

Zeitschrift:	Bulletin technique de la Suisse romande
Band:	67 (1941)
Heft:	26
Artikel:	Fabrication et emploi des conducteurs d'aluminium pour les lignes aériennes et les câbles sous plomb
Autor:	Foretay, E.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-51354

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: 22.02.2026

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

portant plusieurs filières, avec comme lubrifiant un mélange d'huiles minérales et végétales. Autrefois, ce mélange se composait au moins pour les $\frac{3}{4}$ d'huile végétale et on ne pouvait pas travailler autrement ; maintenant les circonstances ont imposé l'emploi d'un mélange composé en grande partie d'huile minérale, et cela va quand même.

Les torches de fil laminé sont soudées à l'entrée des machines à tréfiler par un appareil électrique à soudure par résistance, sans décapant ni métal d'apport. L'opération dure une fraction de seconde et donne de bonnes soudures. Une rupture dans les machines à tréfiler est très rare et, quand la soudure a passé dans les diverses filières, on est sûr qu'aucune rupture ne se produira ensuite.

Les filières, généralement en carbure de tungstène, étant bien polies et le fil bien lubrifié, l'usure est lente, mais elle devient rapide et le fil gripe s'il est mal graissé ou mouillé. On doit éviter aussi des passes trop faibles.

Recuit.

Le fil sortant de tréfilage est fortement écroui. On l'utilise ainsi à l'état dur pour les lignes aériennes.

Pour les câbles sous plomb, les fils massifs de 10 à 25 mm² sont recuits après tréfilage pour donner du fil mou ayant une charge de rupture de 10 kg/mm². Les fils destinés aux cordes de section de 35 mm² et plus, ayant des diamètres de 2 à 3 mm subissent un recuit intermédiaire suivi de deux passes de tréfilage, ce qui donne le fil dit $\frac{1}{4}$ dur, avec une charge de rupture de 14 kg/mm² et qui se rase moins facilement que le fil mou. Le recuit se fait au four électrique, à une température d'environ 400°.

3. Propriétés mécaniques et électriques des fils.

Les principales propriétés mécaniques des fils d'aluminium sont données par le tableau II.

Propriétés mécaniques des fils d'aluminium.

Tableau II.

	Al dur	Al $\frac{1}{4}$ dur	Al mou
Charge de rupture kg/mm ² . . .	19	14	10
Allongement à la rupture % . . .	2,5	3	35...40
Limite élastique kg/mm ² . . .	10...11		

Ces chiffres sont valables pour du métal à 99,3 à 99,5 %.

A l'état mou, l'aluminium est plus flexible que le cuivre, à diamètre égal. Par contre, si l'on compare des fils équivalents, comme par exemple du cuivre de 1 mm de diamètre et de l'aluminium de 1,3 mm, l'aluminium est plus rigide que le cuivre. Le diagramme (fig. 1), qui donne la déformation totale à la flexion pour un fil d'aluminium mou de 1,3 mm ø, un fil de cuivre mou de 1 mm ø et un fil d'aluminium mou de 1 mm ø, le montre clairement. Ces résultats sont obtenus par une méthode spéciale, mise au point dans notre laboratoire d'essais des métaux.

Les propriétés électriques des fils d'aluminium sont données par le tableau III. La résistivité dépend de la pureté du métal et aussi un peu de son degré d'écrouissage ou de recuit.

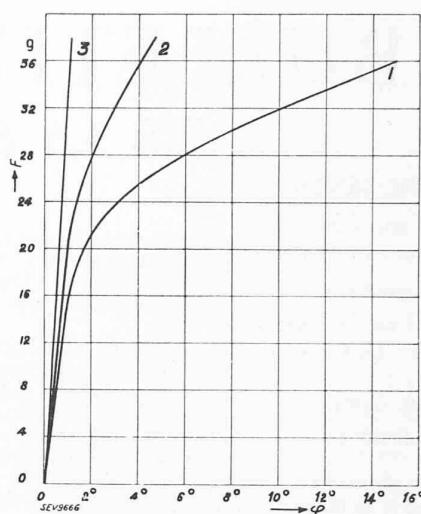


Fig. 1. — Déformation totale à la flexion pour des fils mous.

