Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 79 (1953)
Heft: 1

Artikel: La protection cathodique des structures enterrées
Autor: Bourquin, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-59738

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: 08.01.2026

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

79e année 10 janvier 1953 N° 1

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

Abonnements :
Suisse : 1 an, 24 francs
Etranger : 28 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 20 francs
Etranger : 25 francs
Prix du numéro ; Fr. 1.40
Abonnements et nos isolés par versement au cpte de ch. postaux Bulletin technique de la Suisse romande N° II. 5775, à Lausanne.

Rédaction
et éditions de la S. A. du Bulletin technique (tirés à part), Case Chauderon 475

Administration
Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président : R. Neeser, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. Epitaux, architecte, à Lausanne ; Secrétaire : J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg : MM. P. Joye, professeur ; † E. Lateltin, architecte — Vaud : MM. F. Chenaux. ingénieur ; H. Matti, ingénieur ; E. d'Okolski, architecte ; Ch. Thévenaz, architecte — Genève : MM. L. Archinard, ingénieur ; Cl. Grosgurin, architecte ; E. Martin, architecte ; V. Rochat, ingénieur — Neuchâtel : MM. J. Béguin, architecte ; R. Guye, ingénieur — Valais : MM. J. Dubuis, ingénieur ; D. Burgener, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration
de la Société anonyme du Bulletin technique : A. Stucky, ingénieur, président; M. Bridel ; G, Epitaux, architecte ; R. Neeser, ingénieur.

Tarif des annonces

1/1 page	Fr.	264.—
1/2 »	»	134.40
1/4 »	»	67.20
1/8 »	»	33.60

Annonces Suisses S. A. (ASSA)

5 Rue Centrale. Tél. 22 33 26
Lausanne et succursales

SOMMAIRE : *La protection cathodique des structures enterrées*, par H. Bourquin, ing. élect. diplômé, Küsnacht-Zurich. — Nécrologie : *Georges Jean-Richard, architecte.* — Bibliographie. — Service de placement. — Documentation générale. — Nouveautés, Informations diverses.

LA PROTECTION CATHODIQUE DES STRUCTURES ENTERRÉES

par H. BOURQUIN, ing. électr. diplômé, Küsnacht-Zurich

Introduction

En été 1931 déjà, l'Office de contrôle de la Commission suisse de corrosion — dont l'auteur fut le chef de 1930 à 1947 — avait entrepris une série d'essais sur la corrosion électrolytique d'objets métalliques enterrés, dans le but d'examiner plus attentivement qu'on ne l'avait fait jusqu'alors comment les courants vagabonds des tramways et autres chemins de fer à courant continu agissent sur les conduites et les câbles souterrains. Ces essais furent poursuivis et complétés systématiquement au cours des années suivantes, et la Commission de corrosion fut tenue périodiquement au courant de leur avancement. En 1941, l'Office de contrôle lui présenta un rapport d'ensemble détaillé sur les résultats obtenus durant cette première décade. Bien que la Commission ait décidé alors de porter ce rapport à la connaissance des milieux intéressés, aucune publication n'a eu lieu jusqu'ici. Abstraction faite des indications sommaires sur l'état des essais dans les rapports annuels successifs de la Commission de corrosion, parus au *Bulletin de l'Association suisse des électriciens* et au *Bulletin mensuel de la Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux*, il n'a été publié à ce sujet qu'un seul article, intitulé « Essais sur la corrosion électrolytique d'objets métalliques enterrés, sous l'effet d'une tension continue constante, à Zurich et à Neuhausen » (*Bulletin ASE* 1939, n° 25).

Ces essais, comme tous les précédents et notamment ceux exécutés sous intensité constante, avaient mis en évidence le fait, considéré à cette époque comme accessoire, que les cathodes étaient demeurées non seulement à peu près intactes comparativement aux anodes fortement corrodées, mais étaient aussi en bien meilleur état que les objets-témoins identiques, enterrés comme elles mais sans avoir subi l'effet du courant [1]. Ce fait remarquable a été relevé dix ans plus tard par R. de Brouwer, ingénieur en chef de la Société belge « Distrigaz » à Bruxelles, dans un mémoire intitulé *Protection cathodique des canalisations souterraines*, appuyé sur des essais qui corroborent les nôtres en tout point. C'est ainsi, par exemple, que des essais de longue durée exécutés en Belgique « sur des tests enterrés dans des sols particulièrement agressifs, au voisinage de canalisations protégées cathodiquement », ont donné les résultats suivants (citation de Brouwer) : « Ces tests sont constitués de tubes métalliques passés

[1] Cette constatation n'est valable toutefois que pour les métaux lourds, tandis que l'aluminium et ses alliages se corrodent autant, et souvent même davantage, à la cathode qu'à l'anode, parce qu'ils sont attaqués chimiquement aussi bien en milieu alcalin qu'en milieu acide.

préalablement au tour, les uns reliés par un conducteur isolé à la canalisation protégée, les autres abandonnés dans le sol. Au bout de quelques années, ces derniers sont désagrégés par la corrosion, tandis que les tests cathodiques restent intacts, sans même présenter la moindre trace d'oxydation. »

Ce n'est pas par hasard que les expériences en matière de protection cathodique ont été recueillies et interprétées pour la plupart, sinon exclusivement du moins déjà très tôt et de façon systématique, en Belgique. La Société « Distrigaz » commença en 1930 la pose de ses canalisations de transport de gaz à grande distance, constituées principalement de tuyauteries en acier soudé de 500 mm de diamètre. Le revêtement protecteur des tubes avait fait l'objet des plus grands soins et de nombreux joints isolants avaient été intercalés en vue de réduire au minimum le danger d'électrolyse par les courants vagabonds. Malheureusement sans grand succès, car dans bien des cas les canalisations furent percées par électrolyse ou sérieusement endommagées peu de temps après leur pose, et cela sans que les réseaux de voies et leur système d'alimentation laissassent vraiment à désirer. C'est pourquoi l'on recourut au drainage électrique, dont l'application systématique remonte à 1934. Simultanément, les rapports entre usagers du sous-sol et émetteurs de courants vagabonds se transformèrent progressivement en une collaboration toujours plus fructueuse pour les deux parties [2]. A côté du fait susmentionné, à savoir que les objets en *fer* restent entièrement à l'abri de la corrosion s'ils demeurent électronégatifs vis-à-vis du milieu ambiant (expérience qui fut étendue avec le même succès à des tronçons de câbles sous *plomb*), on a constaté en outre sur des installations existantes que le revêtement protecteur conservait une efficacité très élevée dans les zones cathodiques (« zones d'entrée » des courants vagabonds émanant de tramways, par exemple), tandis que la résistance de terre tombait à des valeurs minimes dans les zones anodiques (« zones de sortie » des c. v. ou « zone de corrosion »). En d'autres termes, on faisait d'une pierre deux coups : le drainage électrique conférait aux objets influencés cathodiquement *l'immunité du métal et l'efficacité durable de l'enveloppe protectrice.* Dès 1937, la Société « Distrigaz » compléta le drainage spontané par l'introduction du « soutirage » ou « drainage forcé » et étendit désormais la nouvelle technique au-delà du domaine des chemins de fer électriques à courant continu à toutes les structures enterrées quelles qu'elles soient, menacées d'une façon ou d'une autre par l'agressivité du milieu. La protection cathodique s'est avérée depuis lors d'une efficacité totale contre les corrosions de toute sorte, en même temps que très économique.

