

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 32 (1941)  
**Heft:** 24

**Artikel:** L'utilisation de l'aluminium dans les réseaux de distribution à haute et à basse tension, ainsi que dans les installations intérieures  
**Autor:** Zaruski, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057665>

### **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:** 16.04.2026

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

RÉDACTION:  
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens  
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

ADMINISTRATION:  
Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 5 17 42  
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXII<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 24

Vendredi, 5 Décembre 1941

## Rapport de la Journée de l'ASE concernant l'utilisation de l'aluminium.

Vendredi, 10 octobre 1941, à l'Hôtel Schweizerhof, à Olten.

Der Vorsitzende, Herr Dr. h. c. M. Schiesser, Präsident des SEV, begrüsst die 200 Mitglieder und Gäste, die zur Aluminiumtagung erschienen sind, und führt einleitend folgendes aus:

Die heutigen Zeitverhältnisse zwingen uns mehr und mehr, infolge der Rohstoffverknappung die vorhandenen Vorräte richtig anzuwenden, ganz besonders auch auf dem Gebiet der Elektrotechnik. Im weitesten Sinne handelt es sich hier um das Kupfer. Der Jahresverbrauch der Schweiz beträgt, bessere Belehrung vorbehalten, etwa 22 000 bis 25 000 Tonnen. Im vergangenen Jahr sind vielleicht noch etwa 1200 Tonnen eingeführt worden. Sie sehen daraus, dass bereits ein ausserordentlich grosses Manko entstanden ist. Von diesen 1200 Tonnen ist nur ein kleiner Teil elektrolytisches Kupfer, der andere Teil ist best selected oder noch weniger gute Qualität. Von dieser Menge verbraucht die Elektrizitätsindustrie — immer im weitesten Sinne genommen — den grössten Teil. Der nächstgrosse Verbraucher ist die Landwirtschaft, die das Kupfer in Form von Salzen verwendet.

Unsere Vorräte an Kupfer gehen nun langsam zu Ende. Wir sind in der glücklichen Lage, dank dem schweizerischen Pioniergeist in unserm Lande ein Material zu erzeugen, wenn auch mit ausländischem Rohstoff, das wir sehr gut an Stelle des Kupfers verwenden können: es ist das *Aluminium*.

Das Aluminium ist für uns kein neues Metall; wir kennen es und kennen auch seine Anwendung und seine Technologie. Was wir vielleicht noch nicht restlos kennen, das sind die Erfahrungen auf den verschiedenen Anwendungsgebieten. Es geht aber heute nicht mehr bloss darum, ob wir Aluminium verwenden können, sondern es geht darum, dass wir dieses Metall anwenden *müssen*. Ich möchte dabei betonen, dass ich Aluminium nicht als einen Ersatzstoff betrachte; Aluminium ist ein vollwertiger Werkstoff. Wir müssen jetzt alle Bedenken beiseite schieben. Mit Bedenken kommen wir über die Situation, in der wir uns befinden, nicht hinweg.

Das Kupfer, das noch vorhanden ist, müssen wir für alle jene Fälle sparen, wo dieses Metall nicht ersetzt werden kann; aber gleichzeitig — und das klingt nun allerdings etwas paradox — müssen wir auch an Aluminium sparen, soviel wir können. Unser Land produziert das Aluminium in grossen Mengen, aber, wie ich bereits betont habe, mit

ausländischem Rohstoff. Die Verhältnisse zwingen uns, einen grossen Teil dieser Produktion abzugeben. Dazu kommt noch, dass wir ein sehr ungünstiges hydraulisches Jahr vor uns haben. Es fehlt deshalb die nötige Energie. Man hat mich ermächtigt, zu sagen, dass der Aluminiumindustrie in diesem Winterhalbjahr ungefähr 120 Millionen kWh fehlen. Wir haben also nicht mehr genügend Kupfer und nur noch in sehr beschränktem Masse Aluminium. Diese Situation zwingt uns, sehr stark zu sparen. Uebrigens gilt das ja nicht nur für Kupfer und Aluminium, sondern ganz allgemein für alle Rohstoffe, die wir im Lande verbrauchen.

Es ist nun nötig, dass wir auch unsere Vorschriften den neuen Verhältnissen anpassen. Die bevorstehende Generalversammlung wird Aenderungen von Vorschriften zu sanktionieren haben, die der Vorstand schon vor längerer Zeit in Anpassung an die neue Lage vorgenommen hat, um keine Zeit zu verlieren. Wir haben freilich die Ueberzeugung, dass wir in dieser Richtung noch nicht weit genug gegangen sind; wir sind gezwungen, die Vorschriften noch schärfer den veränderten Verhältnissen anzupassen. Wir müssen heute — und ich wünsche, dass es geschehe — in der Verwendung von Aluminium die positive Seite betonen; die negative Seite wollen wir nur im konstruktiven Sinne anführen.

Ich habe bereits gesagt, dass es nichts nützt, nur von den Schwierigkeiten zu reden. Um die Schwierigkeiten, die vor uns liegen, zu überwinden, müssen wir uns zusammentun. Ich bin überzeugt, es wird mit gutem Willen gehen. Sie werden es in der nächsten Zeit erfahren, dass wir nicht bloss für Leitungen und Installationen, sondern auch für Maschinen fast restlos Aluminium verwenden müssen. Ich bitte Sie deshalb, stellen Sie sich um, wenn es Ihnen noch so schwer fällt, und setzen Sie sich vorbehaltlos ein für die Verwendung von Aluminium.

Ich bin persönlich davon überzeugt, dass viel von dem, was wir jetzt anwenden werden, auch nach der Rückkehr normaler Zeiten Bestand haben wird, denn wir müssen uns bestreben, ein Material, das wir im Lande selbst erzeugen können, immer mehr zur Anwendung zu bringen.

Mit dem Wunsche, dass wir uns wirklich auf das Positive konzentrieren und das Negative nur in konstruktiver Form diskutieren, möchte ich die heutige Diskussionsversammlung eröffnen und gleich Herrn Zaruski, Starkstrominspektor, das Wort zum ersten Vortrag erteilen.

## L'utilisation de l'aluminium dans les réseaux de distribution à haute et à basse tension, ainsi que dans les installations intérieures.

Conférence, donnée à la journée de l'aluminium de l'ASE, le 10 octobre 1941 à Olten,

par A. Zaruski, Zurich.

621.315.53 ; 621.316.1

*L'auteur explique pourquoi l'aluminium se prête mal à la construction des lignes aériennes. Par contre, il signale la possibilité d'admettre des fils massifs d'aldrey de 4 à 8 mm de diamètre dans la construction des lignes ordinaires,*

*Es wird begründet, weshalb massive Aluminiumleiter sich für den Freileitungsbau schlecht eignen. Dagegen wird es möglich sein, Massivdrähte aus Aldrey von 4..8 mm Durchmesser als kriegsbedingte Massnahme im Regelleitungsbe-*

à titre de mesure imposée par la guerre; pour ceux-ci, il y a lieu d'appliquer le tableau de réglage prévu pour les conducteurs de cuivre par l'ordonnance fédérale sur les installations à courant fort du 7. 7. 1933. Une enquête auprès des centrales d'électricité et de l'industrie de l'aluminium a permis de rassembler des données sur l'utilisation de ce métal dans la construction des lignes aériennes. L'auteur examine plus spécialement les modes de fixation des fils aux isolateurs et les raccords. Les mauvaises expériences au cours de la dernière guerre sont dues à un manque de connaissance sur la technologie de l'aluminium, ainsi qu'au manque d'expérience et surtout de soins du personnel.

Au début de cette année, diverses entreprises électriques s'enquirent auprès de l'inspecteur des installations électriques à courant fort au sujet de l'emploi de l'aluminium et de l'aldrey dans la construction des lignes aériennes. L'inspecteur répondit à ces questions en se basant sur les articles 78 et 80 de l'ordonnance fédérale relative à la construction, l'exploitation et l'entretien des installations électriques à courant fort, du 7 juillet 1933 («ordonnance fédérale», OF), selon laquelle les conducteurs des lignes aériennes en aluminium (Al) ou en aldrey doivent être câblés, et les conducteurs des lignes aériennes doivent avoir chacun une résistance à la rupture de 350 kg au moins pour les lignes à basse tension et de 560 kg au moins pour celles à haute tension. Par la suite, vu la pénurie croissante de matériel, l'inspecteur entreprit de rechercher si l'on peut utiliser l'Al et l'aldrey sous forme de conducteurs massifs pour les lignes aériennes. Il s'agissait en premier lieu des lignes à basse tension, car l'emploi de conducteurs câblés en Al ou aldrey est déjà fort répandu pour les lignes à haute tension; pour cette raison on peut admettre que les propriétés de ces conducteurs câblés sont connues.

