

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 32 (1941)  
**Heft:** 24

**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-1060049>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

Der **Vorsitzende**: Ich danke Herrn Kleiner für seine Anregungen und Fragen. Vielleicht darf ich zuerst Herrn Preiswerk das Wort geben.

Herr **M. Preiswerk**: Herr Kleiner hat die Befürchtung ausgesprochen, dass Aldrey seine spezifischen Eigenschaften verliere, wenn es z. B. durch Kurzschlüsse oder durch Rauhreifabheizung über die Temperatur von 165° C erwärmt werde. Rauhreifabheizung scheidet schon deshalb aus, weil der Rauhreif bei 0° schmilzt und im Leiter nie so hohe Temperaturen erzeugt werden. Kurzschlüsse dauern nur kurze Zeit. Selbst Temperaturerhöhungen von 300° schaden dem Aldrey nicht, wenn sie nur kurze Zeit dauern. Erst wenn (nach Fig 2) hohe Temperaturen sehr lange Zeit — z. B. 100°C während 180 Tagen — einwirken, kann eine Aenderung der Festigkeit hervorgerufen werden.

Ferner wurde als Klemmenmaterial verzinktes Eisen erwähnt. Dieses Material kann ich Ihnen nur sehr empfehlen. Sie wissen, dass z. B. bei Al-Freileitungen Tragklemmen aus verzinktem Eisen hergestellt sind; diese Tragklemmen haben sich sehr gut gehalten. Man verwendet gelegentlich auch Wickelbänder aus Al, um das Aluminium gegen den Druck der Klemmen und auch gegen etwelche Korrosionseinflüsse zu schützen. Wenn Sie aber nach vielen Jahren eine solche Klemme öffnen, finden Sie äusserst selten ein weisses Pünktchen darin, das auf Tonerdebildung, also auf Korrosion schliessen liesse.

Mit den federnden Klemmen, die für Installationsmaterialien gefordert werden, darf man auch nicht zu weit gehen. Diese Federwirkung soll vorhanden sein. Eine direkte Schraube, die gar keine Federwirkung ausüben kann, ist natürlich nicht gut; sobald aber z. B. eine Bride unterlegt wird, die durch das Anziehen der Schraube ein wenig durchfedern kann, genügt das vollständig. Es braucht also keine komplizierten Konstruktionen mit Federn, sondern man muss die Konstruktion nur so überlegen, dass sie beim Nachgeben des Aluminiums um vielleicht einige Zehntels- oder Hundertstelsmillimeter nachrückt. Diese federnden Zusammenschlüsse empfehlen wir hauptsächlich auch bei Schaltanlagen,

wenn mehrere dicke Aluminiumschienen durch Schrauben aufeinander gepresst werden. Das Aluminium hat einen andern Wärmeausdehnungskoeffizienten als das Eisen der Schraube, nämlich ungefähr den doppelten des Eisens. Wenn die Verbindungsstelle warm wird, drücken sich die Schrauben ins Aluminium ein; wenn sie kalt wird, werden sie wieder locker. Ich kann in solchen Fällen empfehlen, federnde Unterlagsscheiben zu verwenden; am besten sind leicht bombierte Stahlfederscheiben, sogenannte Bellevillescheiben.

Was die Verwendung des Aluminiums in den Hausinstallationen betrifft, bin ich persönlich sehr froh, dass das Starkstrominspektorat hier Zurückhaltung empfiehlt. Wenn für diese Verwendung noch irgendwie Kupfer frei gemacht werden kann, sogar indem man vielleicht Kupfer-Freileitungen demontiert und dafür Aluminiumleitungen aufhängt, sind wir auf dem richtigen Weg mit der Verwendung von Aluminium, denn bei Freileitungen wird es sich restlos in alle Zukunft bewähren; aber für die Hausinstallationen sind doch gewisse Gefahren vorhanden. Man spricht davon, Aluminium nur in trockenen Räumen zu verwenden. Meine Herren, ist ein Neubau ein «trockener Raum»? Ein Neubau ist sehr feucht. Trocken wird er erst, wenn er bewohnt ist, vielleicht in einem Jahr. Es ist vielleicht empfehlenswert, die Kontaktstellen einzufetten, damit die in den Dosen unter Bronze eingeklemmten Aluminiumdrähte vor dem Zutritt von Feuchtigkeit geschützt sind.