A. Principe de la protection cathodique.

L'expérience a montré que les structures métalliques en contact avec le sol, telles que les canalisations

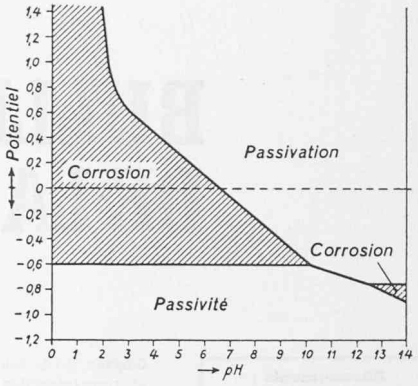

Fig. 1. Diagramme de corrosion du système fer-eau (d'après Pourbaix).

souterraines en fonte et en acier, les câbles sous plomb, etc., sont soustraites à la corrosion lorsqu'on les maintient suffisamment négatives vis-à-vis du milieu ambiant. Cette constatation capitale a été soumise à un examen critique par un Belge également, le professeur J. N. Pourbaix qui, appuyé sur des essais de laboratoire systématiques, en a donné la théorie, illustrée par des « diagrammes de corrosion » montrant le comportement des métaux lourds usuels (Fe, Pb, Cu). Un métal plongé dans une solution aqueuse se décompose généralement plus ou moins vite par oxydation ou autres réactions chimiques, suivant la nature de la solution. Mais la thermodynamique des réactions chimiques enseigne qu'elles sont possibles seulement dans des conditions bien déterminées, où le potentiel du métal joue un rôle essentiel. Si l'on porte en abscisse le p_H de l'électrolyte (logarithme négatif de la concentration des ions hydrogène) et en ordonnée le potentiel U, on obtient selon Pourbaix le diagramme de corrosion du système, valable par exemple, dans la figure 1, pour le système fer-eau. On distingue dans ce diagramme trois domaines distincts : « corrosion » (surface hachurée), « passivité » et « passivation », ces deux derniers limitant les zones où aucune corrosion ne se manifeste. En pratique, il faut se contenter toutefois du « domaine de passivité », où le *fer nu* se comporte comme un métal noble, tandis que son immunité dans le « domaine de passivation » dépend d'une pellicule protectrice superficielle d'oxyde, parfaitement continue et non poreuse, dont la fragilité rendrait problématique la protection escomptée [3].

Ce qu'il importe de retenir, c'est que dans n'importe quel terrain (dont le p_H est compris pratiquement entre 4 et 10) une structure en fer ou en acier ne se corrode plus, dès que son potentiel vis-à-vis du sol (mesuré par rapport à une électrode à l'hydrogène) est inférieur à — 0,6 V. Pour le diagramme semblable plombeau, l'effet protecteur est déjà obtenu à —0,3 V. En pratique, une électrode impolarisable au sulfate de cuivre, par exemple, se prête mieux aux mesures sur le terrain que l'électrode de laboratoire à l'hydrogène. Par rapport à la sonde $CuSO_4$ plantée à la surface du

[2] Voir « Protection des canalisations souterraines contre la corrosion électrolytique », par P. Reynaert, ingénieur en chef du Service électrique des Transports urbains de l'agglomération bruxelloise. Extrait du *Bulletin scientifique de l'A. I. M.* (Association des ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore, Liège), nº 2, février 1952.

[3] Pour plus de détails sur ces phénomènes électrochimiques, voir les publications originales de R. de Brouwer, entre autres « Protection cathodique des canalisations souterraines » (Bruxelles, 1947), et de J.-N. Pourbaix « Thermodynamique des solutions aqueuses diluées » ; ou encore Dr H. Schmid, Vienne « Grundlagen der Elektroprotektion », dans *Österreichische Zeitschrift für Telegraphen-, Telephon-, Funk- und Fernsehtechnik*, sept.-oct. 1950.

sol, le potentiel de la structure examinée assure à celle-ci l'immunité requise dès qu'il atteint en permanence au moins — 0,85 V s'il s'agit d'objets en fer, ou — 0,55 V s'il s'agit d'objets en plomb. Nos propres essais de corrosion des années 1931-1941 avaient montré, il est vrai, que pour les tensions comprises entre quelques volts et 0,2 V, la cathode subit elle-même une certaine attaque ; mais celle-ci est si minime comparativement à la corrosion anodique, ou même à l'attaque naturelle des objets-témoins sans courant, que la protection cathodique peut être considérée pratiquement comme absolument efficace. Par conséquent, la protection cathodique se présente non seulement comme l'antidote spécifique contre l'électrolyse, lorsqu'il s'agit de maîtriser les courants vagabonds pour empêcher de mettre en danger les canalisations souterraines, mais de façon toute générale comme une arme efficace dans les cas, beaucoup plus nombreux encore, de corrosion chimique ou galvanique, où il convient d'influencer électriquement la structure menacée de telle sorte que son potentiel demeure constamment négatif et assure par là son immunité.

B. Réalisation pratique de la protection cathodique

La figure 2 montre schématiquement comment fonctionne la protection cathodique. Le courant i, prélevé d'une batterie B (ou d'un redresseur), provoque entre anode et cathode une chute de tension totale U (mesurée au voltmètre V), décomposable en trois éléments :

$$U = i\,(R_a + R_e + R_k) = U_a + U_e + U_k \tag{1}$$

R_a et R_k représentent la résistance de passage à la terre de l'anode et de la cathode, R_e la résistance ohmique du circuit en terre anode-cathode. U_a et U_k indiquent par conséquent le potentiel de l'anode et de la cathode vis-à-vis du terrain enrobant, alors que U_e désigne la chute de tension dans le terrain. Il découle de (1) la relation suivante :

$$\frac{R_k}{R_a} = \frac{U_k}{U_a} = \frac{U_k}{U - U_k - U_e}$$

$$U_k = \frac{U - U_e}{1 + \dfrac{R_a}{R_k}} \tag{2}$$

On voit que U_k est d'autant plus grand que U_e et le rapport R_a/R_k sont plus petits. En d'autres termes, le potentiel de la cathode vis-à-vis du sol, duquel dépend précisément l'efficacité de la protection cathodique, est d'autant plus accentué que la chute de tension dans le terrain et à l'anode est plus faible et la chute de tension à la cathode plus élevée. Ou encore: U_k est d'autant plus accentué que, d'une part, la résistance ohmique du circuit en terre et la résistance de passage de l'anode au terrain sont plus faibles et que, d'autre part, la résistance de passage de la cathode au terrain est plus élevée. U_k peut naturellement atteindre tout au plus la valeur de la tension aux bornes de la batterie.