F Charge en g. — φ Déformation totale en degrés.
1 Aluminium mou ø 1 mm. — 2 Cuivre mou ø 1 mm.
3 Aluminium mou ø 1,3 mm.

Propriétés électriques des fils d'aluminium.

Tableau III.

	Résistivité microhms-cm à 20°
Al à 99,5 %	dur 2,82
Al à 99,3 %	dur 2,89 mou 2,86
Augmentation de résistance par degré C	0,004

Le recuit diminue la résistivité.

Remarquons en passant que soit un écrouissage un peu poussé, soit une faible proportion d'éléments étrangers provoquent une augmentation de la résistance à la traction mais aussi de la résistivité.

On ne peut pas tout avoir en même temps, une haute charge de rupture et la meilleure conductibilité.

4. Fabrication des conducteurs pour lignes aériennes.

Pour les câbles sous plomb, l'aluminium est un métal de remplacement qu'on utilise maintenant à cause de la pénurie de cuivre. Par contre, pour les lignes aériennes, il y a déjà une vingtaine d'année que l'aluminium est utilisé à la place du cuivre, à cause de son poids plus faible qui permet d'alléger les pylônes et de réduire le prix du kilomètre de ligne. Le tableau IV donne les particularités d'un câble en aluminium-acier et d'un câble en cuivre ayant même conductibilité.

Comparaison entre un câble aluminium-acier et un câble en cuivre.

Tableau IV.

	Aluminium-acier	Cuivre
Composition	7 fils acier ø 3 mm 30 fils Al ø 3 mm	19 fils ø 2,90 mm
Résistance électrique ohm/km 20° . . .	0,1375	0,1375
Poids kg/km	990	1140
Rapport des poids	0,87	1
Charge de rupture totale kg	9 à 10 000	5000
Diamètre extérieur mm	21	14,5

Le câble aluminium-acier ne pèse que 87 % du poids du câble en cuivre. Sa charge de rupture est double, ce qui permet d'augmenter les portées, d'où une nouvelle réduction du poids des pylônes rapporté au kilomètre de ligne.

Le diamètre extérieur du câble aluminium-acier étant plus grand, les pertes par effet de couronne sont réduites.

Le câblage des fils en cordes se fait selon les mêmes principes et avec les mêmes machines que pour les cordes en cuivre. On doit cependant prendre quelques précautions supplémentaires pour éviter de rayer les fils. Les guides et mandrins seront en une matière bien lisse : fibre vulcanisée ou éventuellement bois dur. Il faut graisser pour éviter le grippage et bien surveiller le travail.

Les cordes mixtes sont en général composées de 7 fils d'acier zingués à chaud, recouverts de 2 couches de fils d'aluminium comme le type mentionné dans le tableau IV et qui a été livré en grandes quantités. La section de l'acier est de 49 mm^2 , celle de l'aluminium de 210 mm^2 . L'acier est à haute résistance, 130 kg/mm^2 , allongement à la rupture 5 %, l'aluminium est dur, charge de rupture 19 kg/mm^2 .

Les couches successives sont câblées en sens inverse, avec un pas égal à 12 fois le diamètre du mandrin.

5. Propriétés des conducteurs pour lignes aériennes.

En fait, les propriétés mécaniques et électriques des cordes en aluminium sont de quelques pour-cent inférieures à celles des fils qui les composent. La réduction tient en partie à la difficulté de répartir la charge également sur tous les brins. En outre, dans une corde, les fils ne sont pas seulement sollicités à la traction, mais aussi à la flexion et à la torsion, ce qui diminue nécessairement leur charge de rupture par rapport à la traction seule.

La conductibilité électrique d'une corde est aussi un peu plus faible que celle des brins composants, le courant suivant chacun des fils dans son trajet en spirale qui est nécessairement plus long que la corde mesurée selon son axe.

