du béton.

Comment combattre cette séparation des matériaux ?

La formation des nids de gravier est souvent attribuée à une trop faible quantité de sable ; le remède qui semble s'imposer est donc de majorer le rapport $\frac{\text{sable}}{\text{gravier}}$.

TABLEAU IV

Influence du diamètre maximal D du gravier sur la quantité d'eau de gâchage et la densité

($C + S + G$) graduée suivant la formule $P = 10 + 90 \sqrt{\frac{D}{d}}$ $F = 1,7$

$d =$	$\frac{0,1}{\sqrt{d^2}}$	Poids P et Eau de gâchage E en kg. par m^3 de béton									
		0-5 mm.		0-10 mm.		0-25 mm.		0-60 mm.		0-100 mm	
		P	E	P	E	P	E	P	E	P	E
$C + 0-0,5$ mm.	0.24	750	180	620	148	505	121	410	99	390	92
0,5-1 »	0.13	235	31	165	21	110	14	90	12	60	8
1-2 »	0.08	335	27	250	20	155	12	95	7	95	8
2-5 »	0.05	650	32	490	25	330	16	185	9	160	8
5-10 »	0.03			535	16	375	11	300	9	190	6
10-25 »	0.016					725	12	440	7	400	6
25-60 »	0.009							780	7	585	5
60-80 »	0.006									260	2
80-100 »	0.005									210	1
Poids ($C + S + G$)/ m^3		1970		2060		2200		2300		2350	
Poids eau / m^3 kg.			270		230		186		150		136
Densité béton frais		2,24		2,29		2,38		2,45		2,48	
Pour $F = 2,6$ (béton coulé) on trouve de même :											
Poids ($C + S + G$)/ m^3		1820		1930		2080		2200		2240	
Poids eau de gâchage			325		285		230		190		170
Densité du béton frais		2,14		2,22		2,31		2,39		2,41	

Cette méthode ne donne que de médiocres résultats. On diminue bien les dimensions des vides qui deviennent moins apparents, mais leur volume total reste le même ; la tendance à la séparation des matériaux n'est pas modifiée tandis que la résistance du béton est fortement réduite.

Au lieu d'augmenter la quantité de sable, il faut améliorer sa qualité. Celui-ci doit contenir suffisamment de particules fines pour constituer, avec le ciment et l'eau, une pâte qui adhère fortement au gravier, le lie et facilite le glissement ou le roulement des grains les uns sur les autres. En d'autres mots, il faut augmenter la plasticité.

Celle-ci est due essentiellement aux grains de ciment et de sable d'un diamètre compris entre 0,1 et 0,001 mm. Ceux-ci doivent constituer au moins le 50 % du total du fin < 0,5 mm. du mélange.

Les particules d'un diamètre inférieur à 0,1 mm. jouissent de la propriété de retenir une grande quantité d'eau, de former avec celle-ci une sorte d'émulsion dont la densité peut varier de 1,5 à 2,0 suivant son degré de fluidité.

Si cette densité est trop faible, les graviers tombent, les matériaux se séparent, le béton n'est pas plastique. Si la densité est suffisante les grains de

sable et de gravier flottent dans la masse du mortier (béton fluide) ou sont fortement agglutinés les uns aux autres (béton semi-fluide).

L'expérience indique qu'un mortier ou béton est plastique si la densité du lait formé par la totalité de l'eau de gâchage et la totalité de < 0,5 mm. du béton ne descend pas au-dessous de 1,75 pour $F=2,6$ et de 1,90 pour $F=1,7$. Ces densités se calculent facilement dès que l'on connaît les densités absolues du ciment et de la poudre de pierre (en général 3,10 et 2,65).

La plasticité peut aussi se déterminer au moyen de la table de fluidité. Si le mortier est très plastique, les gros grains paraissent flotter dans toute la masse, ils restent uniformément répartis, l'eau ne se sépare pas malgré une fluidité élevée (fig. 7). Si la plasticité laisse à désirer (fig. 8), il se forme tout autour de la galette de mortier, obtenue lors de l'essai de fluidité, un anneau de lait de ciment ou même d'eau dont la largeur est d'autant plus grande que la plasticité est plus faible.

La formule

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

donne des résultats satisfaisants en prenant pour A des valeurs comprises entre 8 et 14 suivant la nature des matériaux, le degré de fluidité, les masses mises en œuvre, les installations de transport, de répartition, de mise en place, les coffrages, etc.

Conclusions.