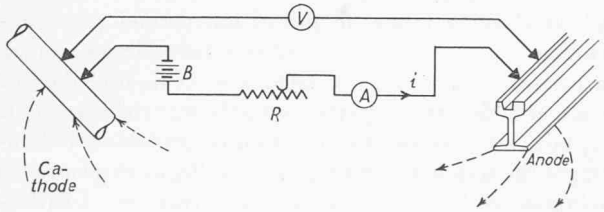

Fig. 2. — Le circuit de protection cathodique.

Si l'on fait abstraction de l'influence du terrain, dont la résistance variable, qui dépend des conditions locales, est d'ordinaire si faible que U_e joue en général un rôle effacé vis-à-vis de U_k et, le plus souvent, même vis-à-vis de U_a, on voit donc que l'efficacité de la protection cathodique est conditionnée avant tout par un *bon « isolement » de la cathode* et par une *résistance de passage aussi faible que possible de l'anode au terrain.*

Dans les considérations qui précèdent, U_k se rapporte à une cathode locale limitée. S'agit-il par contre d'une canalisation de certaine longueur, il est clair que U_k va diminuer avec la distance, et ce d'autant plus rapidement que la canalisation a un isolement plus faible. Par conséquent, si l'on veut protéger cathodiquement celle-ci sur toute sa longueur, il faudra renforcer le courant à intervalles convenables, pour empêcher le potentiel U_k de remonter au-dessus de la limite négative de protection $-U_g$, déterminante pour assurer l'immunité du métal considéré.

En revanche, si l'on se trouve dans le champ de dispersion d'un chemin de fer électrique à courant continu, on peut réaliser la protection cathodique des canalisations influencées sans recourir à une source auxiliaire de courant, en reliant simplement ces canalisations aux rails en un point constamment négatif de ceux-ci. En supposant, par exemple, que le tramway ou le chemin de fer est alimenté par le pôle positif au fil de contact, le pôle négatif étant aux rails, c'est au droit de la station d'alimentation que ces derniers accusent le potentiel le plus bas. En ce point-ci, la connexion aux rails de la conduite à protéger confère également à cette dernière la valeur la plus basse de son potentiel, qui augmente lentement à mesure qu'on s'éloigne de ce point. On appelle *drainage électrique* ce mode d'influencer le potentiel des canalisations.

Mais la connexion métallique conduite/rails ne peut pas toujours se faire au point de potentiel le plus bas. Or, si elle a lieu ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que le potentiel des rails pourra devenir temporairement positif contre la terre, suivant la position des

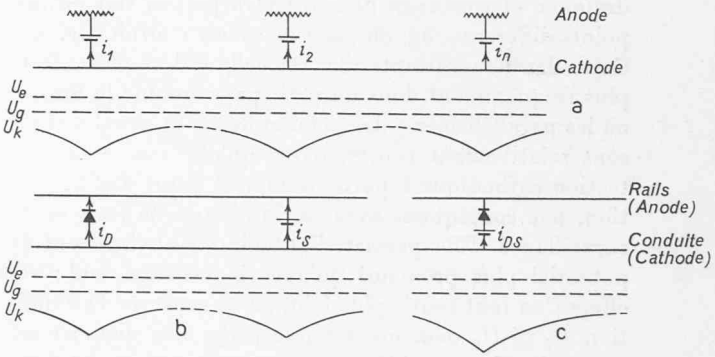

Fig. 3. — Variantes de la protection cathodique : *a*) Protection à l'aide d'anodes séparées ; *b*) « Drainage » et « soutirage » en différents points ; *c*) « Drainage » et « soutirage » au même endroit.

voitures ou des trains. Dans ce cas, il faut insérer dans la connexion de drainage un dispositif unidirectionnel (p. ex. une valve au sélénium à sens unique), qui laisse passer seulement les courants à évacuer et arrête les courants inverses. Toutefois, durant le temps de blocage, ceci n'empêche pas les courants vagabonds circulant dans le terrain humide d'entrer dans la conduite en marge de la connexion de drainage, pour en ressortir quelque part en provoquant des corrosions électrolytiques. C'est pourquoi, chaque fois que le rapport de durée des périodes passives aux périodes actives cesse d'être négligeable, c'est-à-dire chaque fois que le circuit de drainage demeure interrompu relativement longtemps, il convient de renforcer le drainage par une source auxiliaire de courant, qui impose un potentiel négatif adéquat à la canalisation. Dans les milieux internationaux qui s'occupent de ces problèmes, on a convenu d'appeler *soutirage électrique* ou « drainage forcé » ce moyen d'abaisser artificiellement le potentiel des structures à protéger.

L'application conjuguée du drainage et du soutirage permet d'agir électriquement sur une canalisation métallique située dans le champ d'influence d'un chemin de fer à courant continu, de telle sorte que son potentiel vis-à-vis du sol demeure sur toute la longueur suffisamment bas, pour que la relation $U_k \geqq U_g$ (en valeur absolue) soit satisfaite et que, par conséquent, l'ouvrage entier soit soustrait à la corrosion. La figure 3 illustre schématiquement leur fonction (à échelle réelle, les points d'alimentation successifs seraient beaucoup plus distants les uns des autres). U_e désigne le potentiel neutre du sol, U_g la valeur-limite minimum du potentiel de protection négatif et U_k le potentiel de la cathode vis-à-vis du sol. La protection cathodique a pour but l'abaissement du potentiel de l'objet à protéger (conduite, p. ex.) par rapport au terrain enrobant, de manière qu'en tout temps et en n'importe quel endroit la condition $U_k \geqq U_g$ (en valeur absolue) soit satisfaite. Dans le cas général de la protection cathodique par anodes individuelles (fig. 3a), on réalise ce desideratum à l'aide d'une source indépendante de courant et d'une anode convenable (p. ex. électrode en ruban de cuivre ou, mieux, voie de tramway ou de chemin de fer). Dans le cas particulier où il s'agit de combattre les corrosions électrolytiques dues aux courants vagabonds d'une installation de traction électrique, on a recours au drainage, seul ou bien en relation avec le soutirage, drainage et soutirage pouvant être prévus soit en des points différents (fig. 3b), soit au même endroit (fig. 3c). Cette dernière variante (3c) est celle qui se présente le plus fréquemment dans un petit pays comme la Suisse, où les parallélismes entre chemin de fer et canalisations sont relativement courts, parce qu'elle réalise la protection cathodique à partir d'un seul point d'alimentation, par conséquent avec un minimum de frais et de surveillance. Elle permet d'obtenir un abaissement de potentiel plus prononcé qu'avec le drainage seul ; ses effets s'en font sentir plus loin, en ce sens que la condition $U_k \leqq U_g$ demeure remplie jusqu'à la distance où la canalisation considérée passe automatiquement dans la « zone d'entrée » des courants vagabonds, dans laquelle elle est naturellement négative vis-à-vis du sol, c'est-à-dire protégée cathodiquement.

