

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Phénomènes de corrosion observés sur la ligne de transport d'énergie é haute tension Muotathal-Iberg  
**Autor:** Schilling, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056516>

### **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:** 18.01.2025

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

## RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens  
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

## ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 + Téléphone 23 77 44  
Chèques postaux VIII 8481

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

XXXVI<sup>e</sup> AnnéeN<sup>o</sup> 22

Mercredi, 31 Octobre 1945

## Phénomènes de corrosion observés sur la ligne de transport d'énergie à haute tension Muotathal-Iberg

Communication de la Station d'essai des matériaux de l'ASE (E. Schilling)

621.3.014.6 : 621.315.1

*Des perturbations se sont produites fréquemment sur la ligne aérienne de l'Ibergereg, depuis que la tension a été portée de 8 à 15 kV. La section des conducteurs câblés en aldrey était diminuée de moitié aux attaches, ce qui provoqua des ruptures de conducteurs. La cause de cette corrosion provenait probablement de forts effluves à des isolateurs défectueux, qui pouvaient demeurer encore longtemps en service après une perforation de la porcelaine, parce qu'ils sont fixés à des poteaux en bois. La pose d'un ruban d'aluminium aux attaches du conducteur en aldrey ne peut guère réduire les perturbations. On peut envisager, par contre, une protection de la ligne contre les surtensions, un renforcement des isolateurs, ainsi qu'un contrôle et un remplacement des isolateurs défectueux.*

*An der Freileitung über die Ibergereg sind hauptsächlich nach der Erhöhung der Betriebsspannung von 8 auf 15 kV öfters Störungen aufgetreten. An Bundstellen waren Aldreyseile bis auf den halben Leiterquerschnitt geschwächt, so dass Leiterbrüche auftraten. Die Ursache dieser Leiterkorrosion war vermutlich starkes Glimmen an defekten Isolatoren, die infolge ihrer Befestigung auf Holzmasten nach einem Durchschlag des Porzellankörpers noch längere Zeit im Betrieb bleiben konnten. Die Umwicklung des Aldreyseils mit Aluminiumband an der Bundstelle wird die Störungen kaum reduzieren; dagegen kommen in Frage: Ueberspannungsschutz der Leitung, Verstärkung der Isolatoren, Kontrolle und Auswechseln von defekten Isolatoren.*

La Direction d'exploitation du Service de l'électricité de Schwytz nous a récemment chargés de déceler la cause d'avaries survenues à la ligne de transport d'énergie Schwytz - Iberg et nous a adressé dans ce but quelques échantillons du matériel utilisé pour cette ligne aérienne. Nous donnerons tout d'abord quelques indications sur l'installation de cette ligne et sur les perturbations qui s'y sont produites, d'après les renseignements de la Direction d'exploitation.

La ligne de 12,2 km va de Ried - Muotathal à Unter-Iberg avec une dénivellation maximum de 850 m. Elle a été aménagée en 1929. Comme elle traverse une contrée où les orages sont très fréquents (Oberberg - Ibergereg), elle a été atteinte plusieurs fois par des coups de foudre directs. Des isolateurs ont été détruits à trois reprises et un disjoncteur à bain d'huile a fait explosion dans l'usine électrique. En 1940, un conducteur s'est rompu à l'attache d'un isolateur; le point de rupture présentait une section de conducteur réduite de moitié, probablement par suite de corrosion.

Les caractéristiques de cette ligne sont les suivantes:

A l'exception du tronçon à grande portée Ried - Illgau, qui comporte des isolateurs de suspension montés sur des pylônes à treillis, toute cette ligne est montée sur des poteaux en bois, aussi bien les tronçons ordinaires que ceux à grande portée. Ces poteaux en bois sont au nombre de 287. Les conducteurs câblés en aldrey ont une section de 50 mm<sup>2</sup>, avec 14 fils de 2,2 mm de diamètre (pour certaines grandes portées, la section est de 70 mm<sup>2</sup>). Les po-

teaux d'arrêt étaient équipés de chaînes à 2 isolateurs à capot type Ohio-Brass, tandis que les poteaux d'alignement comportaient des isolateurs Rosenthal sur ferrure coudée, type Beznau 25 kV, brun. Aux isolateurs-support, toutes les attaches étaient à beuglis en aluminium pur de 8 mm  $\varnothing$ , formés d'avance, avec fil de ligature en aluminium pur de 2 mm  $\varnothing$ . Ce n'est qu'au cours de réparations ultérieures que les attaches des conducteurs câblés en aldrey furent entourées de ruban d'aluminium.