L'étude rationnelle d'un mortier ou béton peut se faire d'après la méthode suivante :

1. Choix du diamètre maximum du gravier en tenant compte des installations et des épaisseurs du béton.
2. Détermination de la composition granulométrique

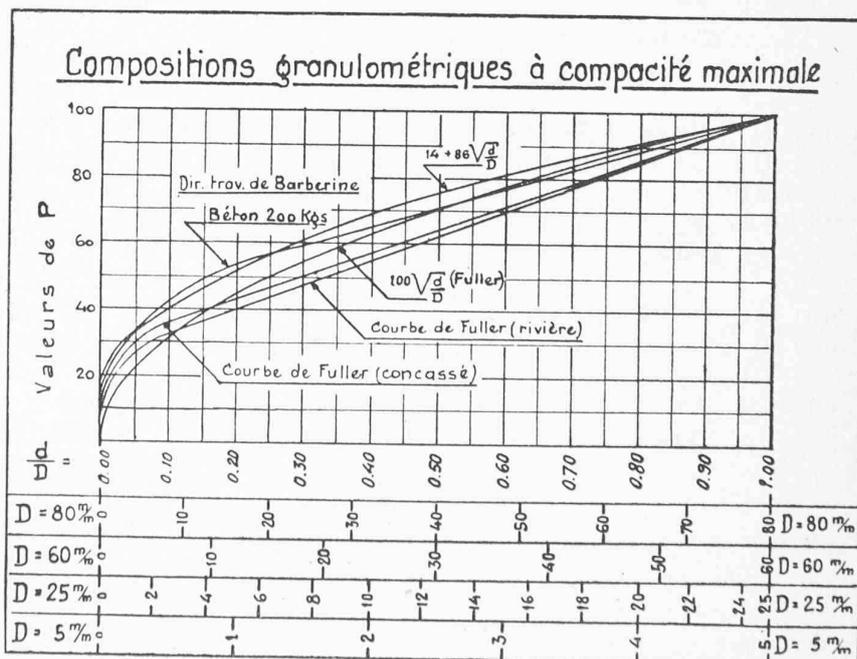


Fig. 9.

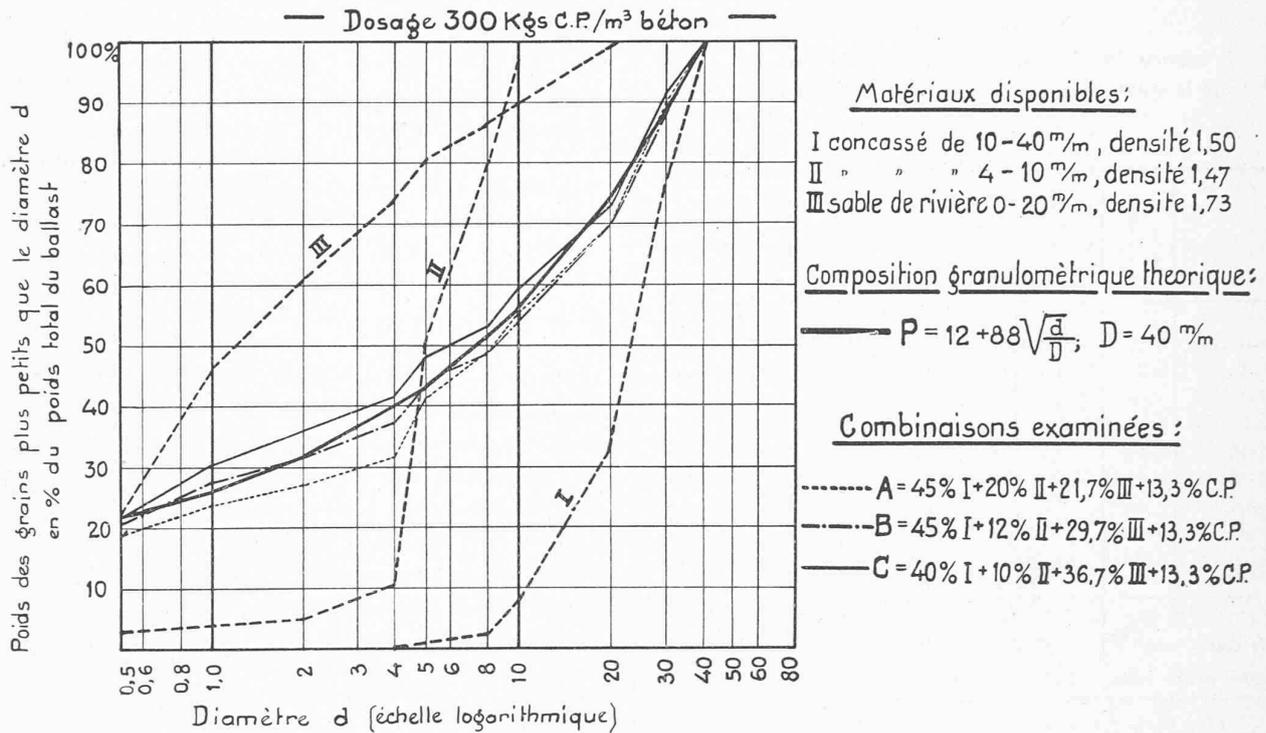


Fig. 10. — Détermination des proportions les plus favorables du mélange des ballasts I, II, III.