Avant de passer à l'exécution de la protection cathodique sous l'une ou l'autre de ses formes, il est indispensable d'examiner au préalable, dans chaque cas particulier, si la structure envisagée se prête à cette thérapeutique. A cet effet, on commence par faire un essai préliminaire avec une batterie d'accumulateurs transportable. Tandis que le pôle négatif de la source de courant est connecté à l'objet à examiner, un fil souple isolé relie selon la fig. 2, à travers un ampèremètre et une résistance réglable, le pôle positif à une anode auxiliaire, constituée par une électrode de terre quelconque au sens de l'article 21 de l'ordonnance sur les installations électriques à courant fort. Le potentiel U_k de l'objet à protéger, agissant comme cathode, est mesuré au moyen d'un voltmètre de haute résistance et d'une électrode impolarisable (par ex. sonde $CuSO_4$) en fonction du courant i. La différence $(U_{ki} - U_{ko})$ est généralement une fonction linéaire de i, du moins pour les intensités modérées du courant de protection qui entrent en ligne de compte. Mais c'est le rapport

$$\rho = \frac{U_{ki} - U_{ko}}{i}$$

qui est essentiel, par lequel l'auteur propose de définir la notion de « sensibilité ρ » de la structure à protéger, à l'endroit considéré. Elle a la dimension d'une résistance, mais au lieu de la mesurer en ohms, on l'exprime de préférence en volts par ampère (V/A) ; elle indique avec quelle acuité la cathode réagit au courant « sucé », par abaissement de son potentiel. La sensibilité ρ est caractéristique de la propriété de l'objet considéré, d'être plus ou moins facile à influencer électriquement ; c'est donc un critère pour juger si cet objet est cathodiquement protégeable et, le cas échéant, à quel prix. Indirectement, la sensibilité ρ renseigne aussi sur la qualité de l'« isolement » d'une structure enterrée. Ainsi, par exemple, ρ est sensiblement plus faible pour les conduites bituminées à froid que pour les conduites bituminées à chaud, ce qui fait que la protection cathodique des premières est beaucoup plus difficile, sinon impossible à réaliser.

La protection catholique présuppose donc un certain « isolement » de l'installation considérée vis-à-vis du sol ; elle est d'autant plus efficace, son application d'autant plus facile et moins onéreuse que la résistance électrique de passage structure/terrain est plus élevée. Cela signifie tout d'abord qu'elle ne saurait guère s'exercer sur des installations ou parties d'installations nues, et ensuite que son application à des installations « isolées » est plus avantageuse quand il s'agit d'objets récents que lorsqu'on est en présence de structures plus ou moins surannées. Par ailleurs et comme nous l'avons souligné au début de cet article, on a constaté qu'introduite à temps la protection cathodique n'immunise pas seulement les parties métalliques contre la corrosion, mais qu'elle met aussi la qualité de leur isolement en grande partie à l'abri du vieillissement. En fait, les revêtements et enduits protecteurs d'ouvrages métalliques gardent, grâce à elle, leurs propriétés isolantes initiales, tandis que sans cela ces dernières déclinent peu à peu avec le temps.

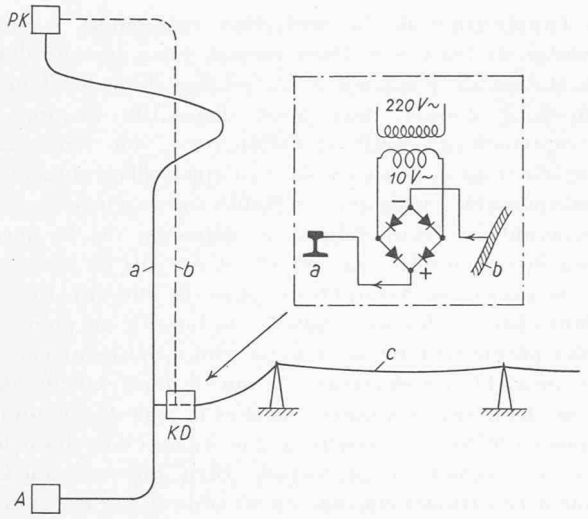

Fig. 4. — Protection cathodique du câble à haute tension « Klein Durren » (KD) — Pilatuskulm (PK).
---- câble à 5 kV.
—— voie du chemin de fer du Pilate.

C. Exemples

1. *Câble du Pilate* (fig. 4)

Il s'agit d'un câble armé à haute tension de 2,8 km de longueur, posé directement dans le sol en 1948 pour alimenter la station de montagne du Pilatuskulm (PK). Partant de la station transformatrice « Im Klein Durren » (KD), en-dessous de l'alpage d'Aemsigen, où il est raccordé à la ligne aérienne venant de la vallée, ce câble longe sur une certaine longueur la voie ferrée du chemin de fer du Pilate, électrifié en courant continu, passe par Aemsigen et Mattalp, puis derrière l'éperon de l'Eselwand, pour aboutir, à travers un tunnel taillé dans le rocher, à la station Pilatuskulm dans un poste de transformation et de couplage aménagé dans le bâtiment de la gare.

Le parallélisme partiellement très étroit du câble avec la voie ferrée fit craindre de prime abord une influence appréciable des courants vagabonds et par conséquent un danger d'électrolyse pour le câble. C'est pourquoi les conditions qui se présentent là-haut ont été examinées déjà immédiatement après la pose du câble. Tout d'abord, on commença par étalonner quelques manchons de raccordement répartis le long du tracé du câble, pour permettre le contrôle ultérieur des courants circulant dans la gaine de plomb et l'armure d'acier en mesurant la chute de tension sur les tronçons étalonnés. Dès le début, on mesura des courants de plusieurs ampères, bien que la gaine de plomb et l'armure aient été soigneusement revêtues d'enveloppes de papier imprégné et de juste asphalté ; ces courants augmentèrent encore au cours des années suivantes, dans la mesure où les propriétés isolantes des enveloppes s'altéraient avec l'absorption d'humidité.

Pour protéger le câble contre la corrosion électrolytique, qui eût commis sans cela de graves dégâts à bref délai, on relia à l'extrémité inférieure de la ligne en câble, au lieu dit « Klein Durren », manteau de plomb et armure aux rails du chemin de fer du Pilate, réalisant ici le drainage électrique du câble à travers une valve unidirectionnelle au sélénium, pour barrer le passage aux courants vagabonds du chemin de fer, qui tendraient à quitter les rails par la connexion de drainage, lorsque les automotrices circulent entre Alpnachstad (A) et Klein Durren (KD).