Pour les cordes en aluminium avec âme d'acier, on avait, au début, une conception simple : l'acier constitue l'organe mécanique qui supporte l'effort de traction et l'aluminium sert uniquement de conducteur électrique. Mais en réalité, surtout suivant la construction des têtes d'amarrage et la façon dont on y fixe le câble, l'aluminium participe aussi à l'effort mécanique. Le module d'élasticité résultant pour l'ensemble de l'acier et de l'aluminium est une caractéristique importante pour le calcul mécanique des lignes, mais il est difficile à déterminer exactement en laboratoire. Lors des essais de rupture sur des cordes, homogènes ou non, il se produit en général tout d'abord une rupture de quelques brins, suivie par la rupture de toute la corde. Dans certains cas, on observe un phénomène curieux, un gonflement de la corde, surtout de la couche extérieure, à l'extrémité de l'échantillon opposée au point de rupture (fig. 2). C'est comme s'il se produisait une onde se propageant le long

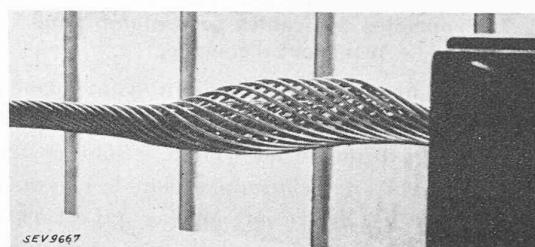


Fig. 2. — Gonflement d'un câble aluminium-acier après rupture.

de la corde au moment de la rupture. Il est important, pour les conducteurs de lignes aériennes, de pouvoir faire des essais de longue durée. Nous avons fait construire par la maison Amsler, sur nos indications, une machine spéciale de traction permettant de soumettre un échantillon ayant jusqu'à 5 m à une charge constante pouvant atteindre 20 tonnes pendant des semaines ou même des mois. Au moyen d'un dispositif approprié, on enregistre l'allongement du câble en fonction du temps. Les résultats déjà obtenus sont intéressants et ces essais de fluage, comme on les appelle, permettront de faire des progrès dans ce domaine encore peu connu.

L'aluminium seul, ayant une charge de rupture assez basse, ne convient pas aux grandes portées. Par contre l'aluminium-acier, bien qu'il soit un assemblage un peu bizarre de matériaux très différents, est utilisé pour un grand nombre de lignes aériennes à haute tension et les résultats sont très satisfaisants.

6. Fabrication des câbles sous plomb pour transport d'énergie.

La fabrication des conducteurs est la même que celle des câbles de lignes aériennes. Jusqu'à 25 mm^2 inclus, on utilise un fil massif, mou. Pour les sections de 35 mm^2 et au delà, c'est une corde de 7 fils ou davantage, en métal $1/4$ dur. L'isolation ne présente rien de particulier. On doit seulement prendre les précautions nécessaires pour ne pas rayer le fil.

Le câblage des torons en faisceau ne présente pas non plus de particularités si ce n'est que, l'aluminium étant trois fois plus léger que le cuivre, les câbles sont moins lourds et on peut fabriquer des longueurs plus grandes. On s'aperçoit aussi de la réduction de poids à la mise en vacuum, la manipulation est plus facile.

Jusqu'à maintenant, nous avons fabriqué des câbles à basse tension à conducteurs ronds en aluminium. On a proposé à l'étranger d'utiliser des fils mous et de laminer ensuite le conducteur pour écraser les fils, ce qui réduit un peu le diamètre extérieur. Pour les conducteurs sectoriaux, on pourrait tréfiler des fils de forme spéciale pour réduire les vides, mais l'économie réalisable par ces deux procédés est peu importante. L'aluminium est particulièrement intéressant pour des câbles à haute tension et faible intensité pour lesquels la sollicitation du diélectrique impose de ne pas descendre au-dessous d'un certain diamètre plus grand que celui correspondant au courant à transmettre.

7. Propriétés des câbles sous plomb pour transport d'énergie.

La section d'un câble en aluminium ayant même conductibilité qu'un câble en cuivre devrait être de 66 % plus élevée ou, pour une même section, le courant devrait être réduit à 60 % de celui admis pour le cuivre, pour avoir la même chute de tension. Mais ce qui est déterminant, c'est l'échauffement produit par le passage du courant. Le câble à conducteurs d'aluminium ayant un diamètre plus grand que le câble en cuivre, se refroidit mieux. On peut donc admettre une charge spécifique en

Charge admissible en ampères pour des câbles à basse tension à trois conducteurs en cuivre ou en aluminium posés en terre. Tableau V.