Au sujet des propriétés des conducteurs massifs en Al et aldrey, on peut formuler les remarques suivantes:

### 1° Aluminium.

Les propriétés les plus importantes d'un fil de ligne électrique sont la conductibilité électrique et la résistance à la rupture. Cependant, par suite du processus d'étrépage, cette dernière valeur n'est pas constante, mais varie en raison inverse du diamètre. Cette propriété se manifeste particulièrement pour l'Al. Tandis qu'un fil de 12,6 mm<sup>2</sup> (4 mm  $\varnothing$ ) présente une résistance à la rupture de 17 kg/mm<sup>2</sup>, cette valeur tombe à 9,5 kg/mm<sup>2</sup> environ pour un fil de 78,5 mm<sup>2</sup> (10 mm  $\varnothing$ ). En tenant compte de l'art. 89 OF, selon lequel la traction exercée sur le conducteur à 0° et sous la charge additionnelle ou à la plus basse température locale ne doit pas dépasser les  $\frac{2}{3}$  de la résistance à la rupture, on obtient une charge maximum de 11,3 kg/mm<sup>2</sup> environ pour le fil de 4 mm  $\varnothing$  et de 6,3 kg/mm<sup>2</sup> environ pour le fil de 10 mm  $\varnothing$ . Selon le tableau 2 de l'OF, les conducteurs en cuivre mi-dur jusqu'à 28 mm<sup>2</sup> peuvent être chargés à 20 kg/mm<sup>2</sup> au maximum, et ceux de plus de 28 mm<sup>2</sup> à 18 kg/mm<sup>2</sup> au maximum. Les rapports entre les charges maximum des conducteurs de cuivre et d'aluminium s'élèvent donc à

reich zuzulassen; dabei soll die Kupferreguliertabelle der bundesrätlichen Verordnung für Starkstromanlagen vom Jahre 1933 angewendet werden. Auf Grund einer Umfrage bei den Elektrizitätswerken und bei der Aluminiumindustrie werden Erfahrungen über die Verwendung von Aluminium im Freileitungsbau mitgeteilt. Besonders betrachtet werden die Befestigungsarten der Leiter an den Isolatoren und die Verbindungsarten. Versager aus dem letzten Weltkrieg sind auf mangelnde Kenntnis der Technologie des Aluminiums zurückzuführen, ferner auf mangelnde Erfahrung und Sorgfalt des Personals.

(Traduction.)

1,77 et 2,86 environ pour les deux sections en cause. Ces chiffres sont valables pour des conducteurs de sections équivalentes. Les conditions sont encore plus défavorables si l'on compare entre eux des conducteurs de conductibilités équivalentes. L'équivalent d'une section de 12,6 mm<sup>2</sup> de cuivre (4 mm  $\varnothing$ ) est de 20,2 mm<sup>2</sup> d'Al. La résistance à la rupture d'un fil d'Al de cette section est de 15 kg/mm<sup>2</sup> environ, ce qui correspond à une charge maximum admissible de 10 kg/mm<sup>2</sup> environ. Le rapport Al-Cu s'élève à 2 dans ce cas.

Cela va de soi que la faible résistance à la rupture de l'Al exerce une influence néfaste sur la flèche. Les portées critiques atteignant 20 m environ pour des conducteurs en Al jusqu'à 8 mm  $\varnothing$  à une température locale de -20° environ, sous une charge de glace de 2 kg/m et à la charge spécifique maximum admissible, il faut donc se baser sur l'état à 0° et sous 2 kg/m de glace pour les lignes ordinaires (portées de 20 à 50 m). La faible densité de l'Al (2,7 g/cm<sup>3</sup>) par rapport à celle du cuivre (8,9 g/cm<sup>3</sup>) ne se fait pas sentir de façon appréciable pour les faibles sections, parce qu'elle ne se manifeste presque pas dans la densité virtuelle (densité avec charge additionnelle). A 0° et sous 2 kg/m de glace, la flèche des conducteurs en Al de 12,6 mm<sup>2</sup> (4 mm  $\varnothing$ ), 19,6 mm<sup>2</sup> (5 mm  $\varnothing$ ), 28,3 mm<sup>2</sup> (6 mm  $\varnothing$ ), 38,5 mm<sup>2</sup> (7 mm  $\varnothing$ ) et 50 mm<sup>2</sup> (8 mm  $\varnothing$ ) est 2,5, 2,3, 2,2 et 1,9 fois plus forte que celle des conducteurs de cuivre de section équivalente, lorsque la portée est de 50 m; si celle-ci n'est que de 20 m, ces chiffres se réduisent à 1,7; 1,5; 1,45 et 1,3 respectivement. Les flèches plus fortes nécessitent des poteaux plus long. En voici un exemple:

Portée 40 m, Cu 6 mm  $\varnothing$ , 4 conducteurs, ligne traversant une localité;  
Portée 40 m, Al 6 mm  $\varnothing$ , 4 conducteurs, ligne traversant une localité.

Pour la ligne en cuivre, on s'en tire avec des poteaux de 9,1 m, tandis que pour la ligne en aluminium, il faut des poteaux de 10,1 m pour compenser la plus forte flèche.

Un autre désagrément qui résulte de la plus grande flèche se manifeste dans l'amplitude du coup de fouet. Dans une portée où le fil est arrêté aux deux extrémités, cette amplitude est proportionnelle à la moitié de la différence de flèche  $\Delta f$  du conducteur chargé et non chargé multipliée par le quotient du poids du conducteur seul par le poids de la charge additionnelle. Cette formule tient compte de l'élasticité car on introduit dans le calcul

de la flèche la traction résultant de l'équation des conditions. Par rapport au cuivre, le calcul donne pour l'aluminium une amplitude environ 6 fois plus forte. Dans l'intérêt de l'exploitation, il est donc indiqué d'augmenter les distances transversales entre les fils d'une ligne.

Un point également digne d'attention est l'angle d'oscillation qui atteint son maximum lorsque la pression du vent de 50 kg/m<sup>2</sup> prévue à l'art. 93 OF (correspondant à une vitesse du vent de 26 m/s environ) fait équilibre au poids du conducteur de la portée en cause. Pour des conducteurs en Cu de 4 à 9 mm  $\varnothing$  on obtient des déviations de 60 à 41°, tandis que pour l'Al, ces écarts montent à 79 à 69° en raison de sa densité plus faible. Lorsqu'on pose après coup un fil d'Al sur une ligne de cuivre, il faut tenir compte de ce facteur.

L'étude menée sur l'utilisation de l'aluminium sous forme de conducteurs massifs ayant abouti aux résultats cités plus haut, l'inspecteur en a conclu qu'on ne peut recommander l'emploi de l'Al sous cette forme. Je reviendrai plus tard sur la manière dont se comporte l'Al en pratique et citerai quelques exemples à ce sujet.

## 2° Aldrey.

Pour éclaircir les possibilités d'emploi de conducteurs massifs en aldrey dans la construction des lignes aériennes, l'inspecteur s'est adressé à l'industrie pour en obtenir des données concrètes sur la variation de la résistance à la rupture en fonction de la section. Au courant de l'été, des essais furent entrepris en présence de délégués de l'inspecteur. Les résultats laissent reconnaître une résistance de 31,2 à 28,1 kg/mm<sup>2</sup> pour des fils de 4 à 7 mm  $\varnothing$ .

Une vérification ultérieure de ces valeurs par la S. A. pour l'industrie de l'aluminium a permis de fixer la résistance à la rupture des fils de 4 à 11 mm  $\varnothing$  à 28 à 23 kg/mm<sup>2</sup>. La variation est linéaire. En tenant compte des dispositions de l'art. 89 OF concernant les relations entre la résistance à la rupture et la charge maximum admissible, on peut fixer les charges spécifiques maximum pour les différentes sections comme suit:

pour des fils de	4 et 5 mm $\varnothing$	: 18 kg/mm <sup>2</sup> ,
	6 et 7 mm $\varnothing$	: 17 kg/mm <sup>2</sup> ,
	8 et 9 mm $\varnothing$	: 16 kg/mm <sup>2</sup> ,
	10 et 11 mm $\varnothing$	: 15 kg/mm <sup>2</sup> .

Avec ces valeurs, nous avons examiné comment se comportent des fils massifs d'aldrey dans la construction des lignes ordinaires. Nous avons constaté qu'en principe il est possible d'utiliser de tels conducteurs et que les charges spécifiques correspondant aux différentes conditions permettent de maintenir les flèches très faibles. Par la suite, la question se pose s'il fallait établir de nouvelles tables

de flèches pour les conducteurs d'aldrey, ou si l'on pouvait se contenter d'adopter les tables existantes pour les conducteurs de cuivre demi-dur. Pour éviter tout parti-pris, l'inspecteur s'adressa à différentes centrales et leur demanda en même temps jusqu'à quel diamètre on pouvait admettre des fils d'aldrey.

