Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 50 (1924)
Heft: 25

Artikel: Ciment alumineux fondu pur ou mixte (sand-cement)
Autor: Paris, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-39112

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: 13.07.2025

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

50e année 6 décembre 1924 N° 25

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours

ORGANE AGRÉÉ PAR LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Ciment alumineux fondu pur ou mixte (Sand-cement)*, par A. Paris, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne. — *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. — *La galerie d'amenée de l'usine de la Teigitsch.* — *Concours pour l'étude d'un projet d'hôtel destiné à la succursale de la Banque cantonale neuchâteloise, à La Chaux-de-Fonds.* — *Viscosimètre système Michell.* — *Méthodes modernes d'épuration des eaux d'égouts en Europe et en Amérique*, par le Dr Hans Peter, ingénieur, à Zurich (Suite). — *Ire Conférence mondiale de l'énergie, du 30 juin au 12 juillet 1924 à Londres.* — Nécrologie : *Dr Walter Boveri.* — Sociétés : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.* — *Association suisse d'hygiène et de technique urbaines.* — Bibliographie. — *La statistique des centrales suisses d'électricité.*

Ce numéro contient 16 pages de texte.

Ciment alumineux fondu pur ou mixte (Sand-cement).

par A. PARIS, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne [1].

La Compagnie de la Fonte électrique, à Bex, fabrique depuis 1920 un ciment alumineux fondu, qu'elle a mis en vente sous le nom d'*Electrociment*. Ce produit, établi suivant les formules du chimiste français Bied, a fait en Suisse l'objet d'applications intéressantes, utilisant sa rapide et haute résistance mécanique, à 2 ou 3 jours de durcissement, et son inaltérabilité chimique en présence des eaux séléniteuses.

Sans nous arrêter à des généralités touchant ses propriétés caractéristiques, nous nous occuperons ici spécialement de deux ouvrages, l'un en montagne et l'autre en marais, c'est-à-dire :

1. Réfections au tunnel de Magnacun, entre Ardez et Schuls, réseau des chemins de fer rhétiques, Grisons.

2. Construction en béton armé du radier et des pilotis, au gazomètre de Villeneuve, pour la Société du Gaz de la Plaine du Rhône, Vevey-Leysin.

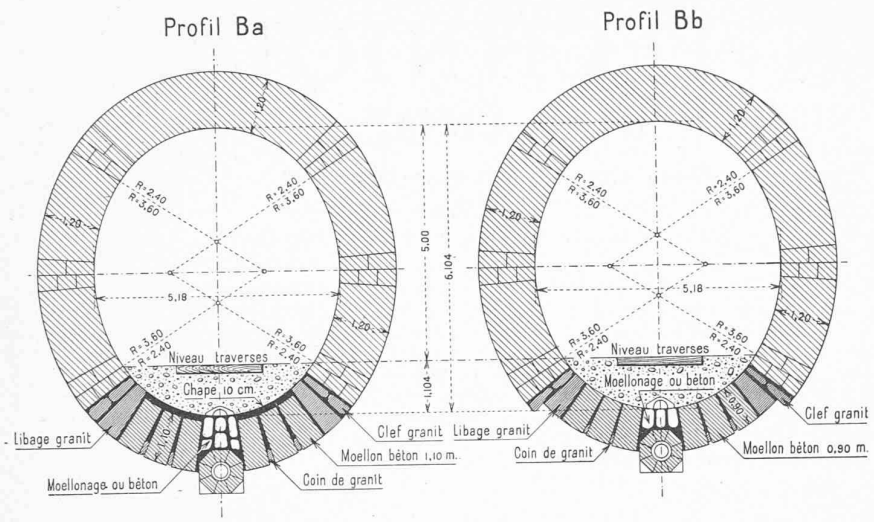
Des applications locales, de ce genre, sont le prélude d'une utilisation généralisée de ce liant qui, de l'avis de connaisseurs, opérera peut-être quelque révolution dans l'art de construire ; la fabrication grandissante de l'alumineux en fait foi. En attendant ce moment, pour lequel la question de prix de revient du liant est évidemment d'importance, il semble qu'une réalisation toute rationnelle concerne la fabrication des drains, destinés aux marais tourbeaux et acides, assez étendus dans certaines parties de notre pays. Nous verrons par la suite comment on peut satisfaire à l'économie sans nuire à la condition fondamentale de compacité.