Cette ligne fonctionna de 1929 à fin 1944 sous 8 kV. Le 28 novembre 1944, par temps sec et froid, la tension fut portée à 15 kV. Au début, aucun phénomène anormal quelconque ne fut observé sur la ligne, ni aux appareils de tableau. Le lendemain, il plut jusqu'à l'altitude de 1400 m. Trois heures environ après le début de la pluie, la ligne fut le siège d'un court-circuit permanent. Deux conducteurs câblés s'étaient rompus à un poteau d'alignement d'un tronçon à grande portée. L'un des conducteurs reposait sur la traverse en bois, tandis que l'autre touchait le sol. A peine la ligne avait-elle été remise en état qu'un nouveau court-circuit fit déclencher à nouveau le disjoncteur: deux autres conducteurs s'étaient rompus. Tous les isolateurs furent alors contrôlés en les frappant. 20 d'entre eux, qui donnaient un son sourd, furent remplacés. Cette mesure eut tout d'abord un bon résultat. Toutefois, au cours d'un violent orage, le 25 juin de cette année, de nouvelles ruptures de la ligne provoquèrent un court-circuit permanent et il fallut remplacer 4 isolateurs avariés. La Direction d'exploitation du Service de l'élec-

tricité de Schwytz a l'intention de remplacer la plus grande partie des isolateurs de cette ligne.

A quelques-uns des isolateurs défectueux, le conducteur en aldrej présentait au point d'attache, c'est-à-dire à l'endroit où le conducteur touchait l'isolateur-support, des marques typiques de corrosion. Il y a cependant lieu de noter que ni le beugli, ni le fil de ligature en aluminium ne présentaient de traces de corrosion.

Deux isolateurs sectionnés par le Service de l'électricité de Schwytz ne décelaient aucun défaut de porcelaine, mais le chanvre de la partie supérieure du support était fortement carbonisé. Ces constatations laissaient supposer que la corrosion du conducteur en aldrej avait été causée par de forts efflues. D'autres observations amenèrent la Direction d'exploitation à croire que ces corrosions des conducteurs en aldrej auraient pu être évitées si les conducteurs câblés avaient été entourés d'un ruban d'aluminium au point d'attache. Les recherches confiées à la Station d'essai des matériaux de l'ASE devaient tout d'abord déterminer la cause primaire de

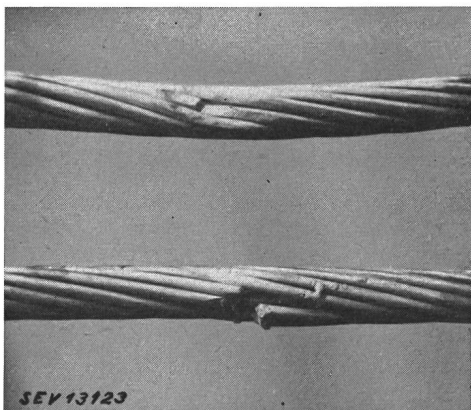


Fig. 1.

Conducteur en aldrej de 50 mm<sup>2</sup>

En haut: Conducteur détérioré par corrosion.  
En bas: Conducteur détérioré par un arc de court-circuit; les perles de fusion sont visibles

la détérioration des conducteurs câblés en aldrej, puis indiquer si possible la raison pour laquelle l'aluminium était plus résistant que l'aldrej aux points d'attache.

