Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 41 (1950)

Heft: 11

Artikel: La corrosion des câbles sous plomb

Autor: Foretay, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061250

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: 04.12.2025

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

41. Jahrgang Nr. 11 Samstag, 27. Mai 1950

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

La corrosion des câbles sous plomb

Par *E. Foretay*, Cossonay

621.315.221.0046

L'auteur présente une étude d'ensemble de la question de corrosion des câbles sous plomb. Il définit les diverses sortes de corrosion et expose les méthodes de protection.

Der Autor gibt eine zusammenfassende Darstellung über die Probleme der Korrosion der Bleikabel. Er definiert die verschiedenen Arten der Korrosion und erläutert die in Frage kommenden Schutzmassnahmen.

1. Définition de la corrosion

Il est assez difficile de définir exactement ce qu'on appelle corrosion. Le Comité Consultatif International Téléphonique (CCIF) dit ceci, dans le texte de l'assemblée plénière de Copenhague en juin 1936:

«Un métal se corrode lorsque sa surface se ronge et se recouvre d'un produit non adhérent. Celui-ci étant enlevé, on constate habituellement que l'objet métallique a perdu une partie de son poids.»

Dans le texte de la réunion de Stockholm en juin 1948, le même CCIF donne la définition suivante:

«Par corrosion, on entend la destruction d'un métal (par transformation en divers composés) sous une action chimique ou électro-chimique.»

D'autres expressions ont été proposées, comme celle de la Deutsche Gesellschaft für Metallkunde:

«On entend par corrosion la détérioration non voulue partant de la surface d'un corps métallique et provoquée par l'influence chimique de substances non métalliques.»

2. Diverses sortes de corrosion

On peut distinguer deux sortes principales de corrosion:

La **corrosion chimique**, qui se manifeste sans échange de courant entre l'enveloppe du câble et le milieu extérieur.

La **corrosion électrolytique** accompagnée d'un courant mesurable qui circule entre des zones cathodiques et anodiques éloignées les unes des autres. Ce courant peut provenir d'une installation électrique extérieure au câble (courant vagabond) ou peut avoir son origine dans la différence des réactions entre des points du câble éloignés les uns des autres et le milieu ambiant (piles géologiques).

3. La corrosion chimique

C'est l'attaque du métal, et en particulier du plomb des câbles, par des produits corrosifs avec lesquels il est en contact, par exemple des eaux souterraines, des eaux d'égouts, des sols agressifs, de la chaux humide, etc. En fait, comme dans l'attaque d'un métal par un acide, il y a toujours un phénomène électro-chimique. Quand un métal est en présence d'une matière corrosive, une force électromotrice de polarisation prend naissance. En outre, des hétérogénéités du métal dues à des traces d'impuretés ou de corps étrangers et des hétérogénéités du milieu environnant telles que différences de constitution du sol, aération différentielle, etc. donnent naissance à de petits éléments locaux de faible force électromotrice mais qui engendrent cependant des courants et le métal est rongé (Fig. 1). Ici nous devrons faire une remarque

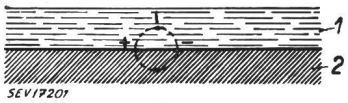

Fig 1
Formation d'une pile locale
1 Humidité
2 Métal

très importante; tous ces phénomènes: naissance d'une force électromotrice de polarisation, formation de piles locales et attaque du métal, ne peuvent se produire qu'en présence d'humidité. Si le terrain qui entoure le câble est parfaitement sec, d'une façon permanente, aucune corrosion n'est possible.

La *corrosion produite par la nature du sol* se développe en général sous forme d'une oxydation du plomb. L'oxyde formé se dissout dans l'eau contenue dans le terrain en formant divers sels: hydroxyde, carbonate, chlorure, sulfate, etc. De l'oxyde se forme à nouveau, il se dissout, et ainsi de suite.

Les terrains naturels non calcaires, par exemple ceux formés de sable ou de débris et poussières de quartz, de feldspath et de mica sont inoffensifs. Les terrains naturels rapportés, étant moins homogènes, peuvent être le siège d'effets d'aération différentielle et sont plus dangereux. Les terrains pollués par des eaux industrielles ou résiduaires, des engrais naturels ou artificiels, des scories, des résidus miniers, sont encore plus mauvais (Fig. 2). Enfin, les terres végétales, riches en acides organiques et en acide carbonique, sont en général les plus néfastes, avec les terrains calcaires. Les marécages et tourbières contiennent aussi des acides organiques mais peu d'acide carbonique.

La corrosion est plus ou moins rapide selon le degré d'humidité; un sol très sec sera peu actif; un câble constamment plongé dans l'eau ne sera pas

attaqué, probablement par suite de l'absence d'oxygène et par la forte dilution de l'électrolyte. Le plomb étant un métal amphotère, c'est-à-dire dont les oxydes peuvent former des acides ou des bases, il pourra être attaqué aussi bien en milieu basique qu'en milieu acide.

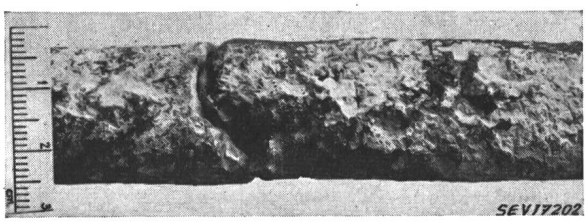

Fig. 2
Câble corrodé près d'un W-C

Les sels contenus dans l'eau tels que les nitrates, nitrites et chlorures accélèrent la corrosion, alors que les sulfates, carbonates et silicates la diminuent. Les colloïdes, la vase, etc. que l'eau contient auront un effet accélérateur ou retardateur selon les cas.

Des *substances étrangères au sol* peuvent aussi corroder les câbles comme par exemple les eaux industrielles de brasseries, fromageries (Fig. 3) etc.,

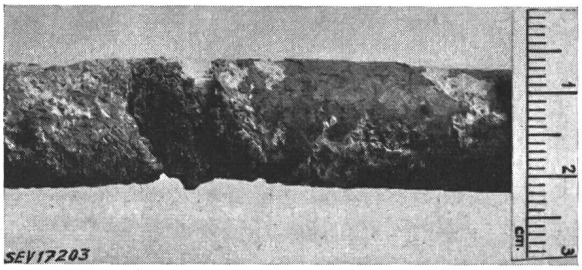

Fig. 3
Câble corrodé par les eaux d'écoulement d'une laiterie

les engrais naturels (purin) ou artificiels, l'eau des égouts; en général des liquides contenant des produits organiques qui peuvent être très actifs.

Certains *matériaux de construction* comme les ciments (Fig. 4) et la chaux (Fig. 5) corrodent le plomb en présence d'humidité. Certains bois, le chêne en particulier, contiennent des produits corrosifs.