1. Les maçonneries du tunnel de Magnacun, sur la ligne de l'Engadine, quelques kilomètres avant Schuls, ont une histoire mouvementée, et qui n'est pas terminée à l'heure qu'il est. Construite de 1909 à 1913, la galerie a une longueur de 1909 mètres, dont 368 mètres, du 134,918 km. au 135,286 km., dans un banc de schistes à anhydrite, du type « Bündner Schiefer » : les poussées intenses devaient collaborer à la destruction chimique des mortiers. On prit des précautions immédiates, en remplaçant le profil habituel, à piédroits rectilignes, par un profil ovoïde ayant 90 cm. d'épaisseur à la clef pour 1,20 m. aux reins. Les déformations s'étant quand même amorcées, on construisit, sous la voie ferrée, un radier voûté à 5,0 m. de rayon, supportant la coulisse d'évacuation, qui fut du reste bientôt obstruée par les dépôts minéraux abondants ; le radier et les fondements de piédroits se trouvaient ainsi immergés dans une mare d'eau sulfateuse ; celle-ci provoqua à bref délai la destruction du ciment portland, qui avait fait prise à son contact ; une fissuration plus ou moins horizontale des maçonneries en fut la conséquence immédiate ; le radier se souleva lentement entre les kilomètres 135,066 et 135,076, jusqu'à atteindre un gonflement de 40 cm. ; simultanément, le tunnel se rétrécissait de quelque 25,5 cm., raccourcissant son contour et provoquant des éclatements de maçonnerie atteignant 20 cm. de profondeur, particulièrement à la voûte, de 2,40 m. de rayon intérieur.

Cette situation critique engagea la Compagnie à opérer, en 1916, une première consolidation, sur 28 mètres de longueur du 135,015 km. au 135,043 km. Ayant constaté, comme l'ont du reste signalé Féret et Gary, que les bétons de ciment portland bien compacts n'étaient guère attaqués dangereusement, s'ils avaient eu le temps de faire un durcissement complet à l'abri de l'eau gypseuse, on construisit sur place, en maçonnerie hourdée au portland, le secteur de radier, en évacuant soigneusement les eaux acides des mois durant, par un pompage ; le résultat fut bon, mais les précautions avaient été onéreuses ; cinq ans plus tard, quand on dut prolonger le radier, les massifs étaient apparemment intacts, sans aucun dégât visible ni probable.

Les travaux, repris en novembre 1921, se firent par mœllonnage de granit ou de blocs de béton moulés d'avance ; mais, aux points où la poussée intense demandait une rapide résistance, et où l'eau séléniteuse se montrait dangereuse, c'est-à-dire sur une longueur totale de 190 m., on préféra maçonner le radier et les fondements des piédroits en employant le mortier d'électro-ciment alumineux ; la figure ci-après indique les jointoyages et revête-

[1] L'essentiel de cet article a fait l'objet d'une communication au Congrès de Londres des Ingénieurs constructeurs, avril 1924.



Tunnel de Magnacum (Engadine). Profils de reconstruction. — 1 : 150.

ments ainsi opérés. Les mœllons pour radier et fondements de piédroits étaient préparés hors du tunnel, partie en granit et partie en béton de ciment bien durci, puis mis en place bien hourdés, et protégés, au droit des sources séléniteuses, par une chape au ciment alumineux.

Les sources acides, caractéristiques de ce secteur, montraient les teneurs suivantes en sels minéraux, selon prélèvements et analyse détaillée de la Compagnie et restitution de M. le professeur Dr R. Mellet :

Eaux du tunnel de Magnacun.

Teneur en sels minéraux.

Prélèvements	Km 135	Piédroit + 0,042 I	Coulisse 0,110 II	Coulisse 0,515 III	Portail 0,965 IV	
Sulfate de magnésium	$Mg\,SO_4$	0,0250	0,1255	0,5720	0,5425	gr/lit.
Sulfate de calcium	$Ca\,SO_4$	0.2544	0,9574	0,7290	0,7843	id.
» sodium	$Na_2\,SO_4$	—	0,1450	0,2622	—	id.
Carbonate de calcium	$Ca\,CO_3$	0,3722	—	—	0,0145	id.
Chlorures et carbonates alcalins		0,1344	0,0941	0,1479	0,1577	id.
Résidu calciné		0,7860	1,3220	1,7111	1,4990	gr/lit.