Mais avec le temps, ce dispositif se révéla absolument insuffisant, car les courants vagabonds allaient croissant et, bien que leur intensité augmentât de la montagne vers la vallée, le gradient de courant étant toujours positif dans ce sens (condition première pour que la canalisation drainée absorbe constamment des courants et n'en rende nulle part en dehors de la connexion de drainage !), leur concentration était devenue telle vers l'extrémité inférieure du câble, que la gaine armée de celui-ci était fortement positive vis-à-vis du terrain et risquait ainsi de se corroder. La seule mesure efficace contre cet état de chose consistait à compléter le drainage par un dispositif de soutirage électrique, afin d'abaisser suffisamment le potentiel de l'enveloppe métallique. On le fit en été 1951, en remplaçant la valve unidirectionnelle par un redresseur au sélénium à double effet dans la cabine de Klein Durren. L'efficacité de ce dispositif fut contrôlée un dimanche de trafic-record sur le chemin de fer du Pilate, en mesurant simultanément le courant dans la connexion de drainage/soutirage (selon le principe de la fig. 3 c) et le potentiel câble/terre. Le succès de cette solution ressort de la comparaison des valeurs du potentiel au point le plus bas, où le danger était le plus accusé, suivant qu'on fît fonctionner le drainage seul, ou en combinaison avec le soutirage. Alors que, durant le trajet de trois trains montants à la file (consommant 100 A env.chacun), il passait un courant maximum d'env. 11 A dans la connexion de drainage et que la valeur correspondante du potentiel câble/terre montait jusqu'à + 2,65 V, et cela juste avant l'arrivée du premier train au Pilatuskulm, on mesura pendant la période d'observation suivante d'une heure, embrassant la montée simultanée de sept trains, un courant maximum de 34,5 A dans la connexion de drainage/soutirage (y compris l'apport de 12 A prélevé sur le réseau-lumière et constituant le courant de soutirage proprement dit), avec un maximum correspondant de — 0,9 V (par rapport à la sonde au sulfate de cuivre) pour le potentiel câble/terre. On a obtenu ainsi l'abaissement de potentiel désiré, même lors des charges de traction les plus fortes, ce qui met désormais le câble à l'abri de toute corrosion.

2. *Tanks et pipe-line Zollikofen-Stockern* (fig. 5)

De la gare de Zollikofen près de Berne part un « pipe-line » comprenant six conduites parallèles en acier pour alimenter les gros réservoirs de carburants que la Confédération possède à Stockern près de Bolligen, à 5 km de Zollikofen, en passant par une station intermédiaire de pompage. Cette installation date de 1940 et a été examinée dès le début quant à la présence éventuelle de courants vagabonds des chemins de fer à courant continu Berne-Zollikofen-Soleure et Berne-Worb. A l'origine, ces courants étaient négligeables dans les conduites, mais déjà une année plus tard la couche renforcée de jute asphalté sur les tuyaux d'acier avait perdu à tel point ses propriétés isolantes qu'à la station de pompage de Zollikofen (PZ), distante de 500 m de la gare, le pipe-line conduisait des courants vagabonds de l'ordre de 10 ampères ! Pour interrompre ceux-ci et bannir du

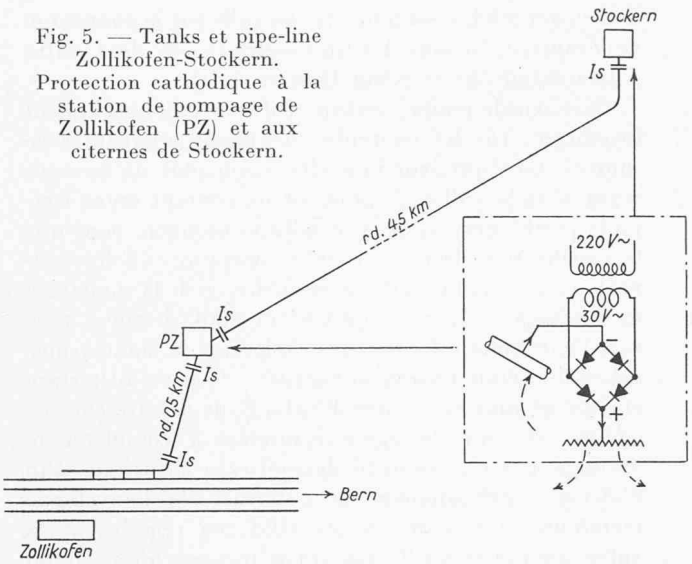

Fig. 5. — Tanks et pipe-line Zollikofen-Stockern. Protection cathodique à la station de pompage de Zollikofen (PZ) et aux citernes de Stockern.

même coup le grave danger d'électrolyse, on a commencé par insérer ici des raccords à brides isolants dans les six conduites de benzine, ainsi qu'un tronçon en éternit dans la conduite d'eau. Les mesures de contrôle exécutées en novembre 1942 montrèrent que les courants dans le pipe-line, tant à l'intérieur de la station de pompage que le long de la section comprise entre cette dernière et le poste de vidange des wagons-citernes à la gare, avaient pratiquement disparu, bien qu'il existât en ce point-ci une connexion métallique entre la voie ferrée des C. F. F. et les vannes d'arrêt du pipe-line, pour empêcher la formation d'étincelles. Mais le contrôle suivant, exécuté une année plus tard exactement, prouva que les raccords isolants de la station de pompage, toujours aussi efficaces ici, n'étaient cependant plus capables d'empêcher les courants vagabonds du chemin de fer de pénétrer dans les conduites à la gare, indice évident de l'altération progressive du revêtement « isolant » de celles-ci. Pour parer derechef à ce nouveau danger de corrosion, on introduisit alors des pièces isolantes dans les six conduites de benzine au point où elles s'éloignent des rails.

Jusqu'alors, on n'avait pas examiné de plus près la section supérieure du pipe-line, comprise entre la station de pompage et Stockern (4,5 km), étant donné qu'elle est beaucoup plus éloignée des lignes de chemin de fer et semblait moins menacée de ce fait. Or en 1945, une fuite de benzine consécutive à une avarie de tuyau se produisit quelque 0,5 km au-dessous de Stockern. Les investigations électriques révélèrent alors la présence de courants continus de l'ordre de ¼ à ½ A dans le pipe-line, avec une composante constante d'origine galvanique et une composante variable provenant d'installations de traction électrique. Dans ce cas également, on recommanda de couper électriquement toutes les canalisations souterraines (eau et téléphone) aboutissant à Stockern et l'on envisagea en outre l'insertion de raccords isolants dans les six conduites de benzine.

Les mesures de protection appliquées jusqu'alors, « passives » par essence, n'étaient guère qu'un pis-aller, surtout pour neutraliser les phénomènes galvaniques sur la section en montagne. Ce n'est qu'en 1950 que l'on reprit tout le problème par la base, pour aboutir à l'application de la protection cathodique à l'ensemble de l'ouvrage. Dans ce but, on a installé dans la station de pompage de Zollokofen d'une part et à Stockern d'autre part deux dispositifs identiques, comprenant un petit transformateur, un redresseur au sélénium à double effet et l'appareillage auxiliaire indispensable (résistance réglable, ampèremètre). Auparavant, il fallut couper le pipe-line de la terre aux deux endroits, en détachant les fils de terre et, à Stockern, en insérant de plus un raccord isolant dans chacune des six conduites de benzine au point où elles pénètrent dans la caverne. Enfin, on avait enlevé au préalable les électrodes de terre [4] dans chacune des huit chambres de vannes réparties le long du pipe-line, pour en utiliser une partie comme anodes dans les deux circuits locaux de protection. Bien que ces anodes soient constituées chacune de 40 m de ruban de cuivre, enfoui dans une masse pâteuse de bentonite pour établir un bon contact avec le sol, elles présentent, suivant les conditions locales, une résistance de passage à la terre relativement élevée (9 ohms à Stockern et 18 ohms à Zollikofen) qui nécessita un renforcement de la tension d'alimentation (30 V environ). En service, le redresseur de Zollikofen produit un courant constant de 1,8 A et abaisse le potentiel du pipe-line de — 0,4 à — 0,85 V ; celui de Stockern produit un courant de 3,7 A, abaissant le potentiel de — 0,4 à — 1,85 V. L'action conjuguée des deux sources de courant est capable d'abaisser le potentiel du pipe-line de — 0,6 à — 1,0 V au point le plus éloigné (chambre 5, à 2,4 km de Stockern), de sorte que les conduites de benzine n'accusent nulle part un potentiel supérieur à — 0,85 V (mesuré par rapport à la sonde au sulfate de cuivre) et sont par conséquent désormais en permanence à l'abri de la corrosion.

