Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 50 (1924)

Heft: 25

Artikel: Résistance à la traction des bateaux et rendement des remorqueurs à hélice dans la navigation intérieure

Autor: Strickler, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-39113

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: 12.07.2025

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

pas essentiellement différente de celle du ciment pur. Le prix de son mortier normal est, selon l'évaluation précédente, des 68 % de celui du ciment pur, tandis que sa résistance tombe aux 56 % seulement ; ces deux chutes parallèles et inégales font qu'on obtient, au prix du kilo de résistance calculé en ciment pur, seulement 56/68 de kilo par le ciment mixte considéré ; on emploie alors 100/68 = 1,47 fois autant de ciment mixte. Le dosage minimum du mortier étant fixé par raison de compacité, il arrivera que la résistance atteinte dépassera le but prescrit, si l'on emploie le ciment pur ; on pourra alors employer avantageusement le ciment mixte sus-dit, même en forçant le dosage, si la résistance demandée ne dépasse pas les 56/68, c'est-à-dire les 85 %, de celle qu'autorise le ciment pur. Comme on utilisera alors un dosage 1,47 fois plus fort, la compacité y aura largement gagné, et la résistance en sera majorée, sans que le calcul ci-dessus en tienne compte. Cet avantage évident, du ciment mixte, devrait pousser à sa fabrication sur le lieu d'emploi après transfert des clinkers non complètement moulus ; on peut tenter de l'expliquer en partie par le fait que la poudre, réputée inerte et qui ne l'est pas nécessairement si elle est de feldspath, contient une réserve d'humitidé qu'absorbe avidement le ciment alumineux, une fois sa première prise achevée. Un phénomène analogue semble du reste se passer avec le portland, suivant la nature du calcaire mis en œuvre dans le mortier.

Jusqu'à quel point la part d'ultrafin, du ciment mixte, peut-elle être compensée par la farine de pierre des sables broyés, c'est à des essais de le préciser ; le mélange à sec, du ciment pur et du balast riche en poussière, ne peut naturellement pas se comparer à celui qu'assure le moulin finisseur ; il ne peut lors même être ignoré, surtout si les matériaux sont bien secs et les bétonnières perfectionnées. La forme même de l'expression de Féret fait pressentir l'avantage qu'il y a à augmenter le volume c du ciment, quitte à diminuer son facteur K de résistance.

Nous avons raisonné jusqu'ici sur des résultats de mortiers. Nous pourrions évidemment faire de même avec les bétons, puisque tous les expérimentateurs soigneux, qui cherchent la généralisation de la loi de compacité de Féret, en observent volontiers la justification aussi bien dans les bétons que dans les mortiers, le Professeur Schulé par exemple. Le principe est d'attribuer aux facteurs c et s leur valeur la plus logique.

L'objection qu'on peut toutefois faire à cette extension hors preuve, semble être que les conditions de conservation des éprouvettes de mortier normal, le bain ou l'armoire humide, sont particulièrement favorables au ciment alumineux, et qu'on ne peut sans autre les transposer au chantier de bétonnage, quand il s'agit de ciment alumineux en particulier. Ce dernier semble en effet profiter plus largement que le portland des conditions de prise en milieu humide, ce qui favorise nettement son emploi dans les travaux de galerie et de fondation.

En **résumé,** le ciment alumineux électro-fondu paraît indiqué dans tous les cas, où la grande résistance mécanique doit être atteinte dans un délai de 72 heures environ, et où la stabilité chimique doit être entière en présence de sulfates, en général, et des sels de magnésium.

La grande résistance mécanique, du mortier de ciment alumineux, est naturellement beaucoup plus forte à l'écrasement qu'à l'arrachement ; il ne peut donc être en aucun cas question de faire appel à cette résistance à la traction pour soulager pratiquement, c'est-à-dire dans la période faisant marge de sécurité des constructions, les armatures métalliques des bétons fléchis.

La résistance à l'écrasement, du mortier au ciment pur, peut être trop forte pour l'usage prévu ; on envisagera alors l'emploi, ou la réalisation pratique, du sand-cement qui pourra fournir plus économiquement le travail demandé, sans nuire à la compacité, élément essentiel des résistances. Cette question s'introduit naturellement, au point de vue économique, dans les pays comme le nôtre, où les matériaux de base, bauxite et charbon, doivent être importés.

Lausanne, le 20 octobre 1924.