Une question qui a fait couler beaucoup d'encre est celle de la *corrosion par les phénols.* Au début

Fig. 4
Câble corrodé par du ciment

de la technique des câbles, on imprégnait les papiers et la ficelle de jute recouvrant le plomb au moyen de goudron des usines à gaz qui contient une certaine quantité de phénols. On a constaté, pour des câbles d'énergie assez fortement chargés, donc ayant une température élevée, ce qui accélère les phénomènes chimiques, des corrosions assez graves après de nombreuses années de service. Ces phénomènes ont été attribués aux petites quantités de phénols contenus dans la couche de jute et les pa-

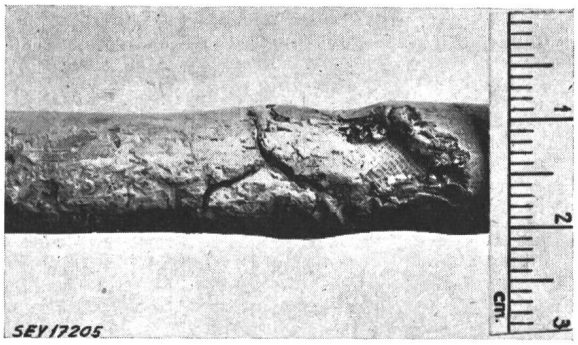

Fig. 5
Câble corrodé par de la chaux

piers, agissant comme catalyseur qui accélère l'attaque par les eaux du sol. Depuis longtemps on a remplacé le goudron par de l'asphalte ou du brai et ce genre d'accident a disparu.

4. La corrosion électrolytique

Les installations de chemins de fer et de tramways à courant continu avec retour du courant par les rails produisent des courants vagabonds qui circulent dans le sol (Fig. 6). Ces courants empruntent

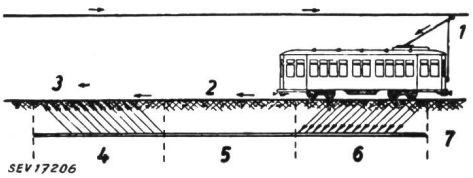

Fig. 6
Ligne de tramway et conduite souterraine
1 Trolley
2 Rail
3 Vers la station de transformation
4 Zone positive
5 Zone neutre
6 Zone negative
7 Conducteur métallique

facilement le chemin de moindre résistance constitué par les canalisations métalliques enterrées: conduites d'eau ou de gaz, câbles d'énergie ou de télécommunication. A l'endroit où ces courants pénètrent dans la conduite, qui est donc cathodique

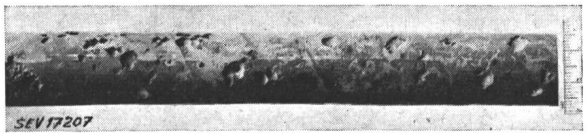

Fig. 7
Câble corrodé par électrolyse

par rapport au sol environnant, il n'y a en général aucun effet nuisible. Par contre, là où les courants sortent de la conduite, qui est anodique par rapport au sol, une corrosion se produira (Fig. 7). Par suite

d'irrégularités, aussi bien dans l'enveloppe de protection du câble que dans le sol qui l'entoure, le courant a tendance à se concentrer sur certains points qui seront plus ou moins rapidement percés.

L'attaque par électrolyse est conforme à la loi de Faraday qui dit que le poids de métal attaqué est proportionnel à la quantité d'électricité écoulée. De nombreux essais faits par la Commission de Corrosion organisée par l'ASE ont montré que cette loi ne s'applique pas toujours parfaitement. Dans le cas de fortes densités de courant, par exemple 15 mA/dm², le poids de métal attaqué est plus petit que celui calculé selon la loi de Faraday, ce qui s'explique par un dégagement de gaz aux électrodes et aussi parce que le sol se comporte en partie comme un conducteur et en partie comme un électrolyte. Dans certaines circonstances, une corrosion purement chimique peut se superposer à l'électrolyse, et dans ce cas le poids de métal corrodé sera plus grand que celui résultant de la loi de Faraday.

On a essayé de déterminer quelle est l'intensité de courant dangereuse pour les câbles, et certaines prescriptions considèrent comme non nocives des densités de courant de 0,25...0,75 mA/dm² de la surface du câble. Ces chiffres n'ont pas grande valeur, le courant ne se répartissant pas uniformément sur toute la surface du câble mais ayant tendance à se concentrer en quelques points. De plus, la mesure exacte du courant circulant dans le sol est très difficile.

Indépendamment du cas des courants vagabonds issus d'installations électriques, des courants peuvent prendre naissance dans le sol par la formation d'éléments dont le câble considéré constitue une électrode, l'autre électrode étant formée par un autre câble, une conduite métallique, une gaine métallique de protection ou bien il peut se produire un courant de circulation entre deux zones du même câble situées dans des terrains différents au point de vue constitution chimique, aération, etc.

5. La désagrégation intercristalline

On a souvent appelé improprement «corrosion intercristalline» le phénomène dont sont le siège

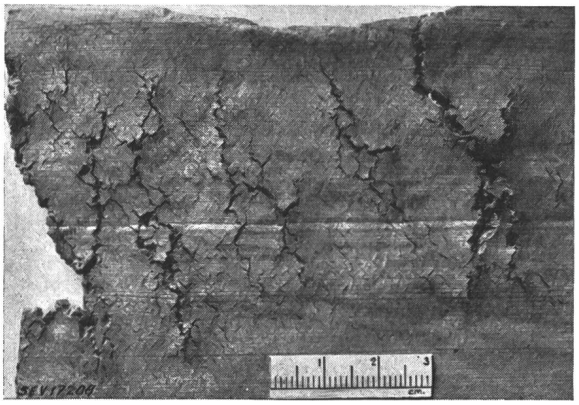

Fig. 8
Rupture par fatigue

des manteaux de plomb de câbles soumis à des vibrations mécaniques (Fig. 8). Des câbles aériens ou des câbles posés sur des ponts ou au voisinage immédiat de lignes de chemin de fer sont soumis à une détérioration qui se traduit par des fissures, généralement transversales et en forme de lignes dentelées, le plomb se transformant en un agglomérat de gros cristaux qui se séparent les uns des autres. Ce genre d'accident, qui se produit quelquefois pour des câbles de télécommunication, est assez rare pour les câbles d'énergie qui se déforment moins facilement.

Il faut remarquer que dans plusieurs sortes de corrosions chimiques l'action se produit en premier lieu entre les cristaux, ce qui est une vraie *corrosion* intercristalline, totalement différente de la désagrégation mentionnée ci-dessus et qu'il serait plus correct de nommer «rupture par fatigue».

6. Identification des diverses sortes de corrosion

En présence d'un câble corrodé, il est généralement difficile de déterminer exactement la cause de cette corrosion.

Un examen du câble à la loupe binoculaire et une analyse chimique des produits de la corrosion donneront des indications, qu'il sera parfois nécessaire de compléter par l'analyse de l'eau souterraine et du terrain et la détermination de leur p_H. Des travaux récents ont montré que certaines bactéries jouent un rôle actif dans les phénomènes de corrosion, au moins en ce qui concerne le fer.

La conductivité des terrains, surtout des terrains basiques, est un indice de leur agressivité.