3. *Câbles à haute tension Verbois-Genève* (fig. 6)

La centrale hydro-électrique de Verbois sur le Rhône, en service depuis 1942, est reliée à l'usine thermique beaucoup plus ancienne de la Jonction, propriété l'une et l'autre des Services industriels de Genève, par douze câbles triphasés à 18 kV et deux câbles secondaires à courant faible. Ces câbles sont groupés en quatre faisceaux, trois sur la rive droite et un sur la rive gauche du Rhône, de 10,3 et 11,2 km de longueur. Ils ont été posés entre 1941 et 1948. Dans la zone urbaine, ils subissent plus ou moins l'influence des tramways

[4] Ces électrodes avaient été posées primitivement pour mettre le pipe-line « à la terre » ; or elles étaient non seulement superflues, mais nuisibles, car elles créaient des éléments locaux Cu-Fe, qui mettaient galvaniquement en danger les tuyaux en acier !

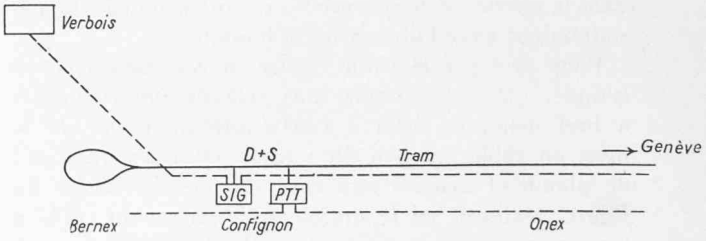

Fig. 6. — Câbles à 18 kV Verbois-Genève.

électriques. En 1943 déjà, puis en 1945 et 1948, il se produisit des courts-circuits à la terre, consécutifs à des corrosions électrolytiques de la gaine de plomb, dues à des courants vagabonds. A Genève, les tramways sont alimentés par le pôle négatif au fil de contact et le pôle positif aux rails, de sorte que, dans la gaine de plomb armée des câbles partant de la centrale urbaine, les courants vagabonds s'écoulent du centre vers la périphérie de la ville, où ils ressortent des câbles en les corrodant (zone anodique). Ce phénomène est d'autant plus accusé sur les câbles des Services industriels que les groupes rotatifs pour l'alimentation des tramways se trouvent précisément à l'usine thermique de la Jonction. Il s'ensuit que le système de mise-à-terre de protection de cette usine est constamment positif (1 à 2 V vis-à-vis du sol), ce qui fait que les câbles recueillent ici par leurs fils de terre des courants vagabonds qui fuient vers la périphérie de la ville. En supprimant la mise-à-terre des boîtes d'extrémité des câbles à l'usine thermique, on a pu éliminer très simplement la cause du premier défaut (1943) sur un câble de l'un des faisceaux de la rive droite du Rhône.

Par contre, cette mesure s'est révélée notoirement insuffisante pour supprimer la zone dangereuse que les défauts de câbles de 1945 et 1948 avaient mise en lumière dans la région d'Onex-Confignon, sur la rive gauche du Rhône, parce que le faisceau de câbles en question longe une ligne de tramway sur 5,2 km, de l'usine thermique à Bernex. Le trafic sur cette ligne de banlieue donne naissance à des courants vagabonds, qui atteignaient par exemple 6 A durant la charge de midi, avec pointes instantanées jusqu'à 20 A. Ces courants dans l'enveloppe métallique des câbles s'éloignent sans exception de la ville et ressortent intégralement avant Bernex, en provoquant naturellement des corrosions électrolytiques. Ici également, seul l'abaissement permanent du potentiel des enveloppes de câbles était capable de remédier radicalement à cet état de choses. Dans ce but, on évacue les courants vagabonds aux rails du tramway à travers deux circuits combinés de drainage et de soutirage, dans un poste de coupure des Services industriels de Genève (SIG), situé non loin de l'extrémité du parallélisme câbles/rails, avant le village de Bernex (cabine de Confignon). Par ce moyen, on peut abaisser le potentiel des manteaux de câbles non seulement en ce point-ci, mais aussi tout le long de la section précédemment menacée Onex-Bernex, de telle sorte que l'enveloppe métallique des câbles ne devient positive vis-à-vis du sol en aucun endroit et pour n'importe quelle charge sur la ligne de tramway influençante. En outre, on a supprimé la mise-à-terre des boîtes terminales de ces câbles à l'usine thermique, pour annuler les courants vagabonds qu'ils absorbaient ici et qu'il faudrait sans cela évacuer à Confignon au prix d'un soutirage renforcé, mais surtout parce que la mise-à-terre des câbles à l'usine thermique relève leur potentiel, c'est-à-dire qu'elle fait précisément le contraire de ce que l'on cherche à obtenir grâce à la protection cathodique. Il est vrai que cette mesure est en contradiction avec la lettre de l'ordonnance de 1933 sur les installations électriques à courant fort, puisque l'article 13, chiffre 2 stipule entre autres que les gaines de plomb et les armures des câbles à haute et à basse tension doivent être connectées à la terre de protection. Elle n'en est pas moins justifiée, car les câbles « souterrains » sont déjà « à la terre » par définition et accusent, en règle générale, une résistance de passage à la terre plus faible que la plupart des électrodes artificielles elles-mêmes [5].

De Genève à Bernex, un câble téléphonique interurbain de l'administration des P. T. T. longe la même route que les câbles d'énergie et passe dans un petit central automatique situé à côté de la cabine des SIG. On a observé la répercussion du drainage des câbles 18 kV sur le potentiel de l'enveloppe du câble téléphonique : le soutirage étant en service sur les premiers, le potentiel (mesuré à la sonde $CuSO_4$) passa de — 0,54 V à + 0,26 V sur le câble non protégé. Autrement dit, le câble téléphonique est anodique et exposé à la corrosion. Là-dessus, on le raccorda à titre d'essai au dispositif de soutirage des SIG, ce qui provoqua l'écoulement d'un courant de 2 A dans la connexion de ce câble, venant s'ajouter aux 6,6 A évacués déjà des câbles d'énergie, tandis que le potentiel de l'ensemble passait à — 0,84 V en moyenne, sans dépasser jamais — 0,62 V. On voit donc qu'en l'associant au circuit de soutirage des câbles à haute tension, on arrive à soustraire également le câble téléphonique au danger de corrosion qu'il courrait sans cela. Toutefois, l'administration des P. T. T. a préféré protéger cathodiquement ce câble par un dispositif propre de drainage/soutirage, indépendant de l'installation à courant fort.