Résistance à la traction des bateaux et rendement des remorqueurs à hélice dans la navigation intérieure.

par le Dr A. STRICKLER
Chef de Section au Service fédéral des eaux.

Un des facteurs essentiels intervenant dans le calcul du rendement économique des transports par voie d'eau est celui de la résistance à la traction des bateaux. Au cours d'études préparatoires sur la navigation intérieure, l'auteur s'est rendu compte que les nombreuses formules dont on dispose aujourd'hui pour calculer cette résistance présentent toutes plus ou moins un caractère spécial parce que, ayant été établies sur la base d'expériences faites dans des conditions particulières bien définies, elles ne sont applicables, avec une exactitude suffisante, qu'à chaque cas satisfaisant à ces mêmes conditions. Or, pour obtenir des valeurs sur lesquelles on puisse tabler en toute sécurité, notamment en vue des calculs comparatifs à établir entre les divers types de bateaux, il faut pouvoir calculer la résistance à la traction avec toute la justesse requise. Les principales formules connues, soit celles de *Bellingrath*, *Sonne*, *Heubach*, *Gebers* et *Riehn*, vérifiées en les appliquant à différentes séries d'expériences faites dans les circonstances les plus variées, avec des bateaux de type divers, n'ont pas donné satisfaction suffisante sur ce point. Il était dès lors indiqué d'établir une nouvelle formule *généralement* valable, pour des bateaux de 400 à 1400 tonnes avec chargement complet ou partiel traînés à des vitesses variables. A part cela, la formule à établir devait être simple tout en assurant une approximation suffisante. L'intention

[1] La note qui suit est un résumé de la «Communication» n° 17 du Service fédéral des Eaux. En vente au prix de 3 francs au Secrétariat du Service des Eaux, Bollwerk 27, Berne.

n'était pas d'établir une nouvelle formule à l'usage des constructeurs de bateaux ; par ses qualités la formule doit permettre avant tout d'atteindre le but visé, c'est-à-dire, notamment, d'effectuer des calculs comparatifs concernant les voies navigables.

S'inspirant de ces considérations, l'auteur a traité en premier lieu le cas particulier de la résistance au mouvement des bateaux en eau indéfinie, pour laquelle il est arrivé à l'expression de :

$$(1) \qquad W_o = c \,.\, V. \left(\frac{L}{t}\right)^{2/3} . \, v_r^2$$

c étant le cœfficient propre à la nature de la coque, V le volume d'eau déplacé en m^3, L la longueur du bateau entre perpendiculaires en m, t son tirant d'eau en m et v_r sa vitesse relativement à l'eau en m par seconde.

Dans le cas général de la résistance à la traction du bateau dans une voie de dimensions limitées, dont le précédent n'est, comme il vient d'être dit, qu'un cas particulier, la formule pour la résistance proposée par l'auteur a l'expression de :

$$(2) \qquad W = c \,.\, V \left(\frac{L}{t}\right)^{2/3} . \left(1 + \frac{0.25}{t_o - t - s}\right) . \, (v_r + v_z) + 1000 \,.\, J. \, V. \, *$$

Le premier membre de la somme n'est pas autre chose qu'une généralisation de la formule pour la résistance en eau indéfinie. Ici la vitesse relative v_r est augmentée de la vitesse additionnelle de l'eau v_z, occasionnée par le déplacement du bateau dans une voie de section limitée. Le facteur

$$\left(1 + \frac{0.25}{t_o - t - s}\right)$$

est purement empirique ; il représente l'accroissement de la résistance dû à la limitation de la profondeur entre le fond du bateau et celui du chenal, t_o étant le mouillage du chenal et s l'enfoncement additionnel du bateau en marche dans le chenal.

Quant au second membre, il figure la résistance au glissement provenant de la position inclinée que la dénivellation de l'eau imprime au bateau en marche, le soulevant à l'avant et l'abaissant à l'arrière. Il va sans dire qu'en eau courante, l'inclinaison du bateau est augmentée de la pente superficielle de l'eau qui agit indépendamment, que le bateau soit en marche ou au repos. D'après quelques données fournies par les expériences faites on peut évaluer l'inclinaison du bateau à $J \doteq 0{,}1 \frac{s}{L}$. En introduisant cette valeur dans la formule générale et en remplaçant le cœfficient c par sa valeur $c = 0.0135$ pour bateaux de forme moderne et à coque métallique, on obtient :

$$(3) \quad W = 0.0135 \, V \left(\frac{L}{t}\right)^{2/3} \left(1 + \frac{0.25}{t_o - t - s}\right) (v_r + v_z)^2 + 100 \,.\, V \frac{s}{L}$$