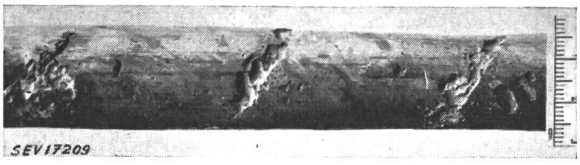

Fig. 9
Câble corrodé par électrolyse

Dans certaines conditions, un plomb corrodé par des courants vagabonds présentera du peroxyde de plomb; s'il y a du peroxyde de plomb il y a eu électrolyse, mais on peut avoir de l'électrolyse sans peroxyde de plomb (Fig. 9). Quant aux autres sels de plomb: carbonate, chlorure, sulfate et chlorocarbonate, leur présence et leurs proportions varient beaucoup, certains sels produits par la corrosion initiale pouvant se transformer en d'autres sous l'effet de l'eau et de l'acide carbonique. Une étude approfondie de tous les facteurs est nécessaire pour tirer des conclusions relatives à l'origine de la corrosion.

Dans le cas de l'électrolyse, on peut se rendre compte par des mesures électriques si des courants circulent dans le câble. S'ils sont produits par des éléments locaux on aura un courant faible et presque constant, tandis que les courants vagabonds provenant d'un tramway ou chemin de fer sont très variables, suivant d'assez près les variations du courant de traction qui leur donne naissance. Dans un réseau que nous avons étudié, les courants vaga-

bonds dans les câbles étaient pratiquement proportionnels au courant total du réseau de tramways (Fig. 10).

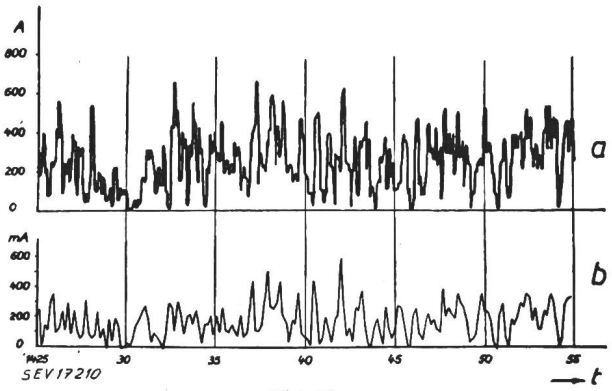

Fig. 10
Courant total d'un réseau de tramway (a) et courant vagabond dans les câbles (b)

7. Protection contre la corrosion

La corrosion chimique du plomb et des feuillards des câbles n'est possible qu'en présence d'humidité. Les courants vagabonds ou ceux de piles locales ne peuvent circuler que dans un sol humide. Il suffirait donc de maintenir le câble à protéger parfaitement au sec sur toute sa longueur pour empêcher complètement ces deux sortes de corrosion, mais cette condition est très difficile à réaliser.

a) Protection contre la corrosion chimique

Habituellement le plomb est enduit à chaud, immédiatement au sortir de la presse à plomb, d'un mélange à base de brai qui forme une sorte de vernis protecteur. On le recouvre ensuite de deux ou trois papiers, imprégnés d'avance d'un mélange de brai fluide. Un arrosage à chaud par un mélange de brai épais est suivi d'un guipage de ficelle de jute, imprégnée d'avance comme les papiers, puis le câble est de nouveau arrosé à chaud d'un mélange épais et enduit enfin de craie ou de talc pour empêcher l'adhérence des spires entre elles sur les tambours. Les câbles d'énergie posés directement en terre sont encore recouverts de deux feuillards de fer asphaltés par-dessus lesquels on enroule encore une couche de ficelle de jute. Feuillards et jute sont arrosés à chaud avec une composition à base de brai.

Dans des conditions normales, ces revêtements protègent le plomb contre la corrosion chimique. Ce n'est que dans des cas tout à fait spéciaux qu'il peut être indiqué, soit d'assainir le terrain par des drainages ou d'autres moyens analogues, soit de recouvrir le plomb d'un revêtement étanche spécial tel que du caoutchouc par exemple.

b) Protection contre les courants vagabonds

Le premier moyen de protection consiste à attaquer la cause des courants vagabonds. Toute amélioration de l'état de la voie, des joints des rails, des câbles de retour, en réduisant l'intensité des courants vagabonds diminuera aussi les corrosions qu'ils provoquent. Dans les villes, le remplacement des tramways par des trolleybus est évidemment une solution radicale puisqu'il n'y a plus de retour par la terre.

On a longuement discuté de la polarité des rails: s'ils sont négatifs, le danger de corrosion est le plus grand au voisinage des points d'alimentation, tandis que si le positif est aux rails, les corrosions se produiront surtout à la périphérie de la ville. On a même proposé et appliqué dans certaines villes une inversion périodique de la polarité. Les expériences de la Commission de Corrosion ont montré que cette méthode réduit considérablement la corrosion mais elle présente plusieurs inconvénients qui l'ont fait abandonner.

Même dans le cas d'un réseau de tramways soigneusement établi et bien entretenu, il y aura toujours des courants vagabonds, et des moyens de protection appropriés doivent être appliqués aux câbles.

Un câble parfaitement isolé électriquement du sol sera évidemment protégé contre les courants vagabonds (Fig. 11). Ce procédé, appliqué en Italie pour un câble téléphonique à longue distance, consiste à poser le câble dans un caniveau en bois, de section carrée, à moitié rempli d'un mélange asphaltique. On finit ensuite de remplir le caniveau, de sorte que le câble est entouré d'une gaine épaisse parfaitement isolante. Dans une ville d'Italie, on a posé des câbles téléphoniques sous plomb nu dans un grand caniveau en ciment dans lequel des tiges de fer transversales portent des isolateurs de porcelaine en forme de poulies qui supportent les câbles.

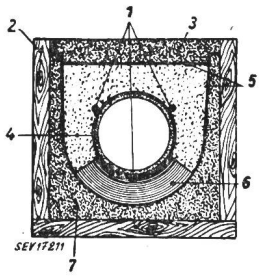

Fig. 11
Caniveau isolant rempli de bitume
1 Fils pilotes
2 Bois
3 Mélange dur bitumineux
4 Bitume
5 Feuilles de tôle de fer
6 Support en carton bitumineux ou en porcelaine, pour centrer le câble
7 Mélange dur bitumineux

Ces deux procédés, qui isolent bien les câbles, ne peuvent pas s'appliquer aux câbles d'énergie. On a également utilisé pour isoler le plomb, un revêtement de caoutchouc, quelquefois recouvert d'un second manteau de plomb. Un nouveau procédé, encore dans le stade expérimental, consiste à appliquer directement sur le plomb une couche d'un isolant thermoplastique, le polyéthylène. Ces divers moyens sont efficaces, à la condition expresse que la gaine isolante soit intacte, car un trou laisserait passer le courant dont l'effet, concentré sur une petite surface, provoquerait rapidement une perforation du plomb.

Un autre procédé est l'emploi de *joints isolants* (Fig. 12). Si le plomb est interrompu en des endroits convenablement choisis, les courants vagabonds ne pourront plus y circuler. Cette méthode, qui s'applique facilement aux câbles de télécommunication, convient moins bien pour les câbles d'énergie. A la rigueur on peut l'utiliser pour les câbles à basse et moyenne tension, mais pas pour

les câbles à haute et très haute tension, à cause des difficultés d'exécution des joints isolants.