Des 14 entreprises sollicitées, 9 répondirent. 4 optèrent pour un diamètre maximum de 8 mm, 2 pour 10 mm, 2 pour 11 mm, tandis que la 9<sup>e</sup> entreprise s'abstint, n'ayant d'expérience qu'avec les câbles d'aldrey. — La section maximum des fils massifs en cuivre est aujourd'hui généralement 50 mm<sup>2</sup> (8 mm  $\varnothing$ ). Pour tenir compte de la mauvaise conductibilité de l'aldrey, qui est inférieure à celle de l'Al pur (les conductibilités du Cu, de l'Al et de l'aldrey sont dans le rapport 1 : 0,62 : 0,54), un conducteur d'aldrey de conductibilité équivalente à celle d'un conducteur de cuivre de 8 mm devrait présenter un diamètre de 11 mm. Nous estimons cependant que la manipulation d'un tel fil doit être difficile en raison de sa rigidité et d'autres propriétés: un corps de 11 mm  $\varnothing$  ne peut presque plus être considéré comme un fil. — Pour autant que nous sommes renseignés, le poids d'une barre de fabrication est de 36 kg. L'usinage entraîne une perte de 8% environ, de sorte qu'il reste un poids total de 33 kg environ qui donne un fil de 129 m de longueur pour un diamètre de 11 mm, ou de 244 m pour un diamètre de 8 mm. L'inspecteur envisage de fixer à 50 mm<sup>2</sup> la section maximum des conducteurs d'aldrey massifs pour les lignes ordinaires. Cette proposition aurait l'avantage de ne nécessiter aucune modification de l'art. 78 OF; elle permettrait également de maintenir les dispositions de l'art. 80, soit une résistance à la rupture minimum de 350 kg pour les lignes à basse tension et de 560 kg pour les lignes à haute tension, ainsi que les sections minimum de 12,5 mm<sup>2</sup> et 19,6 mm<sup>2</sup> qui en découlent pour les lignes à basse et haute tension.

Des 9 entreprises qui ont répondu, 6 se sont prononcées en faveur de l'adoption des tables des flèches pour le cuivre et 3 ont recommandé d'établir de nouvelles tables, vu qu'on peut tendre plus fortement les fils d'aldrey. Voici notre opinion à ce sujet.

Au point de vue technique-économique, il est raisonnable de solliciter les conducteurs jusqu'au maximum imposé par leurs propriétés mécaniques, à condition bien entendu que ces propriétés soient entièrement connues. Or l'aldrey est pour nous une inconnue sous la forme de fils massifs. Nous ne croyons pas que cela soit dans l'intérêt de la sécurité d'exploitation des lignes, ni des fabricants, de solliciter le matériel jusqu'à l'extrême. Nous croyons agir prudemment en adoptant les tables valables pour le cuivre, car il en résulte des

fatigues plus faibles. En outre, la disposition des conducteurs d'aldrey s'adapte dans de larges li-

mites à celle des conducteurs de cuivre. On ne constatera des différences appréciables de flèches qu'à

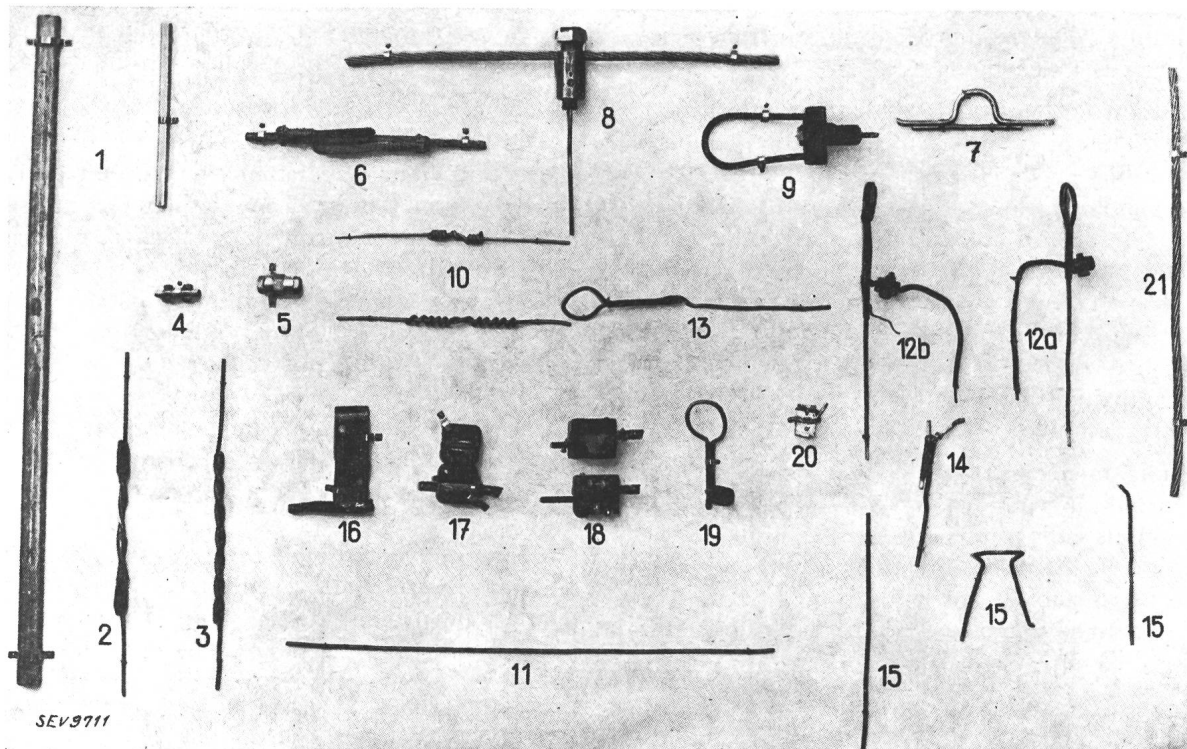


Fig. 1.

**Vue d'ensemble du matériel de démonstration.**

Outre les exemples montrés séparément aux fig. 2 à 11, le tableau comprend: Pos. 1: Tube pour joint à torsade, servant au raccord de conducteurs d'aluminium massifs ou câblés. Pos. 4: Joint à vis pour fils d'aluminium de 6 mm Ø. Pos. 5: Joint conique pour fils d'aluminium de 6 mm Ø. Pos. 7: Fil en forme d'étrier, avec gorge polie. Pos. 8: Dérivation en aluminium. Pos. 9: Boucle d'arrêt avec raccord conique. Pos. 10: Joints provisoires de deux fils d'aluminium montés en 1935 et 1938, démontés en 1941. Pos. 12a et 12b: deux raccords d'immeuble installés en 1916 et 1919; les fils d'installations en cuivre zingué sont pincés dans les serre-fil en aluminium. Pos. 13 et 15: Tronçons de fils d'aluminium montrant l'effet du fil de ligature en cuivre nu.

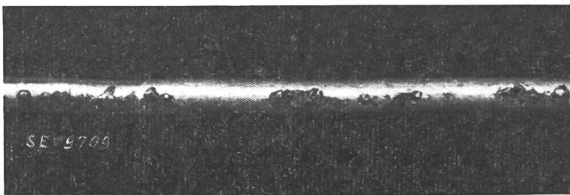


Fig. 2.

**Fil d'aluminium, 5 mm Ø, avec brûlures résultant d'un embrouillement de fils dans une portée mal réglée.**

Monté en 1914; démonté en 1941.

Résultats des épreuves effectuées par la Station fédérale d'essai des matériaux, valeurs moyennes:

Résistance à la rupture: 16,5 kg/mm<sup>2</sup>.

Module d'élasticité: 6730 kg/mm<sup>2</sup>.

Allongement élastique moyen:  $\Delta l/l = 0,148 \text{ ‰}$ .

Limite de proportionnalité: 9,9 kg/mm<sup>2</sup>.

Limite d'allongement: 14,9 kg/mm<sup>2</sup>.

Surface de la baguette après rupture: intacte.

Surface de rupture: nerveuse.

Ruptures: se sont produites aux brûlures.

Essai de pliage sur baguettes sans brûlures dans la zone de pliage: 6 (90°+90°) jusqu'à fissuration.

Essai de pliage sur baguettes avec brûlures dans la zone de compression:  $\sim 1,7$  (90°+90°) jusqu'à fissuration.

Essai de pliage sur baguettes avec brûlures dans la zone de traction:  $\sim 2,25$  (90°+90°) jusqu'à fissuration.

Torsion sous traction de 8 kg/mm<sup>2</sup>, sur baguettes sans brûlures:  $n = 6$  (90°+90°).

Torsion sous traction de 8 kg/mm<sup>2</sup>, sur baguettes avec brûlures:  $n = 1\frac{1}{2}$  (90°+90°) rupture à l'endroit d'une brûlure.

Torsion sous traction de 11 kg/mm<sup>2</sup>, sur baguettes avec brûlures:  $n = 1$  (90°+90°) rupture à l'endroit d'une brûlure.

Essai de dureté:  $H = \frac{F}{A}$  kg/mm<sup>2</sup>: 46...49 aux endroits intacts et 26...45 aux brûlures.

0° et sous une charge additionnelle de 2 kg/m. C'est pourquoi nous déconseillons de compléter une ligne en cuivre par le tirage d'un fil d'aldrey, lorsque

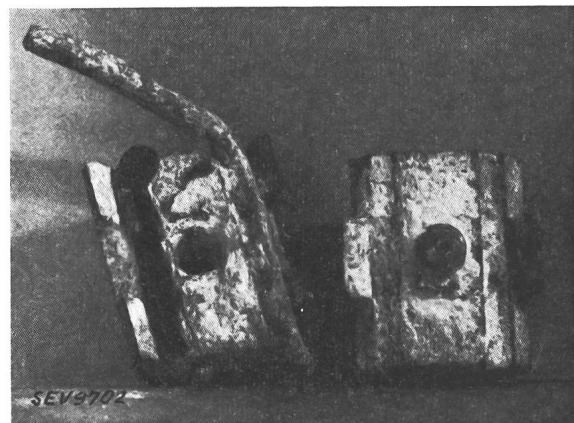


Fig. 3.