La figure 1 montre la différence typique qui existe entre l'attaque par corrosion d'un conducteur câblé (en haut) et la détérioration de fils par un arc de court-circuit (en bas). La corrosion affecte de grandes surfaces légèrement concaves, qui s'adaptent bien à la gorge de l'isolateur, tandis que l'arc de court-circuit forme des trous irréguliers et des perles de fusion. L'attaque par corrosion représentée sur la figure 1 indique l'état de début, à partir duquel un fil est complètement rompu. On a toutefois également constaté des attaques de corrosion qui pénétraient jusqu'à la moitié de la section du conducteur. Observée au microscope, la surface de l'aldrej ressemble à celle d'une pièce en fer libérée de sa rouille.

Les trois isolateurs qui nous ont été adressés avec leurs ferrures et qui étaient en service sur la ligne

de l'Iberg furent tout d'abord soumis à une tension alternative de 50 Hz. Les isolateurs ayant été montés sur un poteau en bois et leur ferrure mise à la terre, on constata déjà à 5 kV dans la chambre noire du local d'essais, l'apparition très nette d'efflues

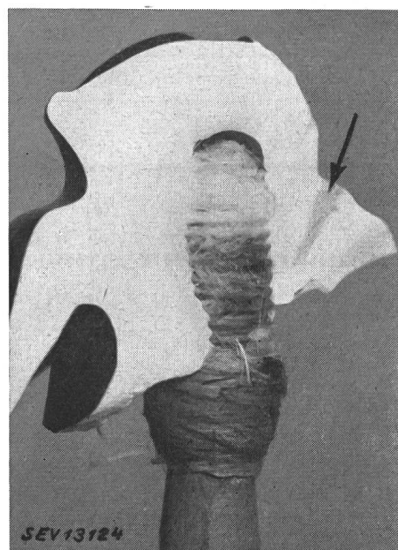


Fig. 2.

Surface fissurée dans la porcelaine

au point d'attache, tandis qu'un isolateur neuf ne présentait des efflues qu'à partir d'environ 20 kV. Les trois premiers isolateurs furent perforés à la gorge de ligature sous 34, 37 et 62 kV, tandis qu'avec l'isolateur neuf venant de la fabrique, un contourné-

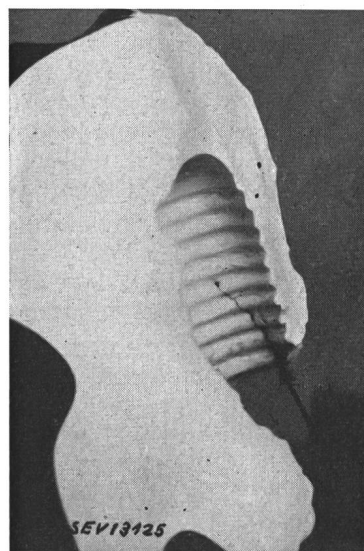


Fig. 3.

Fissure dans le trou de fixation du support

ment eut lieu sous 74 kV entre l'attache et la ferrure coudée (horizontalement, et non pas par-dessus la cloche de l'isolateur). Après avoir soigneusement ouvert les isolateurs, les endroits de perforation furent mis à nu (voir figures 2, 3 et 4). Il s'agissait de fissures dans la porcelaine, qui existaient longtemps avant l'essai. Il ne s'est pas formé un unique

canal de perforation, mais la surface fissurée présente au contraire sur une grande étendue des traces du passage du courant, qui aboutissent à des points où le chanvre du support était carbonisé.