* Cette formule ne s'applique qu'aux bateaux remontant le courant; c'est d'ailleurs le cas intéressant puisqu'il donne les plus fortes valeurs de la résistance à la traction.

et dans le cas particulier d'un chenal large mais limité en profondeur (chenal fluvial) il vient :

$$(4) \qquad W_o = 0.0135 \, V \left(\frac{L}{t}\right)^{2/3} \left(1 + \frac{0.25}{t_o - t}\right) . \, v_r^2$$

Comme on sait, la résistance à la traction des bateaux en bois est environ le double de celle des bateaux à coque métallique. Ce fait se traduit ici dans la valeur de c qui ressort à environ 0.0245 pour les bateaux de cette première catégorie. Pour les péniches flamandes c atteint même la valeur de 0.05.

La nouvelle formule générale pour la résistance au mouvement des bateaux permet de formuler les conclusions suivantes :

1. La *résistance spécifique* en eau indéfinie, c'est-à-dire la résistance des bateaux par unité de chargement utile, reste la même pour des bateaux de forme semblable, avec coque de même matière, marchant à vitesse égale.

2. En prenant comme base un rapport de $n = 5$ pour un canal en eau morte, où n est le rapport de la section mouillée de la voie à la section de la partie immergée du maître-couple du bateau, et une vitesse de marche absolue (vitesse relativement à la rive) de 1,5 m/sec, on déterminera le rapport n pour des canaux en eau courante de telle manière que la « variation proportionnelle de la résistance » $\frac{\partial W}{\partial n}$ demeure constante, ou en traduisant graphiquement : les tangentes aux différentes courbes de résistance seront parallèles.

On obtient ainsi pour différentes vitesses v_s du courant :

$v_s = 0$	$v_r = 1.5$	$n = 5$
$v_s = 0.5$	$v_r = 2.0$	$n = 6.5$
$v_s = 1.0$	$v_r = 2.5$	$n = 8.5$

La figure 1 ci-après illustre ce qui vient d'être dit. Elle représente pour les différentes vitesses relatives v_r dans une voie de section limitée, la résistance spécifique de bateaux en acier, de forme moderne, en fonction du rapport n, calculée avec la nouvelle formule.

Dans un second chapitre, l'auteur traite du rendement des remorqueurs à hélice dans le service de remorquage. La puissance nécessaire à la progression du moyen de transport ne dépendant pas seulement de la résistance du moyen de transport, mais aussi dans une large mesure du rendement du moyen de transport, une étude de ce rendement et des facteurs dont il dépend s'imposait en vue d'acquérir les bases techniques indispensables pour les calculs comparatifs à établir sur l'utilité économique des différentes solutions à considérer.

En désignant par P la poussée effective de l'hélice, par v_r la vitesse relativement à l'eau, la puissance effective de l'hélice mesurée en *ch* ressort à

$$N_e = \frac{P \,.\, v_r}{75}$$

Pour que l'hélice puisse fournir cette puissance effective, il faut que la machine produise la puissance indiquée

$$N_i^1 = \frac{W \cdot v_r}{75 \cdot \eta_m \cdot \eta_s \cdot \eta_w}$$

où W = résistance du moyen de transport (bateaux).

η_m = rendement mécanique de la machine, l'arbre y compris.

η_s = rendement de l'hélice.

$\eta_w = \dfrac{W}{W + W_D}$ = rapport entre la résistance utile (bateaux) et la résistance totale (bateaux et résistance propre du remorqueur W_D).