**Dérivation Cu/Al.**

Montée en 1916; démontée en 1941.

Matériel de la pince: fer galvanisé. Longueur de la pince: 28 mm. Fil d'aluminium 4 mm Ø, fil de cuivre (nu) 2 mm Ø. Dans la pince, les deux canaux sont couverts de dépôts blancs et verts. Surface du fil de l'Al dans la pince: granulation grossière. Lors de l'ouverture de la pince, la vis de serrage en fer galvanisé se rompit, car elle était coincée.

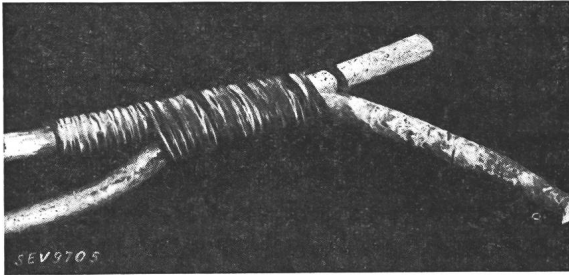


Fig. 4.

Effet du fil de ligature en cuivre nu (1 mm Ø) sur un fil d'aluminium (6 mm Ø).

Joint fait en 1938; démonté en 1941.

Sous les spires du fil de cuivre, creusures profondes causées par corrosion de l'aluminium. Diminution de la section d'Al par la corrosion: 4,5 mm<sup>2</sup> environ.

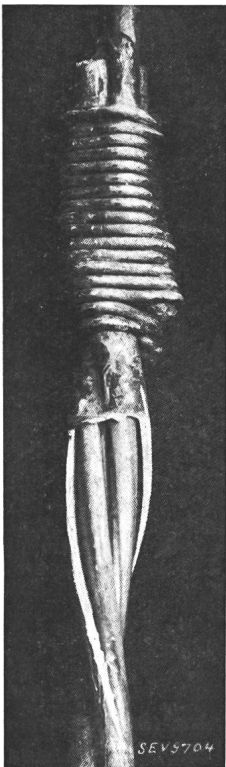


Fig. 5.

Joint à torsade entre deux fils d'aluminium (5 mm Ø), ouvert.

Monté en 1916; démonté en 1941.

Pour éviter que la connexion se défasse, les extrémités des fils sont repliées et fixées au tube par une ligature en fil d'Al de 2 mm Ø. Les deux fils torsadés dans le tube présentent une surface lisse et veloutée. Entre les fils et la paroi du tube, on constate des interstices allant jusqu'à 1 mm.

Innenfläche des Wüργrohres treten Hohlräume bis 1 mm Tiefe auf.

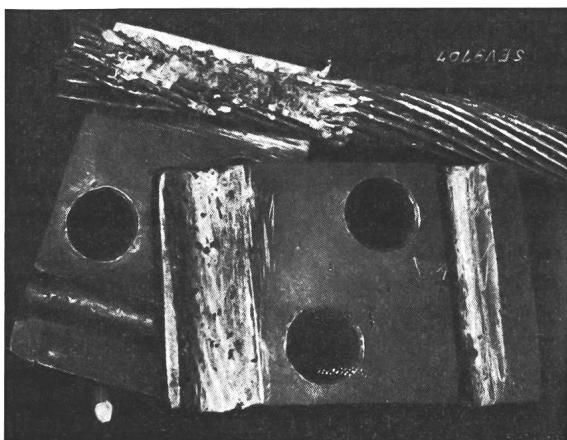


Fig. 6.

Serre-fil de dérivation en cuivre nu pour câble d'aldrey (95 mm<sup>2</sup>).

Monté en 1927; démonté en 1941; câble non enduit de graisse; longueur de la pince: 50 mm.

A l'intérieur de la pince, le câble est devenu une masse compacte informe. Les taches noires dans le canal destiné au câble sont des brûlures du cuivre.

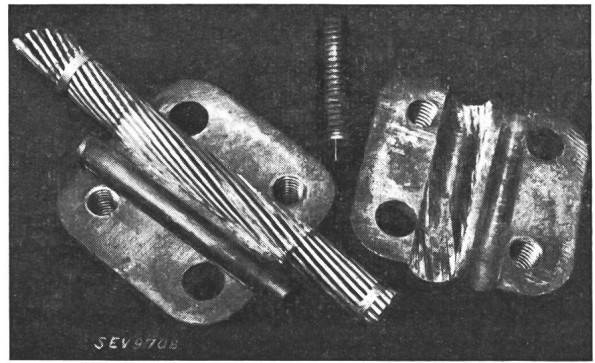


Fig. 7.

Connexion Cu/Aldrey.

Cu: 50 mm<sup>2</sup>; Aldrey: 95 mm<sup>2</sup>; pince en bronze; vis en laiton; longueur de pince: 58 mm.

Montée en 1926; démontée en 1941; câble non enduit de graisse.

Le câble présente des dépôts blancs et verdâtres entre les brins; dans le canal destiné au câble, des dépôts sont incrustés le long de spires correspondant à celles des brins du câble. Le fil de cuivre et son canal sont intacts. Les vis et les filets correspondants dans le corps de la pince ne présentent aucune oxydation.

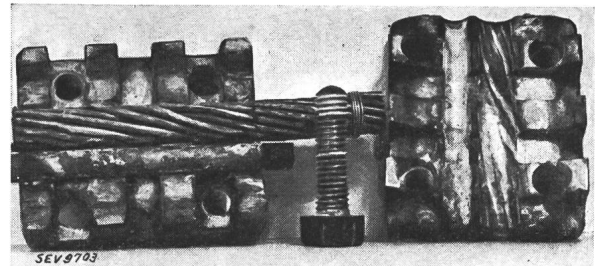


Fig. 8.

Connexion Cu/Aldrey.

Cu: 50 mm<sup>2</sup>; Aldrey: 95 mm<sup>2</sup>; pince en aluminium, vis en bronze exempt de zinc; longueur de la pince: 68 mm. Montée en 1935; démontée en 1941; câble non enduit de graisse.

La surface du canal destiné au câble ne présente aucune particularité, à part quelques taches sombres dues à l'oxydation. Le fil de cuivre et son canal sont couverts d'incrustations blanches et verdâtres. Les filets des vis sont remplis de dépôts blancs.

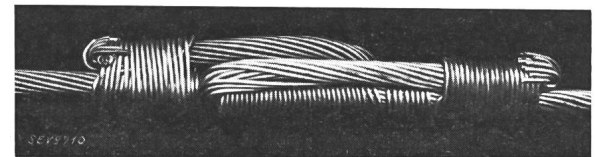


Fig. 9.

Joint entre deux câbles d'aluminium de 85 mm<sup>2</sup>

Monté en 1910 environ; démonté en 1935 environ. Intact.

Brins et fil de ligature: Al 2,4 mm Ø.

Longueur de la ligature commune aux deux câbles: ~ 75 mm.

Longueur de la ligature fermant chaque boucle: ~ 50 mm.

Longueur totale du joint: ~ 220 mm.

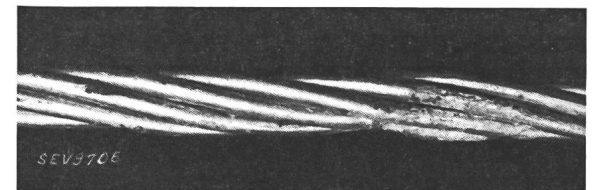


Fig. 10.

Câble d'aluminium avec brûlures.

Section 50 mm<sup>2</sup>; constitution 1+6; brins 4 mm Ø.

Ce câble fut démonté après 10 ans d'exploitation. C'est alors qu'on remarqua les brûlures provenant d'un court-circuit. Un des brins n'a plus que 2 mm d'épaisseur, tandis que les autres n'ont que des brûlures allant jusqu'à ¼ mm de profondeur.

Longueur totale de l'endroit endommagé: 40 mm.

les distances entre fils aux points d'attache restent les mêmes, car le fil d'aldrey doit être monté au-dessus des fils de cuivre pour éviter l'effet corrosif des gouttes d'eau tombant des fils de cuivre; la flèche du fil d'aldrey étant plus forte que celle des fils de cuivre, il risquerait alors d'entrer en contact avec ceux-ci. Mentionnons à titre d'information que pour obtenir la même flèche qu'avec un fil de cuivre à 0° et sous une charge de glace de 2 kg/m, la sollicitation d'un fil d'aldrey de 4 mm  $\varnothing$  s'élèverait à 26,8 kg/mm<sup>2</sup> pour une portée de 50 m, ce qui correspondrait à une tension de pose de 2,5 kg/mm<sup>2</sup> à une température de +10° C. Cependant, il faudrait alors craindre des vibrations à une température de -20° C.

Pour ces raisons, l'inspecteur a l'intention de proposer d'admettre provisoirement l'aldrey massif pour les lignes ordinaires de 4 à 8 mm  $\varnothing$  à haute et basse tension, à titre de mesure imposée par la guerre.

Une autre raison militant en faveur de l'adoption pour l'aldrey de la table de flèches pour le cuivre réside dans le fait que les monteurs la connaissent depuis longtemps et auraient probablement de la peine à se familiariser avec de nouveaux chiffres.