Ces isolateurs, montés sur poteaux en bois, avaient été soumis à une tension d'exploitation de 15 kV. Or, lors de l'essai, on observa dès 5 kV des effluves à la gorge de ligature; la tension de perforation atteignit 34 à 62 kV avec ferrure mise à la terre, tandis qu'avec l'isolateur neuf un contournement se produisit à la ferrure, avant que la limite de résistance à la perforation de la tête n'ait été atteinte. Il est donc très probable que la cause primaire des perturbations survenues dans la ligne provenait d'isolateurs défectueux, qui purent néanmoins assurer l'exploitation longtemps après la formation de fissures. Dans ces conditions, il est compréhensible

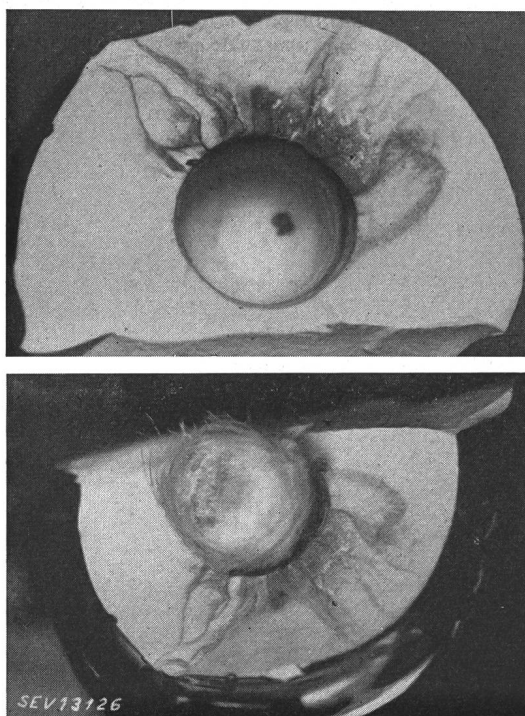


Fig. 4.

Surface fissurée dans la porcelaine

En haut: Tête de l'isolateur.

En bas: Cloche de l'isolateur; l'extrémité du support fixé au chanvre est visible.

que de forts effluves pouvaient se présenter entre l'attache et la ferrure, surtout par temps humide, lorsque l'isolement des poteaux en bois était fortement réduit pour le courant alternatif à 50 Hz. En présence d'humidité, ces effluves ont pu former des gaz nitreux et de l'acide nitrique, qui attaquèrent le conducteur. Il se pourrait aussi que les effluves aient détruit en quelque sorte mécaniquement la couche d'oxyde protectrice du conducteur en aldreï, provoquant ainsi sa corrosion.

Au premier abord, on peut se demander pourquoi des perforations aux isolateurs et des fissures dans la porcelaine ont pu se produire, alors que durant l'essai sous tension alternative il se produit un contournement entre l'attache et la ferrure coudée (horizontalement), avant une perforation de la por-

celaine. Nous ferons remarquer que des surtensions de brève durée, telles que des surtensions d'origine atmosphérique ou de couplage, ne doivent pas nécessairement provoquer des contournements par les mêmes chemins que lors de l'essai de contournement sous 50 Hz. Plus les chocs de tension qui atteignent un isolateur-support sont raides, plus la pointe de la surtension peut être élevée et atteindre par conséquent des valeurs qui provoquent une perforation de la porcelaine. Dans le cas qui nous occupe, il faut admettre que des surtensions d'origine atmosphérique ont provoqué la perforation des isolateurs-support, mais qu'il n'en résulta pas de court-circuit permanent, en raison de l'isolement des poteaux en bois. La porcelaine peut aussi avoir été fissurée par des actions purement mécaniques, par exemple à la suite d'une brusque baisse de température ou parce que le chanvre avait été trop fortement tassé (fissures par dilatation). Il est vrai que le Service de l'électricité de Schwytz avait procédé avec beaucoup de soin à la pose du chanvre et toujours prévu un jeu de 5 à 10 mm entre la tête de l'isolateur et l'extrémité de la ferrure. Néanmoins, la fissure dans le trou de support, visible sur la figure 3, paraît provenir d'une sollicitation mécanique, plutôt qu'électrique.