Quand un câble se trouve près d'une voie dont le potentiel est plus bas que le sien, un courant sort du câble pour pénétrer dans le sol et rejoindre les rails, en produisant de la corrosion dans la zone de passage, anodique par rapport au terrain. Si on relie directement le plomb du câble aux rails par

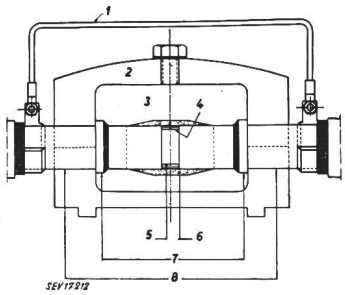

Fig. 12

Joint isolant

1 Barre de connexion
2 Boite Ferrefitte
3 Remplissage
4 Para
5 Presspahn
6 Thiogomme
7 Frette en plomb soudé
8 Bande «Denso»

un conducteur métallique, le courant passera dans ce conducteur et pas dans le sol, ce qui supprime la corrosion. Cette méthode s'appelle le *drainage électrique*. En général on intercale dans le circuit une résistance pour limiter le courant à une valeur juste suffisante pour maintenir constamment le câble négatif par rapport au sol. Sans résistance, le courant serait beaucoup plus intense, ce qui risquerait de provoquer des corrosions d'autres câbles ou conduites non drainés qui deviendraient anodiques par rapport au câble drainé. Dans certaines installations, on a même intercalé dans le conducteur de drainage un redresseur ou un relais polarisé qui empêche l'inversion du courant (Fig. 13). En

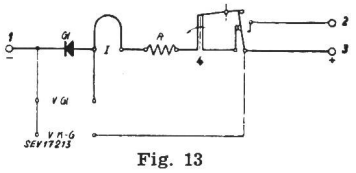

Fig. 13

Schéma de drainage avec redresseur et limiteur de courant

1 Rail
2 Alarme
3 Câble
4 Fusible bi-métallique avec dispositif d'alarme
V Gl Bornes pour connecter un voltmètre pour la mesure de la différence de potentiel au redresseur
V K-G Bornes pour la mesure de la différence de potentiel entre câble et rail
I Bornes pour connecter un ampèremètre (court-circuitées)
R Résistance pour limiter le courant

effet, l'intensité et le sens du courant drainé peuvent varier selon la répartition des courants dans les voies du tramway et, en cas d'inversion, non seulement le câble n'est plus protégé, mais il sera plus fortement attaqué que si le drainage n'existait pas.

Un type spécial de revêtement protecteur du plomb des câbles est le *filtre électronique* constitué par une couche de caoutchouc graphité semi-conducteur qui laisse passer le courant sans permettre de phénomènes d'électrolyse. Ce procédé est peu répandu.

La corrosion électrolytique ne se produit que dans les zones où le câble est anodique par rapport au sol. En appliquant au plomb une force électromotrice d'origine extérieure qui le rende toujours négatif, on empêche la corrosion. La source de courant de *polarisation* peut être un redresseur alimenté par le réseau de distribution, des anodes de magnésium reliées au câble et enterrées dans le sol à quelque distance ou aussi, dans le cas où ce procédé est appliqué aux pipe-lines des régions pétrolifères, de petites dynamos actionnées par le vent.

Le choix du ou des points de *mise à la terre du plomb* des câbles joue aussi un rôle considérable dans l'intensité et la répartition des courants vagabonds (Fig. 14). Dans un réseau de câbles à 50 kV installé il y a quelques années, nous avons mis à la terre un seul point convenablement choisi (sous-station C). Dans les chambres d'épissure, les trois câbles unipolaires sont reliés entre eux, mais sans être connectés à une prise de terre. De même les boîtes d'extrémité sont isolées de leur support et un éclateur de protection à basse tension est intercalé entre ces boîtes d'extrémité et la terre. Un sectionneur permet d'établir une mise à la terre directe en cas de nécessité. En outre, à chaque chambre d'épissure, deux dérivations aux extrémités d'un

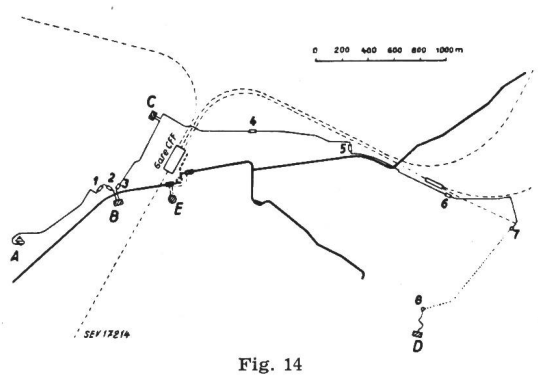

Fig. 14

Réseau de câbles 50 kV et lignes de tramway

A, B, C, D Sous-stations; *E* Station de convertisseurs

Câbles souterrains 50 kV
Chambre d'épissure
Ligne aérienne 50 kV
Ligne de tramway
Point d'alimentation de la ligne de contact
Point de sectionnement
Ligne de chemin de fer courant alternatif 16 2/3 Hz, 15 kV
Feeder de retour non isolé

tronçon de plomb d'une résistance de 0,002 Ω sont reliées à deux bornes isolées installées dans une petite chambre placée dans le trottoir et fermée par un couvercle, ce qui permet en tout temps de mesurer le courant passant dans le câble.

Les procédés de protection contre les courants vagabonds sont nombreux et complexes. Convenablement appliqués, ils donnent d'excellents résultats, mais chaque cas particulier doit être étudié à fond, en faisant des mesures préliminaires qui tiennent compte de la configuration du réseau de câbles et de celle du réseau de tramway ou chemin de fer. La conductibilité du sol, qui varie selon les saisons, le mode de pose du câble en caniveaux ou directement en terre, la profondeur de pose, la présence dans le sol de canalisations métalliques d'eau ou de gaz, sont quelques-uns des nombreux facteurs qui entrent en ligne de compte. Sur la base des me-

sures préliminaires et de l'examen du réseau on choisira la meilleure méthode de protection: isolation, joints isolants, drainage, polarisation ou une combinaison de plusieurs de ces moyens. L'efficacité de la méthode adoptée sera contrôlée sitôt après sa mise en œuvre et ce contrôle sera répété plus tard, après 6 mois ou davantage, particulièrement à la fin de la saison humide. A ce point de vue, il est très important d'établir en des endroits convenablement choisis des stations de mesure d'accès facile.

En principe on mesure simultanément en plusieurs points du réseau l'intensité du courant vagabond qui parcourt les câbles. Les opérateurs mettent leurs montres d'accord, puis font des lectures toutes les 10 secondes. En comparant les résultats, on pourra déterminer s'il y a des zones de sortie du courant présentant un danger de corrosion.

Certaines méthodes potentiométriques, utilisant des sondes placées à la surface du sol, permettent d'établir la carte des courants vagabonds circulant en profondeur (Procédé Schlumberger). Une autre méthode envisage d'enterrer deux électrodes dans le sol et de mesurer le courant qui parcourt la zone intermédiaire, mais, dès que le sol a été remué, les conditions sont profondément altérées et le courant ainsi mesuré sera probablement très différent de celui qui circulait avant la mise en place des électrodes.