Section mm ²	Intensité A			
	Cu	Al	Cu	Al
2,5	4	35	36	
4	6	45	48	
6	10	60	64	
10	16	80	88	
16	25	110	108	
25	35	135	132	
35	50	165	160	
50	70	200	196	
70	95	245	236	
95	120	295	272	
120	150	340	312	
150	185	390	355	
185	240	445	412	
240	300	515	472	
300	400	590	560	

A/mm² plus élevée que celle résultant du rapport des résistivités. En pratique, l'intensité admissible pour un câble à conducteurs en aluminium est de 80 % de celle correspondant au cuivre de même section. Pour obtenir ce résultat, il suffit de remplacer le câble à conducteurs en cuivre par celui à conducteurs en aluminium de la section normale immédiatement supérieure, comme le montre le tableau V, établi pour des câbles à 3 conducteurs posés en terre. A quelques pour-cents près, les deux câbles sont équivalents.

Il est intéressant de comparer les poids des câbles en cuivre et en aluminium équivalents, c'est-à-dire pouvant supporter le même courant. Ils sont rassemblés dans le diagramme (fig. 3). On voit que les câbles à conducteurs en aluminium sont toujours plus légers que ceux à conducteurs en cuivre. La différence peut atteindre jusqu'à 20 % pour les câbles sous plomb nu et 15 % pour les câbles armés, ce qui facilite la pose ou permettrait dans certains cas de faire de plus grandes longueurs de fabrication.

8. Fabrication des câbles sous plomb pour télécommunication.

L'aluminium peut parfaitement bien remplacer le cuivre aussi pour les câbles de télécommunication. La fabrication est la même, à cette différence près qu'il faut adopter un diamètre de fil plus fort pour obtenir la même résistance ohmique. Des essais ont montré qu'un fil d'alu-

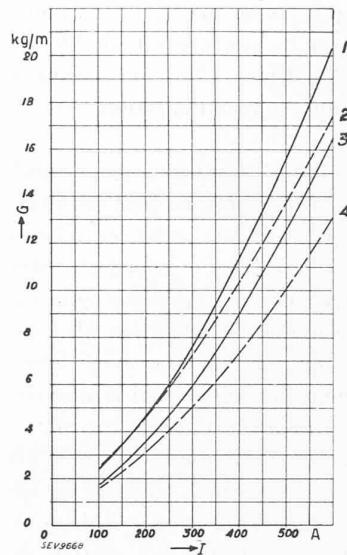


Fig. 3. — Poids, en kg/m, des câbles basse tension équivalents à trois conducteurs en aluminium et en cuivre.

I Intensité en A. — G Poids en kg/m. — 1 Cuivre, armé. — 2 Aluminium, armé. — 3 Cuivre, sous plomb. — 4 Aluminium, sous plomb.

mium d'un diamètre de 1,29 mm remplace le cuivre de 1,0 mm pour les câbles régionaux du réseau téléphonique. Pour obtenir la même capacité de service, il faut majorer un peu le diamètre des tubes de papier isolant les fils, de sorte que pour le même nombre de paires le câble d'aluminium aura un diamètre légèrement plus grand.

9. Propriétés des câbles pour télécommunication.

Nous avons fabriqué du câble régional à 40 paires $\varnothing 1,3$ mm équivalent à un câble à conducteurs en cuivre de 1 mm. La résistance ohmique et la capacité de service satisfont aux prescriptions de la Direction générale des téléphones. Les dissymétries de capacité sont également satisfaisantes. Le diagramme (fig. 4) donne les principales caractéristiques au point de vue régularité pour une longueur de fabrication normale

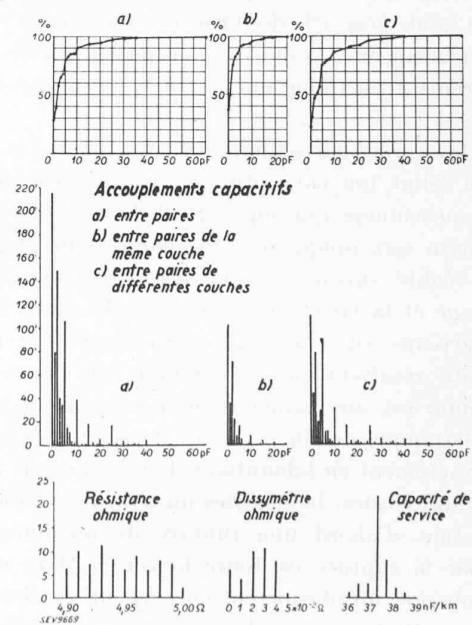


Fig. 4. — Câble téléphonique, 40 paires 1,3 mm Ø, conducteurs en aluminium.