Nous devons en outre indiquer la raison pour laquelle le conducteur câblé en aldreï présentait ce phénomène de corrosion à de nombreux endroits, alors que les pièces d'attache en aluminium pur (beugli, ruban d'aluminium et fil de ligature en aluminium) n'étaient — semblait-il — pas attaquées par la corrosion. Il est certain que l'aluminium pur se corrode moins facilement que l'aldreï. La seule attache complète qui nous ait été envoyée pour examen était constituée par un ruban d'aluminium enroulé autour du conducteur. Ce ruban, ainsi que le conducteur, avaient été complètement fondus par l'arc de court-circuit. Un endroit du ruban d'aluminium à côté des perles de fusion permettait toutefois de supposer que cette partie en aluminium avait également subi une corrosion comme celle que nous avons décrite pour les conducteurs en aldreï. D'autre part, une surface de 1,5 cm de long sur environ 0,5 cm de large du beugli présentait la même apparence que les parties du conducteur en aldreï attaquées par la corrosion. On peut en conclure que les parties en aluminium pur de l'attache sont le siège des mêmes phénomènes de corrosion que le conducteur en aldreï, mais que les corrosions y sont moins importantes et passent souvent inaperçues. Il se peut d'ailleurs que d'autres endroits de corrosion des pièces en aluminium aient été recouverts par les traces de brûlure provoquées par l'arc de court-circuit.

Nous pouvons dire, en résumé, que la ligne de transport d'énergie Schwytz - Iberg a été le siège de phénomènes de corrosion qui provoquèrent la rupture de conducteurs, sans que l'on ait constaté de perles de brûlure dues à des arcs de court-circuit. La cause de ces attaques de corrosion provient en première ligne d'isolateurs défectueux, qui sont demeurés longtemps en service, malgré les fissures de la porcelaine. De forts effluves attaquèrent le ma-

tériel aux attaches. A notre avis, la protection du conducteur câblé en aldrej par un ruban d'aluminium ne suffirait pas pour empêcher cette corrosion.

Cet exposé est surtout destiné à réunir les expériences faites dans ce domaine. Nous prions les directions d'exploitation des entreprises électriques de nous communiquer les observations qu'elles ont

pu faire au sujet de phénomènes de ce genre et de nous adresser au besoin du matériel pour examen. Nous sommes volontiers prêts à poursuivre nos essais et à publier les expériences faites et les résultats obtenus.

Adresse de l'auteur:

E. Schilling, ingénieur à la Station d'essai des matériaux de l'ASE, Seefeldstrasse 301, Zurich 8.

## Tabellen für die rasche Bestimmung der Reaktanz von Dreiphasenleitungen und Sammelschienen

Von W. Streuli, Baden

621.3.011.3 : 621.315.025.3

Jeder Elektrotechniker muss gelegentlich die Reaktanz von Leitungen oder Sammelschienen berechnen, jedoch nicht häufig genug, um die Methode ohne immer erneutes Suchen von Unterlagen und Studium zu beherrschen. Die folgenden Tabellen dürften ermöglichen, derartige Arbeiten mit genügender Genauigkeit in einem Bruchteil der sonst dafür nötigen Zeit zu erledigen.

Les électrotechniciens ont parfois à calculer la réactance de lignes aériennes ou de barres omnibus. La majorité d'entre eux sont alors obligés de rechercher la documentation nécessaire et de procéder à une nouvelle étude de ce sujet. Les tableaux suivants leur faciliteront ce travail, en leur permettant d'arriver beaucoup plus vite à un résultat de précision suffisante dans la plupart des cas.

Die Betriebsreaktanz einer symmetrisch belasteten Dreiphasenleitung, bestehend aus drei in gleichseitigem Dreieck angeordneten kreisrunden Massivleitern  $abc$ , ist bei 50 Hz, Skineffekt vernachlässigt:

$$X_{50} = 0,145 \left( \log_{10} \frac{D}{r} + 0,109 \right) \text{ Ohm/km} \quad (1)$$

wo:

$D$  Abstand der Leitermitten  
 $r$  Halber Leiterdurchmesser

Die Ableitung<sup>1)</sup> zeigt, dass das erste Glied in der Klammer auf das Feld zwischen der Oberfläche eines Leiters und der Mitte eines andern, das zweite Glied auf das Feld im Innern der Leiter zurückzuführen ist.