Tout ce qui précède se rapporte évidemment à des courants vagabonds issus de tramways ou chemins de fer à courant continu. Dans le cas de courant alternatif, on pourra s'attendre à priori à ce qu'aucun phénomène d'électrolyse ne se produise. L'expérience montre qu'en général c'est bien le cas, mais on peut envisager l'éventualité assez rare de certaines combinaisons d'électrodes et de terrain donnant lieu à un effet de soupape qui, même incomplet, produira une corrosion électrolytique par le courant redressé.

c) Protection contre la désagrégation intercristalline

Ce phénomène est provoqué par des vibrations répétées auxquelles est soumis le plomb des câbles. De fortes variations de température, telles que par exemple celles agissant sur un câble placé au soleil, favorisent la désagrégation.

Deux moyens sont applicables. Si le tracé d'un câble doit passer par une zone soumise à des vibrations, par exemple sur un pont métallique, le câble devra être fixé à des supports élastiques qui amortissent les vibrations (Fig. 15). Il faut surtout bien étudier les zones de passage entre culées et tablier où les mouvements sont les plus grands, et donner en ces points un mou suffisant au câble pour tenir compte des mouvements résultant de la dilatation du tablier.

Les câbles de télécommunication sont plus sensibles à ces accidents que les câbles d'énergie dont le plomb est rempli par un faisceau beaucoup plus compact.

Un second moyen de protection s'applique au câble lui-même. Le plomb pur est sensible à la fatigue par vibrations, mais plusieurs de ses alliages, en particulier ceux contenant de 1...3 % d'étain sont beaucoup plus résistants. A l'étranger, on a utilisé également des alliages contenant de l'antimoine, du calcium ou du tellure, ces deux derniers métaux à un titre très faible (0,04...0,06 %).

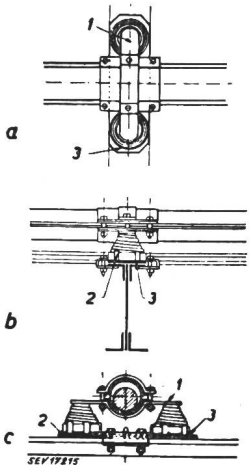

Fig. 15
Support amortisseur pour câbles

a Plan
b Elévation de côté
c Elévation vue de face
1 Support du câble
2 Ressort
3 Base fixée au pont

d) Gaines de protection autres que le plomb

On a proposé de remplacer le plomb par de l'aluminium. Avant la guerre, des essais ont été faits en Allemagne pour obtenir des manteaux d'aluminium à la presse hydraulique, selon la même technique que pour le plomb. L'aluminium ordinaire étant trop dur, on a utilisé le Raffinal, au titre de 99,999 %. La nécessité d'opérer à 450 ° au lieu de 250 ° convenant au plomb, la pression beaucoup plus grande qui est nécessaire et certaines difficultés résultant d'une action chimique de l'aluminium sur l'acier de la presse ont empêché le procédé d'être appliqué industriellement. Tout récemment une usine s'est montée en Angleterre pour la fabrication de câbles à manteau d'aluminium par un procédé tout différent, assez semblable à celui utilisé pour les tout premiers câbles sous plomb. Au moyen d'une presse hydraulique on fabrique un tube en aluminium ordinaire puis on y introduit le faisceau du câble et enfin, par un procédé approprié on resserre le tube pour qu'il s'applique sur le câble. La méthode employée ne permet pas de fabriquer des longueurs plus grandes que 450 mètres. L'aluminium a l'avantage d'être beaucoup plus léger que le plomb et pas seulement dans le rapport des poids spécifiques, de 2,7 à 11,3. Etant mécaniquement plus résistant, il peut avoir une épaisseur réduite, ce qui allège considérablement le câble. Ses meilleures qualités mécaniques sont très intéressantes pour certains câbles spéciaux à très haute tension tels que les câbles à huile ou à pression de gaz. Avec le prix élevé du plomb, le facteur économique prend aussi de l'importance.

Mais, en cas de courants vagabonds, l'aluminium sera attaqué aussi bien à la cathode qu'à l'anode, et cela demande de ne l'utiliser qu'avec une certaine prudence. Il faudra mettre au point des procédés spéciaux de protection.

Divers produits non métalliques ont été étudiés comme constituants d'une gaine étanche pour des

câbles souterrains. Plusieurs de ces matières plastiques (Igelit, Plexigum, etc.) ne sont pas absolument imperméables de sorte qu'un câble au papier imprégné recouvert d'un manteau plastique perdra ses qualités d'isolement après un certain nombre d'années de service. On a essayé aussi des combinaisons de deux couches superposées de matériaux différents ou, ce qui vaut mieux, un mince manteau de plomb imperméable recouvert d'une gaine de matière plastique. Le plus récent de ces produits, le polyéthylène, est supérieur aux autres et permettra peut-être un jour de faire des câbles souterrains sans plomb. Dans ce cas les phénomènes de corrosion chimique et électrolytique seront supprimés, comme aussi la désagrégation intercristalline.

e) Autres précautions

Un choix convenable du tracé des câbles pourra parfois diminuer les risques de corrosion. On évitera autant que possible la pose dans des terrains riches en matières organiques, dans les sols de culture contenant beaucoup d'engrais, ainsi que le voisinage des écoulements d'eaux industrielles et résiduaires. Dans certains cas, il sera nécessaire de protéger les câbles par des caniveaux ou des canalisations étanches ou de drainer le terrain pour éloigner les eaux nuisibles.

Pour diminuer l'effet des courants vagabonds, un choix convenable du tracé, la pose en caniveaux de ciment, la protection au croisement ou au voisinage des voies de tramways par des tuyaux en ciment asphaltique sont des précautions utiles.

Eviter autant que possible de poser des câbles près des voies de chemin de fer ou des routes à forte circulation à cause de l'effet nuisible des vibrations.

8. Résumé et conclusions

Les câbles d'énergie sont parfois exposés à des risques de corrosion chimique ou électrolytique ou à la désagrégation intercristalline. Des moyens de protection convenables, appliqués soit pendant la fabrication du câble, soit à la pose permettent de combattre efficacement ces causes de perturbations de service. Dans les villes, il faut étudier attentivement les courants vagabonds produits par les tramways.

Remarques

Les figures 1 à 5, 7, 8 et 9 sont extraites du très intéressant travail de M. *Sandmeier* mentionné sous chiffre 16 dans la bibliographie. Nous tenons à le remercier de nous avoir autorisé à les reproduire.

La figure 6 est extraite d'un article de M. *Panara:* Le corrosioni elettrolitiche e le protezioni della rete telefonica di Milano. Elettrotecnica 1934, p. 206 (Bibliographie No. 64).

Les figures 10 et 14 sont extraites du rapport No. 203 de l'auteur à la CIGRE 1946 (Bibliographie No. 108).