4. *Installation hydraulique et conduite de gaz de Tavaro S. A. Genève*

L'exemple suivant montre que la protection cathodique n'est pas applicable seulement aux installations de grande envergure, mais aussi aux structures locales restreintes. Il s'agissait en l'occurrence d'une conduite d'eau de 160 m de longueur en fonte centrifugée, raccordant la fabrique Tavaro au réseau hydraulique de la ville. Des fuites se produisirent au bout de quelques années déjà et la conduite, mise à jour en novembre 1950, présentait de graves avaries, attribuables à l'électrolyse par les courants vagabonds du tramway voisin, mais en partie aussi à l'agressivité chimique du terrain marneux, très humide en cet endroit. On envisagea d'abord le remplacement de la conduite en fonte détériorée par des tubes en éternit, mais en définitive on leur préféra de nouveau la fonte, eu égard aux sollicitations mécaniques élevées de la canalisation, sous une voie de roulement où circulent fréquemment de lourds camions. Mais pour empêcher le retour des corrosions, on a isolé la conduite du réseau urbain de distribution par interposition d'un tube en éternit, puis on l'a protégée cathodiquement : une liaison conductrice avec la voie de tramway passant à côté aurait presque suffi, puisqu'elle évacue en moyenne un courant de 0,5 A, qui abaisse le potentiel de l'ouvrage à — 0,8 V par rapport à l'électrode au sulfate de cuivre.

[5] Pour éviter toute élévation dangereuse de la tension du manteau de plomb, par exemple à la suite d'un coup de pioche, on peut aussi monter entre l'enveloppe du câble et l'électrode de terre une faible distance explosive, qui interrompt normalement le passage des courants vagabonds, mais serait court-circuitée immédiatement si une différence de potentiel anormale naissait entre gaine de plomb ou armure et la terre.

Seulement, bien que pour une durée très brève, le courant change temporairement de sens et le potentiel remonte à — 0,5 V. Dans ce cas, le drainage simple est donc insuffisant pour mener au but qu'on se propose ; c'est pourquoi on l'a renforcé par soutirage, à l'aide d'un agrégat minuscule transfo-redresseur, branché sur le réseau-lumière, qui débite 3 A sous 6 V. Ce dispositif très simple et peu coûteux maintient en permanence le potentiel de la conduite d'eau au point d'alimentation, ainsi qu'en tout point du réseau d'arrosage des pelouses de la fabrique branché sur elle, à la valeur de — 2 V env., tandis qu'à l'autre bout de la conduite, où celle-ci est reliée métalliquement à une nouvelle conduite de gaz, en fonte également (la précédente, en tubes d'acier Mannesmann, ayant été détruite elle aussi par la corrosion), le potentiel ne s'élève pas au-dessus de —1,4 V. Comme on voit, le potentiel est partout sensiblement inférieur à la valeur-limite, définie plus haut, de —0,85 V, de sorte que l'installation entière se trouve radicalement protégée contre la corrosion, tant chimique qu'électrolytique.

Tout récemment, un cas semblable, concernant le réseau d'arrosage beaucoup plus étendu du Bureau International du Travail à Genève, a été traité avec succès par la même méthode.

5. *Câbles à haute tension Locarno-Ponte Ascona-Solduno* (fig. 7)

L'« Aar e Ticino, S. A. di Elettricità » à Bodio, possède à Ponte Ascona une station transformatrice, d'où partent des câbles à 50 kV vers Solduno, et des câbles à 16 kV de la Società Elettrica Sopracenerina, dirigés en partie vers Solduno et en partie vers Locarno. En décembre 1950, un court-circuit se produisit sur l'un des câbles à 50 kV posés en 1937, à 50 m environ de la halte de Solduno, où ce câble croise les Ferrovie Regionali Ticinesi (FRT), chemin de fer régional à voie étroite exploité en courant continu. En 1947 déjà, à quelque 60 m aussi du dit croisement mais de l'autre côté de la voie ferrée, un court-circuit avait eu lieu sur l'un des câbles à 16 kV de la Sporacenerina empruntant le même caniveau que les câbles à 50 kV, mais on n'avait pas su en déterminer la cause. Or, l'examen auquel nous avons procédé au printemps 1951 a établi sans doute possible qu'il s'agissait dans les deux cas de corosion électrolytique du manteau de plomb par les courants vagabonds des FRT, qui cherchent à regagner les rails, toujours négatifs dans cette région, avec menace constante des canalisations souterraines voisines (zone anodique).

Pour supprimer ce danger de corrosion, on a relié l'ensemble des gaines de câbles au croisement de Solduno par un cable court bifilaire (pour le courant et la tension) passant par un coffret de mesure et aboutissant aux rails, auxquels il est soudé. Une valve au sélénium arrête les pointes occasionnelles de courant inverse et un ampèremètre fixe permet de contrôler en tout temps l'intensité dans la connexion de drainage. Avec un courant moyen de 2 à 3 A, la différence de potentiel entre câbles et terre (sonde $CuSO_4$) varie de — 1,6 à — 1,7 V, assurant largement la protection cathodique des câbles en ce point. Dans la sous-station de Ponte Ascona, située environ 250 m plus loin, on a séparé en outre les boîtes d'extrémité de la « terre de protection » locale, parce que celle-ci recueille elle-même des courants vagabonds qui nuiraient au rendement de la protection cathodique. En revanche, on a interconnecté ici les gaines de plomb des câbles à 16 kV venant de Locarno avec celle du câble à 50 kV drainée à Solduno, réalisant par là un abaissement notable de leur potentiel, sensible jusqu'à Locarno, qui supprime par ricochet le danger d'électrolyse sur ces câbles, qui étaient positifs vis-à-vis du sol auparavant. Dans le cas particulier, on peut se permettre d'autant plus franchement la suppression de la mise à terre des boîtes d'extrémité à la sous-station de Ponte Ascona, que la voie du chemin de fer, dont les joints de rails sont munis d'éclisses électriques soudées, remplace avantageusement toute « électrode artificielle » en ruban de cuivre, puisque sa résistance de passage au sol n'atteint qu'une fraction d'ohm, alors que l'article 21 de l'ordonnance sur les installations à courant fort tolère encore 2 ohms.