Le poids des matières sèches est évalué à 2250 kgs/m³ de béton.

La quantité d'eau de gâchage, calculée d'après $\frac{0,13}{\sqrt{d^2}}$ pour I et II, et $\frac{0,10}{\sqrt{d^2}}$ pour III est :

I 1,9 % du poids du gravier
 II 5,2 % » » » gravillon
 III 11,3 % » » » sable.

On obtient ainsi :

A 0,45 I 1010 kgs 0,670 m³ gravier
 0,20 II 450 » 0,305 » gravillon
 0,217 III 490 » 0,280 » sable
 0,133 C.P. 300 »
 2250 kgs

$$E = 1010 \times 0,019 + 450 \times 0,052 + 490 \times 0,113 + 300 \times 0,23 = 167 \text{ l/m}^3 \text{ béton.}$$

L'essai direct de gâchage fournit un béton très grossier et difficile à mettre en place. L'eau de gâchage effective a dû être portée à 187 litres par m³ de béton pour faciliter la mise en œuvre.

$$\frac{C}{E} = \frac{300}{187} = 1,60 \quad R \text{ probable à 28 jours } 165 \text{ kgs/cm}^2.$$

B 0,45 I 1010 kgs 0,670 m³ gravier
 0,12 II 270 » 0,185 » gravillon
 0,297 III 670 » 0,390 » sable
 0,133 C.P. 300 »
 2250 kgs

$$E = 1010 \times 0,019 + 270 \times 0,052 + 670 \times 0,113 + 300 \times 0,23 = 178 \text{ l/m}^3 \text{ béton.}$$

L'essai direct de gâchage donne un béton facile à mettre en œuvre, quoique un peu grossier pour le béton armé. Eau de gâchage 180 l/m³ béton.

$$\frac{C}{E} = \frac{300}{180} = 1,67 \quad R \text{ probable à 28 jours } 176 \text{ kgs/cm}^2.$$

C 0,40 I 900 kgs 0,600 m³ gravier
 0,10 II 225 » 0,155 » gravillon
 0,367 III 825 » 0,475 » sable
 0,133 C.P. 300 »
 2250 kgs

$$E = 900 \times 0,019 + 225 \times 0,052 + 825 \times 0,113 + 300 \times 0,23 = 193 \text{ l/m}^3 \text{ béton.}$$

L'essai direct de gâchage avec 200 litres d'eau/m³ béton fournit un béton semi-liquide se mettant en œuvre sans dommage simplement en frappant sur les coffrages. Consistance convenant très bien pour béton fortement armé.

$$\frac{C}{E} = \frac{300}{200} = 1,5 \quad R \text{ probable à 28 jours } 150 \text{ kgs/cm}^2.$$

idéale d'après la formule 6) en adoptant pour A une valeur qui corresponde à la plasticité désirée.

3. Analyse granulométrique en poids des matériaux à disposition en donnant la préférence aux sables et graviers de rivière. Il sera utile de disposer d'au moins

trois compositions (très fin, moyen et gros) pour pouvoir s'en tenir à peu près au mélange théorique.

4. Détermination des proportions en poids suivant lesquelles les différents sables et graviers doivent être mélangés pour se rapprocher le plus possible de la

composition théorique. Ceci se fait très rapidement soit graphiquement soit analytiquement.

5. Détermination des densités apparentes des divers sables et graviers pour trouver les proportions en volumes qui correspondent aux mélanges en poids chiffre 4.
6. Calcul de l'eau de gâchage pour évaluer le dosage de ciment qui correspond à la résistance imposée, éventuellement pour déterminer la résistance probable qui sera obtenue pour une fluidité et un dosage donnés.
7. Essai direct de gâchage pour vérifier les résultats obtenus ci-dessus (eau de gâchage, fluidité, plasticité, compacité, densité, résistance).

Pour ces divers essais préliminaires, il suffit de disposer d'une balance, d'un jeu de tamis, de quelques récipients pour mesurer les volumes, de quelques moules de 20 ou 7 cm. de côté.

La recherche complète de la composition théorique la plus favorable peut ainsi se faire en un ou deux jours. Le contrôle sur les chantiers se fera par quelques essais directs de gâchage avec des matériaux secs.

La figure 10 donne un exemple, tiré de la pratique, de l'étude des proportions suivant lesquelles trois ballasts doivent être mélangés pour obtenir un béton offrant le maximum de résistance en tenant compte du degré de plasticité et de fluidité requis.