La figure 11 provient du rapport No. 59 de M. *Soleri* à la CIGRE 1933 (Bibliographie No. 58).

La figure 12 est tirée d'un article de M. *Mermoz:* La pose des câbles Nîmes — Sète sur voie ferrée. Câbles et Transmission avril 1948, p. 160.

La figure 13 nous à été obligeamment communiquée par M. *Sandmeier* de la Direction Générale des Téléphones à Berne.

La figure 15 est tirée d'un article de MM. *Simon* et *Troublé:* Emploi d'amortisseurs de vibration dans la pose d'un câble sur un pont métallique. Annales des PTT Paris 1937, p. 202.

Bibliographie

A. Corrosion en général

1. *Bauer, Kröhnke* u. *Masing:* Die Korrosion metallischer Werkstoffe. Leipzig 1936.
2. *Burkhardt, A.:* Einfluss von geringen Beimengungen auf das Verhalten von Weichblei gegen Säuren. Metallwirtsch. t. 10(1931), p. 181.
3. *Duden, P.:* Chemische Arbeit in der Korrosionsforschung. Korrosion V. Berlin 1936.
4. *Evans, U. R.:* Die Korrosion der Metalle. Zürich 1926.
5. *Goldowski, N.:* Über den Verlauf der Korrosion an Hand von Kontaktphotographien. Korrosion u. Metallsch. t. 12(1936), p. 108.
6. *Hähnel, O.:* Chemische Korrosion des Bleies in der Erde. Elektr. Nachr.-Techn. t. 5(1928), p. 171.
7. Jahresbericht des Niederländischen «Zentralen Korrosionsausschusses» über das Jahr 1932. Korrosion u. Metallsch. t. 9(1933), p. 179.
8. *Kohlschütter, V.:* Topochemische Züge in den Korrosionserscheinungen. Korrosion u. Metallsch. t. 12(1936), p. 118.
9. *Müller, F.:* Grundlagen und Verfahren der neueren Korrosionsforschung. Z. VDI t. 82(1928), p. 841.
10. *Müller, W. J.:* Zur Theorie der Korrosionserscheinungen IV. Korrosion u. Metallsch. t. 12(1936), p. 132.
11. *Müller, W. J.:* Die Grundlagen der Theorie der Metallkorrosion. Korrosion V. Berlin 1936.
12. *Mahul, J.:* Corrosions possibles dans le contact du plomb avec les matériaux du bâtiment. Techn. mod. t. 29 (1937), p. 383...414.
13. *Palmaer, W.:* Eine Schnellprüfungsmethode bei Korrosionsuntersuchungen. Korrosion u. Metallsch. t. 12(1936), p. 139.
14. *Rabald, E.:* Werkstoffe und Korrosion. Leipzig 1931.
15. *De la Rive, A.:* Ann". chim. phys. t. 43(1830), p. 425.
16. *Sandmeier, F.:* Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb. Techn. Mitt". PTT t. 22(1944), nº 5, p. 187; nº 6, p. 231; t. 23(1945), nº 5, p. 203; nº 6, p. 256, et Bull. ASE t. 38(1947), nº 24, p. 765...769.
17. *Schmidt, E. K. O.:* Korrosionsforschung. Z. VDI t. 74 (1930), p. 953.
18. *Straumanis, M.:* Die elektrochemische Theorie der Korrosion der Metalle. Korrosion u. Metallsch. t. 9(1933), p. 1.
19. *Straumanis, M.:* Über den Einfluss des Sauerstoffs auf das Potential von Lokalkathoden. Korrosion u. Metallsch. t. 12(1936), p. 148.
20. *Tiemersma-Wichers, C. M.:* Die Untersuchung von Böden in Beziehung zum Korrosionsschutz von Rohren gegen Aussenkorrosion. Korrosion u. Metallsch. t. 16(1940), p. 39.

B. Corrosion des câbles

21. Bericht der niederländischen Korrosionskommission zum Studium der Anfressung von Kabeln durch den Einfluss des Bodens. Korrosion u. Metallsch. t. 9(1933), p. 205.
22. *Chaston, J. C.:* Eigenschaften der Kabelmäntel aus Blei und Bleilegierungen. Elektr. Nachr.-Wesen t. 13(1934/35), p. 41.
23. *Garre, W.:* Beitrag zur Korrosion von Bleikabeln. Elektrotechn. Z. t. 52(1931), p. 1418.
24. *Hähnel, O.:* Eine neue Art von Bleikabelkorrosion. Elektr. Nachr.-Techn. t. 2(1925), p. 74.
25. *Hähnel, O.:* Bleikabelkorrosion. Elektr. Nachr.-Techn. t. 3(1926), p. 97.
26. *Hähnel, O.:* Die Korrosion des Rheinlandkabels. Z. Werk- u. Gerätebau t. 4(1923), p. 35...49.
27. *Lehmann, F.:* Chemische Korrosion von Bleikabeln. Z. Werk- u. Gerätebau t. 7(1926), p. 15.
28. *Messmer, T. D. F.:* Korrosionen am Fernkabel Berlin—Hannover. Telegr.- u. Fernspr.-Techn. t. 10(1921), p. 117.

C. Commissions internationales

29. Comité consultatif international des communications téléphoniques à grande distance (CCIF). Assemblée plénière de Como 5...12 sept. 1927. VI. Questions concernant la protection des câbles téléphoniques contre la corrosion due à l'électrolyse ou aux actions chimiques. Paris 1927, p. 150.

30. Comité consultatif international téléphonique (CCIF). XIe Assemblée plénière, Copenhague, 11...20 juin 1936 t. IIbis, p. 105.

31. Commission Mixte Internationale pour les expériences relatives à la protection des lignes de télécommunication et des canalisations souterraines (CMI). 3e Réunion plénière Paris 15...21 juillet 1932.

32. CMI pour les expériences relatives à la protection des lignes de télécommunication et des canalisations souterraines. 4e Réunion plénière, Paris, 13...18 janvier 1936.

D. Ruptures par fatigue

33. *Daeves, K., E. Gerold* u. *E. H. Schulz:* Beeinflussung der Lebensdauer wechselbeanspruchter Teile durch Ruhepausen. Stahl u. Eisen t. 60(1940), p. 100.

34. *Hähnel, O.:* Die interkristalline Brüchigkeit des Bleies. Z. Metallkde t. 19(1927), p. 492.

35. *Hähnel, O.:* Beitrag zur Frage der interkristallinen Brüchigkeit von Fernsprechkabeln. Elektr. Nachr.-Techn. t. 3 (1926), p. 229.

36. *Hähnel, O.:* Kristallgefüge und Disglomeration des Bleies. Elektr. Nachr.-Techn. t. 8(1931), p. 77.

E. Métaux, méthodes d'essais

37. *Burkhardt, A.:* Blei und seine Legierungen. Berlin 1940.

38. *Czochralski, J.:* Moderne Metallkunde. Berlin 1924.

39. *Hofmann, W.:* Blei und Bleilegierungen. Berlin 1941.

40. *Kordatzki, W.:* Taschenbuch der praktischen pH-Messung. München 1934.