Axes: valeurs mesurées. Ordonnées: nombres de valeurs correspondantes.

de 230 m. L'épaisseur du plomb a été réduite de 0,2 mm par rapport à celle du câble à conducteurs en cuivre de même nombre de paires, de sorte que le poids total des deux câbles sous plomb est le même. Il est donc possible de fabriquer des câbles à conducteurs d'aluminium équivalents aux câbles à conducteurs de cuivre, en réduisant légèrement l'épaisseur du plomb ce qui, en tenant compte des progrès de la technique et des circonstances actuelles, pourrait se faire sans inconvénient. On arrive au même poids, avec un diamètre légèrement supérieur, comme le montre le diagramme (fig. 5) qui indique le rapport du

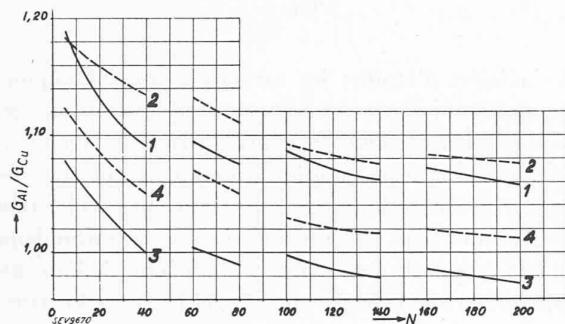


Fig. 5. — Comparaison des poids des câbles téléphoniques équivalents à conducteurs en aluminium et en cuivre.

$$N \text{ Nombre de paires. } G_{\text{Al}}/G_{\text{Cu}} = \frac{\text{Poids Al}}{\text{Poids Cu}}$$

1 Câbles sous plomb normaux.

2 Câbles armés normaux.

3 Câbles sous plomb à épaisseur de plomb réduite de 10 %.

4 Câbles armés pour l'Al.

poids des câbles à conducteurs d'aluminium au poids des câbles à conducteurs en cuivre. Pour les câbles asphaltés ou armés, ceux à conducteurs d'aluminium, ayant un diamètre plus fort, seront un peu plus lourds.

10. Jonction des conducteurs en aluminium.

Lignes aériennes. On trouve dans le commerce un choix complet de pièces de jonction pour cordes en aluminium, ou aluminium-acier. Il faut des types différents suivant que le câble est soumis ou non à un effort de traction. On fait également des pièces spéciales pour les jonctions et dérivations entre aluminium et cuivre, car il faut absolument éviter de mettre en contact les deux métaux à l'air libre, sous peine d'avoir des phénomènes de corrosion. Dans le cas des cordes aluminium-acier, il y a deux organes de jonction distincts pour l'acier et l'aluminium.

Câbles sous plomb. Peu de temps après qu'il a été nettoyé, un morceau d'aluminium se couvre d'une mince pellicule d'oxyde mauvais conducteur du courant. Si l'on applique l'une contre l'autre deux pièces d'aluminium ainsi oxydées, on aura un mauvais contact électrique.

En outre, le métal $1/4$ dur utilisé à la fabrication des câbles sous plomb est plus mou que le cuivre. Avec des douilles munies de vis de pression comme celles utilisées pour les conducteurs en cuivre, on n'obtient pas un bon contact parce que le métal cède sous la pression des vis. Nous avons fait des essais : les vis ont été bien serrées ;

$1/4$ d'heure plus tard on pouvait de nouveau les serrer de $1/8$ de tour et cela s'est répété au moins six fois de suite, et on aurait encore pu continuer. Pour obtenir un contact parfait et durable, on doit souder les conducteurs.

Pour que la soudure adhère bien sur l'aluminium, il faut tout d'abord le dégraissier puis dissoudre la couche d'oxyde par un décapant approprié en chauffant les pièces à souder. On peut alors appliquer la soudure spéciale qui fond et adhère parfaitement au conducteur d'aluminium et aux pièces de jonction, de dérivation ou d'extrémité.