Der **Vorsitzende**: Ich danke Herrn Preiswerk für seine zusätzlichen Bemerkungen. Darf ich vielleicht das Wort einem Herrn aus der Industrie für Installationsmaterialien noch geben? Will sonst noch jemand sich zum Vortrag von Herrn Preiswerk äussern? — Wenn das nicht der Fall ist, möchte ich Herrn Preiswerk für sein Referat und seine sehr interessanten Aufschlüsse herzlich danken und das Wort Herrn Foretay von den Câbleries de Cossonay erteilen zu seinem Vortrag: «Fabrication et emploi des conducteurs d'aluminium pour les lignes aériennes et les câbles sous plomb.»

## Fabrication et emploi des conducteurs d'aluminium pour les lignes aériennes et les câbles sous plomb.

Communication faite le 10 octobre 1941, à Olten, en séance de l'ASE,  
par E. Foretay, Cossonay-Gare.

621.315.53

*L'auteur décrit la fabrication et les propriétés des fils d'aluminium, des conducteurs pour lignes aériennes, et des câbles sous plomb pour transport d'énergie et pour télécommunication. Il traite ensuite des jonctions des conducteurs en aluminium et des autres applications de ce métal à la technique des câbles.*

*Der Autor beschreibt Herstellung und Eigenschaften der Aluminiumdrähte, der Leiter für Freileitungen und der Al-Bleikabel für Starkstrom- und Fernsprechtechnik. Es werden ferner die Verbindungen von Al-Leitern und weitere Anwendungsmöglichkeiten des Aluminiums in der Kabeltechnik behandelt.*

### 1° Introduction.

Parmi les métaux usuels, l'aluminium est celui dont la conductibilité électrique est la meilleure après le cuivre, c'est pourquoi il est appelé actuellement à le remplacer dans la fabrication des câbles. Il ne faut pas oublier toutefois que son poids beaucoup plus faible l'a fait adopter il y a longtemps déjà comme métal pour les lignes aériennes à haute tension, surtout en combinaison avec l'acier.

Le tableau I résume les principales propriétés physiques de l'aluminium et du cuivre.

L'aluminium peut remplacer le cuivre dans la plupart de ses applications comme conducteur électrique: lignes aériennes, barres et tubes dans les tableaux et installations à haute et basse tension, câbles sous plomb pour transport d'énergie et pour télécommunication.

Le texte qui suit décrit les divers stades de fabrication des conducteurs d'aluminium.

Tableau comparatif des principales propriétés physiques de l'aluminium et du cuivre. Tableau I.

	Aluminium	Cuivre
Poids spécifique . . . . .	2,72	8,90
Résistivité à 20° microhms · cm . . . . .	2,87	1,73
Augmentation de résistivité par degré C . . . . .	0,00400	0,00393
Résistivité relative . . . . .	1	0,6
Section relative pour une même résistance électrique . . . . .	1,66	1,0
Poids relatif des conducteurs équivalents . . . . .	0,5	1,0
Point de fusion degrés C . . . . .	658	1090
Charge de rupture kg/mm <sup>2</sup> {dur	19	40
{recuit	10	25

### 2° Fabrication des fils d'aluminium.

#### Laminage.

L'aluminium est livré habituellement sous forme de blocs de section carrée de 10×10 cm,

d'une longueur de 1,30 m pesant 33 kg. Ces blocs sont tout d'abord réchauffés dans un four électrique à sole tournante jusqu'à une température de 440°, alors que le cuivre se lamine à 890°. Il est important d'avoir une température exacte. Trop froid, le métal se travaille mal; trop chaud, la résistivité augmente.

Au sortir du four, les blocs d'aluminium passent au laminage dégrossisseur dont les cannelures sont les mêmes que pour le cuivre, puis au train finisseur dont il sort sous forme de fil d'un diamètre de 12 à 14 mm.

*Tréfilage.*

Pour les sections des fils terminés supérieures à 10 mm<sup>2</sup> on travaille en passes simples. Le graissage se fait au moyen de graisses minérales du type vaseline. Pour les fils plus petits on emploie les machines multiples comportant plusieurs filières, avec comme lubrifiant un mélange d'huiles minérales et végétales. Autrefois, ce mélange se composait au moins pour les 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 souder 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 grippe 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 mm<sup>2</sup> sont recuits après tréfilage pour donner du fil mou ayant une charge de rupture de 10 kg/mm<sup>2</sup>. Les fils destinés aux cordes de section de 35 mm<sup>2</sup> 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 1/4 dur, avec une charge de rupture de 14 kg/mm<sup>2</sup> et qui se raye 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.

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

*Propriétés mécaniques des fils d'aluminium.*

Tableau II.