Selon plan de construction, les prélèvements I et II touchent seuls immédiatement la zone de réfection ; le second d'entre eux dépasse sensiblement le gramme de résidu par litre, marquant une acidité déjà exceptionnelle ; sa teneur en magnésie $Mg\,O$ atteint 0,0251 gramme par litre ; elle passe même à 0,114 gramme à la coulisse, km. 135,515, se trouvant alors au niveau des eaux les plus actives qu'ait indiquées Nitzsche (Emperger V, page 39, Dr R. Grün) ; il fallait donc des précautions spéciales. L'emploi de l'électro-ciment alumineux satisfaisait à cette condition, puisque le rapport de la Direction du Chemin de fer dit entre autres : « Le court temps de prise, d'environ huit heures, et les résistances extraordinaires, obtenues déjà après quelques jours, firent que ce ciment convenait très bien au cas particulier. Si l'inaltérabilité, assurée contre l'action des eaux séléniteuses, se vérifie, ce qu'on ne pourra constater avec sécurité qu'après des années, ce serait un avantage supplémentaire inappréciable de ce nouveau liant (l'électro-ciment). »

L'action destructive des bancs d'anhydrite se caractérise d'abord par la décomposition du mortier de ciment portland, qu'on peut enlever avec le doigt, du fond des joints auparavant durcis, comme on le ferait d'argile molle sableuse ; l'écrasement des mœllons suit à la clef par écaillement ; les blocs de roche dure se clivent et gonflent, pour tomber ensuite dans la galerie, demandant une surveillance incessante. Les filets d'eau acide laissent des traces de stalactites et déposent dans les coulisses un magma cristallin, qui durcit si on lui laisse le temps de se prendre ; de nombreux regards permettent le curage régulier des tuyaux.

Les parties du tunnel, actuellement revêtues au ciment alumineux, apparaissent comme intactes en tous points, qu'il s'agisse du jointoyage des mœllons ou de la chape armée projetée au « cement-gun » (procédés Torkret). Les mêmes méthodes réussissent avec le portland, quand elles suffisent à intercepter complètement le passage de l'humidité, en particulier celle de l'atmosphère qui attaque les bancs d'anhydrite ; il faut alors que la stabilité du massif laisse aux mortiers de portland le temps de faire un durcissement suffisant à l'abri de l'eau.

Des cubes témoins, au mortier de ciment portland, baignent dans l'eau corrosive sans cesse renouvelée par les sources ; ils ont résisté jusqu'ici, pour autant que leur prise avait été assurée avant l'immersion ; ils se sont au contraire complètement désagrégés, quand ils avaient été immergés en période active de durcissement.

2. Le second ouvrage, la plateforme de 20 m. de diamètre du gazomètre de Villeneuve, construite au commencement de 1923, se compose d'une dalle en béton armé, posée sur un terrain mouvant (alluvions fluentes du delta du Rhône) laissant pénétrer les pieux presque sans résistance à dix mètres de profondeur. La nappe souterraine peut descendre jusqu'à près de deux mètres sous la plateforme, quitte à remonter presqu'à fleur du sol avoisinant, en temps de hautes eaux. Sa minéralisation est donnée comme suit par le Laboratoire cantonal de Lausanne

Sulfate de calcium $Ca\,SO_4$	0,3110	gramme par litre
Carbonate de calcium $Ca\,CO_3$	0,4500	»
Chlorures	0,0050	»
Solde	0,0015	»
Résidu calciné	0,7675	gramme par litre

La partie, constamment immergée des pieux, a été exécutée en bois ; mais le secteur entre deux nappes devait être mis à l'abri de la pourriture, comme des attaques acides ; celles-ci étaient évidemment bien moins

à craindre qu'au tunnel de Magnacun, puisque l'eau, moins sulfatée, était aussi en mouvement bien plus lent, parce que sans pression ; toutefois des accidents graves, survenus à quelques kilomètres de là dans les bassins de la Gryonne et de l'Avançon, nous conseillaient la prudence. D'un autre côté, si les fatigues à prévoir étaient faibles, on tenait beaucoup à la compacité du béton ; l'emploi d'un béton riche devenant trop onéreux en ciment pur, nous avons dès lors adopté le sand-cement, dosé à 40 % en poids de clinker alumineux pour 60 % de sable siliceux.

Les pieux, de 30 cm. de diamètre circonscrit, ont été foncés sans peine après durcissement, par battage sous matelas de sable.

Les expériences, faites au cours de ces deux ouvrages, montrent divers aspects de la question de l'emploi du ciment alumineux électro-fondu. Certains travaux utilisent plutôt sa haute résistance à bref délai, passant ainsi sur la question de prix, encore très élevé, de ce liant nouveau délicat à fabriquer ; d'autres demandent plutôt la résistance chimique à l'action corrosive et destructrice des eaux de marais et de roches gypseuses[1] ; les plus intéressants cumulent les deux avantages, tirant alors le plus grand parti de ces propriétés remarquables. Celles-ci sont, en principe, fort différentes, mais elles ont ceci de commun que la compacité du béton leur est toujours favorable, surtout s'il s'agit de masses armées.