41. *Lintner, C. J.:* Über Mercurisalicylsäure und die Millonsche Reaktion. Z. angew. Chem. t. 13(1900), p. 708.

42. *Pallmann, H.:* ETH-Tagung für Landesplanung, Zürich, 1924.

43. *Vaubel, W.:* Zur Kenntnis der Millonschen Reaktion. Z. angew. Chem. t. 13(1900), p. 1125.

F. Electrolyse. Classement par année et, pour chaque année, par ordre alphabétique des noms d'auteurs.

Travaux antérieurs à 1932.

44. *Besig, Buschbaum, Eindley, Michalke, Otto:* Erläuterungen zu den Vorschriften zum Schutz der Gas- und Wasserröhren gegen schädliche Einwirkungen der Ströme elektrischer Gleichstrombahnen, die die Schienen als Leiter benützen. Elektrotechn. Z. t. 32(1911), p. 511.

45. Die Elektrolyse von Bleikabeln. Electr. Rev. t. 92 (1923), p. 432.

46. *Generalsekretariat des SEV.* Die Korrosion durch Erdströme elektrischer Bahnen. Bull. SEV t. 9(1918), p. 135.

47. *Hähnel, O.:* Eine interessante Bleikabelkorrosion. Elektr. Nachr.-Techn. t. 2(1925), p. 330.

48. *Hähnel, O.:* Beitrag zur Frage der Korrosion von Bleikabeln durch vagabundierende Ströme. Elektr. Nachr.-Techn. t. 4(1927), p. 106.

49. *Hohn, H.:* Über Wechselstromkorrosion. Elektrotechn. u. Maschinenbau t. 52(1934), p. 580.

50. *Jellinek, St.:* Über Wechselstromkorrosion. Elektrotechn. u. Maschinenbau t. 52(1934), p. 577.

51. *Meyerherm, C. F.:* Stray Earth Current Increased by Salt. Electr. Railway J. t. 65(1925), p. 881.

52. *Maas, E.,* u. *V. Duffek:* Untersuchungen über den Einfluss von Hochfrequenzstrom auf die Korrosion von Eisen. Korrosion u. Metallsch. t. 10(1934), p. 85.

53. *Smialowski, M.:* Über den Einfluss von Wechselströmen auf die Korrosion der Metalle in wässerigen Lösungen. Korrosion u. Metallsch. t. 10(1934), p. 166.

54. Untersuchungen über Elektrolyse durch Wechselstrom. Elektrotechn. u. Maschinenbau t. 34(1916), p. 410. Ref. über B. Mc. Collum and G. H. Ahlborn in Proc". Amer. Inst. Electr. Engr". t. 35(1916), p. 371.

Année 1932

55. *Horioka, M., M. Ivasa* et *T. Kyogoku:* Recherches sur la réduction de l'électrolyse des installations métalliques souterraines. C. R. Congrès Intern. Electr. t. 9(1932), p. 255...258.

56. *Scarpa, O.:* Les corrosions des matériaux métalliques par les courants électriques. C. R. Congrès Intern. Electr. t. 9 (1932), p. 223...225.

Année 1933

57. *Demogue, R.:* La surveillance des courants vagabonds dérivés des lignes de traction dans le réseau de Paris. Ann". PTT 1933, p. 909...918.

58. *Soleri, E.:* Protection des câbles souterrains contre les corrosions. CIGRE 1933, Rapport n° 59, 28 p.

Année 1934

59. *Arimondi, E.:* Esperienze relative alle correnti vaganti negli impianti tranviari a corrente continua. Elettrotecnica t. 21(1934), p. 74...79.

60. *Gibrat, R.:* Etudes expérimentales faites en août 1933 sur un procédé d'étude sans fouille de l'électrolyse des canalisations souterraines (dispositif différentiel Schlumberger) Union Intern. des Producteurs et Distributeurs. 5e Congrès, III A, 1934, p. 2.

61. *Gibrat, R.:* Etudes théoriques et expérimentales sur l'électrolyse des canalisations souterraines. Rev. Gén. Electr. t. 35(1934), p. 203...215 et 239...253).

62. *Gibrat, R.:* Nouvelles études sur l'électrolyse des canalisations souterraines. Bull. Soc. franç. Electr". 5e sér., t. 4 (1934), p. 749...842).

63. *Niccolai, L.:* Studi e provvedimenti per ridurre gli effetti dei fenomeni di elettrolisi sui cavi. Elettrotecnica t. 21 (1934), p. 477...488.

64. *Panara, I.:* Le corrosioni elettrolitiche e le protezioni della rete telefonica di Milano. Elettrotecnica t. 21(1934), p. 209...219.

65. *Wegener, W.:* Elektrolytische Zersetzung von Gleichstrom-Bahnspeisekabeln. Korrosion und Metallsch. t. 10 (1934), p. 213...217.

66. *Yernaux-Jobart, J.:* Contribution à l'étude de la protection des canalisations souterraines contre les courants vagabonds. Rev. Gén. Electr. t. 35(1934), p. 471...477.

Année 1935

67. *Besig, F.:* Neue Untersuchungen über Elektrolyse an unterirdischen Leitungen. Elektrotechn. Z. t. 56(1935), p. 481...484.

68. *Gibrat, R.:* Etudes pratiques faites au cours de l'année 1934 sur l'électrolyse des canalisations souterraines. CIGRE 1935, Rapport n° 206. 32 p.

69. *Longfield, C. M.:* The practical solution of stray-current electrolysis. J. Instn. Electr. Engr". t. 75(1935), p. 101...111 et 577...578.

70. *Panara, I.:* Le corrosioni dei cavi sotterranei ed i sistemi di protezione. Elettrotecnica t. 22(1935), p. 653...660.

Année 1936

71. *Beck, W.,* et *A. Bahrdt:* Ein neues Photoregistrierinstrument für Erdstrommessungen. Bull. ASE t. 27(1936), p. 395...398.

72. *Böninger, G.:* Über die Messung von Irrströmen. Gas- und Wasserfach 1936, p. 5...13.

73. *Böninger, G.:* Vollversammlung der «Commission Mixte Internationale» und Übersicht ihrer bisherigen Arbeiten. Gas- und Wasserfach 1936, p. 275...279.

74. *Gibrat, R.:* La corrosion chimique et électrolytique des canalisations souterraines. Ann". PTT 1936, p. 717...743.

75. *Gibrat, R.:* L'emploi du dispositif Schlumberger dans l'étude de l'électrolyse des canalisations souterraines. Rev. Gén. Electr. t. 39(1936), p. 51...69.

76. *Gibrat, R.:* La recherche des dangers d'électrolyse des canalisations souterraines et les moyens de protection. Union Inter. des Producteurs et Distributeurs. 6e Congrès, III A, 1936, p. 2.

77. *Niccolai, L.:* Studi e provvedimenti per ridurre gli effetti dei fenomeni di elettrolisi sui cavi. Elettrotecnica t. 23(1936), p. 518...522.

78. *Schmid, W.:* Le procédé dit «de Cumberland» pour combattre les corrosions électrolytiques. Rev. Gén. Electr. t. 40(1936), p. 477...480.