	Al dur	Al 1/4 dur	Al mou
Charge de rupture kg/mm <sup>2</sup> . . .	19	14	10
Allongement à la rupture % . . .	2,5	3	35...40
Limite élastique kg/mm <sup>2</sup> . . .	10...11		

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

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

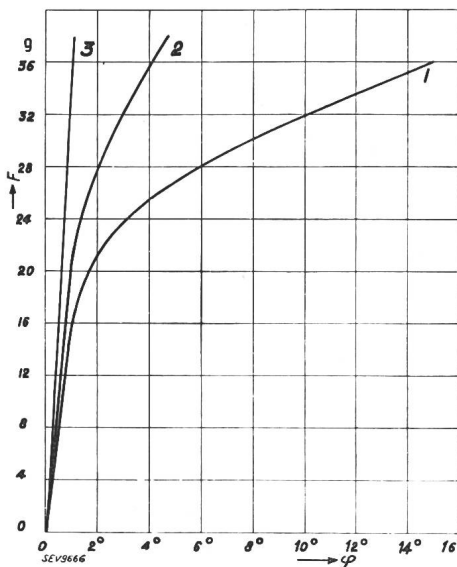


Fig. 1.

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.

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.

*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'années 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 $\varnothing$ 3 mm 30 fils Al $\varnothing$ 3 mm	19 fils $\varnothing$ 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<sup>2</sup>, celle de l'aluminium de 210 mm<sup>2</sup>. L'acier est à haute résistance, 130 kg/mm<sup>2</sup>, allongement à la rupture 5 %, l'aluminium est dur, charge de rupture 19 kg/mm<sup>2</sup>.

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 solli-

cités 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 pro-

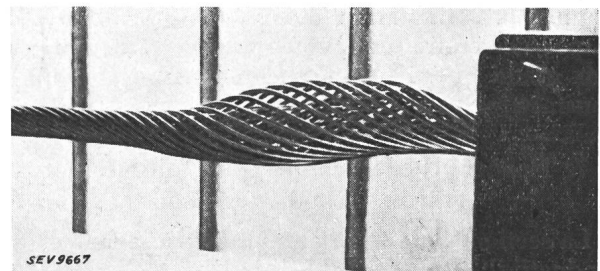


Fig. 2.

Gonflement d'un câble aluminium-acier après rupture.

duisait une onde se propageant le long 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<sup>2</sup> inclus, on utilise un fil massif, mou. Pour les sections de 35 mm<sup>2</sup> et au-delà, c'est une corde de 7 fils ou davantage, en métal <sup>1</sup>/<sub>4</sub> dur.

L'isolation ne présente rien de particulier. On doit seulement prendre les précautions nécessaires pour ne pas rayer le fil.

La 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

Charge admissible en ampères pour des câbles à basse tension à 3 conducteurs en cuivre ou en aluminium posés en terre.

Tableau V.

Section mm <sup>2</sup>		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

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 A/mm<sup>2</sup> plus élevée que celle résultant du rapport des résistivités. En pratique, l'intensité admissible pour un câble à conducteurs en aluminium est 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-cent 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

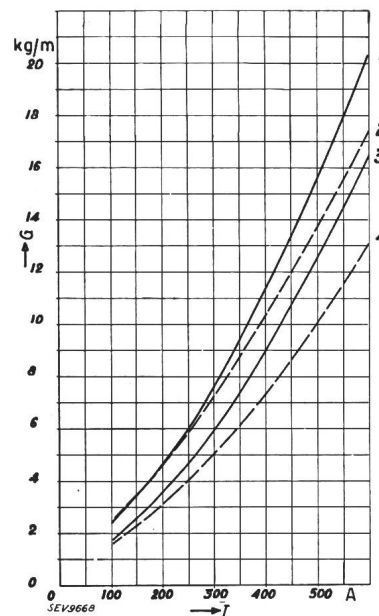


Fig. 3.