### 3° Montage des conducteurs massifs en alliage léger.

Les réponses parvenues à l'inspecteur au sujet des expériences faites pendant la dernière guerre 1914—1918 avec les conducteurs massifs en métal léger ont été presque toutes négatives, car ces lignes ont été montées à titre provisoire et remplacées depuis par des lignes en cuivre. Des maigres indications obtenues, on peut conclure que les expériences n'ont pas été favorables. Cependant, si l'on recherche les causes premières de ces déceptions, on découvre que dans la plupart des cas l'insuccès a été dû à un montage ou à des armatures impropres.

#### A. La fixation des fils aux isolateurs.

En raison de la corrodibilité de l'aluminium, il y a lieu de nettoyer à fond les isolateurs qui ont déjà servi à la fixation d'autres métaux (lavage à l'acide nitrique dilué, puis à l'eau). Comme fil de ligature, on utilisera un fil d'aluminium (mi-dur) de 2,5 mm  $\varnothing$ . Les ligatures doivent remplir les trois conditions suivantes:

1° Le conducteur doit être pressé fortement contre l'isolateur, pour l'immobiliser complètement, afin d'éviter qu'il ne s'use par frottement.

2. Le conducteur ne doit subir aucune sollicitation additionnelle à la flexion, à l'endroit de sa fixation à l'isolateur. Les sollicitations à la flexion résultant des oscillations du fil, ainsi que la pression

du fil de ligature doivent être réparties également sur toute la longueur de la ligature.

3. Le fil de ligature ne doit pas être exposé à des sollicitations alternatives à la flexion de nature persistante.

La première des conditions peut être remplie soit par l'application d'un feuillard d'aluminium, soit en faisant la ligature de telle sorte qu'un guilage de fil de ligature soit intercepté entre le con-

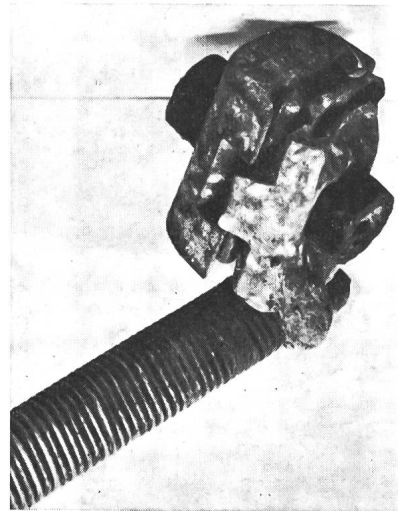


Fig. 11.

#### Dérivation Cu/Al.

Montée en 1918; démontée en 1940 environ.

Pince en aluminium; longueur de la pince 28 mm. Vis en fer ordinaire; fil de ligature Al 1,5 mm  $\varnothing$ ; fil d'aluminium 4,5 mm  $\varnothing$ ; fil de cuivre (nu) 2 mm  $\varnothing$ . La partie inférieure de la pince est fortement fondue; on aperçoit même une goutte d'aluminium.

ducteur et l'isolateur. Pour amortir l'effet des oscillations du fil, on peut ajouter au conducteur un fil auxiliaire sous la ligature. Il ne faut cependant pas entourer trop fortement le conducteur et le fil auxiliaire, sinon la ligature deviendrait trop rigide et les sollicitations alternatives à la flexion se concentreraient à l'endroit où le fil de ligature quitte le conducteur pour embrasser l'isolateur. A propos, des différents modes de fixation, il y a lieu de remarquer que pour la ligature en croix et pour la ligature à crochet, il faut entourer le conducteur de feuillard d'aluminium. Dans la ligature en croix, il faut en outre distancer le feuillard de l'isolateur par un enroulement à spires jointives de fil de ligature. Ce n'est pas encore certain qu'il faille ajouter un fil auxiliaire lors de la ligature à crochet; en tout cas, il contribuerait à diminuer les sollicitations alternatives à la flexion en rendant la ligature plus rigide. Pour la ligature d'arrêt, il faut entourer le conducteur de feuillard, afin d'éviter l'usage par frottement. En outre, nous tenons à mentionner la ligature type M développée par l'industrie de l'aluminium. Cette ligature applique un fil auxiliaire pour augmenter la rigidité, protège le con-

ducteur de l'usure par un enroulement et pare aux sollicitations alternatives à la flexion par sa longueur relativement élevée. Nous n'estimons pas nécessaire d'enduire dans tous les cas les ligatures de graisse. Cette précaution nous semble indispensable dans les contrées où les fumées et les émanations de caractère chimique sont très denses (campagne).

### B. Les connexions.

Les exigences que l'on doit poser à une connexion sont les suivantes: résistance mécanique suffisante et faible résistance électrique de passage d'un conducteur à l'autre. Je crois pouvoir m'abstenir de parler de la résistance mécanique des connexions, car celle-ci est traitée à l'art. 81 OF. Voici quelques modes de connexions et les expériences qu'on a faites avec eux.

a) *Jointts à torsade.* Les renseignements obtenus sur ce joint ne sont pas tous semblables. Quelques entreprises en sont satisfaites tandis que d'autres ont constaté des ruptures de fil et des corrosions aux extrémités ou à l'intérieur. Cela tient à ce que, lors du montage de ces jointts à torsade (ou jointts Arld, comme on les appelle aussi), on ne peut contrôler ce qui se passe à l'intérieur de la gaine. La torsade imposée aux conducteurs à l'intérieur de la gaine peut engendrer des sollicitations excessives qui entraînent des ruptures de fil ou une augmentation de la résistance de passage et, partant, un échauffement exagéré. En outre, lors de la torsade, la pellicule superficielle est rompue, ce qui fait craindre des corrosions si l'humidité peut y accéder.

b) *Jointts à rivets et à vis.* Dans ces jointts, les conducteurs juxtaposés sont chassés à l'aide de rivets ou de vis dans les échancrures d'un tube d'aluminium ovale de forme ondulée. Les conducteurs n'épousant jamais complètement les ondulations du tube, on peut se demander si ces jointts sont vraiment solides.

c) *Jointts (douilles) à écrasement.* Ce type de jointt consiste en un tube plat d'Al, dans lequel on introduit les deux conducteurs et que l'on écrase ensuite en forme d'encoches. De la sorte, les deux conducteurs pressés l'un contre l'autre prennent une forme ondulée. Il est clair que la pellicule recouvrant les conducteurs souffre moins de ce traitement et que les conducteurs épousent plus intimement les encoches de la gaine commune. Les renseignements reçus sur ce jointt sont tous favorables; par suite des grosses surfaces en contact et de la forte pression de contact, la résistance électrique de passage est très faible.

d) *Jointts (raccords) coniques.* Il ne me semble pas nécessaire de m'arrêter à ces raccords. Le contact semble être bon, car le cône est fortement pressé

contre le conducteur. Cependant, la surface de contact est relativement faible.

e) *Jointts raccords) «Primodur» et «Ervau».* Pour nos considérations, on peut citer ensemble ces deux types de jointts. La pression et le contact s'exercent sur des surfaces relativement faibles. Nous n'avons reçu aucune communication digne d'intérêt sur l'utilisation de ces jointts sur des lignes en Al. Il semble que des difficultés peuvent surgir à cause des faibles surfaces de contact, et que les conducteurs sont susceptibles de s'écraser dans le jointt.

f) *Jointts à griffes et à crochets.* Ces jointts présentent par rapport aux précédents des surfaces de contact plus étendues. Cependant ils ne s'opposent pas à la pénétration de l'humidité; l'oxydation qui s'en suit peut causer des difficultés. Un enduit de graisse ne tient pas longtemps aux intempéries.

En résumé les jointts pour lignes en aluminium doivent être également en aluminium, et il faut légèrement enduire de graisse les parties à raccorder. Cet enduit est destiné à empêcher la formation de couches d'oxyde aux surfaces de contact. On fera bien, lors du choix d'un jointt, de veiller à ce que sa construction empêche une désagrégation rapide de cet enduit par les intempéries. L'aluminium sous pression cède lentement à cette pression et n'atteint qu'après un certain temps un état stationnaire (des essais ont montré que cela peut durer jusqu'à 50 jours). C'est pourquoi il est nécessaire de contrôler après un certain temps les jointts où la pression est obtenue par des vis ou des rivets.

*Les connexions Cu/Al.* Le cuivre ayant un potentiel de +0,35 V et l'aluminium de -1,3 V, ces deux métaux forment un élément en présence d'un électrolyte. L'aluminium formant le pôle négatif, c'est lui qui subit l'attaque chimique et se décompose.

Une connexion Cu/Al durable doit donc être construite de façon à maintenir sèche la surface de contact entre les deux métaux, où à concentrer l'effet de corrosion en un endroit de la connexion où cet effet ne peut influencer ni la solidité ni la conductibilité électrique du jointt. Il s'agit donc dans ce dernier cas de prévoir en un endroit de l'aluminium voué à la corrosion. La solution consiste à glisser de justesse sur l'extrémité du fil de cuivre un tube d'aluminium et de remplir de graisse les interstices qui pourraient encore subsister. Le contact se fait entre surfaces d'Al et est ainsi soustrait à la corrosion. Il va de soi que les pièces constitutives du jointt sont aussi en aluminium. La corrosion se produit aux extrémités du tube d'aluminium; celui-ci doit être aux deux bouts recourbés vers le bas, afin que l'eau puisse,

s'écouler. Si le tube d'aluminium est assez long, la corrosion mettra un certain temps à atteindre le point de contact. Nous ne pouvons nous prononcer si un enduit de vernis peut retarder considérablement la corrosion aux extrémités du tube. En tout, ce mode de connexion nous paraît très favorable; il n'exige qu'un contrôle périodique sur la marche de la corrosion aux extrémités du tube, ainsi qu'un serrage soigneux du joint, afin que le tube ne prenne aucune fissure.