79. *Soleri, E.:* Protezione delle canalizzazioni sotterranee contro le corrosioni. Energia elettr. t. 13(1936), n° 5, p. 250...261.

Année 1937

80. *Bahrdt, A.:* Einige neuere Arbeiten über Messung und Bekämpfung von Erdströmen. Gas- und Wasserfach 1937, n° 26, p. 451...456.

81. *Beck, W.*, et *A. Bahrdt:* Les mesures des courants vagabonds à l'aide d'un nouvel appareil à enregistrement cinégraphique. Bull. Soc. belge Electr". t. 53(1937), n° 6, p. 424...428.

82. *Borel, J.:* Protection des canalisations métalliques souterraines contre les corrosions électrolytiques par le filtre électronique. Bull. ASE t. 28(1937), n° 3, p. 54...57.

83. *Bourquin, H.:* Die Frage der Korrosionsverhütung an der 4. Plenartagung der CMI, 13 au 18 janvier 1936, à Paris. Bull. ASE t. 28(1937), n° 3, p. 57...60.

84. *Bourquin, H.:* Protection contre la corrosion électrolytique. Bull. ASE t. 28(1937), n° 24, p. 626...629.

85. *Collet, L.-J.:* La notion de conductance dans l'étude des courants vagabonds. Ann". PTT 1937, n° 1, p. 1...37.

86. *Collet, L.-J.:* Quelques propriétés du champ des courants vagabonds. Ann". PTT 1937, n° 2, p. 89...107.

87. *Guillot, M.:* Protection des canalisations métalliques souterraines contre les corrosions électrolytiques. Rev. Gén. Electr. t. 41(1937), n° 25, p. 795...800.

88. *Jacopetti, M.:* Sulla protezione delle correnti vaganti. Elettrotecnica t. 24(1937), n° 3, p. 62...66.

89. *Marin, G.:* Electrolyse par les courants de retour. Electricien t. 68(1937), p. 200...201.

Année 1938

90. *Bourquin, H.:* Korrosionen an Bleikabeln. Bull. ASE t. 29(1938), n° 15, p. 398...399.

91. *Landry, J.:* Rapport de la Commission de Corrosion de l'Association suisse des Electriciens pour l'année 1937. Bull. ASE t. 29(1938), n° 13, p. 345...347.

92. *Longfield, C. M.:* Stray-current electrolysis. Some fundamentals. Electr. Engng. t. 57(1938), n° 2, p. 67...77.

Année 1939

93. *Besig, F.:* Korrosions-Fernwirkung durch Bahnstreustrom. Elektrotechn. Z. t. 60(1939), n° 33, p. 977...981.

94. *Bourquin, H.:* Essais sur la corrosion électrolytique d'objets métalliques enterrés, sous l'effet d'une tension continue constante, à Zurich et à Neuhausen. Bull. ASE t. 30 (1939), n° 25, p. 771...776.

95. *Hähnel, O.:* Korrosionen an Anlagen und Geräten für die Nachrichtenübermittlung. Elektrotechn. Z. t. 60(1939), n° 24, p. 715...720.

96. *Radley, W. G.*, u. *C. E. Richards:* The corrosion of underground cables. J. Instn. Electr. Engr". t. 85(1939), p. 685...712.

97. *Rich, T.:* Paris H. T. Congress 1939. Protection of cables against electrolytic corrosion. Electrician (1939), n° 3191, p. 128.

98. *Soleri, E.:* La protezione contro le corrosioni elettrolitiche e le nuove raccomandazioni del CCIF. Energia elettr., t. 16(1939), no. 3, p. 217...228.

99. *True, E. S.:* Cable corrosion. Teleph. Engr. 1939, n° 1, p. 91...95.

Année 1940

100. *Beck, W.:* Über die Ergebnisse der Ende 1937 vom Bureau of Standards organisierten Konferenz über die Frage der Korrosion unterirdischer Leiter. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. t. 6(1940), n° 7, p. 201...204; n° 8, p. 225...236.

101. *Skuse, C. E. C.:* Insulating gaps as a remedy to electrolytic action. P. O. Electr. Engr's. J. 1940, n° 2, p. 115...119.

102. Essais sur la corrosion électrolytique d'objets métalliques enterrés, sous l'effet d'une tension continue constante. Bull. ASE t. 31(1940), n° 24, p. 562...563.

103. *Radley, W. G.*, et *C. E. Richards:* Discussion on: The corrosion of underground cables. J. Instn. Electr. Engr". t. 31(1940), p. 496...500.

Année 1941

104. *Guéry, F.:* Vues nouvelles sur la répartition et le mode d'action des courants dérivés des voies de tramways électriques et sur les moyens de s'opposer aux corrosions, dans le cadre de la réglementation française. Bull. Soc. franç. Electr"., 6e sér. t. 2(1941), n° 4, p. 217...236.

105. Electric cables and corrosion. Electrician London t. 135(1941), n° 326, p. 19.

Année 1943

106. *Alt, A.:* Korrosionsgefährdung der Kabelanlagen durch Streuströme von Gleichstrombahnen. Schweiz. Techn. Z. t. 38(1941), n° 5, p. 55...58.

Années 1944—1945

107. *Sandmeier, F.:* Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb. Techn. Mitt". PTT t. 22(1944), n° 5, p. 187...201; n° 6, p. 231...237; t. 23 (1945), n° 5, p. 203...220; n° 6, p. 256...276 et Bull. ASE t. 38 (1947), n° 24, p. 765...769.

Année 1946

108. *Foretay, E.:* La protection d'un réseau de câbles à haute tension contre l'effet nuisible des courants vagabonds. CIGRE 1946, Rapport n° 203, 19 p.

Remarque

Les notes bibliographiques qui précèdent sous n°s 1 à 54 sont extraites, à quelques rares exceptions près, de la bibliographie comprise dans le très intéressant travail de F. Sandmeier, mentionné sous n° 107. Les n°s 55 à 107 sont extraits de la bibliographie du rapport n° 203 de l'auteur à la CIGRE, mentionné sous n° 108.

Adresse de l'Auteur:
E. Foretay, Chef du laboratoire des Câbleries de Cossonay, Cossonay-Gare (VD).

Die höhere Ausbildung der Elektroingenieure in den USA

Von *Hans Schaffner*, Urbana, Ill., USA

378.962 : 621.3 (73)

Nach 6 Jahren Primarschule, 6 Jahren Mittelschule und 4 Jahren Universität erhält der amerikanische Student den Titel eines «Bachelor of Science». Dieser Titel ist somit mit unserem dipl. Ing. zu vergleichen; allerdings ist im allgemeinen ein dipl. Ing. eher höher zu bewerten.

Will der amerikanische Student nun weiterstudieren, so wird er zum «graduate student» und tritt in die «graduate school» ein, eine besondere Abteilung der Universität. Frühestens nach einem Jahr wird er den Titel eines «Master of Science», und frühestens nach drei Jahren den eines «Doctor of Philosophy» erhalten. Da der Grossteil der Studenten aber neben dem Studium noch arbeitet, werden diese Minimalzeiten nur selten eingehalten. In den ersten zwei Jahren muss der «graduate student»