* * *

Ces quelques exemples, choisis parmi d'autres, montrent la diversité des applications de la protection cathodique, non seulement aux canalisations souterraines, mais en général à toute structure métallique en contact avec le sol ou un milieu électrolytique quelconque ; ils montrent aussi la simplicité des dispositifs permettant de réaliser l'abaissement voulu du potentiel des objets à protéger. Un autre avantage de cette méthode réside dans le contrôle irrécusable de l'état électrique des structures protégées, exécutable n'importe quand, sans fouilles ni préparatifs coûteux. Ce contrôle requiert, il est vrai, une certaine expérience et des instruments spéciaux ; il devrait être répété périodiquement et confié de préférence au spécialiste ayant procédé au premier examen, qui est seul à même de prendre en considération tous les éléments d'appréciation nécessaires. Les frais de tels contrôles, dont le rôle est aussi de suivre les modifications éventuelles des conditions locales et d'y adapter, s'il le faut, le dispositif de protection, n'atteignent en général qu'une modique fraction de ceux qu'entraînent les investigations initiales jusqu'à la mise en œuvre de la protection cathodique. Il est désirable en tout cas de vérifier

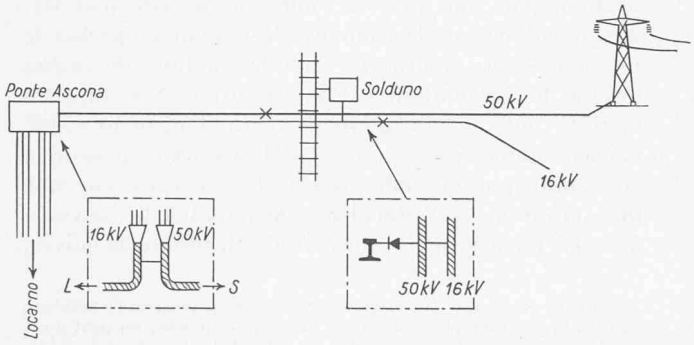

Fig. 7. — Câbles à haute tension Locarno-Ponte Ascona-Solduno.
× × endroits où des courts-circuits se produisirent par suite de corrosion électrolytique des gaines de plomb.

le fonctionnement stabilisé de celle-ci au bout d'une année environ, parce que les courants et potentiels ne prennent pas toujours de prime abord leurs valeurs permanentes stationnaires.

Considérations finales.

Il fut un temps où l'on n'avait qu'une « défense passive » à opposer aux manifestations multiples de la corrosion sur les canalisations souterraines en tuyaux et en câbles. On cherchait avant tout à éviter le contact direct des objets métalliques avec le sol en les recouvrant d'enveloppes ou de vernis protecteurs, pour tenir en échec la corrosion chimique, et l'on mit toujours beaucoup de soin à poser ces canalisations dans un milieu aussi sec que possible, instruit par l'expérience qu'aucun processus de corrosion n'est imaginable sans la présence d'humidité. Contre la corrosion électrolytique, on a pris surtout des mesures prophylactiques, tant du côté de l'installation de traction génératrice de courants vagabonds (maintien d'un retour convenable du courant dans les rails et les câbles isolés, réduction de la chute de tension dans la voie ferrée en augmentant sa conductivité et en érigeant des centres d'alimentation auxiliaires, etc.), que du côté des structures menacées elles-mêmes (« isolement » renforcé pour augmenter la résistance de passage au sol, montage de manchons et raccords isolants). Dans les installations de traction électrique et les réseaux souterrains soigneusement entretenus qui satisfont, par exemple, aux exigences des « Règles » de la Commission de corrosion, ces mesures ont fait leurs preuves et ont suffi en général à éviter de graves dégâts par électrolyse. Mais il se présentait malgré cela toujours encore des cas spéciaux, dont les moyens préventifs usuels n'arrivaient pas à se rendre maître. Ceci engagea les spécialistes, notamment à l'étranger où l'on rencontre fréquemment des conditions beaucoup plus défavorables qu'en Suisse, à recourir à des mesures plus énergiques. A la place d'une protection purement passive, on introduisit une *protection active*, consistant à mettre les structures menacées elles-mêmes en état d'immunité permanent, tant en milieu chimiquement agressif que dans le champ de courants dangereux, ce qui fait que les objets envisagés, pour la plupart en fer ou en plomb, se comportent alors comme des métaux nobles. C'est là le grand mérite de la protection cathodique. Elle permet, en agissant simplement et à peu de frais sur le potentiel électrique de l'installation à protéger par rapport au milieu enrobant, de lui conférer une immunité quasi absolue aussi bien à l'égard de l'électrolyse que vis-à-vis des attaques de nature chimique ou d'origine galvanique. Sans renier les mérites de la pratique traditionnelle, qui demeure à maints égards recommandable (voir, entre autres, l'article récapitulatif de E. Foretay, Cossonay, au *Bulletin ASE* 1950, nº 11 : « La corrosion des câbles sous plomb », qui donne une bonne idée de l'état de nos connaissances dans ce domaine particulier à ce moment-là et qui contient une bibliographie très complète), l'introduction de la technique, connue dans son principe depuis longtemps mais d'application généralisée beaucoup plus récente, qui consiste à agir sur le potentiel des structures menacées pour leur conférer l'« immunité cathodique », constitue un progrès essentiel dans la lutte efficace contre la corrosion quelle qu'elle soit.

En Amérique, cette nouvelle technique est appliquée depuis des années pour protéger les pipe-lines transportant le mazout brut à très grande distance, et en Europe elle gagne rapidement du terrain, en Italie, en France, au Danemark [6] et notamment en Belgique, où l'on a fait les meilleures expériences au regard des méthodes antérieures. C'est ainsi, par exemple, que la Société « Distrigaz », à Bruxelles, utilise aujourd'hui, par principe, la protection cathodique partout où il s'agit de poser de nouvelles conduites, que le sous-sol soit ou non le siège de courants vagabonds, et cela en y associant toutes les structures existantes voisines pour les faire bénéficier elles-mêmes d'une telle protection. En Suisse enfin, bien que son application méthodique ne remonte qu'à cinq ans environ, la protection cathodique compte déjà à son actif des réalisations prouvant que cette nouvelle technique est susceptible de rendre chez nous aussi de précieux services.

[6] Voir « Investigations into stray currents in underground structures and experiments with cathodic protection of the heating pipe system of Copenhagen » dans *Transactions of the Danish Academy of Technical Sciences* (A. T. S.), 1948, nº 3.

Adresse de l'auteur : H. Bourquin, ingénieur-conseil, Küsnacht-Zurich.

NÉCROLOGIE

Georges Jean-Richard, architecte

Le jour de Saint-Sylvestre s'est éteint, à l'âge de soixante-huit ans, M. *Georges Jean-Richard*, architecte diplômé P. L. G. F., originaire du canton de Neuchâtel. Il a travaillé à Paris jusqu'au début de la guerre. Rentré en Suisse, il collabora durant une dizaine d'années au bureau Burgener à Sierre.

Avec M. Jean-Richard disparaît un collègue compétent, consciencieux et distingué. Que Madame Jean-Richard et son fils veuillent croire à toute notre sympathie.

BIBLIOGRAPHIE

Acta polytechnica

(P. O. Box 5073, Stockholm 5, Suède)

Speed regulation of slip-ring induction motors for special purposes, par *F. Dahlgren* and *P. Biringer*. Acta polytechnica 99 (1951). Electrical engineering series, vol. 4, nº 4. — Une brochure 18×25 cm, 39 pages, 26 figures.

Sur le frein à sabots extérieurs articulés, par *K. G. Karlson*. Acta polytechnica 100 (1951). Mechanical engineering series, vol. 2, nº 5. — Une brochure 18×25 cm, 31 pages, 9 figures.

High frequency heating and temperature distribution in surface hardening of steel, par *L. A. Dreyfus*. Acta polytechnica 101 (1952). Electrical engineering series, vol. 4, nº 5. — Une brochure 18×25 cm, 115 pages, 31 figures.