Le premier des deux modes de connexion: contact toujours sec entre les deux métaux est réalisé par l'utilisation de la tôle «Cupal». C'est une tôle bimétallique composée de cuivre et d'aluminium. On peut utiliser cette tôle dans différents types de connexions. Dans le joint «Wirschutz», le passage du courant s'effectue dans une tôle Cupal enrobée de matière isolante moulée de telle sorte que seule la face de cuivre est accessible au conducteur de cuivre et la face d'aluminium au conducteur de même métal. L'isolant donne à la tôle la rigidité nécessaire et la pression est obtenue par une vis à étrier. En dehors de ces deux modes de connexions, tous les joints Al/Cu connus aujourd'hui cherchent à refouler le contact cuivre-aluminium à l'intérieur, afin de le soustraire à l'humidité. Cependant, ces joints sont très différents quant à la forme extérieure. Les serre-fil à collier présentent l'inconvénient d'être assez compliqués, car les vis qui sont généralement en bronze ou en acier nécessitent des fourrures en tôle Cupal. Un autre type de joint à contact sec est la *baguette* «Alcu». Il consiste en principe en deux baguettes rondes de cuivre et d'aluminium vissées l'une à l'autre. La surface extérieure de contact est protégée par une isolation. Par suite de l'extrême résistance de l'élément ainsi formé en présence d'humidité, la corrosion est pratiquement nulle.

Des observations sur la fixation des conducteurs et sur les modes de connexion, on peut conclure qu'à côté des propriétés spéciales de l'aluminium, le travail soigneux des monteurs joue un rôle prépondérant. Outre le manque de connaissances qui régnait alors sur les propriétés de l'aluminium, les mauvaises expériences faites en 1914—18 sont dûes principalement au manque de soins apportés au montage. Dans un rapport publié en 1934 par une entreprise allemande d'électricité, il est entre autre dit qu'à la suite de nombreuses perturbations constatées sur les lignes en aluminium, les monteurs furent rendus personnellement responsables des joints qu'ils faisaient. Cette mesure contribua à améliorer sensiblement la situation. Si nous sommes bien renseignés, la S. A. pour l'industrie de l'aluminium donne actuellement des cours d'instruc-

tion pour les monteurs. Espérons que ces cours auront le résultat qu'on attend d'eux.

#### 4° L'emploi de l'aluminium dans les installations intérieures.

Au début de 1941, la commission des installations intérieures a chargé les Institutions de contrôle de l'ASE d'éclaircir les questions qui pourraient éventuellement se présenter lors de l'utilisation d'aluminium dans les installations intérieures, afin de pouvoir parer immédiatement à une interdiction dans l'emploi de conducteurs en cuivre pour ces installations. La Station d'essai des matériaux de l'ASE entreprit en mai 1941 des essais sur le couple nécessaire pour les vis de serre-fil en fonction de la température. Elle étudia aussi les répercussions de l'emploi de conducteurs en aluminium sur la chute de tension. Les essais ont montré que le couple nécessaire pour les vis des serre-fil devient plus faible lorsque la température augmente, par suite de la faible élasticité du matériel et de son coefficient de dilatation de 40 % env. supérieur à celui du cuivre. La chute de tension ne manifesta que de très faibles variations en plus ou en moins. En outre, on n'a pu constater aucune différence dans la chute de tension entre des fils préalablement râclés et enduits de vaseline, et des fils qui n'avaient subi aucune préparation.

Les investigations de l'inspecteur ont montré que, par suite de la plus faible conductibilité de l'aluminium (1,6 fois plus faible que celle du cuivre) et de sa densité plus faible (env. 30,4 % de celle du cuivre), il y a lieu de modifier le tableau des intensités admises (§ 129 des prescriptions sur les installations intérieures) en ce sens que pour une intensité nominale donnée de coupe-circuit, il faut prendre pour un conducteur d'Al la section immédiatement supérieure.

#### Utilisation de l'aluminium dans les différentes catégories de conducteurs.

A ce sujet, l'inspecteur a soumis à la commission des installations intérieures les propositions suivantes:

*Conducteurs d'installation:* l'aluminium sera admis pour les conducteurs à gaine de caoutchouc.

*Câbles sous plomb:* L'aluminium devrait être admis en principe pour les câbles sous plomb. Les sections étant normalisées de 1 à 16 mm<sup>2</sup> pour les câbles, il serait indiqué de fixer pour l'aluminium une section minimum de 2,5 mm<sup>2</sup> pour éviter le risque de cisaillement dans les bornes.

*Fils de lustrerie:* Il s'agit là de conducteurs massifs ou toronnés, rigides ou flexibles, simples ou doubles, normalisés pour des sections de 0,75 à 1,5 mm<sup>2</sup>. Vu ces faibles sections, l'aluminium ne devrait pas être admis pour ces conducteurs.

*Conducteurs multiples mobiles:* Les essais de la Station d'essai des matériaux de l'ASE et les expériences faites par les chemins de fer ont montré que des ruptures de brins se produisent facilement dans ces conducteurs. Comme nous ne disposons encore d'aucune expérience pratique sur les fils toronnés à brins fins d'aluminium, et que les expériences faites à l'étranger ne sont pas satisfaisantes, il est judicieux de ne pas utiliser de l'aluminium, malgré qu'on puisse l'étirer jusqu'à 0,07 mm de diamètre.

#### *Limitation du domaine d'application des conducteurs d'aluminium.*

L'inspecteur se place au point de vue suivant:

Les conducteurs d'installation du type GS et GSV peuvent être utilisés pour le montage sous tubes (apparent et noyé), ainsi que pour le montage sur poulies (si l'on dispose d'isolateurs appropriés) dans les locaux secs.

Les câbles sous plomb isolés au caoutchouc ou au papier, devraient être admis dans les locaux humides, mouillés et imprégnés, à condition que l'on dispose d'accessoires (boîtes d'extrémité, boîtes de dérivation, interrupteurs, armatures, etc.) qui interdisent tout accès d'humidité aux points de contact.

Les propositions ont été examinées entre autre par la commission des installations intérieures qui les a approuvées. Elles ont ensuite été adoptées et mises en vigueur par la commission d'administration de l'ASE et de l'UCS sous forme de modifications aux prescriptions en vigueur. La situation actuelle se présente comme suit:

Est admis dans les installations intérieures pour montage fixe l'aluminium pur 99,3 à 99,5 %, présentant une conductibilité spécifique moyenne de 0,03 Ohm mm<sup>2</sup>/m et une résistance à la rupture de 13 à 17 kg/mm<sup>2</sup>, et pour des sections à partir de 2,5 mm<sup>2</sup>, sous forme de fils, de cordes rigides et de câbles. Les conducteurs d'Al à isolement de caoutchouc ou de masse thermoplastique peuvent être montés, comme les conducteurs de Cu, dans les locaux secs et temporairement humides. Les conducteurs d'Al isolés au caoutchouc types GS, GSC, GSV et GSVC, ainsi que les câbles isolés au caoutchouc ou au papier avec conducteurs d'aluminium ne sont admis dans les locaux humides, mouillés et imprégnés que si les objets à raccorder et les autres accessoires, tels que les boîtes de dérivation sont de nature telle que les points de raccordement et les fils soient efficacement soustraits à ou protégés contre la corrosion. Le tableau du § 129 des prescriptions sur les installations intérieures doit être interprété en ce sens qu'à une intensité déterminée correspond pour un conducteur d'aluminium la section immédiatement supérieure à celle du cuivre.

Le matériel d'installation pour montage fixe jusqu'à 60 A, normalisé par l'ASE, doit permettre le raccordement de la section immédiatement supérieure à celle correspondant à l'intensité nominale; en d'autres termes, un appareil de 6 A doit permettre le raccordement soit d'un fil de 1 mm<sup>2</sup>,

soit d'un fil de 1,5 mm<sup>2</sup>. Les recherches faites par la Station d'essai des matériaux ont montré que la plupart des interrupteurs, prises de courant et boîtes de dérivation pour 6 A permettent le raccordement de fils de 2,5 mm<sup>2</sup>, de sorte que la fixation d'une section minimum de 2,5 mm<sup>2</sup> pour l'aluminium ne devrait pas rencontrer de sérieuses difficultés dans la pratique.