Le rendement total du remorqueur peut alors s'écrire :

$$\eta = \frac{W \cdot v_r}{75\, N_i} = \eta_m \cdot \eta_s \cdot \eta_w$$

Par une déduction théorique, puis en introduisant les valeurs en chiffres données par la pratique, l'auteur arrive à la relation que nous désignerons par *équation du quotient caractéristique* « $\dfrac{W}{D^2\, v_r^2}$ » sous la forme définitive suivante :

$$\frac{W}{D_2\, v_r^2} = \alpha \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\pi}{5} \frac{(1 - 2\eta)\,(1 - \eta)}{\eta^2} \qquad (5)$$

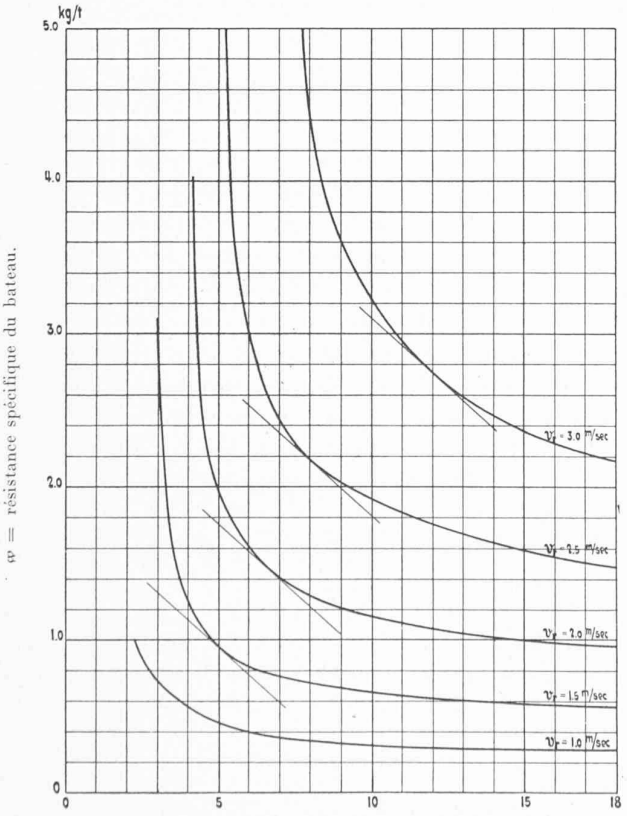
où D = diamètre de l'hélice

$\alpha = \dfrac{4\,\Phi}{\pi D^2}$

Φ = surface active de l'hélice (projection sur plan normal à l'axe)

γ = densité de l'eau

g = gravité.



$n = \dfrac{\text{Section mouillée de la voie}}{\text{Section immergée du maître-couple.}}$

Fig. 1.

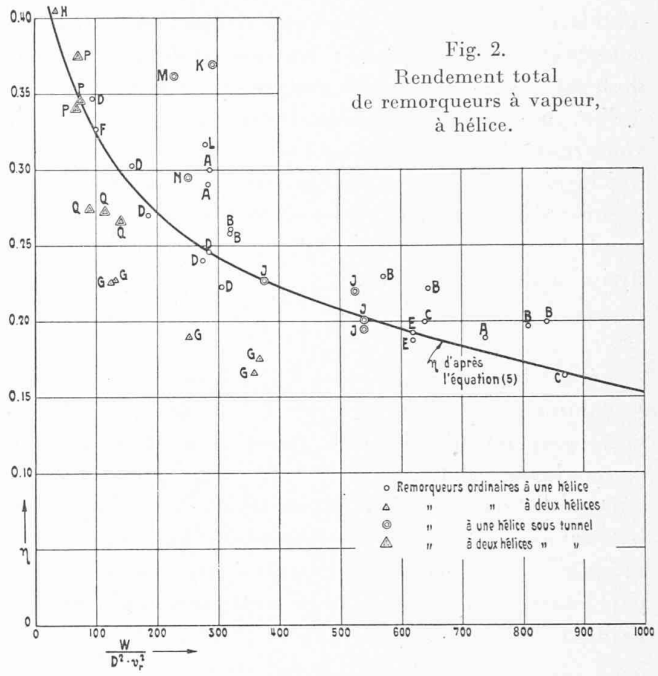


Fig. 2.
Rendement total de remorqueurs à vapeur, à hélice.

La relation exprimée par cette dernière équation est vérifiée dans la figure 2 ci-dessus au moyen de chiffres relevés dans diverses publications et qui se rapportent à des expériences faites avec quinze vapeurs à hélice de construction différente. Le tassement des points autour de la courbe calculée suivant notre équation aurait été encore plus frappant s'il s'était agi de vapeurs du même type pour lesquels notamment la valeur de α ne se serait pas écartée trop sensiblement de la valeur moyenne de $\alpha = 0.70$ mise à la base du calcul de la courbe.