La composition *A* a été abandonnée immédiatement après l'essai de gâchage parce que trop difficile à mettre en œuvre.

La composition *B* a été utilisée avec succès pour le béton faiblement armé, tandis que nous avons eu recours à la composition *C* pour les parties où l'encombrement des fers nécessitait l'emploi d'un béton particulièrement fluide et plastique. Les résistances obtenues ont correspondu aux prévisions.

Salvan, le 15 mai 1925.

Le nouveau viaduc de la Paudèze.

Quelques-uns de nos lecteurs nous ayant fait part de leur étonnement que nous n'eussions pas même fait allusion, dans notre note sur « La construction et le renforcement des ponts sur le réseau des C.F.F. », page 196 du *Bulletin technique* du 1^{er} août 1925, à la reconstruction du pont de la Paudèze, il nous semble opportun d'annoncer qu'une description détaillée de cet ouvrage, due à M. Jambé, chef du Bureau technique du 1^{er} arrondissement des C. F. F., paraîtra dans notre prochain numéro.

Concours pour l'étude d'un projet du nouveau bâtiment aux voyageurs à Genève-Cornavin.

(Suite.)¹

N^o 12, *L'Aigle*. — La proposition d'élargissement du passage sous-voies de la rue du Mont-Blanc est exagérée.

Ce projet, basé sur le plan officiel, apporte à celui-ci plutôt

² Voir *Bulletin technique*, du 1^{er} août 1925, page 167.

des inconvénients que des avantages, spécialement en ce qui concerne l'escalier de sortie qui est commun avec l'entrée.

L'orientation du local des appareils centraux est défectueuse. La buvette sur quai I est inutile.

Les façades sont bonnes et bien ordonnées.

N^o 36, *Paris-Genève*. — Ce projet est basé sur le plan officiel, sans changement appréciable. La façade est bonne, sauf la variante qui est inférieure. Les accidents et le motif dans la façade côté voies sont inutiles.

(Clichés de la « Schweizer. Bauzeitung ».)

Comparaison des prix de revient des transports par canaux et par chemins de fer.

Le New York State Barge Canal qui relie les lacs Erié, Ontario et Champlain avec l'océan Atlantique par l'intermédiaire du fleuve Hudson est né de l'aménagement, par l'Etat de New York et à ses frais, d'un système d'anciens canaux qui ont été améliorés depuis 1903.

De 1905 au 30 juin 1923, le coût de cet aménagement est évalué à 170 millions de dollars, en chiffres ronds. A cette somme, qui vise seulement le compte de construction et dont le service d'intérêt absorbe annuellement 8,5 millions de dollars, il faut ajouter environ 61 millions de dollars pour d'autres dépenses de sorte que ce canal a coûté à la population de l'Etat de New-York quelque 231 millions de dollars répartis sur une vingtaine d'années. Comme le canal est entretenu et exploité par l'Etat de New York sans prélèvement d'un péage sur les usagers, le prix des transports qui ne comprend donc plus que le *fret* est artificiellement réduit et pour le comparer avec les prix des transports par rail il est nécessaire de tenir compte des charges assumées par l'Etat et qui, en fin de compte, retombent sur la population, sous forme d'impôts.

A cet effet, le *Bureau of Railways Economics* a effectué une enquête minutieuse d'où il ressort que le prix moyen réel du transport d'une tonne-mille par canal, en 1923 (trafic annuel maximum enregistré jusqu'alors) se décompose comme suit :

Charges du capital de premier établissement . . .	2,094 cents
Entretien et exploitation du canal	0,937 »
Fret	0,450 »
Total	3,481 cents

Si au lieu d'un mouvement de 2006284 tonnes seulement la capacité *totale* de transport du canal avait été utilisée, le tonnage eût été de 15 000 000 de tonnes, soit 7 fois environ le tonnage réellement transporté en 1923, et le prix de revient de la tonne-mille aurait été réduit à

Charges du capital d'établissement	0,299 cent
Entretien et exploitation du canal	0,700 »
Fret	0,500 »
Total	1,499 cent

Comme, d'autre part, le prix moyen du transport d'une tonne-mille sur les chemins de fer de la région intéressée par le Barge Canal a été, en 1923, de 1,104 cent, le coût réel des transports par eau est plus de trois fois le prix moyen des transports par rail. En outre, il est plus du double du prix des transports sur le chemin de fer dont le tarif est le plus élevé, le Delaware, Lackawanna & Western (1,324 cent par tonne-mille).

Si, pour préciser la comparaison entre les deux moyens de transport, nous calculons non plus avec l'ensemble des marchandises véhiculées mais avec les grains seuls qui constituent