#### *Le traitement et le montage des conducteurs d'aluminium dans les installations intérieures.*

Les conducteurs d'aluminium sont admis dans les locaux secs, temporairement humides, humides, mouillés et imprégnés sous différentes réserves quant à leur constitution et aux accessoires. Ceci doit être considéré comme mesure provisoire imposée par la guerre, qui n'a passé qu'au prix de nombreuses difficultés. Sans vouloir exagérer le danger de la corrosion, nous ne pouvons refouler certaines craintes au sujet des conducteurs en aluminium dans les locaux mouillés et imprégnés et même dans certains cas dans les locaux temporairement humides, car les accessoires appropriés excluant tout danger de corrosion nous semble manquer. C'est pourquoi nous recommandons de n'utiliser les conducteurs en aluminium que dans les locaux secs et de se servir pour les autres locaux des stocks de cuivre encore disponibles; d'ailleurs, il n'est pas exclu que les sections de 1 et 1,5 mm<sup>2</sup> continuent à se faire en cuivre. Pour le moment, il nous est impossible de donner des conseils plus détaillés sur les installations en fils d'aluminium, car nous manquons encore d'expérience. Comme plus haut pour les lignes aériennes, nous nous devons de répéter que seul un montage soigné et consciencieux donnera des résultats satisfaisants.

#### **Diskussion.**

**Der Vorsitzende:** Ich danke Herrn Zaruski für seinen überaus eingehenden Vortrag. Er hat uns in vorbildlicher Weise auf alle Schwierigkeiten der Anwendung von Aluminium aufmerksam gemacht. Ich nehme an, dass die abschreckenden Beispiele, die Herr Zaruski vorgezeigt hat, Sie veranlassen werden, in der Zukunft Fehler zu vermeiden.

Ich bin leider auf dem Gebiet des Leitungsbaus und der Hausinstallationen ein vollständiger Laie, so dass es mir nicht leicht fällt, die Diskussion darüber zu führen. Ich habe aber die Ueberzeugung, dass Ihnen Herr Zaruski soviel Material in die Hand gegeben hat, dass Sie trotzdem von seinem Referat und seiner Demonstration profitieren werden. Wollen Sie bitte alle Ihre Erfahrungen, die Sie fortan machen werden, dem Starkstrominspektorat zukommen lassen, damit dieses seinerseits die einzelnen Erfahrungen Ihnen allen wieder zur Verfügung stellen kann im Interesse der Elektrizitätsversorgung.

Es ist noch ein Punkt, den wir sehr beachten müssen; es sind die Vorschriften, die unter Umständen der Einführung des Aluminiums und des verwandten Materials im Wege stehen. Wenn solche bestehen, bitte sagen Sie es uns. Diese Vorschriften sind ja von uns selbst gemacht worden, und wir sind immer nur zu gerne geneigt, Grenzpflocke um uns herum zu stecken. Was wir einmal als schlecht erfahren haben, braucht nicht immer schlecht zu sein, sondern wir können es ja verbessern.

Herr W. Beusch, Landis & Gyr A.-G., Zug: Schon im letzten Weltkrieg spielte die Material-Ersatzfrage eine wichtige Rolle. Sie war aber noch nicht so schlimm, wie sie jetzt ist und wie sie wahrscheinlich noch werden wird.

Die Verwendung von Aluminium im Zählerbau fand bereits vor dem ersten Weltkrieg statt. Die Triebseiben und das Zählergehäuseoberteil wurden von der Firma Landis & Gyr schon sehr frühzeitig aus Rein-Aluminium hergestellt. Dieses Metall hat sich bei vielen Millionen Zählern ganz ausgezeichnet bewährt.

Bereits 1931, also vor mehr als 10 Jahren, hat unsere Materialprüfstelle eine Anzahl Zähler hergestellt, in denen Aluminium und dessen Legierungen weitgehend verwendet wurden. Zwei dieser Versuchszähler habe ich mitgebracht, sie können nachher besichtigt werden. Der eine Zähler war zumeist in einem normalen Lagerraum aufbewahrt. Der andere Apparat wurde während 8 Jahren zeitweise in einem chemischen Laboratorium den Dämpfen ausgesetzt und zeitweise im Freien der Witterung. Es war für uns ausserordentlich wertvoll, vor mehr als einem Jahr auf diese Versuche zurückgreifen zu können.

Wir müssen in erster Linie Messing sparen und ersetzen: Hierzu eignet sich Antikorodal und Avional ausgezeichnet. Schrauben, Distanzstücke und andere kleine Konstruktionselemente haben wir mit Erfolg aus dieser Legierung hergestellt. Hier ist wohl gar kein Risiko vorhanden. Viel bedeutungsvoller ist die Anwendung von Aluminium als Stromleiter. Die Leitfähigkeit des Aluminiums ist ja sehr gut, aber die Leitungsverbindungen sind nicht ganz einfach. Unsere Anschlussklemmen haben Einlagen aus Messing. Hierzu sind recht bedeutende Mengen nötig. Es lag nahe, zu versuchen, diese Einlagen aus Antikorodal herzustellen. Vor ca. 1 Jahr begannen wir mit ausführlichen Versuchen. Die Versuche wurden nach den Umstell-Vorschriften des VDE durchgeführt. Verschiedene Literatur mahnte zur Vorsicht. Es darf aber gesagt werden, dass die Ergebnisse über Erwartung gut ausfielen. Die Spannungsabfälle an den Klemmen waren am Ende der Versuche immer noch kleiner als die Spannungsabfälle an den bisherigen Klemmen mit Messing-Einlagen. Die Anschlussdrähte waren bei diesen Versuchen aus Kupfer.

Wie verhalten sich diese Antikorodal-Klemmen, wenn die Stromspule aus Aluminiumdraht hergestellt wird, wenn also der Rein-Aluminiumdraht der Stromspule mit der Klemme aus Antikorodal verbunden werden muss? Diese Versuche, die sich über  $\frac{1}{2}$  Jahr erstreckten, haben gezeigt, dass, wenn die beiden zu verbindenden Teile vor dem Zusammenschluss gereinigt, dann sofort mit Vaseline eingefettet und nachher unter Zwischenlage einer federnden Unterlagscheibe fest miteinander verschraubt werden, ein sehr gleichmässiger Uebergangswiderstand gesichert sein sollte.

Wohl das schwierigste Problem ist die Verbindung der äusseren Anschlussdrähte aus Aluminium mit der Büchsenklemme, sei nun diese aus Messing oder aus Antikorodal.

Werden Aluminiumdrähte durch Druckschrauben unter einen gewissen Druck gesetzt, so gibt das Material allmählich nach und der Kontakt wird schlecht. Sofern eine federnde Unterlagscheibe verwendet werden kann, ist das Problem, wie bei der Verbindung der Stromspule, mit der Klemme leicht lösbar. Bei einer reinen Druckschraube ist die Lösung viel schwieriger. Namentlich in der deutschen Patent- und Gebrauchsmuster-Literatur findet man sehr viele Vorschläge für zuverlässige Verbindungen von Aluminiumdrähten. Wir setzten uns das Ziel, eine Schraube zu entwickeln, die gegen eine vorhandene, normale ausgetauscht werden kann. Eine solche Schraube liegt nun in einer fabrikationsreifen Ausführung vor (Fig. 1).

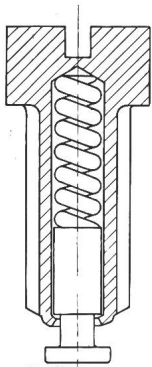


Fig. 1.  
Klemmschraube  
mit Federung.

Zusammenfassend dürfen wir feststellen, dass nach unserer Auffassung Klemmen aus Antikorodal und Stromspulen aus Rein-Aluminiumdraht im Zählerbau verwendet werden dürfen. Bevor die Verbindungen vorgenommen werden, muss die Oberfläche

gereinigt und mit Vaseline eingefettet werden. Bei Aluminiumdrähten sind federnde Zwischenglieder einzuführen, damit beim Nachgeben des Materials der Druck nur unwesentlich abnimmt.

Herr W. Howald, Bank für elektrische Unternehmungen, Zürich: Ueber Erfahrungen mit Aluminium in den USA kann ich Ihnen von einer praktischen Beobachtung berichten, die ich vor 15 Jahren machte. Wir hatten damals im Mittelwesten eine zwölfjährige 11-kV-Regelleitung im Umbau auf 60-kV-Weitspannleitung mit Gittermasten. Diese Gegend weist Temperaturdifferenzen von 60...70° C zwischen Sommer und Winter auf und ist starken Winden und Regen und beträchtlicher Glatteisbildung ausgesetzt. Die Leitung ist somit mechanisch stark beansprucht.

Als Leiter diente ein Reinaluminiumseil von etwa 200 mm<sup>2</sup> Querschnitt. Das Mastbild war normal und mit OB-Stützisolatoren ausgerüstet. An den Befestigungspunkten wurde das Seil sorgfältig mit Aluminiumband umwickelt und darüber mit Aluminiumdraht der Böglbund ausgeführt. Diese Montage hat sich bewährt. Als Verbinder dienten die bereits erwähnten Würgeverbinder, die zu keinen Klagen Anlass gaben.

Wegen der beim normalen Mastbild unzulässig grossen Schnellhöhe des Aluminiumseiles war die Leitung sehr störungsanfällig und musste recht oft geflickt werden. Auch hierfür eigneten sich die Würgeverbinder, die mit Fett behandelt wurden, gut, da sie eine leichte Montage im Betrieb erlauben.