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

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

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'aluminium d'un diamètre de 1,29 mm remplace le cuivre de 1,0 mm pour les câbles régionaux de la DGT. 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 pres-

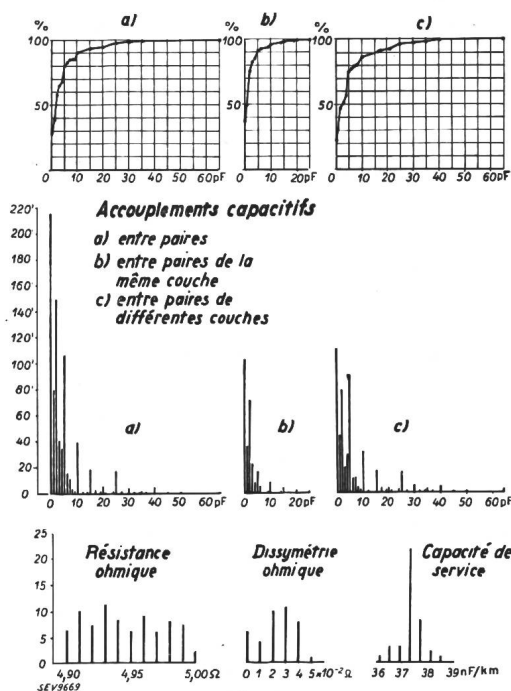


Fig. 4. Câble téléphonique, 40 paires 1,3 mm  $\varnothing$ , conducteurs en aluminium.

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

criptions de la DGT. 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 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

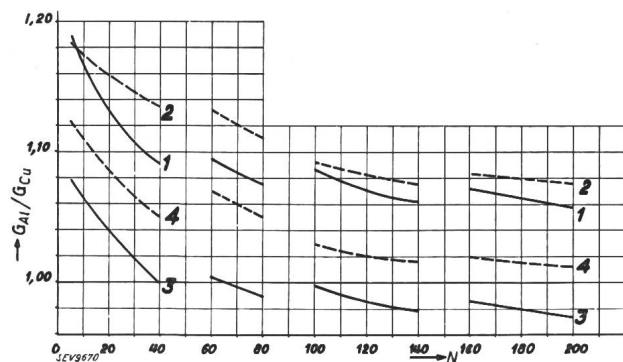


Fig. 5. Comparaison des poids des câbles téléphoniques équivalents à conducteurs en aluminium et en cuivre.

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

- 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.

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 poids des câbles à conducteurs 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 6 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 dégraisser 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 jonc-

tion 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.

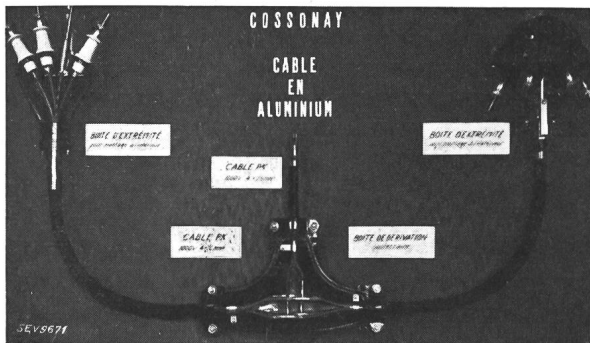


Fig. 6.

Câble d'aluminium exposé au Comptoir Suisse de Lausanne.

La fig. 6 représente un échantillon de câble d'aluminium 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 Hochstädter 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 télédiffusion. 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'emboîtant 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.

*Der Vorsitzende:* Ich danke Herrn Foretay für sein ausserordentlich interessantes Referat. Herr Foretay hat uns in alle interessanten Teile der Fabrikation der Leiterseile und Kabel eingeführt. Er hat Ihnen mit seinen Ausführungen gezeigt, wie ausserordentlich stark die zuständigen Unternehmungen sich bemühen, der heutigen Zeit mit der Anwendung von Aluminium gerecht zu werden.

Ich nehme an, dass Sie mit mir einig sind, wenn ich anschliessend Herrn Müller von den Kabelwerken Brugg das Wort erteile zu seinem Vortrag: «Aluminium im Kabelbau». Wir können dann die Diskussion für beide Referate zusammenfassen.

## Aluminium in der Kabelfabrikation.

Vortrag, gehalten an der Aluminiumtagung des SEV am 10. Oktober 1941, in Olten,  
von P. Müller, Brugg.

621.315.53 : 621.315.2

*Es wird ein Ueberblick über die Praxis mit Aluminiumkabeln gegeben. Im besondern wird auf das Löten und Schweißen eingegangen. Das für unsere Verhältnisse besonders geeignete Weichlötvverfahren wird anhand von Schnappschüssen erläutert.*

*L'auteur donne un aperçu des applications pratiques des câbles d'aluminium. Il étudie en particulier le problème de la soudure, et expose à l'aide de quelques exemples le procédé de soudure à basse température qui se prête spécialement aux conditions régnant chez nous.*

Als im Frühjahr 1938 das Kabelfachkollegium des CES, unter Führung unseres Herrn E. Schnee-

berger, mit der Aufstellung von Leitsätzen für Hochspannungskabel begann, dachte wohl keiner der