Etwas umgeformt wird Gl. (1)

$$X_{50} = 0,145 \log_{10} \frac{D}{0,779 r} \quad (2)$$

Ein Vergleich mit (1) zeigt, dass (2) die Form für die Reaktanz eines Leiters ohne inneres Feld, also eines unendlich dünnwandigen Hohlleiters hat. Wählt man den Radius dieses Hohlleiters zu  $0,779 r$ , so ist er bezüglich der Reaktanz ein vollkommener Ersatz für den wirklichen Leiter, so dass die Berechnung der Reaktanz auf das innere Feld keine Rücksicht mehr zu nehmen braucht.

Bei Leitern beliebigen Querschnittes tritt an Stelle von  $0,779 r$  ein von der Form abhängiger Ersatzradius  $\varrho$ , und bei unsymmetrischer, aber vollkommen verdrillter Leitungsanordnung an Stelle von  $D$  ein mittlerer Abstand  $\delta$ , so dass (2) sich allgemein folgendermassen schreiben lässt:

$$X_{50} = \underbrace{0,145 \log_{10} \delta}_{A} + \underbrace{(-0,145 \log_{10} \varrho)}_{B} \text{ Ohm/km} \quad (2')$$

$$= A + B \text{ Ohm/km} \quad (3)$$

Dabei ist  $\delta = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}$ .

<sup>1)</sup> Genau z. B. bei F. Breisig: Theoret. Telegraphie.

Die Werte für  $\varrho$ ,  $A$ ,  $B$  sind in den Tabellen I..IV zusammengestellt, die, wenn nötig mittels Interpolation, durch eine einfache Addition die Reaktanz aller üblichen Leitungen und Sammelschienen zu bestimmen gestatten.

[Für kreisrunde Leiter lässt sich den Summanden  $A$  und  $B$  folgende physikalische Bedeutung geben:  $B$  ist die Reaktanz herrührend vom Feld im Innern des Leiters plus demjenigen ausserhalb bis zum Abstand  $l$  cm von der Leitermitte ( $\delta$  und  $\varrho$  in cm),  $A$  die Reaktanz herrührend vom Feld zwischen dem Abstand  $l$  cm und der Mitte der andern Leiter. Dabei wird  $B$  negativ, sobald der Ersatzradius  $\varrho > l$  cm ist.]

Beispiel:

Man bestimme die Reaktanz von 30 m Dreiphasen-Sammelschiene nach Fig. 1:

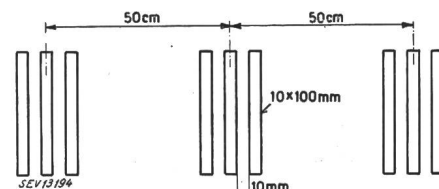


Fig. 1.

$$\delta = \sqrt[3]{50 \cdot 50 \cdot 100} = 50 \sqrt[3]{2} = 63$$

$$A \text{ aus Tab. II} = 0,260$$

$$B \text{ aus Tab. IV} = -0,043$$

$$\text{pro km} \quad +0,217, \text{ also}$$

Reaktanz für 30 m 0,0065 Ohm.

(Sind die Phasenleiter nicht, wie vorausgesetzt, untereinander verdrillt, so ist die Reaktanz des innern Leiters bei dieser Anordnung um ca. 0,010  $\Omega$ /km kleiner, die der beiden äusseren um ebensoviel grösser als der nach den Tabellen bestimmte Mittelwert, unabhängig vom Phasenabstand.)

### Quellen

Nesbit Wm.: Electrical Characteristics of Transmission Circuits (Westinghouse Technical Night-School Press).

Teilweise auch enthalten in:

Wager und Evans: Symmetrical Components. Mc. Graw-Hill.  
Schulze R. C. R.: Calculation of Fault Currents in Industrial Networks. Electr. Engg. 1941, S. 271.