Der Umbau erfolgte, um die Störungshäufigkeit zu vermindern und gleichzeitig die Uebertragungsleistung zu erhöhen. Hierbei wurden die Seile wenn immer möglich nicht zerschnitten, sondern sorgfältig auf die neuen Gittermasten umgelegt. Wir haben nach dem Umbau die Leitung nachgemessen und trotz der vielen alten Verbindungsstellen einen Gleichstromwiderstand gefunden, der nur um einige Promille (vielleicht 4...7 ‰) über dem theoretischen Aluminiumwert lag. Dieses Resultat dürfte die Zweckmässigkeit der Würgeverbinder beweisen.

Die Montage der Verbinder erfolgte auf einer Vorrichtung ähnlich einer Drehbank. Das eine Ende wurde fest eingespannt, das andere an einer Art Drehknopf mit Kurbel befestigt. Dadurch ergab sich eine geradlinige, glatte Torsion auch bei grossen Querschnitten.

In neuerer Zeit sind die Kerbverbinder aufgekommen. Diese bestehen ebenfalls in einem Flachrohr, in das die beiden Seilenden in entgegengesetzter Richtung nebeneinander liegend eingeführt werden. Auch hier werden bei Aluminium-Stahlseilen die Stahlseele und der Aluminiummantel nicht separat abgespannt. Nachteile haben sich meines Wissens im allgemeinen kaum gezeigt. Die Verkerbung wird in einfacher Weise mechanisch ausgeführt. Ich habe hierfür einmal eine Vorrichtung gesehen, die ähnlich einer Profilirichtmaschine aus drei Rollen bestand, wovon zwei auf der einen Seite, die dritte in der Mitte auf der anderen Seite angeordnet waren. Diese Rollen hatten Zähne, die den beabsichtigten Einkerbungen entsprachen. Beim Durchwalzen des Verbinders entstanden damit in gleichmässigen Abständen und mit immer gleichem Druck die Kerben.

Später ist man teilweise zu den Fliessverbindern übergegangen. Hier wird bei Aluminiumstahlseilen jeder Teil für sich abgespannt. Zuerst wird über beide freigelegten Stahlseelen eine Stahlhülse übergeschoben und so stark gepresst, dass sie mit dem Material der Stahlseele zusammenfliesst. Gleich wird mit dem Aluminiummantel verfahren, wobei die Hülse natürlich aus Aluminium besteht. Das Material wird in diesem Fall bis über die Fliessgrenze beansprucht. Die Seilenden stossen im Verbinder aneinander und liegen nicht nebeneinander wie in den zwei ersterwähnten Verbindern. Der Stromdurchgang muss also über die Mantelhülse erfolgen.

Weniger bewährt haben sich Verbinder, bei denen die Stahlseelen in einem Konus abgespannt wurden und wo auch die Mantelhülse mehrteilig war und verschraubt werden musste. Die Montage war teuer, umständlich und nicht für das Feld bestimmt. Sie gab auch die Möglichkeit von Wassereindringen in die Muffen mit nachfolgendem Rosten der Stahlseele und Korrosion des Aluminiummantels.

Alle solchen Ausführungen, die montagetechnisch auf dem Bau grosse Anforderungen stellen und viele Arbeitsstunden benötigen, kann man drüben nicht brauchen und so geht man eher wieder zu den alten bewährten Konstruktionen zurück.

Der Vorsitzende dankt den Herren Diskussionsrednern für ihre Beiträge und erteilt das Wort Herrn Oberingenieur M. Preiswerk von der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen-Ouchy:

## Technologie de l'aluminium utilisé pour les lignes aériennes.

Rapport présenté à la Journée de l'Aluminium organisée par l'ASE, le 10 octobre 1941, à Olten.  
par M. Preiswerk, Neuhausen-Ouchy.

621.315.53 : 621.315.1

*Le rapporteur indique quelles sont les propriétés essentielles de l'aluminium et de l'aldrey utilisés pour les lignes aériennes et de quelle façon ces deux matériaux peuvent être le mieux employés. L'aluminium et l'aldrey sont parfaitement appropriés aux lignes aériennes, ainsi qu'aux installations de couplage et pour certains bobinages. Leur emploi dans les installations intérieures est moins avantageux. L'aluminium ne peut pas servir aux contacts glissants (collecteurs, lignes de contact).*

*Die für Freileitungen wesentlichen Eigenschaften von Al und Aldrey werden erwähnt und die zweckmässige Anwendung dieser Werkstoffe wird gestreift. Al und Aldrey eignen sich hervorragend für Freileitungen, ferner für Schaltanlagen, z.T. auch für Wicklungen. Wenig günstig ist die Verwendung in Hausinstallationen und ungeeignet ist Al bei Schleifkontakten (Kollektoren, Fahrleitungen).*

(Traduction.)

L'aluminium ne se trouve nulle part à l'état naturel pur. Il se rencontre très fréquemment sous forme d'oxyde (bauxite, alumine). Il doit sa forme métallique à l'électricité, car le courant électrique est seul capable de séparer l'aluminium de l'oxygène auquel il est combiné. Issu de l'électricité, il peut rendre à son tour service à celle-ci, car ses propriétés le lui permettent parfaitement.

Tous ceux qui ont assisté aux démonstrations de jubilé de la S. A. Brown Boveri, à Baden, et ont suivi les explications de Monsieur l'ingénieur en chef Streiff sur l'utilisation de l'aluminium dans la construction des machines, savent combien ces applications de l'aluminium sont intéressantes. A la suite d'études détaillées des propriétés physiques et mécaniques de ce métal, l'industrie a pu remplacer le cuivre par l'aluminium pour certains usages où il est techniquement et économiquement équivalent au cuivre et parfois même plus avantageux. Pour vous faciliter ce travail auquel vous devrez bon gré mal gré vous attacher un jour ou l'autre, je me suis bien volontiers chargé de vous donner quelques brefs renseignements sur la technologie de l'aluminium.

L'aluminium destiné aux lignes aériennes s'utilise sous forme de fils étirés à froid ou de câbles en aluminium pur ou en aldrey. L'aluminium pur utilisé en électrotechnique a maintenant presque toujours une pureté de 99,5 %. Cette grande pureté lui confère une conductibilité maximum d'au moins 62 % de celle du fil de cuivre électrolytique, ainsi qu'une très bonne résistance aux intempéries. La tension de rupture diminue quand le diamètre du fil augmente; elle est de 18 kg/mm<sup>2</sup> pour les diamètres inférieurs à 3 mm, tandis que la conductibilité spécifique reste constante. L'allongement relatif est de 2 à 4 % à la rupture et de 80 à 90 % à la limite d'allongement, le module d'élasticité est de 6000 kg/mm<sup>2</sup>, le coefficient de variation de la résistivité avec la température est de 0,004 comme pour le cuivre, le coefficient de dilatation linéaires aux températures voisines de 20° C est de 0,00024, soit de 40 % supérieur à celui du cuivre. L'aluminium destiné aux lignes aériennes est normalisé par la Publication de l'ASE, No. 157, Règles pour l'aluminium.

L'aldrey remplace l'aluminium pur dans les cas où la résistance de ce dernier n'est pas suffisante. Il s'agit d'un alliage d'aluminium renfermant 98,5 % d'aluminium et une faible quantité de silicium (0,5 à 0,6 %) et de magnésium (0,4 à 0,5 %). Les barres de cet alliage sont laminées ou comprimées en fils de 15 à 20 mm de diamètre, qui sont ensuite recuits à 520° C, trempés à l'eau, étirés à l'épaisseur désirée et revenus pendant 6 à 8 heures à 165° C. Le premier traitement thermique a pour but de dissoudre les adjuvants dans l'aluminium. La trempe sert à la cristallisation de l'aldrey, afin que les composants de cet alliage ne se décristallisent pas par la suite et ne se déposent entre les cristaux d'aluminium sous forme d'impuretés. Ce processus a une grande importance pour la résistance de l'aldrey à la corrosion. La forte réduction de la section (au moins 95 %) par l'étirage provoque un effet de pétrissage qui donne une matière bien homogène, dense et par conséquent résistante. Le revenu à 165° C est en quelque sorte un vieillissement artificiel, qui évite toute modification ultérieure des qualités de cet alliage sous l'action de la chaleur. Il lui confère en outre sa conductibilité relativement élevée. Ces divers traitements doivent être effectués avec le plus grand soin et chaque fil doit être essayé au cours de la fabrication. L'aldrey n'est donc pas seulement un alliage, mais bien un matériau pour fils qui a subi tous les traitements que je viens d'énumérer. Sa résistance est presque le double de celle de l'aluminium pur, puisqu'elle atteint 30 à 36 kg/mm<sup>2</sup>, son allongement relatif à la rupture est de 5 à 9 %, donc supérieur à celui de tous les autres matériaux pour lignes aériennes, sa limite d'allongement n'est que de 10 à 15 % inférieure à la tension de rupture, son module d'élasticité est de 6500 kg/mm<sup>2</sup> et sa conductibilité de 30 à 32,5, soit le 56 % de celle du cuivre. Ses autres propriétés correspondent à celles de l'aluminium pur.

Les principales propriétés physiques et mécaniques de quelques matériaux pour lignes aériennes sont groupées dans le tableau I.

La résistance aux intempéries ou résistance à la corrosion de ces deux matériaux est particulièrement intéressante. Il ne s'agit pas là d'un aussi