La pratique de la soudure des câbles d'aluminium n'est pas très difficile. C'est cependant une technique spéciale, différente de celle de la soudure à l'étain, et qu'il faut apprendre en la pratiquant sous la direction d'un spécialiste expérimenté. On doit suivre strictement les instructions et travailler avec soin pour éviter des mécomptes futurs. Il faut chauffer assez longtemps pour éliminer les impuretés et le décapant qui est hygroscopique. Pour éviter des corrosions, les soudures ne doivent pas rester au contact de l'air. Dans les boîtes de jonction et de dérivation, elles sont naturellement protégées par la matière de remplissage. Pour les boîtes d'extrémité, il faut protéger les cosses, tubes de sortie ou autres pièces par un vernis approprié ou par de la soudure à l'étain.

La figure 6 représente un échantillon de câble d'alu-

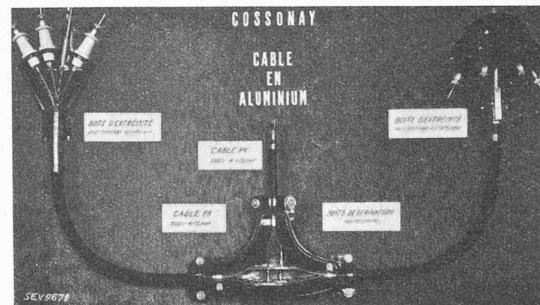


Fig. 6.
Câble d'aluminium exposé au Comptoir Suisse de Lausanne.

minium avec boîtes de dérivation et d'extrémité exposé au Comptoir Suisse de Lausanne.

Soudure des câbles de télécommunication. Le meilleur procédé est la soudure autogène au moyen d'un petit chalumeau. Les extrémités dénudées des fils sont tordues ensemble sur 1 cm environ. On y applique une parcelle d'un décapant approprié, différent de celui utilisé pour les câbles sous plomb. Le chalumeau étant réglé avec un excès d'acétylène, on approche la flamme du bout des conducteurs qui se soudent presque instantanément, sans aucune brûlure du papier.

11. Autres applications de l'aluminium à la technique des câbles.

On utilise depuis longtemps, dans la fabrication des câbles à haute tension type Hochstäder, un ruban de papier recouvert d'aluminium comme dernière couche

sur l'isolation des conducteurs, de façon à obtenir une sollicitation radiale du diélectrique. Dans les câbles à 3 conducteurs, pour assurer un bon contact électrique de ces écrans entre eux et avec le plomb, on enroule autour du faisceau un ruban d'aluminium.

Dans les câbles de télécommunication, on recouvre d'un ruban d'aluminium les paires servant à la transmission des programmes de télédistribution. Elles sont placées au centre du câble et l'écran d'aluminium élimine l'influence de ces paires sur celles qui les entourent. On fabrique également des câbles spéciaux à 3 paires sous écran pour les réseaux de rediffusion.

L'aluminium peut aussi être utilisé avantageusement pour les câbles à haute fréquence. En effet, aux fréquences élevées, la résistance effective d'un conducteur est fonction de la racine carrée de la résistivité, donc 1,29 seulement pour l'aluminium rapporté au cuivre. De plus, dans les câbles concentriques, la résistance en haute fréquence se compose pour 80 % de celle du conducteur central et 20 % seulement de celle du conducteur extérieur, ce qui est encore plus favorable. On peut donc fabriquer en aluminium le conducteur creux de type spécial pour lequel nous avons déposé une demande de brevet et qui se compose de rubans en forme de *S* s'emboitant les uns dans les autres.

Citons encore, en passant, l'emploi d'aluminium très pur (99,99 %) pour la constitution de manteaux à la place du plomb. Cette application rencontre d'assez grandes difficultés : haute température de la presse, forte pression, attaque du corps de presse par l'aluminium. On utilise également une couche de ruban d'aluminium sur le faisceau des câbles isolés au moyen de matières synthétiques et recouverts aussi d'un manteau en matière synthétique. Enfin, depuis longtemps on fait des boîtes d'extrémité pour câbles unipolaires en fonte d'aluminium, pour éviter l'échauffement qui se produirait avec la fonte de fer sous l'effet du champ magnétique créé par le courant. Les presse-étoupe fixés sur les isolateurs de boîtes d'extrémité sont aussi en aluminium.