D'autre part, il semble que les vapeurs à une hélice ont un rendement supérieur aux vapeurs à deux hélices. En outre on peut constater que les bateaux à hélice sous tunnel présentent une certaine supériorité sur ceux à hélice ordinaires.

De l'équation (5) sont déduites les conclusions pratiques suivantes :

1. Pour une force de traction et une vitesse de marche données, on obtient le meilleur rendement en choisissant une hélice de diamètre aussi grand que le permettent les conditions de la voie d'eau.

2. Un remorqueur à hélice travaille en eau indéfinie avec un rendement d'autant meilleur que la charge à remorquer est plus petite et que la vitesse relative est plus grande.

3. La résistance à la traction d'un bateau étant égale à W_o = constante $\times\ v_r^2$ et par conséquent $\dfrac{W_o}{v_r^2}$ = constante, un remorqueur peut traîner en eau indéfinie, à toute vitesse pouvant être atteinte, une charge donnée avec environ le même rendement total.

4. Un remorqueur traînera un bateau déterminé à une vitesse donnée avec un rendement d'autant plus faible que la section du chenal sera restreinte.

Relevons pour terminer cet aperçu forcément succinct, que dans les bassins de retenue tels qu'ils se présentent

par exemple sur le Rhin en amont de Bâle, le remorquage pourra se faire dans des conditions relativement satisfaisantes puisque le rendement total à attendre des remorqueurs envisagés pour la navigation dans ces biefs variera entre $\eta = 0.29$ et $\eta = 0.35$.

Résumé par G. Berner, ingénieur.

La galerie d'amenée de l'usine de la Teigitsch.

Dans son numéro du 14 novembre dernier, la *Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-Vereins* a publié, sous la signature du *Dr J. Ornig*, une description de la construction de la galerie, longue de 5357 mètres, destinée à amener 16 m³ d'eau par seconde aux turbines de l'usine de la Teigitsch, en Styrie [1]. La pression, en service, dans la galerie croît de 1,5 à 3,5 atm. Nous empruntons à l'étude très détaillée du Dr Ornig quelques renseignements relatifs au revêtement de la galerie.

Le projet prévoyait que l'étanchéité du souterrain serait réalisée au moyen de *gunite* d'après la méthode préconisée par M. R. Maillart et utilisée pour la galerie de Klosters-Kublis [2]. Là où la roche était compacte elle devait être simplement recouverte, après décapage soigné, d'une couche de 2 à 3 cm. de *gunite* constituée par du mortier de ciment 1 : 3 (sable de 7 mm. de diamètre au plus). Dans les parties moins consistantes, la roche devait être revêtue d'une gaine de béton destinée à contrebuter la pression de la roche et revêtue elle-même d'une couche de gunite armée épaisse de 7 cm.

Mais ces deux types de profil présentaient des coefficients de rugosité très différents de sorte qu'à équivalence de « qualités hydrauliques » et sur la base d'un profil vide de 2,5 m. de diamètre (5 m² de surface) pour les parties de la galerie revêtues, le diamètre du profil en roche simplement couverte de gunite devait être de 3,35 m. (9 m²) (type Ia, fig. 1).

Cette juxtaposition de deux profils si différents n'allant pas sans de nombreux et très gênants inconvénients, on se décida à revêtir toute la galerie d'une gaine de béton damé (type Ib).

Dans les tronçons où elle est appliquée, la couche de gunite armée, épaisse de 7 cm., a pour conséquence une réduction du diamètre intérieur qu'on pourrait compenser en enfonçant la gaine de béton plus profondément dans la roche ; mais pour des raisons d'ordre pratique, on renonça à cet artifice et, comme au Wäggital, on donna partout à la gaine en béton le même diamètre intérieur, la couche de gunite armée qui fait saillie devant être raccordée aux tronçons non armés par un talus au 1 : 10 (type IIa). Pour parer aux pertes de charge par frottement résultant de cette disposition on porta de 2,50 à 2,60 m. le diamètre intérieur de l'anneau en béton. La galerie devait donc avoir, en fin de compte, un diamètre intérieur de 2,6 m. dans les tronçons non armés, et de 2,46 m. dans les tronçons armés.