L'intrusion de l'eau minéralisée dans un corps de béton, même inaltérable comme l'est celui au ciment alumineux, provoque soit des dépôts intérieurs cristallisables par surhydratation, et expansion, soit des entraînements de chaux soluble, soit une diminution des résistances mécaniques ; il faut l'éviter. Si le travail utile, demandé à la maçonnerie, ne justifie pas les résistances considérables du ciment alumineux aux dosages habituels, il est indiqué de ne pratiquer l'amaigrissement qu'en veillant au maintien de la compacité ; on y parvient en étudiant soigneusement ses mélanges de sable et de gravier, occasionnellement aussi en remplaçant le ciment pur par du sand-cement.

Le calcul de la résistance à l'écrasement, si on le fait par la formule de *Féret*

$$R = K \times (c : 1 - s)^2$$

montre que, si le cœfficient de résistance K du ciment ne diminue qu'en proportion de l'amaigrissement en clinker pur, le module de compacité contient au carré l'expression c du volume absolu de liant, indiquant l'avantage évident du sand-cement sur le dosage maigre au ciment pur. La participation automatique des ultrafins, contenus dans le balast, à la formation effective d'un sand-cement, reste ici une inconnue qui peut jouer un rôle considérable ; certaines surprises, qui semblent contredire le principe de proportionnalité entre compacité et résistance, le font supposer.

[1] Voir *Bulletin technique*, année 1923, page 45, l'étude du Dr B. Jeanneret sur les « Résistances comparatives de l'électro-ciment et du ciment Portland à divers agents ».

Quelques évaluations comparatives vont nous permettre de fixer des jalons dans le sens de cette étude.

Des écrasements de cubes de mortier normal, battus secs, dosés à un poids de ciment pour trois de sable normal suisse, nous ont donné les résultats suivants :

Mortier normal 1 : 3.

Résistance à	1 jour	2 jours	3 jours	7 jours	28 jours	
1. *Portland ordinaire*	—	40 à 100	—	250 à 400	300 à 500	kg/cm²
2. *Portland spécial*	—	150 à 200	—	350 à 550	550 à 650	id.
3. *Electrociment pur*	586	500 à 700	730	700 à 800	750 à 850	id.
4. *Electrociment mixte* (sand-cement 50 %)	331	—	407	440	—	id.

La résistance du mortier au ciment mixte, à 50 %, a donc atteint communément les 56 % de celle du mortier à l'alumineux pur.

Comptant le même prix de sable et de main-d'œuvre par mètre cube de mortier, soit 29 francs, et ajoutant celui de 500 kg. de ces divers ciments, aux prix pratiqués en Suisse, où le ciment alumineux coûte environ deux fois et demi le portland, nous obtenons les coûts suivants du mètre cube fini :

1. Mortier de ciment portland ordinaire	66,50	fr. m³
2. Mortier de ciment portland spécial .	76,50	»
3. Mortier de ciment alumineux pur . .	146,50	»
4. Mortier de ciment alumineux sand-cement 50 %	99,00	»

Le kilogramme de résistance du béton, en colonne d'un mètre de hauteur, atteint ainsi, suivant les types et en millièmes de centime-or, les prix suivants :

	1 jour	2 jours	3 jours	7 jours	28 jours
1. *Portland ordinaire*	—	16,60 à 6,65	—	2.66 à 1,66	2.22 à 1,33
2. *Portland spécial*	—	5,09 à 2,08	—	2,18 à 1,39	1.39 à 1,18
3. *Alumineux pur*	2,50	2,92 à 2,08	2,01	2,08 à 1,83	1,95 à 1,72
4. Id. *mixte* 50 %	3,02	—	2,45	2,25	—

Pour autant qu'on est en état d'utiliser pleinement la résistance utile du mortier, la mise en valeur des types 2) et 3) ressort immédiatement du second tableau ; au point de vue chantier et au prix où nous le payons, le ciment alumineux devient économique quand on doit décoffrer et mettre en service au cours de la semaine qui suit le bétonnage ; au delà de ce délai, et jusqu'à la quinzaine, c'est l'emploi du ciment portland spécial à haute résistance (nouvelles prescriptions suisses 1924) qui s'impose. Plus tard, la marge de résistance due au durcissement croissant permet de se contenter, dans les constructions habituelles, des portlands artificiels ordinaires, répondant aux prescriptions normales. Des prix plus avantageux du ciment alumineux permettraient naturellement d'étendre son usage économique au delà des limites esquissées ci-dessus.

Le sand-cement alumineux, nº 4 des tableaux, joue un rôle à part, en ce sens que l'allure de sa prise n'est

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.