12. Conclusions.

L'auteur espère avoir montré que la technique des câbles en aluminium est au point et que ce métal peut parfaitement bien remplacer le cuivre si l'on tient compte de ses propriétés particulières.

Etude et application des giffards

par CH. HERTER, ingénieur, Vevey.

Une étude de giffard peut paraître bien banale à côté de la résolution de nombreux problèmes hydrauliques fort compliqués. Pourtant il nous a paru intéressant de donner ici les résultats d'essais, effectués au *Laboratoire du Service des Eaux de Vevey-Montreux à Vevey*, par les soins de MM. R. Ritzmann et E. Rey, ingénieurs, sur des appareils construits par la Fonderie Kugler à Genève.

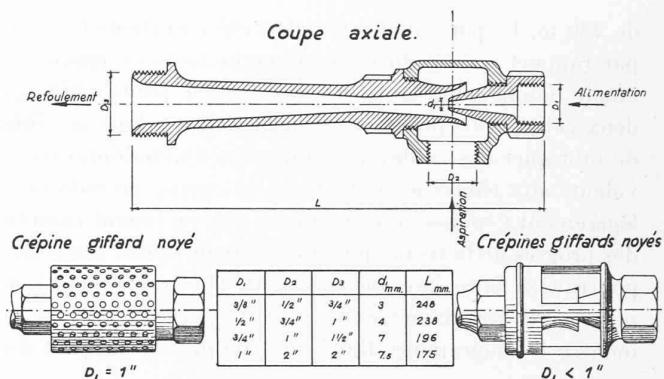


Fig. 1.

Il s'agissait d'étudier les caractéristiques d'emploi de huit giffards-injecteurs K. S. A. dont les dimensions générales sont données dans la figure 1. Tous les techniciens savent que la théorie du giffard, de même que celle de la trompe à eau décrite dans les livres de physique, repose sur les diminutions de pression dues à un étranglement dans une conduite en charge débouchant à l'air libre. L'application aux tubes et aux rétrécissements Venturi est trop connue pour que nous nous attardions en longs développements.

Le programme imposé à notre Laboratoire, avait pour but de déterminer les relations entre :

- la pression de l'eau motrice à l'amont de l'appareil ;
- le débit d'eau motrice ou eau d'alimentation ;
- le débit d'eau aspirée et refoulée ;
- la hauteur totale d'élévation ou de refoulement.

Nous n'avons pas dépassé la hauteur de 14.00 m.

Afin d'obtenir des résultats pratiquement applicables, nous nous sommes bornés à des essais avec un montage invariable, soit pour les giffards « dénoyés » soit pour les giffards noyés. La figure 2 montre le schéma des installations permettant des mesures avec le minimum d'erreurs. Le plan d'eau inférieur a été maintenu constant au moyen d'une soupape d'admission à flotteur. Pour tous les essais, la conduite de refoulement a été d'un diamètre de 2"; son extrémité supérieure était munie d'un té ouvert afin d'éviter l'effet de siphon. Il a naturellement été tenu compte de la perte de charge dans la conduite de refoulement, afin d'obtenir des valeurs de débit nettes à la

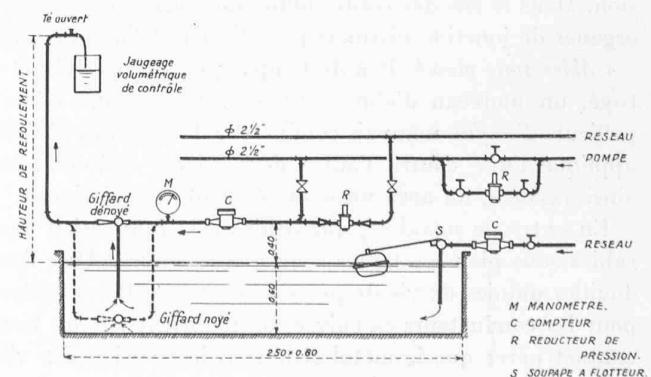


Fig. 2.