L'armature devait consister en cercles d'acier rond, de 8-16 mm. de diamètre, espacés de 5-7 cm. et représentant une section de 6,5-23 cm² par mètre courant. Les aciers longitudinaux devaient avoir une longueur de 12 m., un diamètre de 8 mm. et être espacés de 20 cm. La fatigue admise pour l'acier était de 15 kg/mm² dans les parties les moins résistantes de la roche et de 24 kg/mm² dans les parties plus solides. Dans la roche seulement partiellement disloquée l'armature devait consister en un treillis, à mailles de 40 mm., à fils de 3,8 mm. d'épaisseur, enrobé dans une couche de gunite épaisse seulement de 4 cm.

Mais, dans tous les tronçons de la galerie où les essais de mise en pression auraient démontré que la roche est étanche à l'état naturel, on ferait abstraction du revêtement en gunite simple ou en gunite armée.

Or, les résultats des premiers essais [1] de mise en pression, exécutés au printemps de cette année, furent si satisfaisants qu'on décida de faire abstraction, pour le moment, de tout revêtement en gunite, simple ou armée.

Le bétonnage fut effectué sur une épaisseur variant de 15 à 20 cm. dans la roche saine et de 20 à 30 cm. dans la roche disloquée. Le dosage du béton comportait, pour 1 m³ de produit fini, 215 kg. de ciment, 790 l. de gravier de 10-50 mm. et 620 l. de sable de 0-10 mm. Résistance à la compression : 70-110 kg/cm² sur cubes de 20 cm. de côté. Après le décoffrage,

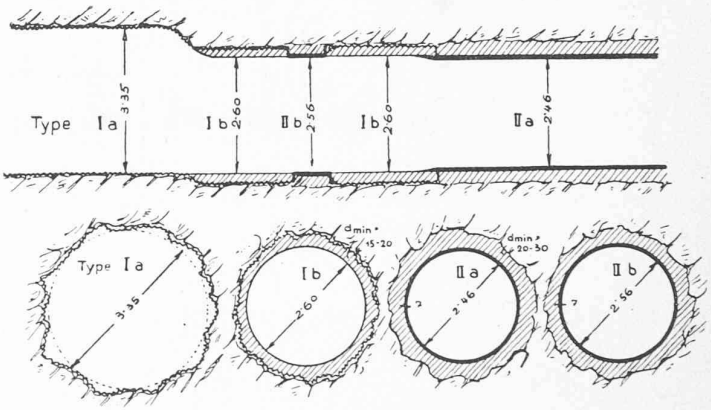


Fig. 1. — Profils schématiques de la galerie de la Teigitsch.

Ia. Application de gunite sur la roche brute.
Ib. » » » » » » » et gaine en béton.
IIa. Gaine en béton revêtue de gunite armée.
IIb. » » » » » » » à profil libre agrandi, appliquée seulement sur quelques courts tronçons.

les trous à la surface du béton étaient bouchés au moyen de mortier de ciment et toute la gaine fut badigeonnée au lait de ciment. Cette opération se fait rapidement, ne coûte que le dixième du prix d'un enduit classique et donne au tube un aspect lisse et compact. Dans les parties humides et suintantes, de la soude fut additionnée au mortier de ciment.

Après le badigeonnage, du mortier de ciment fut injecté derrière la gaine en béton, sous une pression de 5 à 6 atm. Pendant le bétonnage on n'inséra des tubes pour injection que dans les grands orifices. Les trous normaux, espacés de 2 à 3 m., furent forés au marteau perforateur, alternativement à la clé et aux reins. Le mortier pour injections était additionné de sable fin du Danube, de dimension inférieure à 1 mm. et dans la proportion de 1 : 2 pour la roche solide et de 1 : 3 - 1 : 4 pour la roche disloquée. La quantité de mortier absorbé était, en moyenne, de 600 l. par mètre courant ce qui correspond à une gaine uniforme de 5 cm. d'épaisseur environ.

Du 27 septembre au 18 octobre dernier on procéda à des expériences de mise sous pression d'un tronçon de galerie, long de 1340 m. dont 548 m. seulement étaient revêtus de la gaine en béton, tandis que sur les 820 autres mètres la roche était brute. Sous la pression maximum de 3 atm. la perte d'eau mesurée, intéressant une surface mouillée de 14 000 m²,

[1] Voir *Bulletin technique*, année 1922, pages 22 et 168.

[2] Voir les études de M. R. Maillart sur « La construction de galeries sous pression intérieure » publiées dans le *Bulletin technique*, années 1922 et 1923 et réunies en une brochure en vente à la librairie *Rouge & Cie*, à Lausanne.

[1] Décrits en détail par le Dr Ornig.